



Effects of using non-edible cooked eggs as a partial protein and fat substitute for milk or milk replacer on the performance of suckling calves

Amir Hossein Rezakhani¹ | Alireza Hassani Bafrani² | Alireza Aghashahi³ | Hossein Manafi Rasi⁴

1. Imam Khomeini Training Center of Agriculture Jihad, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. E-mail: ah.rezakhani@areeo.ac.ir
2. Institute of Agricultural Education and Extension, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Tehran, Iran. E-mail: ar.hasani@areeo.ac.ir
3. Animal Science Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Karaj, Iran. E-mail: a.aghashahi@areeo.ac.ir
4. Corresponding Author, Institute of Agricultural Education and Extension, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Tehran, Iran. E-mail: h.manafi@areeo.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 27 April 2026
Received in revised form
9 August 2026
Accepted 9 August 2026
Published online 22 September 2026

Keywords:

Milk replacer
non-edible cooked eggs
pre-weaning period
suckling calves

ABSTRACT

Objective: Calves can be fed whole milk, pasteurized discard milk, or commercial milk replacers (MR), although whole milk is considered the gold standard for nutrition, the high cost can be economically prohibitive. The quality of the protein and fat in MR is a major challenge. Non-edible eggs (eggs that are unfit for human consumption) are produced at approximately 10% of global egg production and are a potential high-quality nutrient source for growing livestock. The objective of this study was to evaluate the partial replacement of milk protein and fat in whole milk and MR-based diets with boiled non-edible eggs.

Methods: Forty newborn Holstein calves were assigned to one of five experimental groups: (1) Whole milk (WM); (2) WM+ 10% boiled eggs; (3) Commercial MR; (4) Commercial MR+ 10% boiled eggs; and (5) an on-farm MR with 20% boiled eggs. Inedible eggs were obtained from commercial poultry farms. After removal of the shell, the egg contents were homogenized, put in polyethylene bags, boiled for 10 minutes to achieve complete coagulation, mixed with an equal weight of hot water, bottled, and refrigerated until use. Body weight and skeletal growth (heart girth, wither height, body length, and hip height) were measured biweekly. Fecal consistency was scored daily, and blood samples for hematological and biochemical profiling were collected during mid-suckling and at weaning. Calf starter and water were offered *ad libitum* from day 5, and daily intake was measured.

Results: In all treatments, calves fed whole milk (with or without egg supplementation) had greater total weight gain, final body weight, and average daily gain than those in the MR groups, particularly the on-farm MR group ($P<0.05$). There were no differences in skeletal growth parameters among treatments. Metabolic stability was reflected in plasma metabolite values (glucose, total protein and beta hydroxybutyrate) being within physiological range, but plasma cholesterol levels were affected by dietary intake ($P<0.05$). Performance was not affected by supplementing milk-based diets with eggs had no adverse effect on performance, suggesting that a 10% replacement is feasible if economically advantageous, but, the 20% inclusion of egg in the on-farm MR resulted in reduced feed intake, prolonged diarrhea duration, and impaired feed efficiency, which may reflect gastrointestinal disturbances at higher levels of inclusion.

Conclusion: Non-feed grade eggs can be a source of additional nutrients for cooked egg products. Up to 10% replacement of the liquid diet does not impair the performance or health of suckling calves, but, higher levels (20%), especially with lower-quality milk replacers, can disrupt intake, intestinal health, and growth. Therefore, precise dietary formulation is essential before implementing egg-supplemented feeding systems for calves

Cite this article: Rezakhani, A. H., Hassani Bafrani, A., Aghashahi, A., & Manafi Rasi, H. (2026). Effects of using non-edible cooked eggs as a partial protein and fat substitute for milk or milk replacer on the performance of suckling calves. *Journal of Animal Production*, 28 (3), 377-390. DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2026.413391.623901>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2026.413391.623901>

Publisher: University of Tehran Press.



اثر استفاده از تخم مرغ غیر خوراکی پخته به عنوان بخشی از پروتئین و چربی شیر یا جایگزین شیر بر عملکرد گوساله های شیر خوار

امیرحسین رضاخانی^۱ | علیرضا حسینی بافرانی^۲ | علیرضا آقاشاهی^۳ | حسین منافی راثی^۴

۱. مرکز آموزش امام خمینی جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: ah.rezakhani@areeo.ac.ir

۲. مؤسسه آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: ar.hasani@areeo.ac.ir

۳. مؤسسه تحقیقات علوم دامی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، تهران. رایانامه: a.aghashahi@areeo.ac.ir

۴. نویسنده مسئول، مؤسسه آموزش و ترویج کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: h.manafi@areeo.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۶/۳۱

هدف: مدیریت تغذیه خوراک مایع در گوساله ها معمولاً شامل شیر کامل، شیر وازد پاستوریزه و جایگزین های شیر تجاری است. اگرچه شیر کامل اغلب به عنوان تغذیه استاندارد در نظر گرفته می شود، اما هزینه بالای آن عموماً کاربردی بودن آن را محدود می کند. یکی از محدودیت های اصلی جایگزین های شیر مورد استفاده در تغذیه گوساله های شیرخوار، تنوع در کیفیت پروتئین و چربی آن است. تخم مرغ های غیر قابل مصرف در تغذیه انسان که حدود ۱۰ درصد تولید جهانی تخم مرغ را تشکیل می دهند، منبع بالقوه مغذی با کیفیت بالا برای تغذیه حیوانات در حال رشد هستند. این مطالعه اثرات گنجاندن تخم مرغ های آب پز غیر قابل مصرف در تغذیه انسان را به عنوان جایگزین بخشی از پروتئین و چربی شیر در جیره های شیر کامل و جایگزین شیر ارزیابی کرد.

روش پژوهش: چهل رأس گوساله هلشتاین تازه متولد شده به طور تصادفی به پنج گروه آزمایشی شامل ۱- شیر کامل، ۲- شیر کامل + ۱۰ درصد تخم مرغ آب پز، ۳- جایگزین شیر تجاری، ۴- جایگزین شیر تجاری + ۱۰ درصد تخم مرغ آب پز و ۵- جایگزین شیر تهیه شده در واحد پرورش حاوی ۲۰ درصد تخم مرغ آب پز اختصاص یافتند. تخم مرغ های غیر خوراکی تهیه شده از واحدهای مرغ تخم گذار، پس از جداسازی پوسته، کاملاً مخلوط شده و در کیسه های نایلونی به مدت ۱۰ دقیقه آب پز شد. به منظور تهیه محلول یکنواخت تخم مرغ های پخته شده به نسبت مساوی وزنی با آب داغ مخلوط شده سپس در بطری های دربسته تا زمان استفاده در یخچال نگهداری شدند. طول دوره شیرخواری، اطلاعات مربوط به وزن و رشد اسکلتی از طریق اندازه گیری دور سینه، ارتفاع از جدگاه، طول بدن و ارتفاع پین هر دو هفته یکبار، ثبت شد. ثبت امتیاز مدفوع به صورت روزانه و خون گیری ارزیابی فراسنجه های خونی در دو نوبت، اواسط شیرخواری و هنگام از شیرگیری انجام شد. جیره متراکم آغازین به همراه آب از روز پنجم به طور آزاد در اختیار گوساله ها قرار گرفت و مقدار مصرف آن به طور روزانه اندازه گیری شد.

یافته ها: گوساله هایی که شیر کامل (با یا بدون مکمل تخم مرغ) دریافت کردند، نسبت به گروه های جایگزین شیر، به ویژه جایگزین شیر تهیه شده در واحد پرورش، افزایش وزن کل، وزن نهایی بدن و میانگین افزایش وزن روزانه بیش تری نشان دادند ($p < 0.05$). فراسنجه های رشد اسکلتی در بین گروه ها مشابه بود. گلوکز، پروتئین تام و بتا هیدروکسی بوتیرات پلاسما در محدوده طبیعی باقی ماندند که نشان دهنده پایداری متابولیکی بود، اما کلسترول پلاسما تحت تأثیر جیره قرار گرفت و افزایش یافت ($p < 0.05$). افزودن تخم مرغ به جیره های حاوی شیر تأثیری بر شاخص های عملکردی گوساله ها نداشت که بیانگر این است که چنانچه از نظر اقتصادی جایگزینی ۱۰ درصد از شیر مصرفی گوساله ها با تخم مرغ به صرفه باشد، منجر به کاهش عملکرد نخواهد شد. اما ۲۰ درصد تخم مرغ آب پز در جایگزین شیر تولید شده در واحد پرورش باعث کاهش مصرف خوراک، افزایش مدت زمان اسهال و اختلال در بازده مصرف خوراک شد که بیانگر اثرات منفی احتمالی بر دستگاه گوارش در سطوح بالای مصرف است.

نتیجه گیری: در حالی که تخم مرغ پخته غیر قابل مصرف می تواند به عنوان منبع غذایی مکمل عمل کنند، جایگزینی آن با بخشی از جیره مایع مصرفی گوساله ها تا سطح ۱۰ درصد تغییری در شاخص های عملکرد و سلامت ایجاد نمی کند ولی افزودن آن ها، در سطوح بالا در جایگزین های شیر با کیفیت پایین تر، می تواند مصرف، سلامت روده و عملکرد رشد را مختل کند بنابراین، فرمولاسیون و ارزیابی دقیق قبل از کاربرد عملی در سامانه های پرورش گوساله ضروری است.

کلیدواژه ها:

تخم مرغ پخته غیر خوراکی
جایگزین شیر
دوره قبل از شیرگیری
گوساله های شیری

استناد: رضاخانی، امیرحسین؛ حسینی بافرانی، علیرضا؛ آقاشاهی، علیرضا و منافی راثی، حسین (۱۴۰۵). اثر استفاده از تخم مرغ غیر خوراکی پخته به عنوان بخشی از پروتئین و چربی شیر یا جایگزین شیر بر عملکرد گوساله های شیر خوار. *نشریه توليدات دامی*، ۲۸ (۳)، ۳۷۷-۳۹۰.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2026.413391.623901>



۱. مقدمه

تغذیه در اوایل زندگی برای رشد، سلامتی، توسعه دستگاه گوارش و بهره‌وری طولانی مدت گوساله‌های شیری حیاتی است. در هفته‌های اول پس از تولد، گوساله‌ها بیش‌تر از جیره‌های غذایی مایع استفاده می‌کنند و عملکرد رشد آن‌ها به شدت به تعادل انرژی، پروتئین، مواد معدنی و ویتامین‌های موجود در این خوراک‌ها بستگی دارد (Drackley, 2008). با افزایش مصرف خوراک متراکم آغازین، اسیدهای چرب فرار حاصل از تخمیر، رشد اپیتلیوم شکمبه را تحریک می‌کنند و بوتیرات به عنوان عامل کلیدی در رشد پاپیلاهای شکمبه شناخته شده است. در نتیجه، بهینه‌سازی ترکیب خوراک‌های مایع و جامد برای عملکرد مطلوب قبل و بعد از شیرگیری ضروری است. مدیریت تغذیه خوراک مایع در گوساله‌ها معمولاً شامل شیر کامل، شیر ضایعاتی پاستوریزه و جایگزین‌های شیر تجاری است. اگرچه شیر کامل اغلب به عنوان تغذیه استاندارد در نظر گرفته می‌شود، هزینه بالای آن عموماً کاربردی بودن آن را محدود می‌کند.

جایگزین‌های شیر تجاری مزایایی مانند کاهش خطر میکروبی و ترکیب مغذی ثابت را فراهم می‌کنند. با این حال، توانایی آن‌ها در تطابق با عملکرد شیر کامل همچنان مورد بحث است (Orellana et al., 2020). پژوهش برخی از پژوهشگران، رشد برتر را در گوساله‌هایی که شیر کامل دریافت کرده‌اند، به‌ویژه در ۱۰ روز اول زندگی، گزارش کرده‌اند (Oliveira et al., 2015). در حالی که مصرف بالای جایگزین شیر می‌تواند باعث افزایش وزن در اوایل زندگی شود، ممکن است مصرف خوراک متراکم آغازین را نیز سرکوب کند، رشد شکمبه را محدود کند و عملکرد پس از شیرگیری را مختل کند (Hill et al., 2016; Dennis et al., 2018a). در مقابل، Orellana و همکاران (۲۰۲۰) هیچ اثر نامطلوبی از نرخ‌های بالای تغذیه جایگزین شیر مشاهده نکردند، که نشان‌دهنده تنوع در فرمولاسیون‌ها و شرایط مدیریتی است.

تفاوت در محتوای چربی و لاکتوز از جمله تمایزات اصلی تغذیه‌ای بین شیر کامل و جایگزین‌های شیر است. جایگزین‌های شیر معمولاً محتوای لاکتوز بالاتر و محتوای چربی کم‌تری نسبت به شیر کامل دارند. Amado و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که جایگزینی لاکتوز با چربی، رشد یا قابلیت هضم مواد مغذی را مختل نمی‌کند. در مقابل، Hill و همکاران (۲۰۰۹a) دریافتند که افزایش چربی محتوای جایگزین شیر از ۱۴ درصد به ۲۳ درصد، قابلیت هضم ظاهری ماده خشک، ماده آلی و کربوهیدرات‌های غیر فیبری را کاهش می‌دهد. بهترین رشد قبل از شیرگیری برای گوساله‌هایی گزارش شده است که جایگزین‌های شیر حاوی تقریباً ۲۷ درصد پروتئین خام و ۱۷-۲۰ درصد چربی دریافت می‌کنند.

منبع پروتئین در جایگزین‌های شیر، یکی از عوامل مهم تعیین‌کننده کیفیت تغذیه‌ای و هزینه است. پروتئین‌های مشتق از شیر، از جمله پروتئین آب‌پنیر و پودر شیر خشک، قابلیت هضم عالی و پروفایل اسید آمینه مطلوب دارند. با توجه به هزینه بالای آن‌ها، مطالعات متعددی به بررسی جایگزینی پروتئین‌های شیر با جایگزین‌های اقتصادی‌تر مشتق از گیاهان یا حیوانات پرداخته‌اند. جایگزین کردن پروتئین جایگزین شیر با پروتئین‌های جایگزین مانند گلوتن گندم، کنسانتره پروتئین سویا یا پلاسمای خشک حیوانات تا سطح ۲۵-۳۰ درصد، عموماً باعث اختلال در رشد نمی‌شود (Reath et al., 2016; Huang et al., 2015). با این حال، جایگزینی گسترده‌تر ممکن است قابلیت هضم را کاهش دهد، چالش‌های گوارشی را افزایش دهد و به دلیل تفاوت در ترکیب اسیدهای آمینه و وجود عوامل ضد تغذیه‌ای، رشد را مختل کند.

در صنعت تولید تخم مرغ، بخشی از محصول به دلیل شکستگی، نقایص پوسته، ناهنجاری‌های ساختاری یا آلودگی رد می‌شود. چنین تخم مرغ‌هایی ارزش اقتصادی خود را به عنوان یک ماده غذایی برای انسان از دست می‌دهند و مطابق ضوابط بین‌المللی، برای فروش یا فرآوری نامناسب هستند که این امر منجر به زیان مستقیم در تولید می‌شود (Alig et al., 2023). محصولات جانبی تخم مرغ غیرقابل مصرف می‌توانند سرشار از پروتئین و چربی باشند، اما پروفایل دقیق اسید آمینه و چگالی انرژی به نحوه فرآوری بستگی دارد (Lee et al., 2024). تخم مرغ‌های غیرقابل مصرف برای انسان

همچنان به فرآوری‌های ضروری (پاستوریزاسیون، استریلیزاسیون) برای کاهش خطر میکروبی (سالمونلا، اشریشیا کلی) نیاز دارند. تخم‌مرغ حاوی ۴۸/۲ درصد پروتئین خام، ۴۳/۵ درصد چربی خام، ۵/۵ درصد کربوهیدرات و ۶ مگا کالری انرژی قابل متابولیسم در هر کیلوگرم است (Abreha et al., 2021).

حدود ۱۰ درصد تخم‌مرغ‌های تولیدشده برای مصرف انسان در سراسر جهان به‌عنوان تخم‌مرغ غیرقابل مصرف محسوب می‌شوند که شامل تخم‌مرغ‌های غیرقابل فروش به‌دلیل شکستگی یا مشکلات کیفیتی است و ممکن است به‌عنوان خوراک دام استفاده شوند (Al-Harthi et al., 2010). براساس آمار تولید جهانی تخم‌مرغ در سال ۲۰۲۳ (Fao, 2024)، این مقدار معادل ۹/۳ میلیون تن و برای همان سال در ایران (۱/۳۴۵ میلیون تن)، معادل ۱۳۴ هزار تن بوده است (آمارنامه کشاورزی ۱۴۰۲). در سال ۲۰۲۳، بیش از ۷۸۰۰۰ تن تخم‌مرغ نامناسب برای مصرف انسانی با محتوای ماده خشک آن ۸۸/۵ درصد در ایران تولید شد که اگر این تخم‌مرغ‌ها به میزان ۱۰ درصد ماده خشک در جایگزین‌های شیر گنجانده شوند، می‌توانند به‌طور بالقوه حدود ۶۹ میلیون لیتر شیر را به زنجیره غذایی انسان بازگردانند که معادل نیاز لبنی سالانه حدود ۸۶۰،۰۰۰ نفر، براساس سرانه مصرف ۸۰ لیتر است. فرآوری مناسب تخم‌مرغ‌های وازد، بازیابی مواد مغذی باقابلیت هضم بالا را برای تغذیه دام امکان‌پذیر می‌سازد.

پودر تخم‌مرغ اسپری درایر (خشک‌شده با اسپری کردن) تقریباً دو دهه است که به‌عنوان منبع پروتئین حیوانی کم‌هزینه موردبررسی قرار گرفته است (Santoro et al., 2004). اگرچه پودر تخم‌مرغ به‌دلیل دارا بودن پروفایل اسیدآمین‌های مطلوب، به‌عنوان یک منبع پروتئینی با کیفیت و استاندارد در تغذیه شناخته می‌شود، اما نتایج حاصل از کاربرد آن در تغذیه گوساله‌ها همواره یکسان نبوده است. مطالعات Kellogg و همکاران (۲۰۰۰) نشان داده است که جایگزینی سطوح ۷/۳ و ۷/۴ درصد از پروتئین جانشین شیر با پودر تخم‌مرغ (معادل ۱۰ و ۲۰ درصد کل پروتئین)، افت عملکردی نسبت به گروه شاهد (پروتئین شیر) ایجاد نمی‌کند، هرچند سطوح بالاتر مصرف، منجر به کاهش کارایی و راندمان رشد می‌شود. در مقابل، Quigley (۲۰۰۲) گزارش کرد که استفاده از ۱۰ درصد پودر تخم‌مرغ (تأمین‌کننده ۲۲ تا ۲۵ درصد پروتئین)، کاهش معنی‌داری را در رشد گوساله‌ها ایجاد کرده است البته عدم دسترسی گوساله‌ها به جیره آغازین تا ۲۹ روزگی در این مطالعه، ممکن است بر نتایج تأثیرگذار بوده باشد. از سوی دیگر، نتایج گزارش‌شده توسط Hill و همکاران (۲۰۰۱) حاکی از آن است که سطوح جایگزینی تا ۳۰ درصد، منبع پروتئینی مناسبی برای گوساله‌ها محسوب می‌شود، باین‌وجود، باوجود کیفیت ذاتی پروتئین تخم‌مرغ، استفاده از آن (چه به‌صورت خشک و چه مایع) در جیره گوساله‌ها غالباً با افت عملکرد همراه بوده است که دلایل فیزیولوژیک آن به‌طور دقیق شناسایی نشده است (Drackley, 2008).

در یک پژوهش استفاده از تخم‌مرغ خام به میزان یک عدد در روز به‌همراه شیر مصرفی در گوساله‌ها منجر به تفاوت معنی‌داری در عملکرد نشد اما سیستم ایمنی در گوساله‌ها را تقویت کرد (Tufan, 2016). در یک پژوهش افزودن زرده تخم‌مرغ به میزان ۱۰ درصد به جایگزین شیر منجر به اثرات منفی بر عملکرد و رشد گوساله‌ها شد (Denis et al., 2017). پژوهش حاضر باهدف بررسی تأثیر استفاده از تخم‌مرغ پخته غیرخوراکی به‌عنوان بخشی از پروتئین و چربی در شیر و جانشین شیر، بر عملکرد گوساله‌های شیرخوار انجام شد.

۲. روش پژوهش

۲.۱. دام‌ها و تیمارهای آزمایشی

در این مطالعه از ۴۰ رأس گوساله تازه متولدشده نژاد هلشتاین استفاده شد. بلافاصله پس از تغذیه با آغوز، گوساله‌ها به‌طور تصادفی به پنج گروه آزمایشی تخصیص داده شدند. گروه‌های آزمایشی شامل (T۱) شیر کامل، دو لیتر در هر وعده؛ (T۲) شیر

کامل به همراه محلول تخم‌مرغ آب‌پز (۱/۸ لیتر شیر + ۰/۲ لیتر تخم‌مرغ در هر وعده)؛ (T۳) جایگزین شیر تجاری، دو لیتر در هر وعده؛ (T۴) جایگزین شیر تجاری به همراه محلول تخم‌مرغ آب‌پز (۱/۸ لیتر جایگزین شیر + ۰/۲ لیتر تخم‌مرغ در هر وعده) و (T۵) جایگزین شیر تهیه شده در واحد پرورش بودند. جایگاه نگهداری همه حیوانات به صورت انفرادی بود. خوراک مایع دو بار در روز در ساعت ۰۸:۰۰ و ۱۶:۳۰ ارائه شد. جایگزین شیر تجاری حاوی ۲۲ درصد پروتئین، ۱۷ درصد چربی، ۰/۹ درصد کلسیم و ۰/۶ درصد فسفر بود و طبق دستورالعمل شرکت تولیدکننده قبل از مصرف به نسبت یک به هفت با آب ولرم مخلوط شد. تخم‌مرغ‌های آب‌پز یک روز قبل از تغذیه آماده، در یخچال نگهداری و با شیر یا جایگزین شیر مخلوط شدند تا دمای تغذیه یکنواخت تقریباً دمای بدن حاصل شود. طول دوره تغذیه با شیر ۸۲ روز بود و شیرگیری هفت روز قبل از پایان آزمایش با حذف تدریجی وعده‌های عصر آغاز شد. خوراک متراکم آغازین طبق توصیه‌های NRC (۲۰۰۱) تنظیم شد و از روز پنجم پس از تولد در اختیار گوساله‌ها قرار گرفت. از هفته سوم پس از تولد، ۱۰ درصد یونجه خردشده (قطعات ۲/۵ سانتی‌متری) با خوراک متراکم آغازین مخلوط شد. آب به صورت آزاد در دسترس بود. مواد خوراکی و ترکیب شیمیایی خوراک متراکم آغازین، جایگزین شیر تولیدشده در واحد پرورش و جیره‌های آزمایشی در جدول‌های (۱) و (۲) ارائه شده است.

۲.۲. آماده‌سازی تخم‌مرغ‌ها

تخم‌مرغ‌های غیرقابل مصرف از مزارع طیور تجاری تهیه شدند. پس از حذف پوسته، سفیده و زرده تخم‌مرغ به صورت همگن مخلوط شده سپس در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و به مدت ۱۰ دقیقه در آب جوشانده شد تا از انعقاد کامل اطمینان حاصل شود. برای به دست آوردن مخلوط همگن، تخم‌مرغ‌های پخته شده به نسبت مساوی وزنی با آب داغ مخلوط شده سپس در بطری‌های دربسته تا زمان استفاده در یخچال نگهداری شدند. در هنگام مصرف اجزای جایگزین شیر به نسبت یک به چهار با آب ولرم مخلوط شده و به گوساله‌ها خورانده شد. میزان رقیق‌سازی جایگزین شیر تولیدشده در واحد پرورش به نحوی بود که گوساله‌ها با مصرف دو لیتر از آن مقادیر انرژی و پروتئین معادل شیر کامل دریافت نمایند.

۲.۳. سنجش فراسنجه‌های بدنی، خون و سلامت

وزن بدن به صورت هفتگی قبل از وعده صبحگاهی ثبت شد. فراسنجه‌های رشد اسکلتی (دور سینه، ارتفاع شانه، طول بدن و ارتفاع لگن) دو هفته یک‌بار اندازه‌گیری شدند. امتیاز مدفوع به صورت روزانه در مقیاس صفر-۴ براساس Larson و همکاران (۱۹۷۷) ثبت شد. به منظور تعیین فراسنجه‌های بیوشیمیایی شامل اندازه‌گیری غلظت کلسترول پلاسما، بتا-هیدروکسی‌بوتیرات، گلوکز و پروتئین کل، نمونه‌های خون گوساله‌ها در روزهای ۳۵ و ۸۲ قبل از تغذیه با استفاده از لوله‌های خون‌گیری (ونوجکت) از طریق ورید گردنی گرفته شد سپس نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند و سرم تا زمان ارسال به آزمایشگاه در دمای منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. فراسنجه‌های خونی شامل کلسترول پلاسما، بتا-هیدروکسی‌بوتیرات، گلوکز و پروتئین کل سرم خون با استفاده از کیت‌های شرکت پارس آزمون و با دستگاه اتوآنالایزر اندازه‌گیری شد.

۲.۴. تجزیه آماری

داده‌های مربوط به اندازه‌گیری‌های تکراری با استفاده از رویه MIXED در SAS (SAS Institute Inc. Cary, NC, USA) و اندازه‌گیری‌های تک‌زمانه با استفاده از رویه GLM در SAS (نسخه ۹٫۲) به ترتیب برای مدل‌های (۱) و (۲) تجزیه و میانگین‌ها به کمک آزمون توکی در سطح پنج درصد مقایسه شدند.

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + E\alpha_{i,k} + B_j + AB_{ik} + E\beta_{ijk} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در این رابطه، Y_{ijk} ، مشاهده برای جیره i در زمان اندازه‌گیری j در تکرار k ؛ μ ، میانگین کلی؛ A_i ، اثر ثابت جیره i ؛ $E\alpha_{i,k}$ ، خطای اصلی (درون مشاهده‌ای)؛ B_j ، اثر ثابت زمان اندازه‌گیری j ؛ AB_{ik} ، برهم‌کنش بین جیره i و زمان اندازه‌گیری j و $E\beta_{ijk}$ ، خطای آزمایشی است.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که Y_{ij} ، متغیر پاسخ؛ μ ، میانگین کلی؛ T_i ، اثر ثابت تیمار (i) و ε_{ij} ، خطای تصادفی است.

جدول ۱. مواد خوراکی و ترکیب شیمیایی خوراک متراکم آغازین و جایگزین شیر تولیدشده در واحد پرورش

اجزای تشکیل‌دهنده (درصد ماده خشک)		خوراک متراکم آغازین	
جایگزین شیر تهیه‌شده در واحد پرورش			
۳۳	پودر شیر پس چرخ ^۳	۳۲	دانه جو
۴۷	پودر پنیر ^۴	۳۲	دانه ذرت
۹	پودر چربی	۳۰	کنجاله سویا
۲۰	تخم‌مرغ آب پز ^۵	۲	پودر چربی ^۱
۱	پرمیکس ویتامینی معدنی	۱/۲	پرمیکس ویتامینی معدنی ^۲
		۱	کربنات کلسیم
		۰/۲	اکسید منیزیم
		۱	بی‌کربنات سدیم
		۰/۴	نمک

ترکیب شیمیایی محاسبه‌شده

ماده خشک		ماده خشک	
انرژی قابل متابولیسم	۳/۰۴ مگا کالری در کیلوگرم	انرژی قابل متابولیسم	۳/۸۷ مگا کالری در کیلوگرم
پروتئین خام	۱۸/۰۸ درصد	پروتئین خام	۲۲/۹۰ درصد
چربی	۴/۴۸ درصد	چربی	۱۵/۲۵ درصد
NDF	۱۳/۴۴ درصد	NDF	۰ درصد
کلسیم	۰/۷۶ درصد	کلسیم	۰/۵۵ درصد
فسفر	۰/۴۲ درصد	فسفر	۰/۴۲ درصد

۱. چربی ۹۹ درصد، حاوی ۷/۳ مگا کالری در هر کیلوگرم انرژی قابل سوخت‌وساز، کل اسیدهای چرب ۸۵ درصد شامل اسید پالمیتیک ۳۰ درصد، اسید استئاریک ۵۰ درصد، اسید اولئیک ۱۰ درصد.

۲. هر کیلوگرم مکمل ویتامینی و معدنی حاوی: ویتامین آ ۶۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی، ویتامین د ۱۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی، ویتامین ای ۴۰۰۰ واحد بین‌المللی، کلسیم ۲۰۰ گرم، منیزیم ۳۰ گرم، روی ۶۰۰۰ میلی‌گرم، منگنز ۴۵۰۰ میلی‌گرم، مس ۱۵۰۰ میلی‌گرم، سلنیوم ۴۰ میلی‌گرم، ید ۵۰ میلی‌گرم، مونسنین ۱۸۰۰ میلی‌گرم، آنتی‌اکسیدان ۱۰۰۰ میلی‌گرم.

۳. پودر شیر پس چرخ حاوی ۳۵ درصد پروتئین خام و ۳/۲ مگا کالری بر کیلوگرم انرژی قابل متابولیسم.

۴. پودر آب‌پنیر حاوی ۱۱ درصد پروتئین خام و ۲/۶ مگا کالری بر کیلوگرم انرژی قابل متابولیسم.

۵. مخلوط تخم‌مرغ پخته حاوی ۴۸/۲ درصد پروتئین خام و ۴/۸ مگا کالری بر کیلوگرم انرژی قابل متابولیسم.

جدول ۲. ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی (محاسبه‌شده)

تیمارهای آزمایشی*					ترکیب شیمیایی
T _۵	T _۴	T _۳	T _۲	T _۱	
۶۰/۴۳	۷۶/۹۲	۹۸	۱۲/۵۰	۱۲/۵۰	ماده خشک (درصد)
۲۲/۹۰	۲۴/۶۸	۲۲	۲۸/۹۱	۲۶/۷۰	پروتئین خام (درصد)
۳/۸۷	۴/۶۷	۴/۶۵	۴/۸۵	۴/۸۵	انرژی قابل متابولیسم (مگا کالری در کیلوگرم)
۱۷/۸۴	۱۹/۶۲	۱۷	۳۰/۸۷	۲۹/۵۰	چربی خام (درصد)
۰/۹۹	۰/۸۳	۰/۹۰	۰/۸۸	۰/۹۵	کلسیم (درصد)
۰/۸۱	۰/۶۳	۰/۶۰	۰/۷۵	۰/۷۴	فسفر (درصد)

* تیمارها شامل T_۱ شیر کامل، T_۲ شیر کامل + ۱۰ درصد تخم‌مرغ، T_۳ جاشین شیر تجاری، T_۴ جاشین شیر تجاری + ۱۰ درصد تخم‌مرغ و T_۵ جاشین شیر واحد پرورش.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

۳.۱. مصرف خوراک، بازده مصرف خوراک و افزایش وزن

نتایج مصرف خوراک، بازده مصرف خوراک و افزایش وزن در جدول (۳) آورده شده است. مصرف هفتگی خوراک تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت. با این حال، کاهش عددی تقریباً ۴۳ درصدی در کل مصرف خوراک در گروه T5 (جایگزین شیر تهیه شده در واحد پرورش با ۲۰ درصد تخم مرغ) در مقایسه با شیر کامل مشاهده شد که نشان دهنده اثر منفی احتمالی گنجاندن تخم مرغ بر مصرف خوراک است. عدم وجود تفاوت معنی دار بین تیمارها با یافته‌های مطالعات قبلی (Hill et al., 2009b; Dennis et al., 2018a) مطابقت دارد. اختلافات مشاهده شده بین مطالعه حاضر و برخی گزارش‌های قبلی ممکن است به تفاوت در سن شیرگیری نسبت داده شود، زیرا مطالعات قبلی گوساله‌ها را در ۵۶ روزگی شیرگیری کردند، در حالی که در آزمایش حاضر، شیرگیری در ۸۲ روزگی انجام شد. Quigley (۲۰۰۲) کاهش معنی داری در مصرف خوراک را هنگام گنجاندن پودر تخم مرغ اسپری در ۱۰ درصد و ۲۰ درصد جیره گزارش کردند و این کاهش را به حضور عوامل ضد تغذیه‌ای، عدم تعادل مواد مغذی، یا چالش‌های سلامتی مانند اسهال نسبت دادند. اگرچه خشک کردن با فناوری اسپری دارای به‌طور کلی پروتئین‌های ضد تغذیه‌ای در تخم مرغ را دنا توره می‌کند، اما ممکن است در شرایط خاص عدم غیرفعال سازی کامل رخ دهد. در مطالعه حاضر، گنجاندن تخم مرغ آب‌پز در ۲۰ درصد ماده خشک جیره، این اثرات منفی را به‌طور کامل از بین نبرد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، گروه T5 (۲۰ درصد تخم مرغ آب‌پز) کم‌ترین مصرف خوراک را داشت و کاهشی تقریباً ۴۳ درصد نسبت به T1 نشان داد. تغییر در کیفیت جایگزین شیر تولید شده نسبت به شیر کامل و حتی جایگزین شیر تجاری در حضور ترکیبات ضد تغذیه‌ای در تخم مرغ احتمالاً به این کاهش کمک کرده است، زیرا این ترکیبات حتی پس از فرآوری حرارتی نیز ممکن است باقی بمانند.

تفاوتی در بازده مصرف خوراک بین تیمارها مشاهده نشد با این حال، یک‌روند کاهشی در آن مشهود بود. بازده مصرف خوراک در گروه‌های T3 و T4 تقریباً ۱۴ درصد و در گروه T5 حدود ۲۰ درصد کمتر از گروه‌های T1 و T2 بود. این روند با مطالعات قبلی مطابقت دارد. کاهش بازده مصرف خوراک به دلیل سطوح بالاتر تخم مرغ در جیره به عوامل مختلفی از جمله وضعیت سلامتی گوساله (Reath et al., 2016)، مصرف خوراک (Omid-Mirzaei et al., 2015; Quigley et al., 2002; Touchette et al., 2003) و حضور ترکیبات ضد تغذیه‌ای در تخم مرغ (Quigley et al., 2002; Touchette et al., 2003) نسبت داده شده است. مقادیر عددی بازده مصرف خوراک در مطالعه حاضر در محدوده گزارش شده در پژوهش‌های مشابه (Hill et al., 2018a; Dennis et al., 2003; Touchette et al., 2016) قرار دارد. در مجموع، این نتایج نشان می‌دهد که اگرچه گنجاندن تخم مرغ به‌طور آماری بازده مصرف خوراک را تغییر نداد، کاهش احتمالی در استفاده از مواد مغذی و اثرات فیزیولوژیکی ممکن است روند کاهشی مشاهده شده را توضیح دهد.

عملکرد رشد بالاتر مشاهده شده در گوساله‌هایی که شیر کامل دریافت کردند در مقایسه با تیمارهای جایگزین شیر، با یافته‌های قبلی مطابقت دارد که نشان می‌دهد تراکم مواد مغذی بالاتر و قابلیت هضم برتر پروتئین، رشد قبل از شیرگیری را افزایش می‌دهد، شیر کامل، کازئین و پروتئین‌های آب‌پنیر با قابلیت هضم بالا را فراهم می‌کند و از احتباس بهینه نیترژن و تجمع بافت پشتیبانی می‌کند (Drackley, 2008). در مقابل، جایگزین‌های شیر حاوی منابع پروتئین جایگزین ممکن است فراهمی اسید آمینه و راندمان رشد را کاهش دهند (Hill et al., 2007). عدم وجود اثرات تیمار در چهار هفته اول نشان می‌دهد که رشد اولیه بیش‌تر توسط تأمین انرژی خوراک مایع حمایت می‌شود. با این حال، اثرات تغذیه‌ای تجمعی در اواخر دوره قبل از شیرگیری آشکار می‌شوند. الگوهای مشابهی گزارش شده است که در آن‌ها سطوح بالاتر تغذیه منجر به واگرایی تدریجی در مسیرهای رشد در طول زمان می‌شود (Van Amburgh et al., 2013). با وجود

این که در شیر جایگزین تهیه شده در واحد پرورش از پودر آب پنیر و پودر شیر پس چرخ که کیفیت پروتئینی بالایی دارد به همراه ۲۰ درصد تخم مرغ پخته استفاده شده بود اما نتایج قابل قبولی از آن بر عملکرد گوساله‌ها به دست نیامد. یکی از دلایل آن ممکن است پودر چربی استفاده شده در ترکیب شیر جایگزین نسبت به چربی طبیعی موجود در شیر اثر متفاوتی بر عملکرد گوساله‌ها داشته است.

جدول ۳. اثر تیمارهای آزمایشی بر مصرف خوراک، بازده خوراک و عملکرد رشد گوساله‌ها

فراسنجه	تیمارهای آزمایشی*					SEM	P-Value	
	T _۱	T _۲	T _۳	T _۴	T _۵		تیمار	زمان
میانگین مصرف خوراک هفتگی (کیلوگرم)	۰/۷۵۱	۰/۶۸۲	۰/۶۶۵	۰/۵۹۲	۰/۴۲۴	۵۱/۵۳	۰/۱۹	۰/۰۰۱۷
کل مصرف خوراک در دوره (کیلوگرم)	۵۳/۹۰ ^a	۴۹/۰۵ ^a	۴۷/۷۰ ^a	۴۲/۴۰ ^{ab}	۳۰/۵۲ ^b	۳/۰۷	۰/۰۰۸	—
بازده مصرف خوراک ^۱	۰/۴۹	۰/۴۹	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۳۹	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۰۰۱
وزن بدن (کیلوگرم)	۳۳/۷۱	۳۷/۰۸	۴۱/۲۳	۳۹/۴۰	۳۶/۵۰	۲/۱۱	۰/۰۴	—
شروع دوره ^۲	۴۴/۸۷	۴۴/۲۲	۴۲/۶۸	۴۲/۳۲	۴۲/۲۷	۱/۴۰	۰/۲۸۴	۰/۰۰۱
هفته چهارم	۶۵/۵۸ ^a	۶۲/۳۰ ^a	۵۶/۲۸ ^a	۵۵/۳۳ ^a	۵۳/۷۱ ^a	۲/۹۰	۰/۳۲۲	۰/۰۰۱
هفته هشتم	۹۳/۵۸ ^a	۸۹/۴۹ ^a	۷۷/۹۰ ^{ab}	۷۸/۴۸ ^{ab}	۷۱/۹۵ ^b	۳/۸	۰/۰۴۱	۰/۰۰۱
نهایی پایان دوره	۵۶/۵۷ ^a	۵۲/۴۹ ^a	۴۰/۰۰ ^b	۴۱/۴۸ ^b	۳۴/۹۵ ^b	۳/۹۸	۰/۰۲۸	—
کل افزایش وزن در دوره	—	—	—	—	—	—	—	—
متوسط افزایش وزن روزانه (کیلوگرم)	۰/۲۶۰	۰/۲۳۷	۰/۱۸۲	۰/۱۶۹	۰/۱۶۷	۰/۰۲۸	۰/۰۷۲	—
شروع تا هفته چهارم	۰/۷۳۹ ^a	۰/۶۴۵ ^a	۰/۴۸۵ ^b	۰/۴۶۴ ^b	۰/۴۰۸ ^c	۰/۰۶۱	۰/۰۴۹	—
هفته چهارم تا هشتم	۱/۰۰۰ ^a	۰/۹۷۰ ^a	۰/۷۷۳ ^b	۰/۸۲۶ ^b	۰/۶۵۱ ^c	۰/۰۷۲	۰/۰۲۸	—
هفته هشتم تا دوازدهم	۰/۶۶۶ ^a	۰/۶۱۴ ^a	۰/۵۱۴ ^b	۰/۵۰۵ ^b	۰/۳۹۹ ^c	۰/۰۴۷	۰/۰۲۱	—
هفته اول تا دوازدهم	—	—	—	—	—	—	—	—

* تیمارها شامل T_۱ شیر کامل، T_۲ شیر کامل + ۱۰ درصد تخم مرغ، T_۳ جانشین شیر تجاری، T_۴ جانشین شیر تجاری + ۱۰ درصد تخم مرغ و T_۵ جانشین شیر واحد پرورش. a-c: تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ردیف معنی‌دار است (P < ۰/۰۵).

SEM = انحراف استاندارد میانگین‌ها.

۱. نسبت افزایش وزن به خوراک مصرفی.

۲. وزن اولیه به عنوان کوواریت در مدل استفاده شده است.

کمترین میانگین افزایش وزن روزانه (ADG) در گروه T_۵ مشاهده شد که کاهش تقریباً ۴۰ درصد در مقایسه با T_۱ نشان داد. این نتایج با گزارش‌های قبلی سازگار است که عواملی مانند وضعیت سلامتی گوساله (Reath et al., 2016)، مصرف خوراک (Dennis et al., 2018a) و ترکیب جیره (Omidi-Mirzaei et al., 2015; Hill et al., 2009b; Quigley et al., 2017) را به عنوان تعیین کننده‌های افزایش وزن روزانه برجسته کرده‌اند. Quigley و همکاران (۲۰۰۲) کاهش ۲۴ درصد و ۳۸ درصد در ADG را هنگام تغذیه گوساله‌ها با ۱۰ درصد و ۲۰ درصد پودر تخم مرغ اسپری درایر گزارش کردند، درحالی که Tufan (۲۰۱۶) دریافت که افزودن تخم مرغ خام به شیر یا جایگزین شیر، عملکرد را مختل نمی‌کند و حتی عملکرد ایمنی را در گوساله‌ها بهبود می‌بخشد. به طور کلی، این یافته‌ها نشان می‌دهد که افزایش محتوای تخم مرغ در جیره، به ویژه در شکل آب‌پز یا فرآوری شده، ممکن است با کاهش قابلیت هضم مواد مغذی و تغییر در اشتها، بر رشد تأثیر منفی بگذارد.

۲.۳. رشد اسکلتی

تفاوتی در فراسنجه‌های رشد اسکلتی (ارتفاع شانه، ارتفاع لگن، دور سینه و طول بدن) در طول دوره آزمایش در بین تیمارها مشاهده نشد (جدول ۴). اندازه‌گیری فراسنجه‌های اسکلتی، مانند دور سینه، ارتفاع شانه و ارتفاع لگن، به عنوان شاخص‌های

قابل اعتماد برای ارزیابی رشد و توسعه بدن در گوساله‌ها در نظر گرفته می‌شوند (Huang et al., 2015). تفاوت‌های مشاهده شده معمولاً به مصرف خوراک متراکم آغازین (Omid-Mirzaei et al., 2015; Hill et al., 2009b)، قابلیت هضم اجزای جیره و تغییرات در مصرف انرژی نسبت داده می‌شود (Orellana et al., 2020). با توجه به این که نیازهای تغذیه‌ای گوساله‌ها در این مطالعه به طور یکنواخت تأمین شد، انتظار می‌رفت اثرات تیمار بر رشد حداقل باشد. با این حال، کاهش رشد در گروه T5 ممکن است مربوط به دسترسی کمتر به پروتئین‌های جیره باشد، حتی اگر تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار نباشند (Huang et al., 2015). اگرچه تیمارها به طور معنی‌داری بر افزایش وزن بدن مؤثر بودند ولی فراسنجه‌های رشد اسکلتی تغییر نکردند. رشد خطی استخوان در گوساله‌های جوان بیش‌تر توسط مسیرهای غدد درون‌ریز، به‌ویژه هورمون رشد و فاکتور رشد شبه انسولین ۱ (IGF-1) تنظیم می‌شود. IGF-1 نقش اصلی را در تکثیر سلول‌های غضروفی و کشیدگی صفحه اپی‌فیزیال ایفا می‌کند، به شرطی که حداقل نیاز پروتئین و انرژی در جیره تأمین شود (Davis & Simmen, 1997).

تحریک ترشح IGF-1 توسط پروتئین به‌خوبی اثبات شده است با این حال، هنگامی که تأمین پروتئین جیره نیاز برای رشد ساختاری را برآورده می‌کند، مصرف مواد مغذی اضافی ترجیحاً از افزایش عضله و چربی پشتیبانی می‌کند تا تسریع رشد اسکلتی (Van Amburgh et al., 2013). این مکانیسم فیزیولوژیکی توضیح می‌دهد که چرا گوساله‌های دریافت‌کننده شیر کامل، توده بدنی بیش‌تری بدون افزایش متناظر در ارتفاع شانه یا ارتفاع لگن نشان دادند؛ بنابراین، تیمارهای مورد استفاده در مطالعه حاضر احتمالاً از حداقل حد مورد نیاز برای حفظ رشد اسکلتی وابسته به غدد درون‌ریز فراتر نرفته‌اند و منجر به توسعه چارچوب اسکلتی قابل‌مقایسه در بین گروه‌ها، با وجود تفاوت در افزایش وزن کل نشده‌اند. یافته‌های مشابهی توسط Touchette و همکاران (۲۰۰۳) گزارش شده است که مشاهده کردند افزودن ۱۰ درصد تخم مرغ به جیره باعث کاهش رشد و ابعاد بدنی گوساله شد. این پژوهش‌گران این اثر را به حضور مهارکننده‌های پروتئاز در سفیده تخم مرغ، مانند اوموکوئید که تقریباً ۱۰ درصد پروتئین سفیده تخم مرغ را تشکیل می‌دهد، نسبت دادند. چنین مهارکننده‌هایی می‌توانند فعالیت تریپسین را کاهش داده، دسترسی به پروتئین از جیره را محدود کرده و در نهایت مانع رشد شوند بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که روش فرآوری تخم مرغ مورد استفاده در مطالعه حاضر برای غیرفعال کردن کامل این ترکیبات ضد تغذیه‌ای کافی نبوده است.

جدول ۴. اثر تیمارهای آزمایشی بر رشد اسکلتی و فراسنجه‌های ابعاد بدنی گوساله‌ها

فراسنجه	تیمارهای آزمایشی*					SEM	P-Value	
	T _۱	T _۲	T _۳	T _۴	T _۵		تیمار	زمان
ارتفاع از جدوگاه (سانتی‌متر)	۸۰/۳۱	۸۰/۶۴	۸۱/۰۱	۸۱/۴۸	۷۸/۹۵	۰/۶۱	۰/۷۲	<۰/۰۰۰۱
ارتفاع هیپ (سانتی‌متر)	۸۵/۶۸	۸۶/۰۱	۸۶/۹۳	۸۵/۹۸	۸۲/۸۰	۰/۸۲	۰/۳۶	<۰/۰۰۰۱
دورسینه (سانتی‌متر)	۸۶/۰۸	۸۷/۲۳	۸۸/۳۷	۸۶/۲۸	۸۳/۴۲	۱/۱۰	۰/۴۷	<۰/۰۰۰۱
طول بدن (سانتی‌متر)	۸۰/۳۱	۸۱/۳۷	۸۰/۶۲	۷۹/۲۸	۷۷/۶۴	۱/۰۰	۰/۱۷	<۰/۰۰۰۱
عرض هیپ (سانتی‌متر)	۱۸/۶۰	۱۹/۰۸	۱۸/۹۹	۱۸/۶۴	۱۷/۸۸	۰/۲۹	۰/۴۰	<۰/۰۰۰۱

* تیمارها شامل T_۱ (شیر کامل، T_۲ شیر کامل + ۱۰ درصد تخم مرغ، T_۳ جانشین شیر تجاری، T_۴ جانشین شیر تجاری + ۱۰ درصد تخم مرغ و T_۵ جانشین شیر واحد پرورش.

a-c: تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ردیف معنی‌دار است (P<۰/۰۵).

SEM = انحراف استاندارد میانگین‌ها.

۳.۳. فراسنجه‌های خون و سلامت گوساله‌ها

غلظت بتا-هیدروکسی‌بوتیرات (BHBA)، گلوکز و پروتئین کل پلاسما در بین تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت (P>۰/۰۵). غلظت کلسترول پلاسما به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار قرار گرفت (P<۰/۰۵). تیمارهای شامل تخم مرغ آب‌پز، کلسترول

بالاتری نسبت به معادل‌های بدون تخم‌مرغ خود داشتند. T۲ کلوسترول بالاتری نسبت به T۱ داشت، درحالی‌که T۵ کلوسترول بالاتری نسبت به T۳ داشت. جدول (۵) نتایج مقایسه میانگین تیمارها برای فراسنجه‌های خونی و سلامت گوساله‌ها را ارائه می‌دهد. پایداری گلوکز پلاسما در سراسر تیمارها نشان‌دهنده تأمین کافی انرژی سیستمیک است (Drackley, 2008). یک دلیل احتمالی برای عدم تأثیر تیمار بر سطوح BHBA، محتوای یکنواخت پروتئین خام در خوراک متراکم آغازین ارائه‌شده به گوساله‌هاست. علاوه بر این، اختلالات احتمالی در متابولیسم گلوکز و چربی نیز ممکن است به این نتیجه کمک کند (Huang et al., 2015). همچنین گزارش‌شده است که مصرف خوراک متراکم آغازین به‌طور مثبت بر غلظت BHBA تأثیر می‌گذارد (Orellana et al., 2020). زیرا این متابولیت به‌عنوان شاخص رشدونمو شکمبه عمل می‌کند (Orellana et al., 2020). در مطالعه حاضر، مقادیر عددی BHBA روند افزایشی را نشان دادند. طبق پژوهش‌های قبلی، غلظت BHBA پلاسما در ۳۰ روز اول زندگی در پایین‌ترین حد خود قرار دارد و با افزایش مصرف خوراک خشک به‌تدریج افزایش می‌یابد. این افزایش به تولید BHBA در اپیتلیوم شکمبه از طریق جذب اسید بوتیریک حاصل از تخمیر میکروبی خوراک متراکم آغازین نسبت داده می‌شود که افزایش مشاهده‌شده در BHBA پلاسما را پس از ۳۰ روزگی توضیح می‌دهد (Garcia et al., 2015)؛ عدم وجود اثرات تیمار بر BHBA در مطالعه حاضر نشان می‌دهد که منبع خوراک مایع، توسعه اپیتلیوم شکمبه یا الگوهای تخمیر را در طول دوره آزمایش به‌طور قابل‌توجهی تغییر نداده است.

تیمارهایی که حاوی تخم‌مرغ بودند، کلوسترول پلاسمای بالاتری نسبت به تیمار شیر کامل و تیمار جایگزین شیر داشتند. به‌طور خاص، کلوسترول پلاسما در شیر کامل به‌علاوه ۱۰ درصد تخم‌مرغ نسبت به شیر کامل به میزان ۲۲ درصد، در جایگزین شیر تجاری به‌علاوه ۱۰ درصد تخم‌مرغ نسبت به جایگزین شیر تجاری به میزان ۶۳ درصد و در تیمار جایگزین شیر تهیه‌شده در واحد پرورش نسبت به شیر کامل به میزان ۱۵ درصد افزایش یافت. نتایج مشابهی توسط Berends و همکاران (۲۰۲۰) گزارش شده است که دریافتند افزایش کلوسترول جیره منجر به سطوح بالاتر کلوسترول پلاسما می‌شود. در مقابل، Tufan (۲۰۱۶) گزارش کردند که افزودن روزانه یک تخم‌مرغ خام به شیر یا جایگزین شیر، کلوسترول پلاسما را افزایش نداده است. زرده تخم‌مرغ، منبع اصلی چربی در تخم‌مرغ، حاوی تقریباً ۶۶ درصد تری‌گلیسرید است که از ۲۷ درصد اسید پالمیتیک، ۴۲ درصد اسید اولئیک و ۱۴ درصد اسید لینولئیک تشکیل شده است، درحالی‌که کلوسترول حدود ۵ درصد از ترکیب آن را تشکیل می‌دهد. به نظر می‌رسد نوع فرآوری تخم‌مرغ بر فراهمی زیستی چربی‌های آن تأثیرگذار باشد (Quigley et al., 2002). علاوه بر این، نشان داده‌شده است که غلظت کلوسترول پلاسما به‌صورت درجه دوم با افزایش مصرف اسیدهای چرب ضروری افزایش می‌یابد که احتمالاً نشان‌دهنده استری شدن ترجیحی کلوسترول با اسیدهای چرب غیراشباع است (Garcia et al., 2015).

جدول ۵. اثر تیمارهای آزمایشی بر فراسنجه‌های خونی و بروز اسهال در گوساله‌ها

فراسنجه	تیمارهای آزمایشی*					SEM	P-Value	
	T _۱	T _۲	T _۳	T _۴	T _۵		تیمار	زمان
بنا هیدروکسی بوتیریک اسید (میلی‌مول در لیتر)	۰/۱۳۲	۰/۱۴۷	۰/۱۰۴	۰/۱۰۱	۰/۱۳۱	۰/۰۰۸	۰/۳۱	۰/۶۲
کلوسترول (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)	۹۰/۱۹ ^b	۱۰۹/۶۴ ^{ab}	۷۸/۳۳ ^b	۱۲۷/۸۰ ^a	۱۰۳/۵۰ ^{ab}	۵/۸۴	۰/۰۴	۰/۷۸
گلوکز (میلی‌گرم در دسی‌لیتر)	۹۱/۳۵	۹۰/۸۶	۹۳/۲۱	۹۴/۱۴	۹۳/۷۷	۵/۳۲	۰/۴۵	۰/۵۸
پروتئین تام (گرم در لیتر)	۶۸/۵۴	۶۶/۲۱	۶۵/۳۰	۶۲/۶۲	۶۵/۰۸	۲/۳۶	۰/۲۱	۰/۷۵
بروز اسهال ^۱	۰/۵۷ ^b	۰/۸۰ ^b	۰/۷۱ ^b	۱/۰۰ ^b	۲/۰۰ ^a	۰/۱۷	۰/۰۴	—

* تیمارها شامل T_۱ (شیر کامل، T_۲ شیر کامل + ۱۰ درصد تخم‌مرغ، T_۳ جانشین شیر تجاری، T_۴ جانشین شیر تجاری + ۱۰ درصد تخم‌مرغ و T_۵ گانشین شیر واحد پرورش.

a-c: تفاوت میانگین‌ها با حروف نامشابه در هر ردیف معنی‌دار است (p < ۰/۰۵).

SEM: انحراف استاندارد میانگین‌ها.

۱. میانگین روزهای بروز اسهال در گوساله‌ها با نمره ۳.

تعداد متوسط روزهای اسهال (امتیاز مدفوع ≤ 3) در طول دوره قبل از شیرگیری به‌طور معنی‌داری بین تیمارها تفاوت داشت ($P < 0.05$). گوساله‌های تغذیه‌شده با جایگزین شیر تولیدشده در واحد پرورش حاوی ۲۰ درصد تخم‌مرغ آب‌پز (T۵) افزایش قابل‌توجه تقریباً ۳۵۰ درصدی روزهای اسهال بیش‌تر در مقایسه با گوساله‌های تغذیه‌شده با شیر کامل (T۱) تجربه کردند (جدول ۵). تیمارهای بدون تخم‌مرغ (T۱ و T۳) از نظر بروز اسهال تفاوت معنی‌داری نداشتند. پیامدهای سلامتی، به‌ویژه بروز اسهال، با جیره حاوی ۲۰ درصد تخم‌مرغ آب‌پز بیش‌تر بود که نشان‌دهنده چالش‌های بالقوه در سطح روده مرتبط با اجزای تخم‌مرغ است. این یافته با مقالاتی که مواد غیر لبنی را با اختلالات گوارشی در گوساله‌ها مرتبط می‌کنند، همسو است و فرضیه این که عوامل ضد تغذیه‌ای می‌توانند بر عملکرد روده و وضعیت سلامتی تأثیر بگذارند را تأیید می‌کند، هرچند که این پاسخ‌ها به‌شدت به عوامل زمینه (ترکیب جیره، فرآوری و سن حیوان) وابسته هستند (Quigley et al., 2017). مشاهده روزهای بیش‌تر بروز اسهال در گوساله‌های تغذیه‌شده با جایگزین شیر تولیدشده در واحد پرورش با شواهد قبلی مبنی بر این که فرمولاسیون یا اسمولالیت نامناسب جایگزین شیر ممکن است اختلالات گوارشی را افزایش دهد، همسو است (Hill et al., 2016). اختلالات گوارشی می‌تواند جذب مواد مغذی و مصرف اختیاری را کاهش دهد و درنهایت عملکرد رشد را حتی زمانی که غلظت متابولیت‌های سیستمی نسبتاً پایدار باقی می‌ماند، مختل کند.

بروز قابل‌توجه بیش‌تر اسهال در گوساله‌های تغذیه‌شده با جایگزین شیر تولیدشده در واحد پرورش ممکن است با اختلالات اسمزی و کاهش قابلیت هضم قابل توضیح باشد. جایگزین‌های شیر نامناسب فرموله شده ممکن است اسمولالیت بالا، منابع کربوهیدرات نامتعادل یا پروتئین‌های با قابلیت هضم پایین داشته باشند که بار اسمزی را در روده افزایش می‌دهد. اسمولالیت بالای لومن روده باعث احتباس آب در لومن روده شده و منجر به اسهال اسمزی و کاهش جذب مواد مغذی می‌شود (Lallès et al., 2004). چنین اختلالات گوارشی ممکن است عملکرد رشد را بدون لزوماً تغییر غلظت متابولیت‌های سیستمی مختل کند که با سطوح پایدار گلوکز و پروتئین کل مشاهده‌شده در این مطالعه سازگار است، بنابراین، کاهش عملکرد رشد در T۵ به احتمال زیاد منعکس‌کننده سلامت روده و استفاده از مواد مغذی مختل شده است تا شکست متابولیکی سیستمی.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تخم‌مرغ‌های غیرخوراکی پخته از نظر کاربردی می‌توانند به عنوان یک منبع مکمل در تغذیه خوراک مایع گوساله‌های شیرخوار مطرح باشند، اما اثرگذاری آن به‌طور تعیین‌کننده تابع سطح مصرف و کیفیت فرمولاسیون جیره است. نتایج حاکی از آن بود که استفاده محدود (۱۰ درصد) از تخم‌مرغ پخته، به همراه شیر کامل یا جایگزین شیر تجاری، عملکرد رشد را تضعیف نکرده و شاخص‌های رشدی اسکلتی را نیز تحت تأثیر قرار نداد، هم‌چنین اکثر متغیرهای خونی در محدوده‌های فیزیولوژیک باقی ماندند که با حفظ ثبات متابولیکی در اغلب تیمارها سازگار است. بر این اساس، استفاده از تخم‌مرغ غیرخوراکی پخته تنها در سطوح پایین و با کنترل دقیق کیفیت مواد اولیه و توازن انرژی-پروتئین قابل توصیه است و تعمیم آن به سطوح بالاتر بدون اصلاح فرمولاسیون و ارزیابی‌های تکمیلی، ریسک افت عملکرد و تشدید مشکلات گوارشی را افزایش داده و نیاز به پژوهش‌های تکمیلی دارد. پیشنهاد می‌شود با توجه به کاملاً یکسان‌بودن انرژی و پروتئین در تیمارها در این پژوهش و هم‌چنین با در نظر گرفتن جنبه اقتصادی جیره‌ها پژوهش‌های بعدی برای تعیین بهترین سطح به کارگیری ضایعات تخم‌مرغ در جایگزین‌های شیر، با جیره‌های کاملاً یکسان از نظر انرژی و پروتئین و با کیفیت تقریباً مشابه طراحی و اجرا گردد.

۵. ملاحظات اخلاقی

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

۶. مشارکت نویسندگان

امیرحسین رضاخانی: طراحی پژوهش، اجرای پژوهش، انجام آزمایش‌ها و تهیه پیش‌نویس مقاله؛
علیرضا حسینی بافرانی: مشارکت در طراحی پژوهش، مشاوره و نظارت بر انجام پژوهش و آماده‌سازی مقاله؛
علیرضا آقاشاهی: مشارکت در طراحی پژوهش، مشاوره و نظارت بر انجام پژوهش و آماده‌سازی مقاله؛
حسین منافی راثی: مشارکت در طراحی و انجام پژوهش، بازبینی، نهایی‌سازی و ارسال مقاله.

۷. تشکر و قدردانی

از جناب آقای دکتر حاجی میر رحیمی ریاست محترم مرکز آموزش عالی امام خمینی، به‌خاطر حمایت خود از اجرای این پروژه و همچنین جناب آقای دکتر امیر محمدی صدر که امکان اجرانمودن پروژه در گاوداری تحت مدیریت خود را میسر نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

وزارت جهاد کشاورزی، دفتر آمار و فناوری اطلاعات (۱۴۰۲). آمارنامه کشاورزی جلد دوم.

References

- Abreha, E., Getachew, P., Laillou, A., Chitekwe, S., & Baye, K. (2021). Physicochemical and functionality of air and spray dried egg powder: implications to improving diets. *International Journal of Food Properties* 24, 152-162. doi: 10.1080/10942912.2020.1867569
- Alig, B. N., Malheiros, R. D., & Anderson, K. E. (2023). Evaluation of physical egg quality parameters of commercial brown laying hens housed in five production systems. *Animal* (Basel) 13, 716. doi: 10.3390/ani13040716
- Al-Harhi, M.A., El-Deek, A.A., & Attia, Y.A. (2010) Utilization of dried whole eggs processed by different methods with or without growth promoting mixture on performance and lymphoid organs of broiler chicks. *International Journal of Poultry Science*, 9(6), 511-520.
- Amado, L., Berends, H., Leal, L. N., Wilms, J., Van Laar, H., Gerrits, W. J. J., & Martín-Tereso, J. (2019). Effect of energy source in calf milk replacer on performance, digestibility, and gut permeability in rearing calves. *Journal of Dairy Science*, 102(5), 3994-4001. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15577>
- Berends, H., van Laar, H., Leal, L. N., Gerrits, W. J. J., & Martín-Tereso, J. (2020). Effects of exchanging lactose for fat in milk replacer on ad libitum feed intake and growth performance in dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 103(5), 4275-4287. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17669>
- Dennis, T. S., Hill, T. M., Quigley, J. D., Suarez-Mena, F. X., & Schlotterbeck, R. L. (2017). Effects of egg yolk inclusion, milk replacer feeding rate, and low-starch (pelleted) or high-starch (texturized) starter on Holstein calf performance through 4 months of age. *Journal of Dairy Science*, 100, 8995-9006 <https://doi.org/10.2527/jam2016-1461>

- Dennis, T. S., Suarez-Mena, F. X., Hill, T. M., Quigley, J. D., Schlotterbeck, R. L., & Hulbert, L. E. (2018a). Effect of milk replacer feeding rate, age at weaning, and method of reducing milk replacer to weaning on digestion, performance, rumination, and activity in dairy calves to 4 months of age. *Journal of Dairy Science*, 101(1), 268-278. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13434>
- Drackley, J. K. (2008). Calf nutrition from birth to breeding. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 24(1), 55-86. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.10.002>
- Food and agriculture organization of the United Nations (2024). Egg facts worldwide. FAO. Retrieved from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Garcia, M., Shin, J. H., Schlaefli, A., Greco, L. F., Maunsell, F. P., Thatcher, W. W., Santos, J. E. P., & Staples, C. R. (2015). Increasing intake of essential fatty acids from milk replacer benefits performance, immune responses, and health of pre-weaned Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 458-477. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8629>
- Hill, T.M., Bateman, H.G., Aldrich, J.M., & Schlotterbeck, R.L. (2007) Effects of feeding different protein concentrations in milk replacers on growth and health of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 90(9), 4502-4513.
- Hill, T. M., Bateman, H. G. II, Aldrich, J. M., & Schlotterbeck, R. L. (2009a). Effects of fat concentration of a high-protein milk replacer on calf performance. *Journal of Dairy Science*, 92(11), 5147-5153. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2201>
- Hill, T. M., Bateman, H. G., Aldrich, J. M., & Schlotterbeck, R. L. (2009b). Effect of consistency of nutrient intake from milk and milk replacer on dairy calf performance. *The Professional Animal Scientist*, 25(1), 85-92.
- Hill, T. M., Quigley, J. D., Suarez-Mena, F. X., Bateman, H. G., & Schlotterbeck, R. L. (2016). Effect of milk replacer feeding rate and functional fatty acids on dairy calf performance and digestion of nutrients. *Journal of Dairy Science*, 99(8), 6352-6361. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10329>
- Huang, K., Tu, Y., Si, B., Xu, G., Guo, J., Guo, F., Yang, C., & Diao, Q. (2015). Effects of protein sources for milk replacers on growth performance and serum biochemical indexes of suckling calves. *Animal Nutrition*, 1(4), 349-355. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2015.11.001>
- Larson, L. L., Owen, F. G., Albright, J. L., Appleman, R. D., Lamb, R. C., & Muller, L. D. (1977). Guidelines toward more uniformity in measuring and reporting calf experimental data. *Journal of Dairy Science*, 60(6), 989-991. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(77\)83975-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(77)83975-1)
- Lee, A.R., Kim, S.H., Cho, H., Wang, Y.Q., & Kim, S.K. (2024) Supplementation effects of feed additive containing eggshell, Schisandra chinensis by-products combined with multi-probiotics strains in laying hens. *Journal of Animal Science Technology*, 67, 1285–1301.
- Ministry of Agriculture Jihad, office of statistics and information technology. (2023). Agricultural statistics yearbook, volume II. (In Persian)
- Oliveira, M., Sá, O., Abreu, C., Portela de Oliveira, D., Simões, A., Miranda de Vargas Junior, F., Omid-Mirzaei, H., Khorvash, M., Ghorbani, G. R., Moshiri, B., Mirzaei, M., Pezeshki, A., & Ghaffari, M. H. (2015). Effects of the step-up/step-down and step-down milk feeding procedures on the performance, structural growth, and blood metabolites of Holstein dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 98(11), 7975-7981. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9430>
- Omid-Mirzaei, H., Khorvash, M., Ghorbani, G. R., Moshiri, B., Mirzaei, M., Pezeshki, A., & Ghaffari, M. H. (2015). Effects of the step-up/step-down and step-down milk feeding procedures on the performance, structural growth, and blood metabolites of Holstein dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 98(11), 7975-7981.
- Orellana Rivas, R. M., Komori, G. H., Beihling, V. V., Marins, T. N., Bernard, J. K., & Tao, S. (2020). Effects of milk replacer feeding levels on performance and metabolism of pre-weaned dairy calves during summer. *Journal of Dairy Science*, 103(1), 313-324. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17327>
- Quigley, J. D. (2002). Effects of spray-dried whole egg and biotin in calf milk replacer. *Journal of Dairy Science*, 85(1), 198-203. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74066-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74066-7)
- Quigley, J. D., Hill, T. M., Deikun, L. L., & Schlotterbeck, R. L. (2017). Effects of amount of colostrum replacer, amount of milk replacer, and housing cleanliness on health, growth, and intake of Holstein calves to 8 weeks of age. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 9177-9185.
- Quigley, J. D., Deikun, L., Hill, T. M., Suarez-Mena, F. X., Dennis, T. S., & Hu, W. (2019). Effects of colostrum and milk replacer feeding rates on intake, growth, and digestibility in calves. *Journal of Dairy Science*, 102(12), 11016-11025.

- Raeth, M., Chester-Jones, H., Ziegler, D., Ziegler, B., Schimek, D., Cook, D. L., Golombeski, G., & Grove, A. V. (2016). Pre- and postweaning performance and health of dairy calves fed milk replacers with differing protein sources. *The Professional Animal Scientist*, 32(6), 833-841. <https://doi.org/10.15232/pas.2016-01528>
- Santoro, H. M., Erickson, P. S., Whitehouse, N. L., McLaughlin, A. M., Schwab, C. G., & Quigley, J. D. (2004). Evaluation of a colostrum supplement, with or without trypsin inhibitor, and an egg protein milk replacer for dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 87(6), 1739-1746. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73328-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73328-4)
- Touchette, K. J., O'Brien, M. L., & Coalson, J. A. (2003). Liquid egg as an alternative protein source in calf milk replacers. *Journal of Dairy Science*, 86(8), 2622–2628. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73857-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73857-3)
- Tufan, T. (2016). Effects of raw egg addition to milk at suckling period on growth performance, concentration of serum IgG and some blood parameters in calf. *The Veterinary Journal*, 9(1), 24-29.
- Van Amburgh, M.E., Soberon, F., Meyer, M.J., & Everett, R.W. (2013) Early life nutrition and long-term performance of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 96(Suppl.), 1-14.
- Lallès, J.P., Boudry, G., Favier, C., Le Floc'h, N., Luron, I., Montagne, L., Oswald, I.P., Pié, S., Piel, C., & Sève, B. (2004) Gut function and dysfunction in young pigs: physiology and pathophysiology of diarrhea. *Livestock Production Science*, 87(2-3), 123-132.