



The effect of feeding milk enriched with inorganic, organic and chromium nanoparticles supplements on performance, digestibility of nutrients, feeding behaviors and microbial protein synthesis of *Holstein* suckling calves under heat stress conditions

Amir Ahmadikhatir^{1✉} | Taghi Ghoorchi² | Abdolhakim Toghdory³ | Mohammad Asadi⁴

1. Corresponding Author, Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: amir.ahmadi_s01@gau.ac.ir
2. Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: Ghoorchi@gau.ac.ir
3. Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: Toghdory@gau.ac.ir
4. Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: Mohammad.asadi_s97@gau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 10 November 2024
Received in revised form
20 May 2025
Accepted 21 May 2025
Published online 27 June 2025

Keywords:

Chromium
Enriched milk
Heat Stress
Nanoparticles
Suckling calves

ABSTRACT

Objective: Climate change is a concerning issue that has negative effects on livestock. This global climate situation leads to multiple stresses in livestock, affecting their production and health. Heat stress is the most significant stressor with detrimental effects. High temperature and humidity lead to an imbalance between metabolic heat output in the animal's body and its loss to the surrounding environment, resulting in heat stress. One of the solutions to optimize production conditions and livestock health, by improving nutrient metabolism and eliminating or reducing stress conditions, is the use of chromium as a metabolic enhancer. In the condition of stress, the mobilization of glycogen reserves and the production of glucose occur to produce energy to maintain stability in the body. Chromium is one of the scarce essential minerals that plays an important role in the metabolism of carbohydrates, lipids, proteins and nucleic acids. Chromium is part of the glucose tolerance factor that increases the affinity of insulin receptors to insulin hormone and increases the sensitivity of receptors to insulin. Therefore, the aim of the present study was to investigate the effect of feeding milk enriched with inorganic, organic and chromium nanoparticles supplements on performance, digestibility of nutrients, feeding behaviors and microbial protein synthesis of *Holstein* suckling calves under heat stress conditions.

Methods: Thirty two calves with average weight 37 ± 3 kg were assigned to four experimental treatments with eight replications in a completely randomized design. The experimental treatments included: 1) control (milk without chromium supplement), 2) milk contained 3 mg of chromium in mineral form per day, 3) milk contained 3 mg of chromium in the form of chromium-methionine per day, and 4) milk contained 3 mg of chromium in the form of chromium nanoparticles per day. The duration of the experimental period was 63 days.

Results: The results showed that, in calves fed with chromium nanoparticles-enriched milk, significant improvements were observed in final weight, period weight gain, daily weight gain, total dry matter intake, starter, and reduced feed conversion ratio ($P \leq 0.05$). Different forms of chromium had a significant effect on dry matter and organic matter digestibility in suckling calves, with the highest dry matter and organic matter digestibility was related to treatments receiving chromium nanoparticles compared to the control treatment ($P \leq 0.05$). Chromium supplementation in inorganic, organic, and chromium nanoparticles forms had no effect on feeding behaviors of calves. However, the standing behavior of calves receiving different forms of chromium increased compared to the control treatment, and the lying behavior decreased ($P \leq 0.05$). The intake of different forms of chromium by calves did not cause significant differences in purine derivatives and microbial protein synthesis. However, the amount of urinary uric acid in the control treatment was the highest and the treatment receiving chromium nanoparticles showed the lowest amount ($P \leq 0.05$).

Conclusion: In general, the use of chromium, especially in the form of chromium nanoparticles, is recommended for calves under heat stress conditions.

Cite this article: Ahmadikhatir, A., Ghoorchi, T., Toghdory, A., & Asadi, M. (2025). The effect of feeding milk enriched with inorganic, organic and chromium nanoparticles supplements on performance, digestibility of nutrients, feeding behaviors and microbial protein synthesis of *Holstein* suckling calves under heat stress conditions. *Journal of Animal Production*, 27 (2), 133-146. DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2025.385179.623815>





تأثیر تغذیه شیر غنی‌شده با مکمل‌های معدنی، آلی و نانوذرات کروم بر عملکرد، گوارش‌پذیری مواد مغذی، رفتارهای تغذیه‌ای و ساخت پروتئین میکروبی گوساله‌های شیرخوار هلستاین در شرایط تنش گرمایی

امیر احمدی خطیر^۱ | تقی قورچی^۲ | عبدالحکیم توغدری^۳ | محمد اسدی^۴

۱. نویسنده مسئول، گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Amir.ahmadi_s01@gau.ac.ir
۲. گروه تغذیه دام طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Ghoorchi@gau.ac.ir
۳. گروه تغذیه دام طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Toghdory@gau.ac.ir
۴. گروه تغذیه دام طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Mohammad.asadi_s97@gau.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۳۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۶

هدف: تنش گرمایی یکی از مهم‌ترین عوامل تنش‌زا در دام‌ها به‌شمار می‌رود که تأثیرات منفی بر تولید، سلامت، رشد و بهره‌وری دام‌ها دارد. دما به‌همراه رطوبت بالا منجر به عدم تعادل بین خروجی حرارت متابولیک در بدن حیوان و اتلاف آن به محیط اطراف گشته و سبب تنش گرمایی می‌شود. یکی از راه‌کارهای بهینه‌سازی شرایط تولیدی و سلامت دام، از طریق بهبود سوخت‌وساز مواد مغذی و رفع یا کاهش شرایط تنش، استفاده از کروم به‌عنوان بهبوددهنده متابولیسم می‌باشد. کروم در سوخت‌وساز کربوهیدرات، پروتئین و چربی‌ها نقش مهمی دارد. در صورت کمبود کروم در جیره غذایی، توانایی انسولین در سوخت‌وساز مواد مغذی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. کروم باعث افزایش حساسیت سلول‌های بنای پانکراس و به‌دنبال آن افزایش ترشح انسولین می‌شود. کروم به ترانسفرین باند می‌شود و به‌کمک آن انتقال می‌یابد. گیرنده‌های ترانسفرین به انسولین نیز حساس هستند و زمانی که انسولین افزایش می‌یابد ترانسفرین به سمت غشا حرکت می‌کند و با افزایش سوخت‌وساز گلوکز سبب کاهش اثرات منفی تنش‌ها می‌شود. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر تغذیه شیر غنی‌شده با مکمل‌های معدنی، آلی و نانوذرات کروم بر عملکرد، گوارش‌پذیری مواد مغذی، رفتارهای تغذیه‌ای و ساخت پروتئین میکروبی گوساله‌های شیرخوار هلستاین در شرایط تنش گرمایی انجام بود.

روش پژوهش: تعداد ۳۲ رأس گوساله با میانگین وزنی 37 ± 3 کیلوگرم در قالب طرح کاملاً تصادفی به چهار تیمار آزمایشی با هشت تکرار اختصاص یافتند. تیمارهای آزمایشی شامل ۱- شاهد (هیچ مکمل کرومی به شیر مصرفی گوساله‌ها افزوده نشد)، ۲- افزودن سه میلی‌گرم مکمل کروم معدنی به شیر مصرفی، ۳- افزودن سه میلی‌گرم مکمل کروم به شکل کروم-متیونین به شیر مصرفی و ۴- افزودن سه میلی‌گرم مکمل کروم به شکل نانوذرات کروم به شیر مصرفی بودند. طول دوره آزمایش ۶۳ روز بود.

نتایج: نتایج این آزمایش نشان داد که در گوساله‌های تغذیه‌شده با شیر غنی‌شده با نانوذرات کروم نسبت به گوساله‌های گروه شاهد، در وزن نهایی، افزایش وزن دوره، افزایش وزن روزانه، مصرف ماده خشک کل، مصرف ماده خشک آغازین و ضریب‌تبدیل خوراک، بهبود مشاهده شد ($P \leq 0.05$). اشکال مختلف کروم بر گوارش‌پذیری ماده خشک و ماده آلی در گوساله‌های شیرخوار تأثیر معنی‌داری داشتند، به‌طوری‌که بیش‌ترین گوارش‌پذیری ماده خشک و ماده آلی مربوط به تیمارهای دریافت‌کننده نانوذرات کروم نسبت به تیمار شاهد بود ($P \leq 0.05$). مکمل کروم به فرم‌های معدنی، آلی و نانوذرات کروم تأثیری بر رفتارهای تغذیه‌ای گوساله‌ها نداشت. اما رفتار ایستادن گوساله‌ها تحت تأثیر دریافت شکل‌های مختلف کروم نسبت به تیمار شاهد افزایش و رفتار درازکشیدن کاهش یافت ($P \leq 0.05$). دریافت شکل‌های مختلف کروم توسط گوساله‌ها تفاوت معنی‌داری بر مشتقات پورینی و سنتز پروتئین میکروبی ایجاد نکرد. اما مقدار اسیداوریک ادرار در تیمار شاهد بیش‌ترین و تیمار دریافت‌کننده نانوذرات کروم کم‌ترین مقدار را نشان داد ($P \leq 0.05$).

نتیجه‌گیری: براساس نتایج حاصل، در گوساله‌های تغذیه‌شده با شیر غنی‌شده با نانوذرات کروم نسبت به گوساله‌های گروه شاهد، افزایش عملکرد مشاهده شد. استفاده از کروم به‌ویژه به شکل نانوذرات کروم در گوساله‌های تحت تأثیر تنش گرمایی توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها:

تنش گرمایی

شیر غنی‌شده

کروم

گوساله شیرخوار

نانوذرات

استناد: احمدی خطیر، امیر؛ قورچی، تقی؛ توغدری، عبدالحکیم و اسدی، محمد (۱۴۰۴). تأثیر تغذیه شیر غنی‌شده با مکمل‌های معدنی، آلی و نانوذرات کروم بر عملکرد، گوارش‌پذیری مواد مغذی، رفتارهای تغذیه‌ای و ساخت پروتئین میکروبی گوساله‌های شیرخوار هلستاین در شرایط تنش گرمایی. نشریه تولیدات دامی، ۲۷ (۲)، ۱۳۳-۱۴۶. DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2025.385179.623815>



۱. مقدمه

تغییرات آب و هوا همراه با افزایش دما و رطوبت، منجر به تنش‌های متعدد در دام‌ها به‌ویژه تنش گرمایی خواهد شد که اثرات زیان‌باری بر رشد و بهره‌وری، تولید و سلامت دام‌ها دارد (Wanjala et al., 2023). افزایش دما و رطوبت منجر به عدم تعادل بین خروجی حرارت متابولیک در بدن حیوان و اتلاف آن به محیط اطراف شده و سبب ایجاد تنش گرمایی در حیوان می‌گردد (اسدی و همکاران، ۱۳۹۷). حساسیت افزایش یافته انسولین نشان می‌دهد که گلوکز به‌طور مؤثر برای تولید گرمای کمتر در طول سوخت‌وساز، تحت شرایط تنش گرمایی استفاده می‌شود. افزایش حساسیت به انسولین از پیشرفت سلول‌ها به سمت مسیرهای برنامه‌ریزی‌شده مرگ سلولی (Apoptosis) در شرایط تنش گرمایی جلوگیری می‌کند (Asadi et al., 2024).

با توجه به این که گوساله‌های متولدشده اصلی‌ترین منبع سوددهی مزارع گاو شیری به‌شمار می‌روند، استفاده از راه کارهای تغذیه‌ای مناسب جهت رشد و سلامت بهتر آن‌ها از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. شیر مهم‌ترین منبع تأمین انرژی، پروتئین، ویتامین‌ها و مواد معدنی برای رشد گوساله‌های شیری در اوایل زندگی آن‌ها محسوب می‌شود (اسدی و همکاران، ۱۳۹۷). معمولاً شیر از نظر برخی ویتامین‌ها و مواد معدنی کمبود دارد. از جمله مواد مغذی مورد نیاز دام مواد معدنی هستند که در حفظ سلامت، رشد و ایمنی دام دارای اهمیت هستند (Toghdory et al., 2023). رویکردهای مدیریتی برای کاهش اثرات تنش گرمایی و بهبود تولید نشان می‌دهد ظرفیت تولید گله در شرایط تنش گرمایی را می‌توان با اجرای روش‌های مدیریت کارآمد، مانند تغذیه، جایگاه، مراقبت از حیوانات و پایش آب و هوا بهبود بخشید. یکی از راه کارهای بهینه‌سازی شرایط تولیدی و سلامت دام، از طریق بهبود سوخت‌وساز مواد مغذی و رفع یا کاهش شرایط تنش، استفاده از کروم به‌عنوان بهبوددهنده متابولیسم می‌باشد (Asadi et al., 2025).

کروم در سوخت‌وساز کربوهیدرات، پروتئین و چربی‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند. در صورت کمبود کروم در جیره، توانایی انسولین در سوخت‌وساز مواد مغذی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. کروم باعث افزایش حساسیت سلول‌های بتای پانکراس و به دنبال آن افزایش ترشح انسولین می‌شود. کروم به ترانسفرین متصل می‌شود و به کمک آن انتقال می‌یابد. گیرنده‌های ترانسفرین به انسولین نیز حساس هستند و زمانی که انسولین افزایش می‌یابد ترانسفرین به سمت غشا حرکت می‌کند و با افزایش سوخت‌وساز گلوکز سبب کاهش اثرات منفی تنش می‌شود (Abdelnour et al., 2019). کروم وظایف مهمی در بدن داشته و توسط ترکیب اولیگوپپتیدی زیست فعال به نام کرومودیولین یا ماده متصل به کروم با وزن مولکولی کم انتقال می‌یابد. این پروتئین به گیرنده انسولین متصل می‌شود و منجر به افزایش جذب گلوکز به داخل سلول می‌شود. همچنین، کروم بخشی از پروتئین عامل تحمل گلوکز است که می‌تواند عملکرد انسولین را تقویت کرده و گلوکز را از خون به داخل سلول‌ها به‌منظور تولید انرژی منتقل کند (اسدی و همکاران، ۱۴۰۳). در صورت کمبود کروم در جیره، توانایی انسولین در سوخت‌وساز مواد مغذی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. کروم نرخ گلیکوژنز را افزایش می‌دهد، انتقال گلوکز را تسریع نموده و سبب افزایش ساخت پروتئین می‌شود (Meyer et al., 2011).

بررسی‌ها نشان می‌دهند که افزودن کروم به جیره گاوهای شیری، موجب بهبود تولیدمثل و جلوگیری از کاهش وزن بعد از زایش (Stahlhut et al., 2006) و در تلیسه‌ها موجب افزایش رشد آن‌ها می‌شود (Spears, 2019). مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهند که مصرف کروم در خوراک گوساله‌های تحت تنش گرمایی موجب افزایش وزن آن‌ها و بهبود ضریب تبدیل در شرایط تنش از شیرگیری می‌شود (Uyanik, 2001). منابع علمی میزان کروم مورد نیاز برای گوساله‌های تازه متولدشده را سه تا پنج میلی‌گرم در روز پیشنهاد کرده‌اند (Kargar et al., 2018). کروم معدنی زیست‌فراهمی پایینی دارد (حدود ۰/۵ درصد)، درحالی که کروم آلی بیش از ۲۵ درصد جذب روده‌ای دارد (Ohh & Lee, 2005) و بنابراین

مصرف کروم معدنی به دلیل زیست‌فراهمی پایین و اثرات سمی آن، توصیه نمی‌شود. بسیاری از پژوهش‌گران معتقدند که زیست‌فراهمی منابع معدنی عناصر معمولاً کم‌تر از شکل‌های نانو و ترکیب‌های آلی است (Phan et al., 2019). به دلیل زیست‌فراهمی مناسب نسبت به اشکال دیگر کروم، احتمالاً از نانوذرات آلی برای افزایش ارزش غذایی سامانه‌های خوراکی استفاده خواهد شد (Kargar et al., 2018).

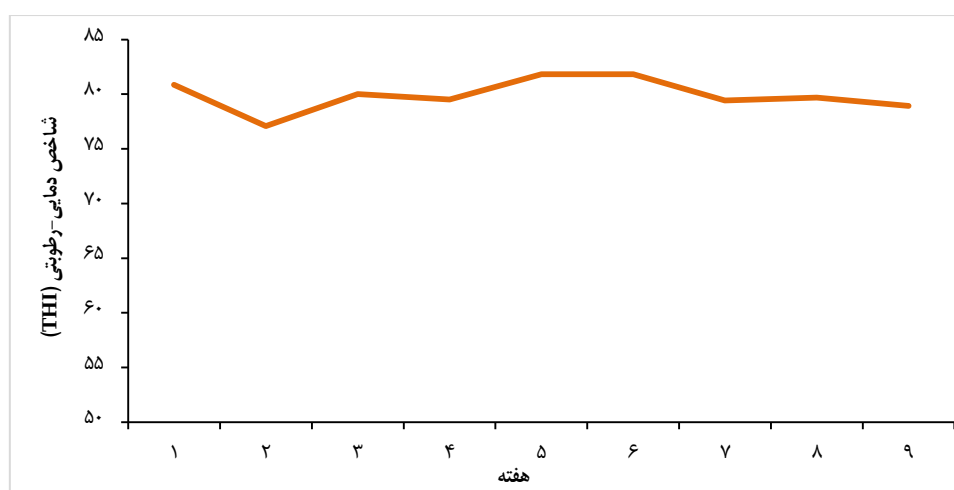
باتوجه به ارزش تغذیه‌ای کروم و اثرات مثبت آن در زمان تنش، هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر تغذیه شیر غنی‌شده با مکمل‌های معدنی، آلی و نانوذرات کروم بر عملکرد، گوارش‌پذیری مواد مغذی، رفتارهای تغذیه‌ای و ساخت پروتئین میکروبی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین در شرایط تنش گرمایی می‌باشد.

۲. روش پژوهش

۱.۲ شاخص دمایی-رطوبتی

جهت محاسبه شاخص دمایی-رطوبتی (Temperature-Humidity Index; THI) از داده‌های اداره هواشناسی شهرستان ساری استفاده شد. پژوهش حاضر بین ماه‌های تیر تا شهریور انجام شد که در شکل (۱) به تصویر کشیده شده است. داده‌های به‌دست‌آمده شامل حداکثر، حداقل و میانگین دما و درصد رطوبت نسبی روزانه بود که براساس رابطه (۱) محاسبه شد:

$$\text{THI} = ۴۶/۴ + (۱۴/۴ - \text{بیشینه دما}) \times (۱۰۰ / \text{کمینه رطوبت نسبی}) + \text{بیشینه دما} \times ۰/۸ \quad \text{رابطه (۱)}$$



شکل ۱. شاخص دمایی-رطوبتی شهرستان ساری

۲.۲ دام، جیره و طراحی آزمایش

این پژوهش در شرکت شیر و گوشت مهدشت ساری و در تابستان ۱۴۰۳ انجام شد. تعداد ۳۲ رأس گوساله (۱۶ رأس گوساله نر و ۱۶ رأس گوساله ماده) شیرخوار هلشتاین با میانگین وزن ۳۷ ± ۳ کیلوگرم، از دو روز پس از تولد در قالب طرح کاملاً تصادفی به چهار تیمار آزمایشی شامل ۱- شاهد (هیچ نوع مکمل کرومی به شیر مصرفی گوساله‌ها افزوده نشد)، ۲- افزودن سه میلی‌گرم مکمل کروم معدنی به شکل کروم کلراید (CrCl_3) به شیر مصرفی، ۳- افزودن سه میلی‌گرم مکمل کروم به شکل کروم-متیونین (DeMet Cr) به شیر مصرفی، ۴- افزودن سه میلی‌گرم مکمل کروم به شکل نانوذرات کروم ($\text{NanoCr}_2\text{O}_3$) و هشت تکرار اختصاص یافتند.

طول دوره آزمایش، ۶۳ روز (قبل از شیرگیری گوساله‌ها) بود. گوساله‌ها پس از تولد به مدت دو روز تحت مراقبت‌های ویژه بهداشتی و دریافت آغوز قرار گرفتند و از روز سوم وارد طرح آزمایشی شدند. گوساله‌ها در طول دوره آزمایش به صورت روزانه به مقدار ۱۰ درصد وزن بدن (وزن بدن در هر ۲۱ روز)، در دو نوبت هفت صبح و هفت عصر شیر دریافت کردند. هر سه شکل مصرفی کروم از شرکت توسعه مکمل زیست‌فناور آریانا، مشهد، ایران تهیه گردید. پیش از تغذیه شیر، مکمل‌های کروم مربوط به هر تیمار در شیر کاملاً حل شد و به مصرف گوساله‌ها رسید. جیره آغازین مورد استفاده و ترکیب شیمیایی جیره در جدول (۱) گزارش شده است. گوساله‌ها در طول دوره آزمایش در قفس‌های انفرادی قرار گرفته و به طور آزاد به آب و خوراک دسترسی داشتند.

جدول ۱. مواد تشکیل دهنده و ترکیب شیمیایی جیره آغازین گوساله‌های شیرخوار

اجزای جیره (درصد ماده خشک)	ترکیب شیمیایی
یونجه	۱۰/۰۰ ماده خشک (درصد)
دانه جو	۱۸/۰۰ انرژی قابل سوخت‌وساز (کیلوکالری/کیلوگرم)
دانه ذرت	۳۲/۹۰ پروتئین خام (درصد)
کنجاله سویا	۳۰/۶۰ فیبر نامحلول در شوینده خنثی (درصد)
فول فت سویا	۲/۷۰ فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (درصد)
مکمل معدنی-ویتامینه*	۲/۲۰ عصاره اتری (درصد)
جوش شیرین	۱/۳۰ خاکستر (درصد)
اکسید منیزیم	۰/۴۰ کلسیم (درصد)
کربنات کلسیم	۱/۴۰ فسفر (درصد)
توکسین بایندر	۰/۵۰ کروم (میلی گرم/کیلوگرم)

* ۱۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A، ۷۵۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D₃، ۳۰۰۰ میلی گرم آنتی اکسیدان، ۱۵۰۰۰۰ میلی گرم کلسیم، ۶۰۰۰۰ میلی گرم فسفر، ۳۰۰۰۰ میلی گرم منیزیم، ۲۰۰۰ میلی گرم منگنز، ۳۰۰۰ میلی گرم آهن، ۵۰۰ میلی گرم مس، ۲۵۰۰ میلی گرم روی، ۱۰ میلی گرم کبالت، ۲۰ میلی گرم ید.

۳.۲. ویژگی‌های عملکردی

به منظور بررسی ویژگی‌های عملکردی و بررسی تغییرات وزنی روزانه و کل، گوساله‌ها هر ۲۱ روز وزن‌کشی شدند، خوراک روزانه به صورت کاملاً مخلوط در اختیار دام‌ها قرار گرفت و باقی‌مانده خوراک برای هر دام در هر روز توزین و ثبت می‌شد. خوراک مصرفی هر دام نیز از تفاوت خوراک مصرفی و باقی‌مانده هر دام محاسبه شد. همچنین افزایش مقدار خوراک داده شده به دام‌ها براساس پس‌آخور هر دام در روز بعد مشخص می‌شد. به طوری که اگر دام در سه روز متوالی باقی‌مانده خوراک کم‌تر از ۱۰ درصد باقی می‌گذاشت، خوراک دام افزایش می‌یافت (Asadi et al., 2022). مصرف ماده خشک از رابطه (۲) به دست آمد:

$$\text{رابطه ۲)} \quad ۰/۸۸ \times \text{خوراک آغازین مصرفی} + ۰/۱۲ \times \text{مصرف شیر} = \text{مصرف ماده خشک}$$

۴.۲. ضریب تبدیل خوراک

برای تعیین ضریب تبدیل خوراک گوساله‌ها، رشد گوساله‌ها در مراحل مختلف، وزن‌کشی آن‌ها در چهار نوبت هنگام ورود به آزمایش، در سن ۲۴ روزگی، چهل و شش روزگی و نیز هنگام خروج از آزمایش یعنی در سن ۶۷ روزگی انجام شد. بازده مصرف خوراک نسبت اضافه وزن زنده به کل خوراک مصرفی (مصرف شیر، جایگزین‌شونده شیر و مصرف خوراک خشک) محاسبه شد (رابطه ۳).

$$\text{رابطه ۳)} \quad \text{ضریب تبدیل خوراک} = \frac{\text{مصرف ماده خشک}}{\text{میانگین افزایش وزن روزانه}}$$

۵.۲. گوارش‌پذیری مواد مغذی

در کل دوره آزمایش هر هفته یک بار از خوراک داده‌شده برای هر تیمار نمونه‌گیری به‌عمل آمد. باقی‌مانده خوراک دام‌های هر تیمار به‌صورت روزانه ذخیره شد و هر هفته یک‌بار نیز از آن نمونه‌گیری صورت گرفت. از نمونه‌های جمع‌آوری‌شده خوراک مصرفی در کل دوره و باقی‌مانده خوراک کل دوره برای هر تیمار یک نمونه ۱۰۰ گرمی تهیه و در ظروف سربسته نگهداری شد.

برای اندازه‌گیری گوارش‌پذیری ظاهری ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام، چربی خام و فیبر نامحلول در شوینده خنثی از روش خاکستر نامحلول در اسید (Acid insoluble ash; AIA) به‌عنوان نشانگر داخلی استفاده شد. برای این منظور در شش روز آخر آزمایش، از مدفوع موجود در رکتوم همه گوساله‌ها با استفاده از دستکش تلقیح مصنوعی نمونه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها با یکدیگر مخلوط و یک نمونه ۱۰۰ گرمی از هر کدام برای هر گوساله برداشته و در آن در دمای ۶۴ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۴۸ ساعت خشک گردید. نمونه‌ها به‌وسیله آسیاب دارای غربال یک میلی‌متری آسیاب شدند. ترکیب شیمیایی خوراک و مدفوع (ماده خشک، پروتئین خام، خاکستر و ماده آلی) موردبررسی قرار گرفت. گوارش‌پذیری ظاهری ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام و چربی‌خام طبق روش AOAC (2000) و فیبر نامحلول در شوینده خنثی با روش Van Soest (1994) اندازه‌گیری شد.

۶.۲. رفتارهای تغذیه‌ای

طی روزهای ۶۲ و ۶۳ دوره آزمایش رفتار مصرف خوراک به‌صورت ثبت فعالیت برای طول مدت ۴۸ ساعت اندازه‌گیری شد. زمان صرف‌شده برای فعالیت‌های خوردن، استراحت و نشووارکردن به فاصله هر پنج دقیقه به‌صورت چشمی و با فرض این‌که آن فعالیت در پنج دقیقه گذشته نیز ادامه داشته است برای تمام گوساله‌ها در طی ساعات شبانه‌روز ثبت شد (Webster & Saville, 1982).

۷.۲. ساخت پروتئین میکروبی

به‌منظور تعیین مشتقات پورینی ادرار، از هر تیمار پنج رأس گوساله انتخاب و وارد قفس متابولیسمی شدند. کل ادرار تولیدی ۲۴ ساعته هر حیوان در پنج روز نمونه‌گیری در ظرف‌های مخصوص زیر قفس‌های متابولیسمی، جمع‌آوری شد. نمونه‌های ادرار جمع‌آوری‌شده هر حیوان در پایان هر دوره با هم مخلوط شد و ۲۰ میلی‌لیتر از آن، در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. با استفاده از کیت اسیداوریک شرکت پارس پیوند (SL-URIC ACID FOR B.T: 613195) میزان اسیداوریک ادرار اندازه‌گیری شد. میزان گزانتین و هیپوگزانتین نیز با روش آنزیمی پس از تهیه محلول استاندارد با دستگاه جذب‌سنجی (مدل XB10، انگلیس) در طول موج ۲۹۳ نانومتر تعیین شد. غلظت آلانتوئین ادرار توسط معرف‌های فنیل هیدرازین و فری‌سیانید پتاسیم با استفاده از دستگاه جذب‌سنجی در طول موج ۵۲۲ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان دفع روزانه آلانتوئین ادراری (میلی‌مول در روز)، میزان پورین‌های جذب‌شده (میلی‌مول در روز) و دفع کل مشتقات پورینی براساس میلی‌مول در روز و تولید نیتروژن میکروبی (گرم نیتروژن در روز) با روش Chen & Gomez (1995) محاسبه شدند.

۸.۲. تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های حاصل با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) برای رابطه (۴) تجزیه و میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح معنی‌داری پنج درصد مقایسه شدند.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij} \quad \text{رابطه ۴}$$

که در این رابطه، Y_{ij} : مقدار مشاهده تیمار i ام در تکرار j ام؛ μ : اثر میانگین؛ T_i : اثر تیمار i ام؛ e_{ij} : اثر خطای آزمایشی مربوط به تیمار i ام در تکرار j ام است.

۳. یافته‌های پژوهش

نتایج مربوط به تأثیر غنی‌سازی شیر با مکمل کروم بر عملکرد گوساله‌های شیرخوار در جدول (۲) ارائه شده است. استفاده از شکل نانوذرات، سبب بهبود ضریب تبدیل خوراک شد ($P \leq 0.05$). در گوساله‌های تغذیه‌شده با شیر غنی‌شده با نانوذرات کروم نسبت به گروه شاهد، بهبود معنی‌داری در وزن پایانی، افزایش وزن دوره، مصرف ماده خشک کل، مصرف ماده خشک آغازین مشاهده شد. همچنین استفاده از شکل‌های نانوذرات، آلی و معدنی کروم در تغذیه گوساله‌ها، تأثیر معنی‌داری بر ماده خشک مصرفی شیر گوساله‌ها نداشت.

جدول ۲. تأثیر شیر غنی‌شده با مکمل‌های معدنی، آلی و نانوذرات کروم بر عملکرد گوساله‌های شیرخوار

معنی‌داری	خطای معیار میانگین‌ها	تیمارهای آزمایشی*			شاهد	عملکرد وزنی
		نانوذرات کروم	کروم - متیونین	کروم معدنی		
۰/۳۰۴۸	۱/۳۸۷	۳۷/۰۰	۳۸/۵۰	۳۶/۷۵	۳۶/۲۵	وزن ابتدایی (کیلوگرم)
۰/۰۲۴۷	۱/۸۹۹	۷۱/۳۶ ^a	۶۶/۹۰ ^{ab}	۶۴/۱۰ ^b	۶۴/۴۹ ^b	وزن پایانی (کیلوگرم)
۰/۰۰۱۱	۱/۴۷۹	۳۴/۳۶ ^a	۲۸/۴۰ ^b	۲۷/۳۵ ^b	۲۸/۲۴ ^b	افزایش وزن کل دوره (کیلوگرم)
۰/۰۰۰۱	۳۴/۲۸۸	۵۴۵/۳۹ ^a	۴۵۰/۷۹ ^b	۴۳۴/۱۳ ^b	۴۴۸/۲۵ ^b	افزایش وزن روزانه (گرم)
۰/۰۰۲۴	۲۱/۰۶۸	۷۶۳/۳۹ ^a	۷۱۶/۸۳ ^b	۷۰۹/۴۹ ^b	۷۰۲/۸۳ ^b	ماده خشک مصرفی آغازین (گرم)
۰/۷۸۲۶	۴۲/۵۶۸	۵۸۲/۰۰	۵۶۸/۸۸	۵۵۴/۷۰	۵۴۱/۴۴	ماده خشک مصرفی شیر (گرم)
۰/۰۰۰۱	۴۷/۱۱۱	۱۳۴۵/۳۹ ^a	۱۲۸۵/۷۱ ^b	۱۲۶۴/۱۹ ^b	۱۲۴۴/۲۷ ^b	مجموع ماده خشک مصرفی (گرم)
۰/۰۰۳۳	۰/۰۷۹	۲/۴۶ ^b	۲/۸۵ ^a	۲/۹۱ ^a	۲/۷۷ ^a	ضریب تبدیل غذایی

a-b: تفاوت میانگین‌ها در هر ردیف با حروف غیرمشابه معنی‌دار است ($P \leq 0.05$).

* تیمارهای آزمایشی: شاهد (هیچ نوع مکمل کرومی به شیر مصرفی گوساله‌ها افزوده نشد)، کروم معدنی: افزودن سه میلی‌گرم مکمل کروم کلراید (CrCl_3) به شیر مصرفی، کروم-متیونین: افزودن سه میلی‌گرم مکمل کروم-متیونین (DeMet Cr) به شیر مصرفی و نانوذرات کروم: افزودن سه میلی‌گرم مکمل نانوذرات کروم ($\text{NanoCr}_2\text{O}_3$) به شیر مصرفی.

نتایج مربوط به تأثیر غنی‌سازی شیر با مکمل کروم بر گوارش‌پذیری مواد مغذی گوساله‌های شیرخوار در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج بیانگر این است که شکل‌های مختلف کروم بر گوارش‌پذیری ماده خشک و ماده آلی در گوساله‌های شیرخوار تأثیر معنی‌داری داشتند ($P \leq 0.05$)، درحالی‌که بر گوارش‌پذیری پروتئین خام، چربی خام و فیبر نامحلول در شوینده خنثی تحت تأثیر شکل‌های مختلف کروم قرار نگرفت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد بیش‌ترین گوارش‌پذیری ماده خشک و ماده آلی مربوط به گوساله‌های دریافت‌کننده نانوذرات کروم می‌باشد.

جدول ۳. تأثیر شیر غنی‌شده با مکمل‌های معدنی، آلی و نانوذرات کروم بر گوارش‌پذیری مواد مغذی گوساله‌های شیرخوار

معنی‌داری	خطای معیار میانگین‌ها	تیمارهای آزمایشی*			شاهد	گوارش‌پذیری (درصد)
		نانوذرات کروم	کروم - متیونین	کروم معدنی		
۰/۰۰۰۳	۰/۹۶۶	۷۳/۱۶ ^a	۷۰/۵۳ ^{ab}	۶۸/۰۹ ^b	۶۴/۶۷ ^c	ماده خشک
۰/۰۰۰۱	۰/۶۱۹۱	۶۶/۹۸ ^a	۶۳/۴۵ ^b	۶۳/۶۳ ^b	۶۰/۳۱ ^c	ماده آلی
۰/۴۱۹۶	۱/۲۲۸	۵۲/۲۱	۵۲/۶	۵۴/۷۴	۵۴/۲۷	پروتئین خام
۰/۳۳۲۸	۰/۷۷۵۲	۷۴/۱۵	۷۳/۶۵	۷۲/۰۴	۷۴/۱۵	چربی خام
۰/۵۱۹۸	۱/۵۲	۶۵/۵۵	۶۳/۰۵	۶۲/۴۵	۶۳/۲۹	فیبر نامحلول در شوینده خنثی

a-b: تفاوت میانگین‌ها در هر ردیف با حروف غیرمشابه معنی‌دار است ($P \leq 0.05$).

* تیمارهای آزمایشی: شاهد (هیچ نوع مکمل کرومی به شیر مصرفی گوساله‌ها افزوده نشد)، کروم معدنی: افزودن سه میلی‌گرم مکمل کروم کلراید (CrCl_3) به شیر مصرفی، کروم-متیونین: افزودن سه میلی‌گرم مکمل کروم-متیونین (DeMet Cr) به شیر مصرفی و نانوذرات کروم: افزودن سه میلی‌گرم مکمل نانوذرات کروم ($\text{NanoCr}_2\text{O}_3$) به شیر مصرفی.

نتایج مربوط به تأثیر غنی‌سازی شیر با مکمل کروم بر رفتارهای تغذیه‌ای گوساله‌های شیرخوار در جدول (۴) گزارش شده است. مکمل کروم به شکل‌های معدنی، آلی و نانوذرات کروم تأثیری بر رفتارهای تغذیه‌ای شیرخوردن، خوراک‌خوردن، نشخوار، جویدن، استراحت فک، آب‌خوردن و رفتار نامتعارف (مانند پیکا، لیس‌زدن اجسام و غیره) گوساله‌ها نداشت. اما رفتار ایستادن گوساله‌ها در تیمارهای دریافت‌کننده شکل‌های مختلف کروم نسبت به تیمار افزایش یافت ($P \leq 0.05$)، همچنین رفتار درازکشیدن گوساله‌ها تحت تأثیر دریافت شکل‌های مختلف کروم نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت ($P \leq 0.05$).

جدول ۴. تأثیر شیر غنی‌شده با مکمل‌های معدنی، آلی و نانوذرات کروم بر رفتارهای تغذیه‌ای گوساله‌های شیرخوار

معنی‌داری	خطای معیار میانگین‌ها	تیمارهای آزمایشی*			رفتارهای تغذیه‌ای (دقیقه/روز)
		نانوذرات کروم	کروم - متیونین	کروم معدنی	شاهد
۰/۴۱۷۷	۲/۷۴۹	۳۵/۳۳	۳۶/۰۸	۳۵/۲۷	۳۴/۱۴
۰/۲۲۷۱	۱۴/۰۲۲	۱۵۸/۶۱	۱۵۶/۱۲	۱۵۵/۶۲	۱۶۴/۹۷
۰/۴۶۱۱	۱۸/۹۷۴	۲۲۴/۸۶	۲۰۸/۱۶	۲۳۲/۵۹	۲۱۰/۶۷
۰/۷۵۷۵	۲۱/۴۶۲	۳۸۳/۴۷	۳۶۴/۲۸	۳۸۸/۲۱	۳۷۵/۶۴
۰/۶۷۵۵	۳۳/۹۴۴	۹۵۷/۷۲	۹۷۶/۹۷	۹۵۶/۷۰	۹۶۷/۴۴
۰/۶۴۵۲	۴/۴۵۵	۲۴/۱۸	۲۱/۸۹	۲۴/۲۷	۲۲/۸۲
۰/۶۲۶۴	۲/۲۱۱	۳۴/۳۰	۳۴/۴۹	۳۵/۵۵	۳۹/۹۶
۰/۰۰۰۱	۲۴/۰۱۲	۷۸۸/۴۲ ^a	۷۸۲/۶۶ ^a	۷۶۸/۷۰ ^a	۷۱۲/۵۵ ^b
۰/۰۰۰۱	۳۵/۶۹۵	۶۵۱/۵۸ ^b	۶۵۷/۳۴ ^b	۶۷۱/۳۰ ^b	۷۳۷/۴۵ ^a

a-b: تفاوت میانگین‌ها در هر ردیف با حروف غیرمشابه معنی‌دار است ($P \leq 0.05$).

* تیمارهای آزمایشی: شاهد (هیچ نوع مکمل کروی به شیر مصرفی گوساله‌ها افزوده نشد)، کروم معدنی: افزودن سه میلی گرم مکمل کروم کلراید (CrCl_3) به شیر مصرفی، کروم - متیونین: افزودن سه میلی گرم مکمل کروم - متیونین (DeMet Cr) به شیر مصرفی و نانوذرات کروم: افزودن سه میلی گرم مکمل نانوذرات کروم ($\text{NanoCr}_2\text{O}_3$) به شیر مصرفی.

نتایج مربوط به تأثیر غنی‌سازی شیر با مکمل کروم بر ساخت پروتئین میکروبی گوساله‌های شیرخوار در جدول (۵) ارائه شده است. دریافت شکل‌های مختلف کروم توسط گوساله‌ها تفاوت معنی‌داری بر میزان آلانتوئین، مجموع هیپوگزانتین و گزانتین، مشتقات پورینی دفع‌شده، مشتقات پورینی جذب‌شده، نیتروژن میکروبی و پروتئین میکروبی نداشت. اما مقدار اسیداوریک ادرار گوساله‌ها تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت، به‌طوری که تیمار شاهد بیش‌ترین و تیمار دریافت‌کننده نانوذرات کروم کم‌ترین مقدار را نشان دادند ($P \leq 0.05$).

جدول ۵. تأثیر شیر غنی‌شده با مکمل‌های معدنی، آلی و نانوذرات کروم بر ساخت پروتئین میکروبی گوساله‌های شیرخوار

معنی‌داری	خطای معیار میانگین‌ها	تیمارهای آزمایشی			فراسنجه
		نانوذرات کروم	کروم - متیونین	کروم معدنی	شاهد
۰/۹۵۸۹	۰/۱۵۹	۶/۳۵	۶/۳۰	۶/۳۶	۶/۴۲
۰/۰۴۴۸	۰/۱۰۶	۱/۳۱ ^b	۱/۴۳ ^{ab}	۱/۴۳ ^{ab}	۱/۷۸ ^a
۰/۶۹۳۵	۰/۰۷۸	۱/۲۶	۱/۷۷	۱/۲۹	۱/۲۹
۰/۳۹۱۹	۰/۲۴۸	۹/۰۴	۸/۷۹	۹/۰۹	۹/۵
۰/۸۴۹	۰/۳۳۳	۱۰/۹۳	۱۰/۵۳	۱۰/۶۱	۱۰/۷۲
۰/۴۵۳۳	۰/۹۹۶	۱۴/۰۸	۱۴/۳	۱۲/۷۴	۱۵/۰۶
۰/۴۵۳۴	۶/۲۱۴	۸۷/۸۸	۸۹/۲۳	۷۹/۵۳	۹۳/۹۷

a-b: تفاوت میانگین‌ها در هر ردیف با حروف غیرمشابه معنی‌دار است ($P \leq 0.05$).

* تیمارهای آزمایشی: شاهد (هیچ نوع مکمل کروی به شیر مصرفی گوساله‌ها افزوده نشد)، کروم معدنی: افزودن سه میلی گرم مکمل کروم کلراید (CrCl_3) به شیر مصرفی، کروم - متیونین: افزودن سه میلی گرم مکمل کروم - متیونین (DeMet Cr) به شیر مصرفی و نانوذرات کروم: افزودن سه میلی گرم مکمل نانوذرات کروم ($\text{NanoCr}_2\text{O}_3$) به شیر مصرفی.

۴. بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از کروم به شکل نانوذرات کروم سبب بهبود عملکرد گوساله‌ها می‌شود و بیش‌ترین وزن نهایی متعلق به گروه دریافت‌کننده نانوذرات کروم و پس از آن گوساله‌های دریافت‌کننده کروم متیونین بود. همچنین نانوذرات کروم سبب بهبود ضریب تبدیل غذایی شدند. همسو با پژوهش حاضر، استفاده از ۰/۴ میلی گرم مکمل کروم متیونین در گوساله‌های پرواری سبب بهبود استفاده از مواد مغذی و افزایش وزن روزانه نسبت به تیمار شاهد شد (Ohh & Lee, 2005). اما در پژوهشی مشابه، وزن پایانی، افزایش وزن روزانه، میانگین مصرف خوراک روزانه و ضریب تبدیل خوراک گوساله‌های دریافت‌کننده فرم معدنی تغییر معنی‌داری نسبت به گروه شاهد نداشت (مودنی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۲). در مطالعه دیگر بر روی بره‌ها، تغذیه سطوح صفر و ۰/۵ میلی گرم مکمل کروم تأثیری بر مصرف خوراک نداشت (Dallago et al., 2011).

در همین راستا، Yari et al. (2018) گزارش کردند که گوساله‌های نر هلشتاین تغذیه‌شده با مکمل آلی و معدنی نسبت به گروه شاهد ماده خشک مصرفی، افزایش وزن و میانگین افزایش روزانه بالاتر و ضریب تبدیل غذایی بهتری داشتند. همچنین در مطالعه‌ای دیگر، بره‌های تغذیه‌شده با مقدار سه میلی گرم مکمل کروم در هر کیلوگرم ماده خشک خوراک به لحاظ عددی وزن نهایی بیش‌تری در مقایسه با گروه شاهد و بره‌های دریافت‌کننده ۱/۵ میلی گرم کروم داشتند (سیفعلی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۸). در مطالعه‌ای که بر روی بزها با جیره حاوی مکمل کروم انجام گرفت، مصرف کروم سبب افزایش وزن روزانه و مصرف خوراک به‌صورت معنی‌دار شد (Abdelnour et al., 2019). مکمل آلی کروم باعث افزایش وزن و بهبود بازده غذایی در گوساله‌های تحت تنش حمل و نقل شده و همچنین افزایش تولید شیر، ماده خشک مصرفی و وزن متابولیکی در گاوهای تحت تنش زایمان با استفاده از مکمل کروم مشاهده شده است (Hayirli et al., 2001). مکمل معدنی کروم در بز ضریب تبدیل و افزایش وزن را بهبود داده است (Halder et al., 2006).

نتایج متفاوت در رابطه با اثر تغذیه‌ای مکمل‌های کروم بر مصرف خوراک و عملکرد رشد در پژوهش‌های مختلف می‌تواند ناشی از شکل و نوع مکمل، مقدار و زیست‌فراهمی آن باشد. تأثیر مثبت مکمل کروم بر تغییرات وزنی گوساله‌ها می‌تواند به‌علت اثرکروم در سوخت‌وساز کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها باشد. کروم موجب تقویت عمل انسولین از طریق بهبود اتصال آن به گیرنده سلولی‌اش می‌شود که این عمل سبب افزایش ساخت پروتئین‌ها، بهبود بازده انتقال اسیدهای آمینه، کاهش نرخ تجزیه پروتئین‌ها و افزایش استفاده از چربی‌ها و کربوهیدرات‌ها می‌شود. در نتیجه انرژی آزادشده می‌تواند علت تأثیر مثبت کروم بر تغییرات وزنی گوساله‌ها باشد (اسدی و همکاران، ۱۴۰۳).

در پژوهش حاضر، استفاده از مکمل کروم سبب بهبود گوارش‌پذیری ماده خشک و ماده آلی گوساله‌های شیرخوار شد. گوارش‌پذیری مواد مغذی در دام بر رشد، تولید و بهره‌وری دام تأثیرگذار است (اسدی و همکاران، ۱۴۰۳). پژوهش‌گران نشان دادند استفاده از سطوح صفر تا ۱/۵ میلی گرم مکمل کروم سبب بهبود گوارش‌پذیری ظاهری ماده خشک و ماده آلی در بز شد (Halder et al., 2009). نتایج پژوهش Mohanty et al. (2022) نشان داد استفاده از مکمل کروم بر گوارش‌پذیری فیبر نامحلول در شوینده خنثی و پروتئین خام خوراک قوچ‌ها تأثیر معنی‌داری ندارد. در پژوهش Kraidees et al. (2009) استفاده از سطوح صفر، ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ میلی گرم مکمل کروم در کیلوگرم خوراک بر گوارش‌پذیری مواد مغذی خوراک اثر معنی‌داری نداشت. همچنین استفاده از مکمل کروم در تغذیه گاو میش‌ها، بر گوارش‌پذیری مواد مغذی آن‌ها اثر معنی‌داری نداشت (Kumar et al., 2013).

همچنین گزارش شد که مصرف مکمل کروم تأثیری بر قابلیت هضم ماده آلی و چربی خام در بره‌های پرواری (سیفعلی‌نسب و همکاران، ۲۰۱۹) و گاوهای هلشتاین در دوره قبل و بعد زایش (افتخاری و همکاران، ۱۳۹۳) نداشت.

دلیل اثرات متفاوت کروم بر گوارش‌پذیری مواد مغذی را می‌توان به نوع و مقدار مکمل کروم، ترکیب جیره و مرحله تولیدی حیوان مرتبط دانست (Dallago et al., 2011). اگرچه هنوز سازوکار دقیق اثرات بهبوددهنده گوارش‌پذیری احتمالی کروم مشخص نشده است. با این حال، ممکن است مکمل کروم سبب تغییر در جمعیت باکتریایی شکمبه شود، به نحوی که فعالیت برخی گونه‌های باکتریایی به‌ویژه باکتری‌های هضم‌کننده فیبر را افزایش دهد و یا تأثیر کروم بر جمعیت پروتوزوایی شکمبه بتواند بر گوارش‌پذیری خوراک اثر بگذارد (Dallago et al., 2011).

شواهد کمی در مورد تأثیر مکمل‌های کروم جیره بر رفتار تغذیه‌ای گوساله‌ها وجود دارد. مطالعات نشان داد گوساله‌های تغذیه‌شده با جیره کروم-متیونین در مقایسه با گوساله‌های تغذیه‌شده با جیره شاهد، زمان استراحت کم‌تر و زمان ایستادن بیش‌تری داشتند که با نتایج حاضر همسو بود (Yari et al., 2018). پژوهشی دیگر نشان می‌دهد در طول دوره پیش و پس از شیرگیری گوساله‌های هلستاین، زمان صرف‌شده برای خوردن و نشخوار کردن تحت تأثیر تیمار کروم قرار نگرفت. در پژوهشی آمده است که سن بر مدت زمانی که گوساله‌ها دراز می‌کشند تأثیرگذار است (McFarlane et al., 1988). بین هفته دو و ۱۶، زمان درازکشیدن از ۶۹/۵ به ۷۶/۶ درصد کل زمان افزایش یافت، که به‌طور قابل‌توجهی بیش‌تر از چیزی است که توسط سایر پژوهش‌گران گزارش شده است (Van Putten & Elshof, 1982). اما همسو با نتایج پژوهش حاضر، Winters et al. (1984) گزارش کردند که تیمارهای حاوی مکمل کروم بر درصد کل زمان درازکشیدن گوساله‌ها تأثیری نداشتند.

در طول دوره پس از شیرگیری، زمان نشخوار بی‌تأثیر بود اما زمان کل غذا خوردن در گوساله‌های دریافت‌کننده کروم افزایش یافت. زمان صرف‌شده برای استراحت، خوردن و ایستادن و رفتارهای خوراکی غیر مغذی تحت تأثیر تیمارها در دوره‌های قبل و بعد از شیرگیری قرار نگرفت (Kargar et al., 2018). درجه حرارت محیط نیز ممکن است فعالیت نشخوار را کاهش داده باشد. در گرما، سرعت هضم مواد مغذی در دستگاه‌گوارش حیوانات کندتر است و منعکس‌کننده کاهش تحرک شکمبه و در نتیجه کاهش مصرف خوراک بود (Wanjala et al., 2023).

استفاده از مکمل کروم به شکل نانوذرات سبب کاهش اسیداوریک ادرار گوساله‌های شیرخوار شد. مقدار دفع کل مشتقات پورینی ادرار و هم‌چنین آلانتوئین ادراری با افزایش ماده آلی مصرفی قابل‌هضم افزایش می‌یابد، اما اسیداوریک و گزانتین به‌علاوه هیپوگزانتین تحت تأثیر تغییرات مصرف ماده آلی قرار نمی‌گیرند (Guerouali et al., 2004). این در حالی است که در پژوهش حاضر کاهش اسیداوریک ادرار در تیمار دریافت‌کننده نانوذرات کروم که بیش‌ترین گوارش‌پذیری ماده آلی را داشت، شاهد بودیم. دلایلی مبنی بر افزایش دفع مشتقات پورینی ادراری به موازات افزایش مقدار مصرف ماده آلی قابل‌هضم ارائه شده است، از جمله این که دفع آلانتوئین در ادرار دام با افزایش سطح مصرف پروتئین افزایش می‌یابد، یا افزایش دفع آلانتوئین در ادرار می‌تواند ناشی از افزایش دامنه رشد میکروبی در اثر تأمین پروتئین اضافی در شکمبه باشد. از طرفی، پژوهش‌گران افزایش دفع آلانتوئین را به مصرف پروتئین جیره در گاو نسبت داده‌اند (Elliott et al., 1963). سایرین نیز نشان دادند که دفع آلانتوئین در ادرار با غلظت اسید نوکلئیک در شکمبه گوسفندان تغذیه شده با سطوح مختلف انرژی قابل تخمیر همبستگی دارد (Topps et al., 1965).

علاوه بر این، یک ارتباط خطی بین دفع آلانتوئین و سطح مصرف غذا (نیتروژن یا ماده خشک)، یا جریان اسیدهای نوکلئیک به دوازدهه وجود دارد (Travan et al., 2009). در پژوهشی گزارش شد که کروم بر نیتروژن میکروبی شکمبه گاوهای شیری تأثیری ندارد (Ibrahim et al., 2017). هم‌چنین Chen et al. (1995) گزارش کردند که نیتروژن میکروبی واردشده به دوازدهه بین ۱/۸ تا ۱۵/۲ گرم در روز متغیر است که با یافته‌های حاصل از این پژوهش مطابقت دارد. این پژوهش‌گران گزارش کردند میزان نیتروژن میکروبی به‌ازای کیلوگرم ماده آلی هضم‌شده در شکمبه بین ۱۲ تا ۲۸/۳ گرم

در روز می‌باشد که با نتایج این پژوهش تقریباً مشابه است. نیتروژن آمونیاکی برای فعالیت برخی باکتری‌های شکمبه به‌ویژه باکتری‌های تجزیه‌کننده فیبر ضروری می‌باشد، اما افزایش غلظت آن در شکمبه نشان‌دهنده عدم وجود شرایط مساعد به لحاظ فراهمی همزمان ماده آلی قابل‌هضم و نیتروژن جهت ساخت پروتئین میکروبی است (Travan et al., 2009)، با این حال در پژوهش حاضر نیتروژن آمونیاکی در دامنه قابل‌قبولی قرار گرفته است.

۵. نتیجه‌گیری

براساس نتایج حاصل، استفاده از کروم به‌ویژه به شکل نانوذرات کروم در گوساله‌های تحت تأثیر تنش گرمایی سبب بهبود عملکرد و سلامت دام می‌شود. بنابراین استفاده از آن در گوساله‌های شیری در شرایط تنش گرمایی توصیه می‌گردد.

۶. ملاحظات اخلاقی

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

۷. مشارکت نویسندگان

امیر احمدی خطیر: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله؛

تقی قورچی: طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله؛
عبدالحکیم توغدری: مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله؛

محمد اسدی: مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. حمایت مالی

حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شده است.

۱۰. تشکر و قدردانی

از گروه علوم دامی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به‌خاطر فراهم‌نمودن امکانات آزمایشگاهی و شرکت شیر و گوشت مهدشت ساری به‌واسطه در اختیار گذاشتن امکانات مزرعه‌ای پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۱۱. منابع

اسدی، محمد؛ توغدری، عبدالحکیم و قورچی، تقی (۱۳۹۷). تأثیر سلنیوم و ویتامین E خوراکی و تزریقی بر عملکرد، فراسنجه‌های خونی و قابلیت‌هضم مواد مغذی در بره‌های شیرخوار نژاد دالاق. *پژوهش‌های تولیدات دامی*، ۹(۲۰)، ۸۷-۷۹.

<http://dx.doi.org/10.29252/rap.9.20.79>

- اسدی، محمد؛ قورچی، تقی و توغدوری، عبدالحکیم (۱۴۰۳). تأثیر استفاده از اشکال مختلف کروم بر پارامترهای خونی و وضعیت آنتی اکسیدانی میش افشار در دوره انتقال و بره‌های آن‌ها تحت تأثیر تنش گرمایی. *مجله علوم دامی ایران*، ۵۵ (۳)، ۵۶۳-۵۴۷.
<https://doi.org/10.22059/ijas.2024.364592.653965>
- افتخاری، مهدی؛ زالی، ابوالفضل؛ بنادکی دهقان، مهدی و گنج خانلو، مهدی (۱۳۹۳). تأثیر متیونین کروم و منبع انرژی بر تولید و قابلیت هضم مواد مغذی گاوهای هلستاین در قبل و بعد از زایمان. *مجله علوم دامی ایران*، ۲، ۴۵.
<https://doi.org/10.22059/ijas.2014.51813>.
- سیفعلی نسب، اسما؛ موسایی، امیر؛ ستایی مختاری، مرتضی و دوماری، حسین (۱۳۹۸). تأثیر مکمل آلی کروم بر عملکرد رشد، قابلیت هضم مواد مغذی، برخی فراسنجه‌های تخمیری شکمبه و متابولیت‌های خون در بره‌های پرواری. *پژوهش‌های تولیدات دامی*، ۱۰ (۲۳): ۶۵-۷۴.
<https://sid.ir/paper/390931/fa.۷۴-۶۵>
- مودنی‌زاده، محمدحسین؛ توحیدی، آرمین؛ ژندی، مهدی و رضا یزدی، کامران. (۱۴۰۲). تأثیر مکمل‌سازی برخی عناصر کم‌نیاز بر عملکرد رشد، فراسنجه‌های بیوشیمیایی، آنزیمی، آنتی-اکسیدانی، هورمونی و خون‌شناسی گوساله‌های شیرخوار هلستاین. *نشریه پژوهش در نشخوارکنندگان*، ۱۱ (۱)، ۷۵-۹۲.
<https://doi.org/10.22069/ejrr.2022.20590.1863>

References

- Abdelnour, S. A., Abd El-Hack, M.E., Khafaga, A. F., Arif, M., Taha, A.E., & Noreldin, A.E. (2019). Stress biomarkers and proteomics alteration to thermal stress in ruminants: A review. *Journal of thermal biology*, 79, 120-134. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.12.013>
- AOAC. (2000). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist, 17th edition, Arlington, USA. <https://doi.org/10.4236/ce.2020.118106>.
- Asadi, M., Ghoorchi, T., & Toghdory, A. (2025). Effect of dietary supplementation with different forms of chromium on feed intake, milk production and composition, blood parameters of Afshari ewes in transition period under the influence of heat stress. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 76(1), 8575-8588. <https://doi.org/10.12681/jhvms.35461>
- Asadi, M., Hatami, M., & Fard, H.M. (2024). The injection of maternal B complex vitamin during the transition period: The impact on performance, thyroid hormones levels and immunological parameters in the Sannen goats and their kids, as well as the faeces status of newborn kids, *Veterinary Medicine and Science*, 10(5), e1561. <https://doi.org/10.1002/vms3.1561>
- Asadi, M., Ghoorchi, T., & Toghdory, A. (2024). The effect of using different forms of chromium on hematological parameters and antioxidant status of Afshar ewes in the transition period and their lambs under the influence of heat stress. *Iranian Journal of Animal Science*, 55 (3), 547-563. <https://doi.org/10.22059/ijas.2024.364592.653965>. (In Persian).
- Asadi, M., Ghoorchi, T., & Toghdory, A. (2024). The effect of different forms of chromium on weight changes and glucose and insulin tolerance test of Afshari ewes during the transition period under the influence of heat stress. *Journal of Animal Production*, 26(1), 33-44. <https://doi.org/10.22059/jap.2024.365589.623760>. (In Persian).
- Asadi, M., Toghdory, A., Hatami, M., & Ghassemi Nejad, J. (2022). Milk Supplemented with Organic Iron Improves Performance, Blood Hematology, Iron Metabolism Parameters, Biochemical and Immunological Parameters in Suckling Dalagh Lambs. *Animals*, 12, 510. <https://doi.org/10.3390/ani12040510>.
- Chen, X. B., & Gomes, M. J. (1995). Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives- An overview of the technical details. Occasional publication 1992. International feed resources unit, Rowett Research Institute, Aberdeen, UK. <https://www.researchgate.net/publication/265323654>
- Dallago, B. S. L., McManus, C. M., Caldeira, D. F., Lopes, A. C., Paim, T. D. P., Franco, E., & Louvandini, H. (2011). Performance and ruminal protozoa in lambs with chromium supplementation. *Research in Veterinary Science*, 90(2), 253-256. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2010.06.015>
- Eftekhari, M., Zali, A., Banadaki, M. D., & Ganjkanlou, M. (2014). Effect of chromium methionine and energy source on production and nutrient digestibility of Holstein cows in prepartum and postpartum. *Iranian Journal of Animal Science*, 45, 2. <https://doi.org/10.22059/ijas.2014.51813>. (In Persian).

- Elliott, R. C., & Topps, J. H. (1963). Nitrogen metabolism of African cattle fed diets with an adequate energy, low protein content. *Nature*, 197, 668-670.
- Guerouali, A., Gass, Y., El. Balcells, J., Belenguer, A., & Nolan, J. (2004). Urinary excretion of purine derivatives as an index of microbial protein synthesis in the camel (*Camelus dromedarius*). *British Journal of Nutrition*, 92, 225-232. <https://doi.org/10.1079/bjn20041208>.
- Halder, S., Mondal, S., Samanta, S., & Ghosh, T. K. (2009). Performance traits and metabolic responses in goats (*Capra hircus*) supplemented with inorganic trivalent chromium. *Journal of Biological Trace Element Research*, 131, 110-123. <https://doi.org/10.1007/s12011-009-8356-3>.
- Ibrahim, W. M., Oda, S. S., & Khafaga, A. F. (2017). Pathological evaluation of the effect of zinc oxide nanoparticles on chromium-induced reproductive toxicity in male albino rats. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*, 53(2), 24-32. <https://doi.org/10.5455/ajvs.251315>
- Kargar, S., Mousavi, F., & Karimi-Dehkordi, S. (2018). Effects of chromium supplementation on weight gain, feeding behaviour, health and metabolic criteria of environmentally heat-loaded Holstein dairy calves from birth to weaning. *Archives of Animal Nutrition*, 72(6), 443-457. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2018.1510157>. (In Persian).
- Kraidees, M. S., Al-Haidary, I. A., Mufarrej, S. I., Al-Saiady, M. Y., Metwally, H. M., & Hussein, M. F. (2009). Effect of supplemental chromium levels on performance, digestibility and carcass characteristics of transport-stressed lambs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(8), 1124-1132. <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.80385>
- Kumar, M., Kaur, H., Tyagi, A., Mani, V., Deka, R. S., Chandra, G., & Sharma, V. K. (2013). Assessment of chromium content of feedstuffs, their estimated requirement, and effects of dietary chromium supplementation on nutrient utilization, growth performance, and mineral balance in summer-exposed buffalo calves (*Bubalus bubalis*). *Biological Trace Element Research*, 155, 29-37. <https://doi.org/10.1007/s12011-013-9728-2>
- McFarlane, J. M., Morris, G. L., Curtis, S. E., Simon, J., & McGlone, J. J. (1988). Some indicators of welfare of crated veal calves on three dietary iron regimens. *Journal of animal science*, 66(2), 317-325. <https://doi.org/10.2527/jas1988.662317x>
- Meyer, A. M., Reed, J. J., Neville, T. L., Thorson, J. F., Maddock-Carlin, K. R., Taylor, J. B., & Caton, J. S. (2011). Nutritional plane and selenium supply during gestation affect yield and nutrient composition of colostrum and milk in primiparous ewes. *Journal of animal science*, 89(5), 1627-1639. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3394>
- Moazeni zadeh, M. H., Towhidi, A., Zhandi, M., & Rezayazdi, K. (2023). Effects of supplementation of some trace minerals on growth performance, biochemical, enzymatic, antioxidant, hormonal and hematological parameters in Holstein suckling calves. *Journal of Ruminant Research*, 11(1), 75-92. <https://doi.org/10.22069/ejrr.2022.20590.1863>. (In Persian).
- Mohanty, P. P., Venkateswarlu, M., Nagalakshmi, D., Panigrahi, S., & Chandra, A. S. (2022). Dietary Supplementation of Chromium and Yeast in Deccani Sheep: Effect on Nutrient Digestibility, Nitrogen Balance and Plane of Nutrition. *Journal of Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2251355/v1>.
- Ohh, S. J., & Lee, J. Y. (2005). Dietary chromium-methionine chelate supplementation and animal performance. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 18(6), 898-907. <https://doi.org/10.5713/ajas.2005.898>
- Phan, T. T. V., Huynh, T. C., Manivasagan, P., Mondal, S., & Oh, J. (2019). An up-to-date review on biomedical applications of palladium nanoparticles. *Nanomaterials*, 10(1), 66. <https://doi.org/10.3390/nano10010066>.
- Seifalinasab, A., Mousaie, A., Sattaei Mokhtari, M., & Doumari, H. (2019). The Effect of Organic Chromium Supplement on Growth Performance, Nutrients Digestibility and Some Ruminant Fermentation parameters and Blood Metabolites in Fattening Lambs. *Research on Animal Production*, 10(23), 65-74. <https://doi.org/10.29252/rap.10.23.65> (In Persian).
- Spears, J.W. (2019). Boron, chromium, manganese, and nickel in agricultural animal production. *Biological Trace Element Research*, 188(1), 35-44. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1529-1>.
- Stahlhut, H. S., Whisnant, C. S., Lloyd, K. E., Baird, E. J., Legleiter, L. R., Hansen, S. L., & Spears, J. W. (2006). Effect of chromium supplementation and copper status on glucose and lipid metabolism in Angus and Simmental beef cows. *Animal Feed Science and Technology*, 128(3-4), 253-265. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.11.002>

- Toghdory, A., Asadi, M., Ghoorchi, T., & Hatami, M. (2023). Impacts of organic manganese supplementation on blood mineral, biochemical, and hematology in Afshari Ewes and their newborn lambs in the transition period. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 79, 127215. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2023.127215>.
- Topps, J. H., & Elliott, R. C. (1965). Relationships between concentrations of ruminal nucleic acid and excretion of purine derivative by sheep. *Nature*, 205, 498-499. <https://doi.org/10.1038/205498b0>
- Travan, A., Pelillo, C., Donati, I., Marsich, E., Benincasa, M., Scarpa, T., Semeraro, S., Turco, G., Gennaro, R., & Paoletti, S. (2009). Non-cytotoxic silver nanoparticle-polysaccharide nanocomposites with antimicrobial activity. *Biomacromolecules*, 10, 1429-1435. <https://doi.org/10.1021/bm900039x>
- Uyanik, F. (2001). The effects of dietary chromium supplementation on some blood parameters in sheep. *Biological Trace Element Research*, 84, 93-101. <https://doi.org/10.1385/BTER:84:1-3:093>
- Van Putten, G., & Elshof, W. Y. (1982). The lying behaviour of veal calves up to 220 kg. In *Welfare and Husbandry of Calves* (pp. 83-97). Martinus Nijhoff the Hague, Boston, London.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminants*. Cornell University Press, Ithaca, New York. <https://doi.org/10.4236/oalib.1101655>
- Wanjala, G., Astuti, P.K., Bagi, Z., Kichamu, A., Strausz, P., & Kusza, S. (2023). A review on the potential effects of environmental and economic factors on sheep genetic diversity: Consequences of climate change. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 30, 03505. <https://doi: 10.1016/j.sjbs.2022.103505>.
- Winters, T. A., Allrich, R. D., Albright, J. L., Walker, S. C., & Sandhage, M. E. (1984). Behavior and cortisol measurement in veal calves reared under commercial conditions. *Journal of animal science*, 59(Suppl. 1), 148.
- Yari, M., Baharifar, M., Alizadeh Masuleh, A., & Mousaie, A (2018). Growth performance, feeding behavior and physiological responses of young growing Holstein male calves to dietary chromium-methionine (Cr-Met) supplementation related to body weight and age. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 8(3), 415-422.