



Research Article

Vol. 17, No.3, 2025, p. 273-285

The Effect of Chelated and Inorganic Trace Mineral Supplements on Performance, Blood Parameters, and Skeletal Growth Indices in Holstein Suckling Calves

Ghasem Khadem¹, Taghi Ghoorchi^{1*}, Abdolhakim Toghdory,¹ Katayoun Mehrani¹, Kamel Amozadeh Araee¹

1- Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran

*Corresponding Author's Email: ghoorchi@gau.ac.ir

How to cite this article:

Received: 18-05-2025
Revised: 01-07-2025
Accepted: 08-07-2025
Available Online: 05-10-2025

Khadem, G., Ghoorchi, T., Toghdory, A., Mehrani, K., & Amozadeh Araee, K. (2025). The effect of chelated and inorganic trace mineral supplements on performance, blood parameters, and skeletal growth indices in Holstein suckling calves. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 17(3), 273-285. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.93574.1248>

Introduction: The first three months of a calf's life play a crucial role in determining its future health and productivity. During this critical period, the physiological state of the animal includes the ability to absorb large molecules, especially immunoglobulins, from the intestine, as well as a high susceptibility to gastrointestinal infections and diarrhea. Moreover, the economic success of industrial dairy farms depends to a significant extent on the proper rearing of replacement calves. In modern dairy farming systems, calves are usually separated from their mothers immediately after birth and artificially fed whole milk or milk replacers. This separation deprives the calves of the natural microflora of the mother's saliva and other cows, slowing down the formation of beneficial microbial communities and even creating an imbalance in the microbial flora of their digestive tract. On the other hand, if appropriate nutritional and management strategies are not adopted at this critical stage of life, the growth, health and production performance of calves will be negatively affected. Calves are at higher risk of mortality compared to other livestock due to specific physiological characteristics such as a weak immune system and the gradual transition of the digestive tract from processing milk to solids.

Materials and Methods: This study was conducted to compare the effect of feeding chelated and inorganic forms of trace elements (cobalt, iodine, selenium, zinc, manganese, iron and copper) on performance, blood parameters and skeletal growth indices of suckling Holstein calves. A total of 36 calves, aged 7 ± 3 days with an initial body weight of 36.2 ± 3.8 kg, were randomly exposed to three treatments with 12 replicates per treatment in a completely randomized design. Treatments included: 1- Control (without mineral supplementation), 2- Feeding with two grams of chelated supplement per calf per day. 3- Feeding with two grams of mineral supplement per calf per day. Calves were fed colostrum (10% of body weight) in the first three days of life and then from the fourth day to 60 days of age with four liters of milk twice a day (7 am and 7 pm). Water and starter feed were provided ad libitum. In order to investigate performance factors, calves were weighed on days 0, 30, and 60 to assess changes in body weight. Daily feed intake and refusals were recorded throughout the experiment. On day 60, fasting blood samples were collected from the jugular vein of calves using heparinized venoject tubes prior to the morning feeding to



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.93574.1248>

analyze blood parameters. In addition, skeletal growth indices including interocular distance, wither height, and body length were measured on the final day of the trial.

Results and Discussion: According to the results of the present study, supplementation with chelated minerals significantly improved 30-day and 60-day body weight, overall weight gain, and average daily gain (ADG) during both the first 30 days and the full pre-weaning period ($P < 0.05$). No significant differences were observed between calves receiving chelated and inorganic mineral supplements regarding 30-day body weight and ADG during the first 30 days. Supplementing calves' milk with chelate minerals increased total and daily dry matter intake, starter intake, and feed conversion ratio ($P < 0.05$). Calves receiving chelate supplements had greater interocular distance compared to the other two groups ($P < 0.05$). Also, the interocular distance, height at withers, and body length of calves receiving chelate supplements were greater than those in the control group ($P < 0.05$); however, this difference was not significant with calves receiving inorganic supplements. No significant differences were observed in serum iron and copper concentrations among the treatment groups. However, supplementation with trace minerals increased serum concentrations of thyroid hormones triiodothyronine (T3) and thyroxine (T4) ($P < 0.05$). There was no significant difference in T3 concentration between the control and mineral supplement groups, nor between the mineral and chelated supplement groups. Similarly, T4 concentrations were comparable between calves receiving inorganic and chelated supplements.

Conclusion: The results of this study demonstrated that supplementing the milk of suckling calves with chelated minerals significantly improved their growth performance. Moreover, chelated mineral supplementation had a significant positive effect on skeletal growth parameters and starter feed intake. It also led to increased serum concentrations of zinc and thyroid hormones, including triiodothyronine (T3) and thyroxine (T4). Overall, the findings suggest that incorporating chelated mineral supplements into the milk diet enhances performance traits, skeletal growth, and measured parameters in suckling calves.

Keywords: Blood parameters, Calves, Minerals, Performance, Skeletal growth indices

تأثیر مکمل‌های کیلاته و معدنی عناصر کم‌نیاز بر عملکرد، فراسنجه‌های خونی و شاخص‌های رشد اسکلتی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

قاسم خادم^۱، تقی قورچی^{۲*}، عبدالحکیم توغدری^۱، کتایون مهرانی^۱، کامل عموزاده آرائی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۷

چکیده

این پژوهش با هدف مقایسه اثرات تغذیه‌ای اشکال کیلاته و معدنی ترکیبی از عناصر کم‌نیاز شامل کبالت، ید، سلنیوم، روی، منگنز، آهن و مس بر عملکرد، فراسنجه‌های خونی و شاخص‌های رشد اسکلتی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین انجام شد. در این مطالعه از گوساله‌هایی با سن 7 ± 3 روزگی و وزن بدن اولیه $36/2 \pm 3/8$ کیلوگرم، در سه تیمار و هر تیمار با ۱۲ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده گردید. تیمارها شامل ۱- شاهد (بدون مکمل مواد معدنی) ۲- تغذیه با دو گرم مکمل کیلاته به‌ازای هر رأس گوساله در روز ۳- تغذیه با دو گرم مکمل معدنی به‌ازای هر رأس گوساله در روز بودند. مکمل‌ها در وعده صبح با شیر مصرفی گوساله مخلوط و در اختیار گوساله‌ها قرار داده شد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، افزودن مکمل کیلاته سبب بهبود وزن سی روزگی، شصت روزگی، تغییرات وزنی، افزایش وزن روزانه یک تا سی روزگی و کل دوره گوساله‌های شیرخوار شد ($P < 0/05$). بین گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل کیلاته و معدنی از نظر وزن سی روزگی، افزایش وزن روزانه یک تا سی روزگی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. مکمل کردن شیر گوساله‌ها با مواد معدنی کیلاته سبب افزایش ماده خشک مصرفی کل و روزانه، استارت مصرفی و ضریب تبدیل خوراک شد ($P < 0/05$). گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل کیلاته از فاصله بین دو چشم بیشتری نسبت به دو گروه دیگر برخوردار بودند ($P < 0/05$). همچنین فاصله دو شاخ، ارتفاع از جدوگاه و طول بدن گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل کیلاته بیشتر از گوساله‌های گروه شاهد بود ($P < 0/05$). هرچند نسبت به گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل معدنی این اختلاف معنی‌دار نبود. همچنین اختلاف آماری معنی‌داری برای غلظت‌های آهن و مس در سرم گوساله‌های مورد آزمایش مشاهده نشد. افزودن عناصر معدنی کم‌مصرف به شیر گوساله‌ها سبب افزایش هورمون‌های تریپتوئین و تترایدوتیرونین گردید ($P < 0/05$). از نظر غلظت تریپتوئین بین گروه شاهد با مکمل معدنی و مکمل معدنی و کیلاته اختلاف معنی‌داری به دست نیامد. همچنین غلظت تترایدوتیرونین بین گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل معدنی نسبت به گوساله‌های دریافت‌کننده کیلاته تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به‌طور کلی، مکمل کردن شیر گوساله‌های شیرخوار با مواد معدنی کیلاته سبب بهبود صفات عملکردی، شاخص اسکلتی و همچنین مشخصه‌های اندازه‌گرفته‌شده مانند روی سرم و هورمون‌های تیروئیدی شد.

واژه‌های کلیدی: گوساله، مواد معدنی کم مصرف، مصرف خوراک، هورمون‌های تیروئیدی

مقدمه

سه ماه ابتدایی زندگی گوساله‌ها، نقشی اساسی در تضمین سلامت و بهره‌وری آینده آن‌ها ایفا می‌کند. در این دوره حساس، وضعیت فیزیولوژیکی دام شامل توانایی جذب مولکول‌های درشت، به‌ویژه ایمونوگلوبولین‌ها از روده و همچنین حساسیت بالا به عفونت‌های گوارشی و اسهال است (Alijani et al, 2020). علاوه بر این، موفقیت اقتصادی گاوداری‌های صنعتی به‌میزان قابل توجهی به

پرورش مناسب گوساله‌های جایگزین وابسته است (Dobson et al, 2007). در پرورش مدرن گاوهای شیری، معمولاً گوساله‌ها بلافاصله پس از تولد از مادر جدا شده و با شیر کامل یا جایگزین‌های آن به‌صورت مصنوعی تغذیه می‌شوند. این جداسازی، گوساله‌ها را از دریافت میکروفلور طبیعی بزاق مادر و سایر گاوها محروم کرده و سبب کند شدن تشکیل جوامع میکروبی مفید و حتی ایجاد عدم تعادل در فلور میکروبی دستگاه گوارش آن‌ها می‌شود (Lopes et al, 2021). از سوی دیگر، چنانچه در این مرحله حیاتی از زندگی، راهکارهای مناسب تغذیه‌ای و مدیریتی اتخاذ نشود، رشد، سلامت و عملکرد تولیدی گوساله‌ها به‌طور منفی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Krpálková et al, 2014). گوساله‌ها به‌دلیل ویژگی‌های فیزیولوژیکی خاص مانند

۱- گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: ghoorchi@gau.ac.ir)

در شرایط تنش اثبات کرده‌اند (Underwood & Suttle, 1999) ;
 (Spears & Kegley, 2002). این عناصر تأثیر مثبتی بر ضریب
 تبدیل خوراک، بهبود پاسخ ایمنی و کاهش هزینه‌های درمانی
 گوساله‌ها دارند. تزریق مکمل‌های حاوی مس، روی و منگنز در زمان
 شیرگیری منجر به افزایش غلظت پلاسمایی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی،
 پلاکت‌های خون و اجزای سیستم ایمنی گوساله‌ها شده است
 (Vedovatto et al, 2019). علاوه بر این، تحقیقات نشان داده‌اند که
 تزریق مواد معدنی حاوی عناصر روی، منگنز، مس و سلنیوم پس از
 تولد باعث تقویت عملکرد نوتروفیل‌ها و کاهش نرخ بیماری در
 گوساله‌ها می‌شود (Teixeira et al, 2014).

مطالعات نشان داده‌اند که افزودن مکمل‌های معدنی به جیره
 غذایی دام می‌تواند غلظت عناصر کلیدی مانند کبالت، مس و روی در
 کبد را افزایش دهد و در نتیجه بر سلامت و عملکرد دام تأثیر مثبت
 بگذارد (Marques et al, 2016). همچنین نیاز بدن به این عناصر
 تحت تأثیر عواملی چون سن، وضعیت فیزیولوژیکی (مانند آبستنی و
 شیردهی)، رفتار، گونه حیوان و ژنتیک قرار دارد (Ahola et al,
 2004). باین حال، برخی مطالعات نشان داده‌اند که افزایش غلظت
 مواد معدنی کم‌مصرف در کبد، همیشه بهبود قابل توجهی در وضعیت
 سلامت ایجاد نمی‌کند (Stanton et al, 2000).

بنابراین، این مطالعه با هدف ارزیابی تأثیر تغذیه مکمل‌های
 کیلاته و معدنی عناصر کم‌نیازی مانند کبالت، ید، سلنیوم، روی،
 منگنز، آهن و مس بر عملکرد، فراسنجه‌های خونی و شاخص‌های
 رشد اسکلتی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین انجام شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در واحد ۱۷۰۰ راسی پرورش گاو شیری مهرماندگار
 متعلق به جناب آقای احمد قلندری واقع در شهرستان گرگان انجام
 شد. در این پژوهش از ۳۶ رأس گوساله ماده شیرخوار نژاد هلشتاین با
 سن 7 ± 3 روزگی و وزن بدن اولیه $36/8 \pm 3/2$ کیلوگرم در سه تیمار و
 ۱۲ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی در مدت ۶۰ روز استفاده شد.
 تیمارهای آزمایشی شامل: تیمار ۱- شاهد (بدون مکمل مواد معدنی)،
 تیمار ۲- تغذیه با دو گرم مکمل کیلاته به‌ازای هر رأس گوساله در
 روز و تیمار ۳- تغذیه با دو گرم مکمل معدنی به‌ازای هر رأس گوساله
 در روز. در این پژوهش، گوساله‌ها در جایگاه انفرادی با کف بتنی و
 دارای بستری از کلس که قبلاً شعله‌افکنی و ضد عفونی شده، نگهداری
 شدند. گوساله‌ها در طول زمان شیرخوارگی، روزانه با دو وعده شیر
 کامل (چهار لیتر) به‌میزان ۱۰ درصد وزن بدن تغذیه شدند. تمام
 گوساله‌ها در شرایط یکسان مدیریتی و تغذیه‌ای قرار گرفته و خوراک
 آغازین به اضافه یونجه (نسبت ۹۰ به ۱۰ کنسانتره به علوفه) در

سیستم ایمنی ضعیف و تغییر تدریجی دستگاه گوارش از هضم مواد
 شیری به مواد جامد، نسبت به سایر دام‌ها بیشتر در معرض خطر
 مرگ‌ومیر قرار دارند (Heinriches et al, 2003).

عناصر کم‌نیاز اصلی شامل هفت عنصر ید، منگنز، کبالت، سلنیوم،
 مس، آهن و روی هستند (Rahbar et al, 2020). این عناصر، برای
 رشد نشخوارکنندگان حیاتی بوده و در فرآیندهای فیزیولوژیکی
 متعددی مشارکت دارند. این مواد معدنی بخش مهمی از ساختار
 پروتئین‌های دخیل در سیستم ایمنی، ترشح هورمون‌ها و متابولیسم را
 تشکیل می‌دهند (Tiffany & Spears, 2005). اگرچه این عناصر در
 مقادیر بسیار کم مورد نیاز هستند، نقش حیاتی آن‌ها در ایمنی و
 سلامت بدن غیرقابل انکار است (Tom Dieck et al, 2003).
 عناصر کم‌نیاز از طریق پشتیبانی از فرآیندهای بیوشیمیایی نظیر سنتز
 هورمون‌ها، پروتئین‌ها و آنزیم‌ها به سلامت و رفاه حیوان کمک
 می‌کنند (Predieri et al, 2003). این مواد، به‌عنوان اجزای ضروری
 کوآنزیم‌ها، در سوخت‌وساز چربی‌ها و کربوهیدرات‌ها، تشکیل کلاژن،
 فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فرآیندهای متابولیک حیاتی نقش ایفا می‌کنند
 (Tom Dieck et al, 2003). همچنین مواد معدنی به تنظیم تعادل
 اسید و باز در مایعات بدن از طریق کنترل نفوذپذیری غشاء کمک
 کرده و در شکل‌گیری و حفظ ساختار اسکلتی بدن نیز ضروری هستند
 (McDowell, 2012). وجود سطح بهینه مواد معدنی در جیره غذایی
 نه‌تنها عملکرد سیستم ایمنی در برابر بیمارگرها و تنش‌های محیطی
 را تقویت می‌کند، بلکه موجب بهبود رشد و تولید نیز می‌شود
 (Tomlinson et al, 2004; Maggini et al, 2007; Hess et al,
 2008). نشانه‌های کمبود مواد معدنی شامل کاهش تولید، اشتها،
 رشد، اختلالات تولیدمثلی، ضعف پاسخ‌های ایمنی و مشکلات
 متابولیکی است که می‌تواند سلامت و عملکرد دام را مختل کند
 (McDowell, 2012).

عناصر معدنی کم‌مصرف به دو شکل اصلی یعنی نمک‌های
 غیرآلی و ترکیبات آلی، در دسترس هستند (Spears et al, 2004).
 گزارش شده است که منابع آلی این عناصر نسبت به منابع غیرآلی،
 زیست‌فراهمی بالاتری دارند و استفاده از آن‌ها در جیره غذایی
 گاوهای شیری می‌تواند عملکرد تولید و وضعیت سلامت را، به‌ویژه در
 دوره‌های تنش مانند زایش بهبود بخشد (Nocek et al, 2006) ;
 (Siciliano Jones et al, 2008). علاوه بر این، استفاده از منابع آلی
 عناصر معدنی کم‌مصرف در خوراک آغازین گوساله‌های شیرخوار
 منجر به بهبود رشد نسبت به منابع غیرآلی شده است (Osorio et al,
 2012). مطالعات مختلف نقش عناصر کمیاب مانند روی، مس، منگنز
 و سلنیوم را در بهبود سیستم ایمنی، سلامت و رشد گوساله‌ها، به‌ویژه

اختیار گوساله‌ها قرار داده شد و میزان مصرف روزانه آن‌ها ثبت شد. هر روز صبح ساعت ۷، خوراک پس از توزین در اختیار گوساله‌ها قرار گرفت. همچنین در طی آزمایش، آب تمیز به‌صورت آزادانه در اختیار

جدول ۱- اقلام خوراک و ترکیب شیمیایی جیره گوساله‌های شیرخوار

Table 1- Constituent feed ingredients and chemical composition of the ration of suckling calves

درصد	ترکیبات شیمیایی	درصد	اجزای خوراک (درصد ماده خشک)
Percentage	Chemical compounds	Percentage	Feed components (%DM)
0.89	ماده خشک Dry matter (%)	10.00	یونجه Alfalfa
21.75	پروتئین خام Crude protein (%)	10.00	دانه جو Barley seed
2.24	چربی خام Crude fat (%)	40.00	دانه ذرت Corn seed
7.48	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber (%)	5.00	سبوس گندم Wheat bran
21.35	الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber (%)	32.00	کنجاله سویا Soybean meal
3.89	خاکستر Ash (%)	1.00	مکمل ویتامینی-معدنی Vitamin-mineral supplement
2.86	انرژی قابل متابولیسم Metabolizable energy (Mcal/kg DM)	1.00	توکسین بایندر Toxin Binder
		1.00	جوش شیرین Sodium bicarbonate

^۱پیش‌مخلوط ویتامین و مواد معدنی ارائه‌شده به‌ازای هر کیلوگرم جیره غذایی: ویتامین A: ۱۰۰۰۰۰ IU، ویتامین D₃: ۲۵۰۰۰۰ IU، ویتامین E: ۳۰۰۰ IU، منیزیم ۳۲۰۰۰ میلی‌گرم، منگنز: ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم، روی: ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم، مس: ۳۰۰ میلی‌گرم، سلنیوم ۱۰۰ میلی‌گرم؛ کلسیم: ۱۰۰ میلی‌گرم؛ آهن: ۳۰۰۰ میلی‌گرم؛ کبالت ۱۰۰ میلی‌گرم؛ فسفر ۳۰۰۰۰ میلی‌گرم؛ موننسن: ۱۵۰۰ میلی‌گرم؛ آنتی‌اکسیدان ۱۰۰ میلی‌گرم.

^۱ Vitamin and mineral premix provided per kilogram of ration: Vitamin: A IU 1000000, Vitamin IU: D₃ 250000, Vitamin IU: E 3000, Magnesium 32000 mg, Manganese: 10,000 mg; Zinc: 10,000 mg; Copper: 300 mg; Selenium 100 mg; Calcium: 100 mg; Iron: 3000 mg; Cobalt 100 mg; Phosphorus 30000 mg; Monensin: 1500 mg; Antioxidant 100 mg.

تهیه مکمل زیست

مکمل‌های موردنیاز این پژوهش از شرکت آسا تهیه گردید و سپس به انبار خوراک منتقل شد و پس از ترکیب با شیر به گوساله‌ها خوراند. دوره آزمایش انجام می‌شد. وزن کشتی گوساله‌ها در روز صفر، ۳۰ و ۶۰ روز، منگنز، آهن و مس بود. مکمل کیلاته برپایه اسید سیتریک و همچنین نوع معدنی آن‌ها برپایه سولفات بوده است.

اندازه‌گیری عملکرد رشد

جیره‌های مورد استفاده در این آزمایش هر روز ساعت ۷ صبح و ۱۶ عصر در اختیار گوساله‌ها قرار می‌گرفت. خوراک داده‌شده و باقی‌مانده خوراک برای هر دام در هر روز توزین و ثبت می‌شد. خوراک مصرفی روزانه از میانگین اختلاف خوراک داده‌شده برای هر دام و باقی‌مانده آخور روز بعد همان دام محاسبه می‌شد. میانگین هر تیمار نیز از میانگین خوراک مصرفی هر دام در طول دوره محاسبه گردید. همچنین افزایش مقدار خوراک داده‌شده به دام‌ها براساس

پس‌مانده خوراک هر دام در روز بعد مشخص می‌شد، به‌طوری‌که اگر دام در سه روز متوالی، پس‌مانده خوراک کمتر از ۲۰۰ گرم از خود باقی می‌گذاشت، خوراک دام افزایش می‌یافت. همین روال تا انتهای دوره آزمایش انجام می‌شد. وزن کشتی گوساله‌ها در روز صفر، ۳۰ و ۶۰ دوره به‌صورت ناشتا، پس از ۱۶ ساعت گرسنگی با استفاده از باسکول دیجیتال صورت گرفت. برای محاسبه افزایش وزن روزانه از تقسیم نمودن تفاوت وزن در یک بازه زمانی بر تعداد روزهای همان بازه زمانی محاسبه شد. میزان ماده خشک مصرفی، افزایش وزن روزانه، وزن انتهای دوره اندازه‌گیری و ضریب تبدیل خوراک محاسبه شد. میزان ضریب تبدیل خوراک نیز از تقسیم نمودن میانگین مقدار ماده خشک مصرفی هر گوساله در آخر دوره بر افزایش وزن روزانه همان دام در کل دوره و به‌صورت میانگینی از ضریب تبدیل هر تیمار محاسبه شد.

اندازه‌گیری فراسنجه‌های خونی

نمونه‌گیری از خون برای اندازه‌گیری فراسنجه‌های خونی در روز آخر دوره آزمایشی به‌میزان ۱۰ میلی‌لیتر از ورید گردن و بدون استفاده از ماده ضدانعقاد (EDTA) گرفته شده و در فلاسک حاوی یخ به‌سرعت به آزمایشگاه ارسال شد. لوله‌ها در دور $3000 \times g$ به‌مدت ۱۰ دقیقه برای جداسازی سرم، سانتریفیوژ شد. مقادیر روی، آهن و مس سرم توسط کیت‌های تجاری دلتادرمان فارس با استفاده از بکمن (مدل Beckmen Au480) ساخت کشور آمریکا و هورمون‌های تری‌یدوتیرونین و تترا‌یدوتیرونین به‌روش الایزا و کیت‌های پیش‌تاز اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های اسکلتی گوساله‌ها

اندازه‌گیری برخی کمیت‌های بدنی از قبیل عرض پوزه، فاصله دو چشم، فاصله دو شاخ، ارتفاع جدوگاه و فاصله طولی از شاخ تا دم در روز آخر دوره اندازه‌گیری شد. برای این منظور، گوساله‌ها در یک سطح کاملاً صاف و تمیز نگه داشته شده، سپس توسط متر ابعاد بدن اندازه‌گیری و ثبت گردید (Hossein Abadi et al, 2021).

مدل آماری

داده‌های به‌دست‌آمده در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار (۱۲ تکرار برای هر تیمار) با استفاده از نرم‌افزار SAS, 2004 (نسخه ۹/۱) تجزیه آماری شد. داده‌های مربوط به عملکرد رشد دام‌ها، شاخص سلامتی و فراسنجه‌های خونی (با استفاده از رویه GLM) تجزیه و تحلیل گردید. همچنین میانگین تیمارها از طریق آزمون دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد مقایسه شدند. مدل استفاده‌شده برای این طرح به‌شرح زیر می‌باشد.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij} \quad (1)$$

که در آن، Y_{ij} : مقدار مشاهده i ام در تکرار j ام، μ : اثر میانگین، T_i : اثر تیمار i ام و ϵ_{ij} : اثر خطای آزمایشی مربوط به تیمار i ام در تکرار j ام است.

نتایج و بحث

اطلاعات مربوط به عملکرد گوساله‌های شیرخوار دریافت‌کننده مکمل عناصر کم‌نیاز در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، افزودن مکمل کیلاته سبب بهبود وزن سی روزگی، شصت روزگی، تغییرات وزنی، افزایش وزن روزانه در دوره‌های یک تا سی روزگی و کل دوره گوساله‌های شیرخوار شد ($P < 0.05$). با این حال، بین گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل کیلاته و معدنی، از نظر وزن

سی روزگی، افزایش وزن روزانه در دوره یک تا سی روزگی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مکمل کردن شیر گوساله‌ها با مواد معدنی کیلاته منجر به بهبود میزان مصرف ماده خشک کل و روزانه، مصرف استارتر و بهبود ضریب تبدیل خوراک شد ($P < 0.05$).

نشان داد که استفاده از شکل غیرمعدنی عناصر کم‌نیاز در جیره دام‌های در حال رشد، به‌علت زیست‌فراهمی بالا منجر به بهبود عملکرد رشد آن‌ها می‌شود (Spears, 1996). همسو با یافته‌های پژوهش حاضر، بیان کردند که مکمل کردن جیره با عناصر معدنی کیلاته کم‌نیاز سبب افزایش نرخ رشد در گوساله‌های شیرخوار گردید (Mousavi-Haghshenas et al, 2022). در پژوهش حاضر نیز مشاهده شد که افزودن مکمل زیستا به شیر گوساله‌ها تأثیر مثبتی بر نرخ رشد دارد که این اثر در مکمل کیلاته مشهودتر بود. در پژوهشی گوساله‌های تازه به‌دنیا آمده را به‌مدت دو هفته با دو منبع مختلف عنصر روی به‌صورت غنی‌سازی در شیر مصرفی مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که مکمل کردن شیر با ۸۰ میلی‌گرم عنصر روی به‌صورت سولفات روی یا روی-متیونین منجر به بهبود افزایش وزن در گوساله‌ها شد (Feldmann et al, 2019). افزایش ماده خشک مصرفی در دوره پیش از شیرگیری در گوساله‌های شیرخوار از اهمیت زیادی برخوردار است. در همین راستا، همستگی بالایی ($r^2 = 0.732$) بین میزان ماده خشک مصرفی در دوره قبل از شیرگیری و افزایش وزن پس از شیرگیری گزارش کردند (Stamey et al, 2012). همسو با پژوهش حاضر، بیان کردند که گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل روی آلی نسبت به گروه دریافت‌کننده مکمل روی معدنی، خوراک آغازین بیشتری مصرف کردند (Spears, 1996). پژوهشگران گزارش کردند که تغذیه بلوس‌های آهسته رهش سلنیوم و ید سبب افزایش وزن روزانه بره‌ها شد که همسو با این پژوهش بود (Zarbalizadeh-Saed et al, 2020).

در این بین، تعدادی از پژوهشگران گزارش کردند که مصرف خوراک آغازین بین گوساله‌های دریافت‌کننده مواد معدنی آلی یا غیرآلی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (Ma Chang et al, 2020; Osorio et al., 2012; Gelsinger et al, 2016; et al, 2020). محققان گزارش کردند که استفاده از شکل‌های مختلف عنصر روی (آلی، معدنی و نانوآکسید روی) تأثیری بر افزایش وزن روزانه و تغییرات وزنی بره‌ها ندارد (Mallaki et al, Alijani et al, 2020). 2015; در تضاد با نتایج پژوهش حاضر، گزارش کردند که مکمل معدنی حاوی عناصر منگنز، مس و روی تأثیر معنی‌داری بر میانگین افزایش وزن روزانه، خوراک آغازین مصرفی و وزن بدن گوساله‌ها نداشت (Mandal et al, 2007; Ryan et al, 2015). همچنین، اختلاف معنی‌داری را بین شاهد و تیمار دریافت‌کننده روی -متیونین

احتمالاً این امر سبب مصرف کمتر آن‌ها توسط دام می‌شود. مواد معدنی با از بین بردن و تشکیل پراکسیدها در نتیجه بهبود زیست‌فراهمی مواد معدنی کیلاته سبب بهبود افزایش وزن روزانه و ضریب تبدیل خوراک می‌شود (Osorio et al., 2012; Sperrs et al., 2014). همچنین عملکرد دام وابسته به مقدار خوراک مصرفی، گوارش‌پذیری جیره، تولید فراآورده‌های تخمیری در شکمبه و توانایی سوخت‌وساز مواد مغذی در داخل بدن است (Underwood & Suttle, 1999). در مجموع، ترکیبات کیلاته به‌دلیل ساختار خاص خود می‌توانند عناصر معدنی را در فرم‌هایی قرار دهند که برای جذب در روده‌ها مناسب‌تر هستند. این امر باعث افزایش دسترسی زیستی این عناصر می‌شود و در نتیجه جذب آن‌ها توسط بدن دام افزایش می‌یابد. در محیط روده، عناصر معدنی ممکن است با سایر مواد مغذی یا ترکیبات موجود در خوراک تداخل کنند و از جذب آن‌ها جلوگیری کنند. کیلاته کردن می‌تواند به کاهش این تداخلات کمک کند و موجب جذب بهینه‌تر عناصر معدنی شود (Underwood & Suttle, 1999).

یا اکسید روی در میزان خوراک آغازین مصرفی در دو هفته اول زندگی مشاهده نکردند (Chang et al, 2020). در پژوهشی دیگر، با مقایسه دو منبع آلی و غیرآلی مواد معدنی کم‌نیاز (شامل منگنز، مس و روی) در گوساله‌های شیرخوار از سن کمتر از هفت روز، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی از نظر مصرف خوراک آغازین در ۱۴ روز اول و هفته نهم زندگی گزارش نکردند (Osorio et al, 2012). باین‌حال، مصرف خوراک آغازین در هفته‌های سوم تا هشتم زندگی اختلاف معنی‌داری را بین تیمارهای آزمایشی نشان داد. افزایش مصرف خوراک در پژوهش حاضر می‌تواند نتیجه مکمل کردن مواد معدنی آلی کم‌مصرف باشد که به‌علت زیست‌فراهمی بالا و مؤثرتر این شکل از مواد معدنی، رشد بهتر دستگاه گوارش و در نتیجه افزایش سلامت گوساله‌ها مشاهده شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که مصرف منابع متفاوت عنصر روی (اکسید روی، روی کیلات‌شده با اسیدآمینه و روی لاکتات) سبب رشد بافت اپیتلیوم شکمبه بزغاله‌ها شد (Spears & Weiss, 2014). از طرف دیگر، شکل‌های غیرآلی مواد معدنی، اغلب به‌صورت سولفات‌ها و اگزالات‌ها مصرف می‌شوند و خوش‌خوراکی کمتری دارند (Ma et al, 2020) و

جدول ۲- اثر مکمل کردن جیره‌ای با عناصر کم‌نیاز بر عملکرد گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

Table 2- Effect of micronutrient supplementation on the performance of Holstein suckling calves

مورد Case	جیره‌های آزمایشی Experimental diets			خطای استاندارد میانگین‌ها SEM	سطح معنی‌داری P-value
	شاهد Control	مکمل معدنی Mineral supplement	مکمل کیلاته Chelate supplement		
وزن ابتدای دوره (کیلوگرم) Initial body weight (kg)	35.99	36.61	37.74	0.641	0.164
وزن ۳۰ روزگی (کیلوگرم) Weight on day 30 (kg)	44.02 ^b	47.30 ^{ab}	49.97 ^a	1.138	0.003
وزن ۶۰ روزگی (کیلوگرم) Weight on day 60 (kg)	66.59 ^c	75.05 ^b	81.09 ^a	0.754	<0.0001
تغییرات وزنی (کیلوگرم) Body weight changes (kg)	30.60 ^c	38.44 ^b	43.35 ^a	0.390	<0.0001
افزایش وزن ۱ تا ۳۰ روزگی (گرم) 1-30-day weight gain (kg)	0.267 ^b	0.356 ^{ab}	0.407 ^a	0.026	0.005
افزایش وزن کل دوره (کیلوگرم در روز) Total daily weight gain (kg)	0.510 ^c	0.640 ^b	0.722 ^a	0.005	<0.0001
ماده خشک مصرفی کل (کیلوگرم) Total dry matter intake (kg)	41.15 ^c	46.85 ^b	54.16 ^a	0.459	<0.0001
مصرف استارتر روزانه (کیلوگرم) Daily starter intake (kg)	0.686 ^c	0.780 ^b	0.903 ^a	0.005	<0.0001
ماده خشک مصرفی Dry matter intake (kg)	1.161 ^c	1.255 ^b	1.378 ^a	0.007	<0.0001
ضریب تبدیل خوراک Feed conversion ratio	1.34 ^a	1.25 ^b	1.21 ^b	0.011	<0.0001

حروف غیرمشترک در هر ردیف تفاوت معنی‌دار بین تیمارها را نشان می‌دهد ($P < 0.05$).

ماده خشک مصرفی = جیره آغازین + شیر

Different letters in each row indicate significant difference between groups ($P < 0.05$).

Dry matter intake = starter + milk

سطوح بسیار کم یا بسیار زیاد مورد استفاده قرار گیرد. همسو با نتایج پژوهش حاضر گزارش کردند که مکمل مواد معدنی کم‌نیاز سبب افزایش معنی‌دار غلظت عنصر روی پلاسما در گوساله‌ها شد، هرچند که غلظت مس پلاسما تغییر معنی‌داری نداشت (Ahola et al, 2005). پژوهشگران نیز بیان کردند که افزودن مواد معدنی مس، منگنز، روی و کبالت به جیره سبب بهبود غلظت مس سرم نشد (Olson et al, 1999). همچنین گزارش کردند مکمل مواد معدنی حاوی مس، منگنز، روی و سلنیوم سبب تغییر در سطح سرمی عناصر مس نشد، درحالی‌که سطح عنصر روی را در گوساله‌های شیرخوار افزایش داد (Teixeira et al, 2014).

نتایج مربوط به غلظت عناصر معدنی سرم گوساله‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. آنالیز داده‌ها نشان می‌دهد که غلظت روی سرم گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل معدنی بیشتر از دو گروه دیگر است ($P < 0.05$)، درحالی‌که این اختلاف با گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل کیلاته معنی‌دار نبود. همچنین تفاوت معنی‌داری بین غلظت آهن و مس سرم گوساله‌های مورد آزمایش مشاهده نشد. گزارش شده است که با افزودن مکمل مواد معدنی، سطح عنصر روی پلاسما در گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل مواد معدنی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که همسو با پژوهش حاضر بود (Zaboli & Elyasi, 2021) همچنین بیان شده است که غلظت عنصر روی پلاسما نسبت به مصرف تغذیه‌ای آن حساس بوده، به‌خصوص اگر در

جدول ۳- اثر افزودن مکمل عناصر کم‌نیاز بر غلظت عناصر معدنی سرم گوساله‌های شیرخوار هلشتاین (گرم/ میلی‌لیتر)
Table 3- Effect of adding micronutrient supplements on the concentration of mineral elements in suckling Holstein calves (g/ml)

مورد Case	جیره‌های آزمایشی Experimental diets			خطای استاندارد میانگین‌ها SEM	سطح معنی‌داری P-value
	شاهد Control	مکمل معدنی Mineral supplement	مکمل کیلاته Chelate supplement		
روی Zinc	79.33 ^b	92.25 ^a	84.83 ^{ab}	3.638	0.044
آهن Iron	211.25	235.91	257.66	13.783	0.072
مس Copper	75.83	89.60	89.60	4.277	0.065

حروف غیرمشترک در هر ردیف تفاوت معنی‌دار بین تیمارها را نشان می‌دهد ($P < 0.05$).
Different letters in each row indicate significant difference between groups ($P < 0.05$).

تایروژین جهت تولید هورمون‌های تیروئیدی مورد نیاز است (Hess & Zimmermann, 2004). کمبود مس سبب اختلال ترشح آنزیم‌های تایروژین هیدروکسیلاز و دوپامین هیدروکسیلاز حاوی عنصر مس در نورون‌های هیپوتالاموسی می‌شود که این امر سبب مهار ساخت فاکتور آزادکننده هورمون تیروئیدی می‌شود (Hess & Zimmermann, 2004). علاوه‌بر این مشخص شده است که سوخت‌وساز تیروئید در اثر کم‌خونی ناشی از کمبود آهن مختل می‌شود. کم‌خونی ناشی از کمبود آهن می‌تواند سبب اختلال سیستم عصبی مرکزی تنظیم‌کننده سوخت‌وساز تیروئید و اتصال هسته‌ای ترییدوتیرونین شود و فعالیت آنزیم دی‌دیناز ۵ کبیدی را تغییر دهد که تبدیل تیروکسین به ترییدوتیرونین را تسریع می‌کند، همچنین یکی دیگر از سازوکارهای بالقوه، اختلال در فعالیت آنزیم تیروئید پروکسیداز می‌باشد (Zimmermann, 2006). تیروئید پروکسیداز یک آنزیم حاوی هم است که دو مرحله ابتدایی ساخت هورمون‌های

اطلاعات حاصل از نتایج اثر عناصر معدنی کم‌نیاز بر هورمون‌های تیروئیدی در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، افزودن عناصر معدنی کم‌نیاز به شیر گوساله‌ها سبب افزایش هورمون‌های ترییدوتیرونین و تترایدوتیرونین شد ($P < 0.05$). از نظر غلظت ترییدوتیرونین بین گروه شاهد با مکمل معدنی و مکمل معدنی و کیلاته اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. همچنین غلظت تترایدوتیرونین گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل معدنی با کیلاته تفاوت معنی‌داری نداشت.

مطالعات متعدد نشان می‌دهد که استفاده از مکمل مواد معدنی سبب افزایش معنی‌دار غلظت هورمون ترییدوتیرونین گوساله‌های شیرخوار می‌شود (Eisa & Elgebaly, Ceppi et al, 1994; 2010). ترییدوتیرونین فعال‌ترین هورمون تیروئیدی می‌باشد. تولید و متابولیسم هورمون‌های تیروئیدی به مواد معدنی کم‌مصرفی نظیر آهن، مس و روی بستگی دارد و کمبود این عناصر سبب اختلال در عملکرد طبیعی تیروئید می‌شود. عنصر مس در سوخت‌وساز اسیدآمین

تیروئیدی را تسریع می‌کند. به‌طور کلی عناصر معدنی می‌توانند بر روی غده هیپوفیز تأثیر بگذارند که مسئول ترشح هورمون‌های محرک تیروئید (TSH) است. هورمون‌های محرک تیروئید به‌نوبه خود باعث تحریک غده تیروئید برای تولید هورمون‌های تیروئیدی می‌شود. برای مثال، روی و مس ممکن است به تنظیم هورمون‌های تیروئیدی کمک کنند که این امر

می‌تواند تأثیرات مثبتی بر متابولیسم و رشد داشته باشد. روی و مس به‌عنوان کوفاکتورهای آنزیم‌ها در فرآیندهای بیوشیمیایی مختلف عمل می‌کنند. روی در سنتز هورمون‌های تیروئیدی و تبدیل T4 به T3 نقش دارد. کمبود روی می‌تواند منجر به کاهش تولید هورمون‌های تیروئیدی شود (Underwood & Suttle, 1999).

جدول ۴- اثر افزودن مکمل عناصر کم‌نیاز بر هورمون‌های تیروئیدی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین (گرم/دسی‌لیتر)

Table 4- Effect of micronutrient supplementation on thyroid hormones of suckling Holstein calves (g/dL)

مورد Case	جیره‌های آزمایشی Experimental diets			خطای استاندارد میانگین‌ها SEM	سطح معنی‌داری P-value
	شاهد Control	مکمل معدنی Mineral supplement	مکمل کیلاته Chelate supplement		
تری‌دوتیرونین Triiodothyronine	141.91 ^b	153.84 ^{ab}	174.91 ^a	8.283	0.026
تترا‌دوتیرونین Tetraiodothyronine	4.81 ^b	6.06 ^a	6.49 ^a	0.271	0.0004

حروف غیرمشترک در هر ردیف تفاوت معنی‌دار بین تیمارها را نشان می‌دهد ($P < 0.05$).

Different letters in each row indicate significant difference between groups ($P < 0.05$).

جدول ۵- اثر افزودن مکمل عناصر کم‌نیاز بر شاخص اسکلتی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین (سانتی‌متر)

Table 5- Effect of micronutrient supplementation on skeletal index of suckling Holstein calves (cm)

صفت Trait	جیره‌های آزمایشی Experimental diets			اشتباه استاندارد میانگین‌ها SEM	سطح معنی‌داری P-value
	شاهد Control	مکمل معدنی Mineral supplement	مکمل کیلاته Chelate supplement		
عرض پوزه Muzzle width	6.50	6.83	6.75	0.228	0.571
فاصله دو چشم Eyes interval	15.08 ^b	15.33 ^b	16.83 ^a	0.421	0.012
فاصله دو شاخ Horns interval	12.16 ^b	14.25 ^{ab}	14.41 ^a	0.624	0.027
ارتفاع از جدوگاه Height of the seat	92.66 ^b	96.91 ^a	99.91 ^a	0.933	<0.0001
طول بدن Body length	112.66 ^b	118.91 ^{ab}	122.41 ^a	2.176	0.011

حروف غیرمشترک در هر ردیف تفاوت معنی‌دار بین تیمارها را نشان می‌دهد ($P < 0.05$).

Different letters in each row indicate significant difference between groups ($P < 0.05$).

دریافت‌کننده مکمل کیلاته بیشتر از گوساله‌های گروه شاهد بود ($P < 0.05$)، هرچند نسبت به با گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل معدنی این اختلاف معنی‌دار نبود.

همان‌طور که برای وزن بدن و ماده خشک مصرفی، پاسخ مشهودتری به افزودن شکل آلی مکمل مواد معدنی به شیر مصرفی

اطلاعات حاصل از نتایج اثر عناصر معدنی کم‌نیاز بر شاخص‌های اسکلتی گوساله‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل کیلاته فاصله دو چشم بیشتری نسبت به دو گروه دیگر داشتند ($P < 0.05$). همچنین فاصله دو شاخ، ارتفاع از جدوگاه و طول بدن گوساله‌های

پروتئین‌ها، DNA و تولید هورمون‌های رشد (مانند IGF-1) نقش دارد که برای رشد سلول‌های استخوانی ضروری است (Spears, 1996).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن مکمل کیلاته عناصر کم‌نیاز به شیر مصرفی گوساله‌های شیرخوار سبب بهبود نرخ رشد، شاخص‌های اسکلتی و میزان مصرف خوراک آغازین (استارتر) در گوساله‌ها می‌شود. اضافه کردن این مکمل به شیر مصرفی منجر به افزایش غلظت روی و هورمون‌های تیروئیدی (تری‌دوتیرونین و تترا‌دوتیرونین) در گوساله‌ها شد. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از مکمل‌های معدنی با منبع کیلاته در شیر مصرفی، به بهبود صفات عملکردی، شاخص‌های اسکلتی و مشخصه‌های اندازه‌گیری شده در گوساله‌های شیرخوار می‌انجامد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مدیریت محترم واحد پرورش گاو شیری مهر ماندگار استان گلستان، به‌پاس در اختیار گذاشتن امکانات مزرعه‌ای و همکاری ارزشمندشان، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

دریافت شد، شاخص اسکلتی و به‌طور ویژه ارتفاع بدن و محیط دور شکم به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر مکمل کیلاته قرار گرفت. در پژوهشی گزارش کردند که افزودن مکمل کیلاته مواد معدنی در جیره گوساله‌های شیرخوار سبب بهبود شاخص‌های اسکلتی شد که این یافته‌ها با نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر همسو بود (Mousavi-Haghshenas et al, 2022). استفاده از منابع معدنی غیرآلی و آلی، اندازه بدن را تغییر نداد (Pino et al, 2018)؛ اما مواد معدنی آلی سبب افزایش ارتفاع استخوان جدوگاه و هیپ در گوساله‌های شیرخوار شد (Bilici et al, 2001; Osorio et al, 2012). پژوهشگران نتیجه گرفتند که میانگین افزایش وزن روزانه کاملاً متناسب با اندازه توده بدن در حال رشد بوده است (Bailey & Mears, 1990). در مجموع، مواد معدنی کم‌مصرف در بیشتر واکنش‌های سلولی به‌عنوان کوآنزیم فعالیت کرده و نقش آنتی‌اکسیدانی نیز دارند. همچنین فراهمی زیستی بیشتر این دسته از مواد معدنی می‌تواند سبب بهبود عملکرد و رشد دام شود (Spears, 1996).

هورمون‌های تیروئیدی به تنظیم متابولیسم، رشد و توسعه بافت‌ها کمک می‌کنند. این هورمون‌ها به‌ویژه در رشد استخوان‌ها و بافت‌های نرم مؤثرند. افزایش سطح این هورمون‌ها می‌تواند به تسریع فرآیند استخوان‌سازی و افزایش رشد اسکلتی کمک کند (Underwood & Suttle, 1999). عناصر معدنی مانند روی و مس به‌عنوان کوفاکتورهای آنزیم‌ها در فرآیندهای بیوشیمیایی مختلف عمل نموده که به رشد استخوان‌ها کمک می‌کند. به‌عنوان مثال، روی در سنتز

References

- Ahola, J. K., Baker, D. S., Burns, P. D., Mortimer, R. G., Enns, R. M., Whittier, J. C., & Engle, T. E. (2004). Effect of copper, zinc, and manganese supplementation and source on reproduction, mineral status, and performance in grazing beef cattle over a two-year period. *Journal of Animal Science*, 82(8), 2375-2383. <https://doi.org/10.2527/2004.8282375x>
- Hossein Abadi, M., Ghoorchi, T., & Toghdory, A. (2021). Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on growth performance, nutrient digestibility, serum metabolites and feeding behavior of Simmental dairy calves. *Journal of Animal Production*, 24(1), 35-41. <https://doi.org/10.22059/jap.2022.331033.623640>
- Alijani, K., Rezaei, J., & Rouzbehan, Y. (2020). Effect of nano-ZnO, compared to ZnO and Zn-methionine, on performance, nutrient status, rumen fermentation, blood enzymes, ferric reducing antioxidant power and immunoglobulin G in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 267, 114532. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114532>
- Bailey, C. B., & Mears, G. J. (1990). Birth weight in calves and its relation to growth rates from birth to weaning and weaning to slaughter. *Canadian Journal of Animal Science*, 70(1), 167-173. <https://doi.org/10.4141/cjas90-019>
- Bilici, M., Efe, H., Köroğlu, M. A., Uydu, H. A., Bekaroğlu, M., & Değer, O. (2001). Antioxidative enzyme activities and lipid peroxidation in major depression: Alterations by antidepressant treatments. *Journal of Affective Disorders*, 64(1), 43-51. [https://doi.org/10.1016/S0165-0327\(00\)00199-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0327(00)00199-3)
- Ceppi, A., & Blum, J. W. (1994). Effects of growth hormone on growth performance, haematology, metabolites and hormones in iron-deficient veal calves. *Journal of Veterinary Medicine Series*

- A, 41(1-10), 443-458. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0442.1994.tb00111.x>
7. Chang, M. N., Wei, J. Y., Hao, L. Y., Ma, F. T., Li, H. Y., Zhao, S. G., & Sun P. (2020). Effects of different types of zinc supplement on the growth, incidence of diarrhea, immune function, and rectal microbiota of newborn dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 103, 6100-6113. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17610>
8. Dobson, H., Smith, R. F., Royal, M. D., Knight, C. H., & Sheldon, I. M. (2007). The high-producing dairy cow and its reproductive performance. *Reproduction in Domestic Animals*, 42, 17-23. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2007.00906.x>
9. Eisa, A. M., & Elgebaly, L. S. (2010). Effect of ferrous sulphate on haematological, biochemical and immunological parameters in neonatal calves. *Veterinaria Italiana*, 46(3), 329-335. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0219>
10. Feldmann, H. R., Williams, D. R., Champagne, J. D., Lehenbauer, T. W., & Aly, S. S. (2019). Effectiveness of zinc supplementation on diarrhea and average daily gain in pre-weaned dairy calves: A double-blind, block-randomized, placebo-controlled clinical trial. *PLoS One*, 14(7), e0219321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219321>
11. Gelsinger, S. L., Pino, F., Jones, C. M., Gehman, A. M., & Heinrichs, A. J. (2016). Effects of a dietary organic mineral program including mannan oligosaccharides for pregnant cattle and their calves on calf health and performance. *The Professional Animal Scientist*, 32(2), 205-213. <https://doi.org/10.15232/pas.2015-01475>
12. Heinrichs, A. J., Jones, C. M., VanRoekel, L. R., & Fowler, M. A. (2003). Calf Track: A system of dairy calf workforce management, training, and evaluation and health evaluation. *Journal of Dairy Science*, 86(1), 115.
13. Hess, J. B., Downs, K. M., Macklin, K. S., Norton, R. A., & Bilgili, S. F. (2008). Organic Trace Minerals for Broilers and Breeders. *Poultry Science Department, Auburn University, AL, School of Agribusiness and Agrisciences, Middle Tennessee State University, Murfreesboro, TN*.
14. Hess, J. B., & Zimmermann, M. B. (2004). The effect of micronutrient deficiencies on iodine nutrition and thyroid metabolism. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 74(2), 103-115. <https://doi.org/10.1024/0300-9831.74.2.103>
15. Krpáľková, L., Cabrera, V. E., Kvapilík, J., Burdych, J., & Crump, P. (2014). Associations between age at first calving, rearing average daily weight gain, herd milk yield and dairy herd production, reproduction, and profitability. *Journal of Dairy Science*, 97(10), 6573-6582. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7497>
16. Lopes, R. B., Bernal-Córdoba, C., Fausak, E. D., & Silva-del-Río, N. J. P. O. (2021). Effect of prebiotics on growth and health of dairy calves: A protocol for a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*, 16(6), e0253379. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253379>
17. Ma, T., & Suzuki, Y. (2018). Dissect the mode of action of probiotics in affecting host-microbial interactions and immunity in food producing animals. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 205, 35-48. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2018.10.004>
18. Maggini, S., Wintergerst, E. S., Beveridge, S., & Hornig, D. H. (2007). Selected vitamins and trace elements support immune function by strengthening epithelial barriers and cellular and humoral immune responses. *British Journal of Nutrition*, 98(S1), S29-S35. <https://doi.org/10.1017/S0007114507832971>
19. Mallaki, M., Norouzian, M. A., & Khadem, A. A. (2015). Effect of organic zinc supplementation on growth, nutrient utilization, and plasma zinc status in lambs. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 39(1), 75-80. <https://doi.org/10.3906/vet-1405-79>
20. Mandal, G. P., Dass, R. S., Isore, D. P., Garg, A. K., & Ram, G. C. (2007). Effect of zinc supplementation from two sources on growth, nutrient utilization and immune response in male crossbred cattle (*Bos indicus* × *Bos taurus*) bulls. *Animal Feed Science and Technology*, 138(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.09.014>
21. Marques, R. S., Cooke, R. F., Rodrigues, M. C., Cappelozza, B. I., Mills, R. R., Larson, C. K., Moriel, P., & Bohnert, D. W. (2016). Effects of organic or inorganic cobalt, copper, manganese, and zinc supplementation to late-gestating beef cows on productive and physiological responses of the offspring. *Journal of Animal Science*, 94(3), 1215-1226. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-0036>
22. McDowell, L. R. (2012). *Vitamins in Animal Nutrition: Comparative Aspects to Human Nutrition*.

Elsevier, San Diego, United States.

23. Mousavi-Haghsheenas, M. A., Hashemzadeh, F., Ghorbani, G. R., Ghasemi, E., Rafiee, H., & Ghaffari, M. H. (2022). Trace minerals source in calf starters interacts with birth weights to affect growth performance. *Scientific Reports*, 12(1), 18763. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23459-4>.
24. Nocek, J. E., Socha, M. T., & Tomlinson, D. J. (2006). The effect of trace mineral fortification level and source on performance of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89(7), 2679-2693. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72344-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72344-X)
25. Olson, P. A., Brink, D. R., Hickok, D. T., Carlson, M. P., Schneider, N. R., Deutscher, G. H., Adams, D. C., Colburn, D. J., & Johnson, A. B. (1999). Effects of supplementation of organic and inorganic combinations of copper, cobalt, manganese, and zinc above nutrient requirement levels on postpartum two-year-old cows. *Journal of Animal Science*, 77(3), 522-532. <https://doi.org/10.2527/1999.773522x>
26. Osorio, J. S., Wallace, R. L., Tomlinson, D. J., Earleywine, T. J., Socha, M. T., & Drackley, J. K. (2012). Effects of source of trace minerals and plane of nutrition on growth and health of transported neonatal dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 95(10), 5831-5844. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5042>
27. Pino, F., & Heinrichs, A. J. (2016). Effect of trace minerals and starch on digestibility and rumen fermentation in diets for dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 99(4), 2797-2810. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10034>
28. Predieri, G., Tegoni, M., Cinti, E., Leonardi, G., & Ferruzza, S. (2003). Metal chelates of 2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid in animal feeding: preliminary investigations on stability and bioavailability. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 95(2-3), 221-224. [https://doi.org/10.1016/S0162-0134\(03\)00067-9](https://doi.org/10.1016/S0162-0134(03)00067-9)
29. Rahbar, R., Abdollahpour, R., & Sadeghi-Sefidmazgi, A. (2020). Effect of calf birth weight on milk production of Holstein dairy cattle in desert climate. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 4(3), 65-70. <http://dx.doi.org/10.14269/2318-1265/jabb.v4n3p65-70>
30. Ryan, A. W., Kegley, E. B., Hawley, J., Powell, J. G., Hornsby, J. A., Reynolds, J. L., & Laudert, S. B. (2015). Supplemental trace minerals (zinc, copper, and manganese) as sulfates, organic amino acid complexes, or hydroxy trace-mineral sources for shipping-stressed calves. *The Professional Animal Scientist*, 31(4), 333-341. <https://doi.org/10.15232/pas.2014-01383>
31. SAS Institute. (2004). User's Guide. Version 9.1: Statistics. SAS Institute, Cary, NC.
32. Siciliano Jones, J. L., Socha, M. T., Tomlinson, D. J., & DeFrain, J. M. (2008). Effect of trace mineral source on lactation performance, claw integrity, and fertility of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 91(5), 1985-1995. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0779>
33. Spears, J. W. (1996). Organic trace minerals in ruminant nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 58(1-2), 151-163. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00881-0](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00881-0)
34. Spears, J. W., & Kegley, E. B. (2002). Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *Journal of Animal Science*, 80(10), 2747-2752. <https://doi.org/10.1093/ansci/80.10.2747>
35. Spears, J. W., & Weiss, W. P. (2014). Invited review: Mineral and vitamin nutrition in ruminants. *The Professional Animal Scientist*, 30(2), 180-191. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30103-0](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30103-0)
36. Spears, J. W., Schlegel, P., Seal, M. C., & Lloyd, K. E. (2004). Bioavailability of zinc from zinc sulfate and different organic zinc sources and their effects on ruminal volatile fatty acid proportions. *Livestock Production Science*, 90(2-3), 211-217. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.05.001>
37. Stamey, J. A., Janovick, N. A., Kertz, A. F., & Drackley, J. K. (2012). Influence of starter protein content on growth of dairy calves in an enhanced early nutrition program. *Journal of Dairy Science*, 95(6), 3327-3336. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5107>
38. Stanton, T. L., Whittier, J. C., Geary, T. W., Kimberling, C. V., & Johnson, A. B. (2000). Effects of trace mineral supplementation on cow-calf performance, reproduction, and immune function. *The Professional Animal Scientist*, 16(2), 121-127. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31674-0](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31674-0)
39. Teixeira, A. G. V., Lima, F. S., Bicalho, M. L. S., Kussler, A., Lima, S. F., Felipe, M. J., & Bicalho, R. C. (2014). Effect of an injectable trace mineral supplement containing selenium, copper, zinc, and manganese on immunity, health, and growth of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 97(7), 4216-4226. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7625>

40. Tiffany, M. E., & Spears, J. W. (2005). Differential responses to dietary cobalt in finishing steers fed corn-versus barley-based diets. *Journal of Animal Science*, 83(11), 2580-2589. <https://doi.org/10.2527/2005.83112580x>
41. Tom Dieck, H., Döring, F., Roth, H. P., & Daniel, H. (2003). Changes in rat hepatic gene expression in response to zinc deficiency as assessed by DNA arrays. *The Journal of Nutrition*, 133(4), 1004-1010. <https://doi.org/10.1093/jn/133.4.1004>
42. Tomlinson, D. J., Mülling, C. H., & Fakler, T. M. (2004). Invited review: formation of keratins in the bovine claw: Roles of hormones, minerals, and vitamins in functional claw integrity. *Journal of Dairy Science*, 87(4), 797-809. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73223-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73223-3)
43. Underwood, E. J., & Suttle, N. F. (1999). *The Mineral Nutrition of Livestock*. 3rd edition. CABI Publishing, CAB International, Wallingford, 614. <https://doi.org/10.1017/s0007114500001689>
44. Vedovatto, M., Moriel, P., Cooke, R. F., Costa, D. S., Faria, F. J. C., Neto, I. M. C., Bento, A. L. L., Rocha, R. F. A. T., Ferreira, L. C. L., Almeida, R. G., Santos, S. A., & Franco, G. L. (2019). Effects of a single trace mineral injection on body parameters, ovarian structures, pregnancy rate and components of the innate immune system of grazing Nellore cows synchronized to a fixed-time AI protocol. *Livestock Science*, 225, 123-128. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.05.011>
45. Zaboli, K., & Elyasi, M. (2021). Effects of different amounts of zinc on performance and some blood and ruminal parameters in Holstein suckling calves. *Journal of Ruminant Research*, 9(3), 93-106. (In Persian).
46. Zarbalizadeh-Saed, A., Seifdavati, J., Abdi-Benemar, H., Salem, A. Z., Barbabosa-Pliego, A., Camacho-Diaz, L. M., Fadayifar, A., & Seyed-Sharifi, R. (2020). Effect of slow-release pellets of selenium and iodine on performance and some blood metabolites of pregnant Moghani ewes and their lambs. *Biological Trace Element Research*, 195, 461-471. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01853-w>
47. Zimmermann, M. B. (2006). The influence of iron status on iodine utilization and thyroid function. *Annual Review of Nutrition*, 26(1), 367-389. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.26.061505.111236>