

The effect of chelated and inorganic trace mineral supplements on performance, blood parameters, and skeletal growth indices in Holstein suckling calves

Ghasem Khadem ¹ , Taghi Ghoorchi* ² , Abdolhakim Toghdory ³ , Katayoun Mehrani ⁴ ,
KamelAmozadeh Araee ⁵ 

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

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

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

4- Ph.D. Graduated, Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran

5- Ph.D. Student, Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran

corresponding author: ghoorchi@gau.ac.ir

<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 assigned 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. In order to measure blood parameters on day 60 of the study, fasting blood was collected from the jugular vein of the calves using heparinized venoject tubes before morning feeding. Additionally, 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 توغدري^۳، کتابون مهرانی^۴، کامل عموزاده آرائی^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۷

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

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

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

۴- دانش آموخته دکتری، گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۵- دانشجوی دکتری، گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

*نویسنده مسئول مقاله: کتابون مهرانی، آدرس پست الکترونیکی ghoorchi@gau.ac.ir

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

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 ۳ تیمار و هر تیمار با ۱۲ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. تیمارها شامل ۱- شاهد (بدون مکمل مواد معدنی) ۲- تغذیه با ۲ گرم مکمل کیلاته به ازای هر رأس گوساله در روز ۳- تغذیه با ۲ گرم مکمل معدنی به ازای 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، استارتر مصرفی و ضریب تبدیل خوراک شد ($P < 0/05$). گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل کیلاته از فاصله بین دو چشم بالاتری 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 با گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل معدنی این اختلاف معنی‌دار نبود. 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 تریپتیرونین و تتراپتیرونین شد ($P < 0/05$). از نظر غلظت تریپتیرونین بین گروه شاهد با مکمل معدنی و مکمل معدنی و کیلاته اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین غلظت تتراپتیرونین گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل معدنی با کیلاته تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به‌طور کلی، مکمل کردن شیر گوساله‌های شیرخوار با مواد معدنی کیلاته، سبب بهبود صفات عملکردی، شاخص اسکلتی و همچنین پارامترهای اندازه گرفته‌شده مانند روی سرم و هورمون‌های تیروئیدی شد.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های رشد اسکلتی، عملکرد، فراسنجه‌های خونی، گوساله، مواد معدنی

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 به میزان 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، استراتژی‌های مناسب تغذیه‌ای و مدیریتی اتخاذ نشود، رشد، سلامت و عملکرد تولیدی گوساله‌ها به‌طور منفی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Krpálková et al., 2014). گوساله‌ها به دلیل ویژگی‌های فیزیولوژیکی خاص مانند 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، سلیوم، 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 and 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 غشا 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 پاتوژن‌ها و تنش‌های محیطی را تقویت می‌کند، بلکه موجب بهبود رشد و تولید نیز می‌شود (Tomlinson et al., 2004; Maggini et al., 2007). 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 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 سلیوم را در بهبود سیستم ایمنی، سلامت و رشد گوساله‌ها، به‌ویژه در شرایط تنش، اثبات کرده‌اند (Underwood and Suttle, 1999; Spears and 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 سلیوم 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). با این 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 رأسی پرورش گاو شیری مهران‌دگار 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 ۲ گرم مکمل کیلاته به ازای هر رأس گوساله در روز و تیمار ۳- تغذیه با ۲ گرم مکمل معدنی به ازای هر رأس گوساله در روز. در این پژوهش گوساله‌ها در جایگاه انفرادی با کف بتنی و دارای بستری از کلس که قبلاً شعله افکنی و ضد عفونی شده، نگهداری شدند. گوساله‌ها در طول زمان شیرخوارگی، روزانه با دو وعده شیر کامل (چهار لیتر) به میزان 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 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 گوساله‌ها قرار داشت. اقلام خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره خوراکی در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- اقلام خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره گوساله‌های شیرخوار

Table 1. Constituent feed ingredients and chemical composition of the ration of suckling calves			
اجزای خوراک (درصد ماده خشک)	درصد	ترکیبات شیمیایی	درصد
Feed components (%DM)	percentage	Chemical compounds	percentage
یونجه	10.00	ماده خشک	0.89
Alfalfa		Dry matter (%)	
دانه جو	10.00	پروتئین خام	21.75
Barley Seed		Crude protein (%)	
دانه ذرت	40.00	چربی خام	2.24
Corn Seed		Crude fat (%)	
سیوس گندم	5.00	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی	7.48
Wheat Bran		Acid detergent fiber (%)	
کنجاله سویا	32.00	الیاف نامحلول در شوینده خنثی	21.35
Soybean Meal		Neutral detergent fiber (%)	
مکمل ویتامینی-معدنی	1.00	خاکستر	3.89
Vitamin-mineral supplement		Ash (%)	
توکسین بایندر	1.00	انرژی قابل متابولیسم	2.86
Toxin Binder		Metabolizable energy (Mcal/kg DM)	
جوش شیرین	1.00		
Sodium Bicarbonate			

^۱پیش مخلوط ویتامین و مواد معدنی ارائه شده به ازای هر کیلوگرم جیره غذایی: ویتامین A: ۱۰۰۰۰۰۰ 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؛ مونسنین: ۱۵۰۰ میلی‌گرم؛ آنتی‌اکسیدان: ۱۰۰ میلی‌گرم.

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 زیستا

مکمل‌های موردنیاز این پژوهش از شرکت آسا تهیه گردید و سپس به انبار خوراک منتقل شد و پس از ترکیب با شیر به گوساله‌ها خورانده شد که شامل عناصر کم مصرف مانند کبالت، ید، سلنیوم، روی، منگنز، آهن و مس بوده است. مکمل کیلاته بر پایه اسید سیتریک و همچنین نوع معدنی آن‌ها برپایه سولفات بوده است.

اندازه‌گیری عملکرد رشد

جیره‌های مورد استفاده در این آزمایش هر روز در ساعت ۷ صبح و ۱۶ عصر در اختیار گوساله‌ها قرار می‌گرفت. خوراک داده شده و باقی‌مانده خوراک برای هر دام در هر روز توزین و ثبت می‌شد. خوراک مصرفی روزانه از میانگین اختلاف خوراک داده شده 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 داده شده 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 دوره‌ی آزمایش انجام می‌شد. وزن کشی 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 به میزان ۱۰ میلی‌لیتر از ورید گردن و بدون استفاده از ماده ضد انعقاد (EDTA) گرفته شده و در فلاسک حاوی یخ به سرعت به آزمایشگاه ارسال شد. لوله‌ها در دور $g \times 3000$ به مدت 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 تریپتوتیرونین و تتراپتوتیرونین به روش 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 طول از شاخ تا دم در روز آخر دوره اندازه‌گیری شد. برای این منظور گوساله‌ها در یک سطح کاملاً صاف و تمیز نگاه‌داشته شده، سپس توسط متر ابعاد بدن اندازه‌گیری و ثبت شد (Hossein Abadi et al., 2021).

مدل آماری

داده‌های به‌دست آمده 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 شدند. همچنین میانگین تیمارها از طریق آزمون دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد مقایسه شدند. مدل استفاده شده برای این طرح به شرح زیر می‌باشد:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} = مقدار مشاهده i ام در تکرار j ام، μ = اثر میانگین، T_i = اثر تیمار i ام، ε_{ij} = اثر خطای آزمایشی مربوط به تیمار i ام در تکرار j ام

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 ($P < 0.05$).

(Spears 1996) گزارش کرده است که استفاده از شکل غیرمعدنی عناصر کم‌نیاز در جیره دام‌های در حال رشد، به علت زیست‌فراهمی بالا، منجر به بهبود عملکرد رشد آن‌ها می‌شود. همسو با یافته‌های پژوهش حاضر، Mousavi-Haghshenas (2022) et al. بیان کردند که مکمل کردن جیره با عناصر معدنی کیلاته کم‌نیاز سبب افزایش نرخ رشد در گوساله‌های شیرخوار شد. 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 Feldmann et al. (2019) گوساله‌های تازه به دنیا آمده را به مدت دو هفته با دو منبع مختلف عنصر روی به صورت غنی سازی در شیر مصرفی مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند مکمل کردن شیر با ۸۰ میلی گرم عنصر روی به صورت سولفات روی یا روی-متیونین منجر به بهبود افزایش وزن در گوساله‌ها شد. افزایش ماده خشک مصرفی در دوره پیش از شیرگیری در گوساله‌های شیرخوار از اهمیت زیادی برخوردار است. در همین راستا (Stamey et al. 2012) همبستگی بالایی ($R^2 = 0.732$) بین میزان ماده خشک مصرفی در دوره قبل از شیرگیری و افزایش وزن پس از شیرگیری گزارش کردند. همسو با پژوهش ما (Spears 1996) بیان کردند که گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل روی آلی، نسبت به گروه دریافت‌کننده مکمل روی معدنی، خوراک آغازین بیشتری مصرف کردند. موافق با نتایج مطالعه امانلو و همکاران (۲۰۲۰) که در آن وزن و تغییرات وزن بدن میش‌ها پیش و پس از بره زایی تحت تأثیر افزودن مواد معدنی کم‌نیاز به صورت معدنی و آلی در جیره پیش و پس از بره زایی قرار نگرفتند. (Zarbalizadeh-Saed et al. 2020) گزارش کردند که تغذیه بلوس‌های آهسته رهش سلیوم و ید سبب افزایش وزن روزانه بره‌ها شد که همسو با پژوهش ما بود.

در این بین تعدادی از پژوهشگران گزارش کردند که مصرف خوراک آغازین بین گوساله‌های دریافت‌کننده مواد معدنی آلی یا غیر آلی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (Osorio Gelsinger et al., 2016; Ma et al. 2020; Chang et al., 2020) (et al., 2012; Alijani et al. (2020) و Mallaki et al. (2015) گزارش کردند که استفاده از شکل‌های مختلف عنصر

روی (آلی، معدنی و نانواکسید روی) تأثیری بر افزایش وزن روزانه و تغییرات وزنی بره‌ها ندارد. در تضاد با نتایج پژوهش حاضر، (Mandal et al., 2007; Ryan et al., 2015) 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. همچنین، Chang et al. (2020) اختلاف معنی‌داری را بین تیمار شاهد و تیمار دریافت‌کننده روی-متیونین یا اکسید روی در میزان خوراک آغازین مصرفی در دو هفته اول زندگی مشاهده نکردند. در پژوهشی دیگر، (Osorio et al., 2012) 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 چهارده روز اول و هفته نهم زندگی گزارش نکردند. با این حال، 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 کم مصرف 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 (Spears and Weiss (2014 نشان می‌دهد که مصرف منابع متفاوت عنصر روی (اکسید روی، روی کیلات شده با اسیدآمینه و روی لاکتات) سبب رشد بافت اپیتلیوم شکمبه بزغاله‌ها شد. از طرف دیگر شکل‌های غیر آلی مواد معدنی، اغلب به‌صورت سولفات‌ها و اگزالات‌ها مصرف می‌شوند و خوش‌خوراکی کمتری دارند (Ma et al., 2020) و 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 (Spears et al., 2014; Osorio et al., 2012). همچنین عملکرد دام وابسته به مقدار خوراک مصرفی، گوارش‌پذیری جیره، تولید فرآورده‌های تخمیری در شکمبه و توانایی سوخت‌وساز مواد مغذی در داخل بدن است (McDonald et al., 2011). 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 and Suttle, 1999).

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 غیر مشترک در هر ردیف تفاوت معنی دار را بین تیمارها نشان می دهد ($P < 0.05$).

ماده خشک مصرفی = جیره آغازین + شیر

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

Dry matter intake = Starter + Milk

نتایج مربوط به غلظت عناصر معدنی سرم گوساله ها در جدول ۳ آمده است. آنالیز داده ها نشان می دهد که غلظت روی سرم گوساله های دریافت کننده مکمل معدنی بیشتر از دو گروه دیگر است ($P < 0.05$)؛ در حالی که این اختلاف با گوساله های دریافت کننده مکمل کیلاته معنی دار نبود. همچنین تفاوت معنی داری بین غلظت آهن و مس سرم گوساله های مورد آزمایش مشاهده نشد.

گزارش کردند که با افزودن مکمل مواد معدنی سطح عنصر روی پلاسما در گوساله های دریافت کننده مکمل مواد معدنی به طور معنی داری افزایش یافت که همسو با پژوهش ما بود (Zaboli and Elyasi, 2021) همچنین بیان کردند که غلظت عنصر روی پلاسما نسبت به مصرف تغذیه ای آن حساس بوده، به خصوص اگر در سطوح بسیار کم یا بسیار زیاد مورد استفاده قرار گیرد. (Ahola et al. 2005) همسو با نتایج پژوهش حاضر گزارش کردند که مکمل مواد معدنی کم نیاز سبب افزایش معنی دار غلظت عنصر روی پلاسما در گوساله ها شد هر چند که غلظت مس پلاسما تغییر معنی داری نداشت. Olson et al. (1999) نیز بیان کردند افزودن مواد معدنی مس، منگنز، روی و کبالت به جیره سبب بهبود غلظت مس سرم نشد. همچنین Teixeira et al. (2014) گزارش کردند مکمل مواد معدنی حاوی مس، منگنز، روی و سلنیوم سبب تغییر در سطح سرمی عناصر مس نشد در حالی که سطح عنصر روی در گوساله های شیرخوار افزایش داد.

جدول ۳- اثر افزودن مکمل عناصر کم نیاز بر غلظت عناصر معدنی سرم گوساله های شیرخوار هلشتاین (گرم/ میلی لیتر)

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

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

اطلاعات حاصل از نتایج اثر عناصر معدنی کم‌نیاز بر هورمون‌های تیروئیدی در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به نتایج پژوهش ما افزودن عناصر معدنی کم‌نیاز به شیر گوساله‌ها سبب افزایش هورمون‌های تری‌دوتیرونین و تترا‌دوتیرونین شد ($P < 0.05$). از نظر غلظت تری‌دوتیرونین بین گروه شاهد با مکمل معدنی و مکمل معدنی و کیلاته اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین غلظت تترا‌دوتیرونین گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل معدنی با کیلاته تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. مطالعات متعدد نشان می‌دهد استفاده از مکمل مواد معدنی سبب افزایش معنی‌دار غلظت هورمون تری‌دوتیرونین گوساله‌های شیرخوار می‌شود (Ceppi et al., 1994; Eisa and Elgebaly, 2010). تری‌دوتیرونین 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 اسیدآمینه تایروزین جهت تولید هورمون‌های تیروئیدی نیاز است (Hess and Zimmermann, 2004). کمبود مس سبب اختلال ترشح آنزیم‌های تایروزین هیدروکسیلاز و دوپامین هیدروکسیلاز حاوی عنصر مس را در نورون‌های هیپوتالاموسی می‌شود که این امر سبب مهار ساخت فاکتور آزادکننده هورمون تیروئیدی می‌شود (Hess and Zimmermann, 2004). علاوه بر 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 تری‌دوتیرونین شود و فعالیت آنزیم دی‌ودیناز ۵ کبدی را تغییر دهد که تبدیل تیروکسین به تری‌دوتیرونین را تسریع می‌کند، همچنین یکی دیگر از سازوکارهای بالقوه، اختلال در فعالیت آنزیم تیروئید پروکسیداز می‌باشد (Zimmerman, 2004). تیروئید پروکسیداز یک آنزیم حاوی هم است که دو مرحله ابتدایی ساخت هورمون‌های تیروئیدی را تسریع می‌کند.

به‌طوری کلی عناصر معدنی می‌توانند بر روی غده هیپوفیز تأثیر بگذارند که مسئول ترشح هورمون‌های محرک تیروئید (TSH) است. TSH به نوبه 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 فرایندهای 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 and Suttle, 1999).

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

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

مورد	جیره‌های آزمایشی			خطای استاندارد میانگین‌ها	سطح معنی‌داری
Case	Experimental diets			SEM	P-value
	شاهد	مکمل معدنی	مکمل کیلاته		
	Control	Mineral supplement	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 غیر مشترک در هر ردیف تفاوت معنی‌دار را بین تیمارها نشان می‌دهد ($P < 0.05$).

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

اطلاعات حاصل از نتایج اثر عناصر معدنی کم‌نیاز بر شاخص‌های اسکلتی گوساله‌ها در جدول ۵ آمده است. بر اساس نتایج 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 دریافت‌کننده مکمل کیلاته بیشتر از گوساله‌های گروه شاهد بود ($P < 0.05$)؛ هرچند 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 دریافت شد، شاخص اسکلتی و به‌طور ویژه ارتفاع بدن و محیط دور شکم به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر مکمل کیلاته قرار گرفت. در پژوهشی [Mousavi-Haghshenas et al. \(2022\)](#) 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. استفاده از منابع معدنی غیر آلی و آلی، اندازه‌ی بدن را در پژوهش [Pino et al., 2018](#) تغییر نداد؛ اما مواد معدنی آلی سبب افزایش ارتفاع استخوان جدوگاه و هیپ در گوساله‌های شیرخوار شد ([Bilici et al., 2001](#); [Osorio et al., 2012](#)). [Bailey and Mears \(1990\)](#) نتیجه گرفتند که میانگین افزایش وزن روزانه کاملاً متناسب با اندازه توده بدن در حال رشد بوده است. 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 and Suttle, 1999](#)). عناصر معدنی مانند روی و مس به‌عنوان کوفاکتورهای آنزیم‌ها در فرآیندهای بیوشیمیایی مختلف عمل می‌کنند که به رشد استخوان‌ها کمک می‌کند. به‌عنوان مثال، روی در سنتز پروتئین‌ها، DNA و تولید هورمون‌های رشد (مانند IGF-1) نقش دارد که برای رشد سلول‌های استخوانی ضروری است ([Spears, 1996](#)).

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)

Trait	صفت	جیره‌های آزمایشی			اشتباه استاندارد میانگین‌ها	سطح معنی‌داری		
		Experimental diets					SEM	P-value
		شاهد	مکمل معدنی	مکمل کیلاته				
		Control	Mineral Supplement	Chelate Supplement				
عرض پوزه		6.50	6.83	6.75	0.228	0.571		
Muzzle width								
فاصله دو چشم		15.08 ^b	15.33 ^b	16.83 ^a	0.421	0.012		
Eyes interval								

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

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

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 (تری‌یدوتیرونین و تترا‌یدوتیرونین) 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 پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در گوساله‌های شیرخوار می‌انجامد.

تشکر و قدردانی

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.

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>
- Chang, M.N., Wei, J.Y., Hao, L.Y., Ma, F.T., Li, H.Y., Zhao, S.G. and 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>
- 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>
- 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>.
- 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>
- 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>
- 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.
- 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.
- Krpálková, 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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 & Animal Sciences*, 39(1), 75-80. <https://doi.org/10.3906/vet-1405-79>

- 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>
- Marques, R. S., Cooke, R. F., Rodrigues, M. C., Cappelozza, B. I., Mills, R. R., Larson, C. K., ... & 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>
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, R. G. (2011). *Animal Nutrition*. ed. Essex: Pearson Education Limited.
- McDowell, L. R. (2012). *Vitamins in Animal Nutrition: Comparative Aspects to Human Nutrition*. Elsevier, San Diego, United States.
- Mousavi-Haghshenas, 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>.
- 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)
- Olson, P. A., Brink, D. R., Hickok, D. T., Carlson, M. P., Schneider, N. R., Deutscher, G. H., ... & 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>
- 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>
- 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>
- 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)
- 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>
- 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>
- SAS Institute. (2004). *User's Guide. Version 9.1: Statistics*. SAS Institute, Cary, NC.

- 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>
- Spears, J. W. (1996). Organic trace minerals in ruminant nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 58(1-2): 151-163.
- 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>
- 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)
- 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>
- 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>
- 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)
- 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>
- 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>
- 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>
- 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)
- Underwood, E. J., & Suttle, N. F. (1999). *The Mineral Nutrition of Livestock* .3rd edition.
- Vedovatto, M., Moriel, P., Cooke, R. F., Costa, D. S., Faria, F. J. C., Neto, I. M. C., ... & 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>

- 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). <https://doi.org/10.22069/ejrr.2021.19197.1794>
- Zarbalizadeh-Saed, A., Seifdavati, J., Abdi-Benemar, H., Salem, A. Z., Barbabosa-Pliego, A., Camacho-Diaz, L. M., ... & 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>
- 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>