



## The effect of supplementing the glycinate form of zinc, copper, iron and manganese on the growth performance, some biochemical and enzymatic parameters and skeletal growth of suckling calves

Mohammad Hossein Moazeni Zadeh<sup>1</sup> | Armin Towhidi<sup>2</sup> | Mehdi Zhandi<sup>3</sup> | Kamran Rezayazdi<sup>4</sup> | Hoda Javaheri Barfourooshi<sup>5</sup>

1. Department of Animal Science, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: [moazeni.mh@ut.ac.ir](mailto:moazeni.mh@ut.ac.ir)
2. Corresponding Author, Department of Animal Science, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: [atowhidi@ut.ac.ir](mailto:atowhidi@ut.ac.ir)
3. Department of Animal Science, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: [mzhandi@ut.ac.ir](mailto:mzhandi@ut.ac.ir)
4. Department of Animal Science, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: [rezayazdi@ut.ac.ir](mailto:rezayazdi@ut.ac.ir)
5. Animal Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension organization, Karaj, Iran. E-mail: [hoda.javaheribarfourooshi@gmail.com](mailto:hoda.javaheribarfourooshi@gmail.com)

### Article Info

**Article type:**  
Research Article

### Article history:

Received 23 February 2024  
Received in revised form  
16 August 2024  
Accepted 18 August 2024  
Published online 30 September 2024

### Keywords:

Chelate  
Glycine  
Holstein calves  
Inflammation  
organic supplementation

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of supplementing glycinate form of zinc, copper, iron and manganese on growth performance and some blood biochemical parameters of suckling calves. A total of 20 one-day-old Holstein calves were randomly divided into two equal groups. Until weaning on day 63, the control group received milk and basal starter diet containing whey protein as a carrier while the treatment group received milk containing 6, 1.5, 15, and 6 ppm of zinc, copper, iron and manganese respectively, together with basal starter diet containing 40, 10, 100, and 40 ppm of zinc, copper, iron and manganese respectively. To assess the growth performance, feed intake was measured daily, and calves were weighed weekly. Blood samples were collected on days 0, 21, 42 and 63. Supplementation with glycinate trace elements significantly increased serum albumin, glucose, and high-density lipoprotein and decreased low-density lipoprotein concentrations in suckling calves compared to the control group. Carpus lengths was increased in calves treated with organic trace elements compared to the control group ( $P < 0.05$ ). Also, serum concentration of zinc tended to be higher in calves received glycinate trace mineral supplement ( $P = 0.05$ ). However, supplementation of organic trace minerals had no significant effect on growth performance and concentration of alkaline phosphatase, aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase and lactate dehydrogenase in serum. The results of this study showed that supplementing the diet of calves with glycinate trace minerals improved inflammation-related parameters such as albumin, low- and high-density lipoproteins, and energy metabolism-related parameters such as serum glucose. However, supplementation of glycinate trace minerals did not have a significant effect on the growth performance of suckling calves.

**Cite this article:** Moazeni Zadeh, M. H., Towhidi, A., Zhandi, M., Rezayazdi, K., & Javaheri Barfourooshi, H. (2024). The effect of supplementing the glycinate form of zinc, copper, iron and manganese on the growth performance, some biochemical and enzymatic parameters and skeletal growth of suckling calves. *Journal of Animal Production*, 26 (3), 303-316. DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2024.372753.623784>





## تأثیر مکمل سازی شکل گلیسینات عناصر کم مصرف روی، مس، آهن و منگنز بر عملکرد رشد، برخی فراسنجه های بیوشیمیایی و آنزیمی و رشد اسکلتی گوساله های شیر خوار

محمدحسین مؤذنی زاده<sup>۱</sup> | آرمین توحیدی<sup>۲</sup> | مهدی ژندی<sup>۳</sup> | کامران رضایزدی<sup>۴</sup> | هدی جواهری بارفروشی<sup>۵</sup>

۱. گروه علوم دامی، دانشکده گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: [moazeni.mh@ut.ac.ir](mailto:moazeni.mh@ut.ac.ir)
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، دانشکده گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: [atowhidi@ut.ac.ir](mailto:atowhidi@ut.ac.ir)
۳. گروه علوم دامی، دانشکده گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: [mzhandi@ut.ac.ir](mailto:mzhandi@ut.ac.ir)
۴. گروه علوم دامی، دانشکده گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: [rezayazdi@ut.ac.ir](mailto:rezayazdi@ut.ac.ir)
۵. مؤسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: [hoda.javaheribarfouroushi@gmail.com](mailto:hoda.javaheribarfouroushi@gmail.com)

### اطلاعات مقاله

### چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹

### کلیدواژه ها:

التهاب

کیلات

گلیسین

گوساله هلشتاین

مکمل آلی

به منظور اثر مکمل گلیسینات عناصر کم مصرف روی، مس، آهن و منگنز بر رشد و فراسنجه های خونی گوساله های شیرخوار با استفاده از تعداد ۲۰ رأس گوساله یک روزه هلشتاین در قالب طرح کاملاً تصادفی به دو گروه (ده رأس در هر گروه) تقسیم و تا زمان شیرگیری (۶۳ روزگی) مورد مطالعه بررسی شد. طی دوره آزمایش، گوساله های شاهد شیر و جیره آغازین بدون مکمل سازی مواد معدنی کم مصرف و گوساله های گروه تیمار، شیر مکمل سازی شده با ۶ ppm روی، ۱/۵ ppm مس، ۱۵ ppm آهن و ۶ ppm منگنز و همچنین جیره آغازین پایه به همراه ۴۰ ppm روی، ۱۰ ppm مس، ۱۰۰ ppm آهن و ۴۰ ppm منگنز به شکل کیلاته گلیسین تا زمان شیرگیری دریافت کردند. مصرف خوراک به صورت روزانه و وزن به صورت هفتگی اندازه گیری شد. نمونه های خون در روزهای صفر، ۲۱، ۴۲ و ۶۳ جمع آوری شدند. گوساله های گروه تیمار غلظت سرمی آلبومین، گلوکز و لیپوپروتئین های با چگالی بالاتر و غلظت لیپوپروتئین های با چگالی پایین کمتری نسبت به گروه شاهد داشتند ( $P < 0.05$ ). طول استخوان کارپوس در گوساله های گروه تیمار نسبت به گروه شاهد افزایش یافت ( $P < 0.05$ ). همچنین در گوساله های دریافت کننده مکمل گلیسینات عناصر کم مصرف غلظت سرمی عنصر روی نسبت به گروه شاهد به بیش تر بود ( $P = 0.05$ ). با این حال، مکمل آلی عناصر کم مصرف تأثیر معنی داری بر عملکرد رشد و غلظت آنزیم های آلکالین فسفاتاز، اسپاراتات آمینوترانسفراز، آلانین آمینوترانسفراز و لاکتات دهیدروژناز سرم نداشت. براساس نتایج حاصل مکمل سازی عناصر مورد مطالعه به شکل کیلاته گلیسین سبب بهبود برخی فراسنجه های خونی مرتبط با التهاب نظیر آلبومین و لیپوپروتئین های با چگالی پایین و لیپوپروتئین های با چگالی بالا و فراسنجه های مرتبط با سوخت و ساز انرژی مانند گلوکز سرم گوساله های شیرخوار شد، اما بر عملکرد رشد گوساله های شیرخوار اثر معنی داری نداشت.

**استناد:** مؤذنی زاده، محمدحسین؛ توحیدی، آرمین؛ ژندی، مهدی؛ رضایزدی، کامران و جواهری بارفروشی، هدی (۱۴۰۳). تأثیر مکمل سازی شکل گلیسینات عناصر کم مصرف روی، مس، آهن و منگنز بر عملکرد رشد، برخی فراسنجه های بیوشیمیایی و آنزیمی و رشد اسکلتی گوساله های شیرخوار. نشریه تولیدات دامی، ۲۶ (۳)، ۳۰۳-۳۱۶. DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2024.372753.623784>



## ۱. مقدمه

تنش اکسیداتیو اختلالات و مشکلات شدیدی در بدن ایجاد کرده و به سلامت نوزاد انسان و حیوانات آسیب می‌رساند (موتیناتی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۳). پس از تولد در مواجهه با سطوح بالای اکسیژن محیطی، فرایندهای سوخت‌وساز هوازی نوزادان تقویت شده و گونه‌های فعال اکسیژن بیش‌تری تولید می‌شود (گال<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۶). مواد معدنی کم‌مصرف برای بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی بدن و حفظ بقا و سلامتی حیوانات حیاتی هستند. مواد معدنی در تشکیل استخوان‌ها و در بسیاری از عملکردهای مربوط به آنزیم‌ها، هورمون‌ها و سامانه ایمنی نقش دارند (ریچاردز<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). برخی از مواد معدنی کم‌مصرف برای فعالیت آنزیم‌های محافظ در برابر تنش اکسیداتیو ضروری بوده و هم‌چنین سلول‌های ایمنی را از راه‌های متفاوتی نسبت به اثرات آنتی‌اکسیدانی خود تحت تأثیر قرار می‌دهند (اسپیرز<sup>۴</sup>، ۲۰۰۰). کمبود عناصر کم‌مصرف منجر به کاهش مصرف خوراک، اختلال در رشد و مرگ می‌شود (ساتل<sup>۵</sup>، ۲۰۲۲). روی، مس، آهن و منگنز عناصر کم‌مصرف ضروری بوده و در فرایندهای گوارشی مختلف (هوانگ<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۹)، عملکردهای فیزیولوژیکی (ورا و کراتزر<sup>۷</sup>، ۱۹۵۷)، پاسخ‌های سامانه ایمنی (اسمیت<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۸) و ساخت زیستی (پاسترناک<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۰) دخیل هستند.

در جیره‌نویسی حیوانات مزرعه‌ای به‌طور رایج از نمک‌های غیرآلی مواد معدنی مانند سولفات‌ها، اکسیدها و کربنات‌ها استفاده می‌شود. جذب و ابقای نوع غیرآلی مواد معدنی توسط بدن اندک است. امروزه آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از دفع مواد معدنی توسط حیوانات منجر به انجام پژوهش‌های گسترده با هدف کشف چگونگی افزایش جذب عناصر کم‌مصرف در روده و بهبود ابقای آن‌ها در بدن شده است. با گذشت زمان، اثرات متقابل مضر یون‌های فلزی خوراک و برخی از اجزای جیره اثبات شده است. شکل آلی مواد معدنی در مقایسه با اشکال غیرآلی به‌طور مؤثرتری جذب و در بافت‌ها ذخیره شده و باعث بهبود عملکرد رشد، ایمنی و سلامت حیوان می‌شود (اسپیرز<sup>۱۰</sup>، ۱۹۹۶).

کیلاته‌های گلایسین با واکنش شیمیایی اسیدآمین گلایسین و عناصر فلزی تولید می‌شوند و از مکمل‌های خوراکی مطلوب و جدید بوده و خواص فیزیکی و شیمیایی و فعالیت زیستی رضایت‌بخشی دارند. گروه کربوکسیل گلایسین با پیوند یونی و گروه آلفا آمینو آن با پیوند کووالانسی کئوردینانسی به عنصر فلزی متصل می‌شود (یین<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). ترکیب گلایسینات عناصر کم‌مصرف به‌دلیل پایداری مناسب، خوش‌خوراک‌بودن و خنثی‌بودن الکتریکی، منبع مطلوب آلی این عناصر در نظر گرفته می‌شود (ژنگ<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). گلایسین کم‌ترین وزن ملکولی را بین اسیدهای آمینه دارد. این اسیدآمین به حفظ پایداری ترکیبات کیلاته کمک کرده و از آزادشدن عناصر کم‌مصرف در معده و روده جلوگیری می‌کند. عناصر کم‌مصرف آلی نظیر گلایسینات‌ها، در اسیدپتیه بین محدوده شش تا هفت (شبه اسیدپتیه محیط شکمبه) کاملاً محلول بوده و پایداری بالایی دارند (ویمر<sup>۱۳</sup>، ۱۹۹۸) که بیانگر اثر تجزیه آنزیمی حداقلی بر روی این ترکیبات است (بیرنه<sup>۱۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۱).

1. Mutinati
2. Gaál
3. Richards
4. Spears
5. Suttle
6. Huang
7. Vohra & Kratzer
8. Smith
9. Pasternak
10. Spears
11. Yin
12. Zhang
13. Weimer
14. Byrne

مقاومت در برابر تغییرات اسیدیته به این کیلاتها اجازه می‌دهد تا توانایی حفظ عنصر فلزی به شکل محلول و محافظت از آن در برابر مهارکننده‌های خوراک را حفظ کند. اسیدآمینه گلايسين مستحکم‌تر از متيونين به مواد معدنی متصل می‌شود (کراتزر<sup>۱</sup>)، و این امر ممکن است جذب کمپلکس کیلات گلايسين را تسهیل کند. بر همین اساس، به‌تازگی برای کیلاته‌کردن عناصر معدنی کم‌مصرف از اسید آمینه گلايسين به‌جای متيونين استفاده می‌شود.

افزودن سطوح بالای گلايسينات روی به جیره پایه، تأثیر مفیدی بر عملکرد رشد و فراسنجه‌های ایمنی طیور داشت (فنگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج یک مطالعه نشان داد که سطوح بالای گلايسينات روی خوراک (۹۰ یا ۱۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) منجر به بهبود فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز و کاهش مقدار مالون‌دی‌آلدید جوجه‌ها شد (ما<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). هانسن<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که گلايسينات مس در گوساله‌های تغذیه‌شده با جیره حاوی مقادیر زیاد آنتاگونیست‌ها (مولیدین و سولفور) زیست‌فراهمی این عنصر را بهبود بخشید. گلايسينات آهن تنش اکسیداتیو و دفع آهن از مدفوع را در جوجه‌های گوشتی کاهش داد (باو<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۷؛ ما<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۲) و فراسنجه‌های ایمنی و خون‌شناسی خوک‌ها را بهبود بخشید (فنگ<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۷) و در موش‌ها به‌خوبی جذب و استفاده شد (پیندا و اشمید<sup>۸</sup>، ۲۰۰۱). افزودن گلايسينات منگنز به جیره باعث جذب بیش‌تر منگنز و بهبود عملکرد تولید و ذخیره منگنز در بافت‌های مختلف مرغ‌های تخم‌گذار شد (ایروانی و وکیلی<sup>۹</sup>، ۲۰۲۱). یعقوب<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند که مکمل عناصر کم‌مصرف روی، مس، آهن و منگنز به شکل کیلات‌گلايسينات باعث بهبود وضعیت آنتی‌اکسیدانی کبد و کیفیت تخم‌مرغ مرغ‌های تخم‌گذار شد. مکمل گلايسينات عناصر روی، مس، آهن و منگنز نسبت به گروه شاهد باعث بهبود جذب و کاهش دفع این عناصر از مدفوع خوک‌ها شد (مانر<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۶). اکثر مطالعات موجود درباره کمپلکس گلايسينات روی یک عنصر کم‌مصرف متمرکز بوده و پیرامون استفاده همزمان از چند عنصر به شکل کمپلکس گلايسينات در گوساله‌های شیرخوار تحقیقات محدودی انجام شده است. لذا هدف از این تحقیق، ارزیابی تأثیر مکمل‌سازی همزمان شکل گلايسينات عناصر کم‌مصرف روی، مس، آهن و منگنز بر عملکرد رشد، برخی فراسنجه‌های بیوشیمیایی و آنزیمی و رشد اسکلتی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین بود.

## ۲. روش‌شناسی پژوهش‌حیوانات و خوراک‌دادن

این پژوهش در گاوداری تلیسه نمونه، شعبه حسن‌آباد، واقع در حسن‌آباد فشافویه استان تهران به‌مدت سه ماه از بهمن‌ماه ۱۳۹۷ انجام شد. تمام شیوه‌های پرورش با در نظر گرفتن کامل رفاه حیوانات انجام شد. در مجموع، تعداد ۲۰ رأس گوساله شیرخوار هلشتاین یک‌روزه (۱۰ راس نر و ۱۰ راس ماده) با میانگین وزن تولد  $40 \pm 5$  کیلوگرم به دو گروه شاهد و تیمار اختصاص یافتند. تخصیص گوساله‌ها به گروه‌ها از نظر جنسیت، شکم‌زایش مادر وزن اولیه به صورت متوازن انجام شد. گوساله‌های گروه شاهد از سه تا ۶۳ روزگی، شیر کامل و خوراک آغازین (جدول ۱) دریافت کردند، اما شیر تغذیه‌شده به گوساله‌های گروه تیمار با شش

1. Kratzer
2. Feng
3. Ma
4. Hansen
5. Bao
6. Ma
7. Feng
8. Pineda & Ashmead
9. Iravani & Vakili
10. Yaqoob
11. Männer

پی پی ام عنصر روی، ۱/۵ پی پی ام عنصر مس، ۱۵ پی پی ام عنصر آهن و ۶ پی پی ام عنصر منگنز و جیره آغازین گوساله‌های گروه تیمار نیز با ۴۰ پی پی ام عنصر روی، ۱۰ پی پی ام عنصر مس، ۱۰۰ پی پی ام عنصر آهن و ۴۰ پی پی ام عنصر منگنز به شکل کیلات متصل به اسید آمینه گلایسین مکمل‌سازی شد. به منظور مکمل‌سازی عناصر معدنی در شیر، میزان تعیین شده از آن‌ها در دو گرم پروتئین آب پنیر به ازای هر کیلوگرم شیر مصرفی و همچنین برای اضافه نمودن به جیره آغازین، مقادیر تعیین شده در سه درصد پروتئین آب پنیر پایه، رقیق‌سازی و سپس مکمل‌سازی انجام شد. به شیر و خوراک آغازین گوساله‌های گروه شاهد همین میزان پروتئین آب پنیر (فاقد عناصر معدنی مورد مطالعه) اضافه شد.

گوساله‌ها بلافاصله پس از تولد از مادرهای خود جدا شده و در جایگاه‌های انفرادی با بستر پوشیده از کلس نگرهداری شدند و در ساعات اولیه پس از تولد دو کیلوگرم به ازای هر راس و سپس دو بار در روز برای ۴۸ ساعت آغوز خوردند. سپس، تا انتهای دوره آزمایش در ۶۳ روزگیبا شیر کامل تغذیه شدند. شیر کامل تا دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شده و سپس تا دمای ۳۸ درجه سانتی‌گراد سرد و به گوساله‌ها خورانده شد. گوساله‌ها طی هفته اول زندگی روزانه چهار کیلوگرم طی دو وعده؛ هفته دوم پنج کیلوگرم طی دو وعده؛ هفته سوم، شش کیلوگرم طی دو وعده؛ هفته چهارم تا ششم، نه کیلوگرم طی دو وعده؛ هفته هفتم، شش کیلوگرم طی دو وعده؛ هفته هشتم، چهار کیلوگرم طی دو وعده و هفته نهم، دو کیلوگرم طی یک وعده با شیر تغذیه شدند. گوساله‌ها از هفته اول زندگی تا زمان از شیرگیری در ۶۳ روزگی، دسترسی آزاد به آب و جیره آغازین (جدول ۱) داشتند.

جدول ۱. مواد خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره آغازین پایه (بر اساس درصد ماده خشک)

اجزا	درصد
دانه ذرت	۴۳/۷
کنجاله سویا	۳۰/۰
دانه جو	۱۵/۰
کنجاله گلو تن ذرت	۱/۰
کنجاله ماهی	۲/۰
سبوس گندم	۳/۰
فول فت سویا	۲/۰
نمک	۰/۵
بیکربنات سدیم	۱/۰
دی‌کلسیم فسفات	۰/۵
کربنات کلسیم	۰/۵
پیش مخلوط مواد معدنی	۰/۳
پیش مخلوط مواد ویتامینی	۰/۵
ترکیبات شیمیایی (درصد)	
ماده خشک	۸۸/۶۳
پروتئین خام	۲۲/۰۰
فیبر محلول در شوینده خنثی	۲۹/۳۹
فیبر محلول در شوینده اسیدی	۱۱/۶۲
عصاره اتری	۳/۸۵
خاکستر	۷/۲۹

\*: پیش مخلوط مواد معدنی شامل ۱۲۵۰۰ میلی‌گرم منگنز، ۱۸۰۰۰ میلی‌گرم روی، ۴۵۰۰ میلی‌گرم مس، ۱۰۰ میلی‌گرم کبالت، ۷۲ میلی‌گرم سلنیوم و ۲۰۰ میلی‌گرم ید به شکل غیرآلی در هر کیلوگرم است.

\*: پیش مخلوط ویتامینی شامل ۱۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A، ۲۵۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D3 و ۵۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین E در هر کیلوگرم است.

## ۱.۲. اندازه‌گیری عملکرد رشد و رشد اسکلتی

برای محاسبه ضریب تبدیل خوراک و میانگین افزایش وزن روزانه، مصرف خوراک به‌صورت روزانه اندازه‌گیری و وزن‌کشی گوساله‌ها به‌صورت هفتگی انجام شد. همچنین، اندازه طول بدن، محیط قفسه سینه، ارتفاع از پشت، ارتفاع از جدوگاه، طول استخوان کارپوس، طول استخوان درشت‌نی، ارتفاع استخوان هیپ، فاصله دو سر استخوان‌های هیپ و ارتفاع استخوان پین با استفاده از کولیس و متر استاندارد در روزهای صفر، ۳۲ و ۶۳ اندازه‌گیری شد (اوزکایا و بوزکورت<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸).

## ۲.۲. خون‌گیری

جهت ارزیابی فراسنجه‌های بیوشیمیایی و آنزیمی سرمی، نمونه‌های خون در روزهای صفر، ۲۱، ۴۲ و ۶۳ پس از تولد از سیاهرگ گردنی با لوله‌ها خلأدار بدون ماده ضد انعقاد جمع‌آوری شدند. برای جداسازی سرم خون، نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد با سرعت  $1000 \times g$  سانتریفیوژ و سپس سرم آن‌ها در دمای  $-80$  درجه سانتی‌گراد منجمد شده و تا زمان ارسال به آزمایشگاه در فریزر نگهداری شدند.

## ۳.۲. سطوح مواد معدنی کم‌مصرف سرم

غلظت سرمی مواد معدنی کم‌مصرف (روی، مس، آهن و منگنز) با کیت‌های تجاری شرکت دیالاب اتریش (حداقل اندازه‌گیری به‌ترتیب غلظت ۵، ۵، ۵ و  $0/2$  قسمت در میلیون به‌ترتیب) و با استفاده از دستگاه میکروپلیت ریدر اتومات (EON-BIOTEK, America) اندازه‌گیری شد.

## ۴.۲. فراسنجه‌های بیوشیمیایی و آنزیمی سرم

غلظت آلبومین، پروتئین تام، گلوکز، تری‌گلیسیرید، کلسترول تام، لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا، لیپوپروتئین‌های با چگالی پایین، نیترژن اورهای خون، بیلی‌روبین تام و بیلی‌روبین مستقیم با استفاده از کیت‌های تجاری شرکت پارس آزمون (حداقل اندازه‌گیری غلظت دو،  $0/5$  گرم در دسی‌لیتر، ۵، ۵، ۵، ۱، ۲، ۲، ۱ و ۱ میلی‌گرم در دسی‌لیتر) و دستگاه میکروپلیت ریدر اتومات (EON-BIOTEK, America) اندازه‌گیری شد.

فعالیت سرمی آنزیم‌های آلکالین فسفاتاز، آسپاراتات آمینوترانسفراز، آلانین آمینوترانسفراز و لاکتات دهیدروژناز با استفاده از کیت‌های تجاری شرکت پارس آزمون (به‌ترتیب حداقل مقادیر قابل اندازه‌گیری عبارت بودند از غلظت سه، دو، چهار و پنج واحد بین‌المللی در لیتر) و دستگاه میکروپلیت ریدر اتومات (EON-BIOTEK, America) تعیین شد.

## ۵.۲. روش آماری

پس از آزمون توزیع نرمال باقی‌مانده‌ها با استفاده از رویه Univariate در نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱)، از یک طرح کاملاً تصادفی برای مدل (۱) تجزیه و تحلیل داده‌های تکرار شونده در زمان با استفاده از رویه MIXED استفاده شد. آزمون توکی برای مقایسه میانگین‌ها در سطح معنی‌داری ۵ درصد استفاده و نتایج به صورت میانگین حداقل مربعات بیان شدند. مدل آماری و اجزای آن مطابق زیر بود:

$$Y_{ijkl} = \mu \pm A_i + B_j + b(W_i - W) + \delta(A)_{il} + (AB)_{ij} + e_{ijkl} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن،  $Y_{ijkl}$  متغیر وابسته،  $\mu$  میانگین جمعیت،  $A_i$  اثر ثابت تیمار،  $B_j$  زمین روز نمونه‌گیری به‌عنوان عامل تکرار شونده،  $b(W_i - W)_k$  اثر کواریت،  $\delta(A)_{il}$  اثر تصادفی هر حیوان درون تیمار،  $(AB)_{ij}$  اثر متقابل تیمار در زمان نمونه‌گیری،  $e_{ijkl}$  اثر باقی‌مانده‌ها با توزیع نرمال.

## ۳. نتایج و بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که وزن بدن، میانگین افزایش وزن روزانه، میانگین مصرف خوراک روزانه و ضریب تبدیل خوراک گوساله‌های شیرخوار تحت تأثیر مکمل گلایسینات عناصر کم‌مصرف قرار نگرفت (جدول ۲). این نتایج نشان می‌دهد که احتمالاً سطوح مواد معدنی کم‌مصرف جیره پایه احتیاجات رشد گوساله‌های شیرخوار را تأمین می‌کند. پژوهش‌گران بسیاری گزارش دادند که عملکرد در مرحله رشد تحت تأثیر مکمل مواد معدنی (وارد<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۳؛ انجل و اسپیرز<sup>۲</sup>، ۲۰۰۰) و یا نوع منبع آن (انجل و اسپیرز<sup>۳</sup>، ۲۰۰۰) قرار نمی‌گیرد. مانر<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۶) گزارش دادند که مکمل گلایسینات عناصر کم‌مصرف روی، مس، آهن و منگنز نسبت به گروه شاهد تأثیر معنی‌داری بر افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک خوک‌ها نداشت. موندال<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند تغذیه مکمل پروتئینات عناصر کم‌مصرف مس، روی، آهن و منگنز به گوساله‌ها (شش تا نه ماهه) به مدت ۹۰ روز باعث بهبود وزن بدن و افزایش وزن روزانه در مقایسه با گروه شاهد شد. در مطالعه مذکور، سن گوساله‌ها و مدت زمان انجام آزمایش و همچنین نوع کیلاته مورد استفاده، با مطالعه حاضر متفاوت است. باندیری<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۰) با تغذیه مکمل روی، مس و منگنز متیونین به مدت ۱۲۰ روز به گوساله‌های هفت تا ۱۰ ماهه، لیو<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۲۳) با تغذیه مکمل پروپیونات روی به گوساله‌های شیرخوار به مدت ۳۰ روز و وو<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۲۲) با تغذیه مکمل‌های متیونین و پروپیونات روی به گوساله‌های شیرخوار تا ۳۰ روزگی، بهبود افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک را در گوساله‌های دریافت‌کننده شکل آلی عناصر کم‌مصرف در مقایسه با گروه شاهد گزارش کردند. احتمالاً منابع متفاوت شکل آلی مواد معدنی کم‌مصرف و همچنین سن متفاوت گوساله‌ها در این پژوهش‌ها باعث ایجاد نتایج متناقض با تحقیق حاضر شد.

جدول ۲. وزن بدن، افزایش وزن روزانه، مصرف خوراک روزانه و ضریب تبدیل غذایی در گوساله‌های شیرخوار هلستاین (میانگین حداقل مربعات)

SEM	P-value		گروه آزمایشی			فراسنجه
	تیمار × زمان	زمان	تیمار	تیمار	شاهد	
۱/۷۸			۰/۷۸	۴۱/۷۹	۴۱/۰۸	وزن تولد (کیلوگرم)
۱/۰۴	۰/۹۸	<۰/۰۰۰۱	۰/۹۳	۵۸/۴۰	۵۸/۵۱	میانگین وزن دوره (کیلوگرم)
۰/۰۲	۰/۸۴	<۰/۰۰۰۱	۰/۴۰	۰/۵۹	۰/۶۱	میانگین افزایش وزن روزانه (کیلوگرم)
۰/۰۴	۰/۴۰	<۰/۰۰۰۱	۰/۱۷	۱/۰۴	۱/۱۰	میانگین مصرف خوراک روزانه (کیلوگرم)
۰/۱۴	۰/۷۷	<۰/۰۰۰۱	۰/۹۸	۲/۰۹	۲/۰۸	ضریب تبدیل خوراک

SEM: انحراف استاندارد میانگین‌ها.

1. Ward
2. Engle & Spears
3. Engle & Spears
4. Männer
5. Mondal
6. Bhandari
7. Liu
8. Wo

در گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل گلایسینات عناصر کم‌مصرف در مقایسه با گروه شاهد افزایش معنی‌دار طول استخوان کارپوس مشاهده شد (جدول ۳).

برخی از عناصر کم‌مصرف موجود در استخوان مانند روی، مس، آهن و منگنز اجزای سامانه‌های آنزیمی هستند که در عملکرد طبیعی سلول‌های استخوانی و غضروف نقش دارند (وان<sup>۱</sup>، ۱۹۷۰). عناصر کم‌مصرف با اجزای آلی یا غیرآلی ماتریکس مرتبط بوده و بر خواص فیزیکی استخوان تأثیر می‌گذارند. عنصر روی برای ساخت کلاژن نیاز است (آندروود و ساتل<sup>۲</sup>، ۱۹۹۹). کلاژن پروتئین ساختاری اصلی ماتریکس خارج سلولی و بافت‌های همبند در بافت‌های داخلی از جمله غضروف و استخوان است. کمبود روی منجر به کاهش طول و استحکام استخوان‌های پا در خوکچه‌ها (میلر<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۶۸) و مشکلات پا و مفصل در گوساله‌ها شد (میلر و میلر<sup>۴</sup>، ۱۹۶۰، ۱۹۶۲). آنزیم لیزیل اکسیداز وابسته به مس در ساخت و نگهداری کلاژن استخوان و سایر بافت‌های همبند نقش دارد. ناهنجاری‌های اسکلتی در بره‌های کمبود مس ایجاد شد (بنتس، ۱۹۳۲). عنصر آهن کوفاکتور آنزیم‌های متعددی نظیر داکسیژنازهای وابسته به ۲-اوگزوگلو تارات است که در ساخت کلاژن نقش دارند (سالمین و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۵). آنزیم‌های وابسته به منگنز ماتریکس پروتئوگلیکان را در غضروف برای رشد استخوان تشکیل می‌دهند. در پژوهشی کمبود منگنز باعث کاهش استحکام و طول درشتنی در بره‌ها (لاسیتر و مورتون<sup>۶</sup>، ۱۹۶۸) و کاهش استحکام و طول بازو در گوساله‌ها شد (روجاز و همکاران<sup>۷</sup>، ۱۹۶۵). موسوی-حق‌شناس<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۲۲) گزارش دادند که مکمل آلی عناصر کم‌مصرف در گوساله‌های شیرخوار سبب افزایش عرض استخوان‌های هیپ شد. احتمالاً سطح مواد معدنی کم‌مصرف جیره پایه جهت حمایت از رشد اسکلتی گوساله‌های شیرخوار کافی بوده که اغلب فراسنجه‌های اندازه‌گیری‌شده مرتبط با رشد اسکلتی در این آزمایش بین دو گروه تفاوت معنی‌داری نداشت.

جدول ۳. میانگین حداقل مربعات رشد اسکلتی در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

SEM	P-value		گروه آزمایشی			فراسنجه
	تیمار × زمان	زمان	تیمار	تیمار	شاهد	
۰/۵۹	۰/۰۹	<۰/۰۰۰۱	۰/۸۴	۸۱/۷۷	۸۱/۹۴	طول بدن (سانتی‌متر)
۰/۴۴	۰/۵۸	<۰/۰۰۰۱	۰/۷۴	۸۸/۶۹	۸۸/۹۰	دور سینه (سانتی‌متر)
۰/۳۵	۰/۷۳	<۰/۰۰۰۱	۰/۵۴	۸۳/۷۰	۸۳/۳۹	ارتفاع پشت (سانتی‌متر)
۰/۴۷	۰/۲۵	<۰/۰۰۰۱	۰/۴۷	۸۰/۵۵	۸۱/۰۴	ارتفاع جدوگاه (سانتی‌متر)
۰/۱۳	۰/۳۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۱	۳۳/۴۵ <sup>a</sup>	۳۲/۸۹ <sup>b</sup>	طول استخوان کارپوس (سانتی‌متر)
۰/۲۲	۰/۱۷	<۰/۰۰۰۱	۰/۱۵	۳۹/۸۳	۴۰/۳۳	طول استخوان درشتنی (سانتی‌متر)
۰/۴۱	۰/۷۹	<۰/۰۰۰۱	۰/۷۷	۸۶/۴۰	۸۶/۵۷	ارتفاع استخوان هیپ (سانتی‌متر)
۰/۱۱	۰/۵۶	<۰/۰۰۰۱	۰/۸۷	۱۶/۱۸	۱۶/۱۶	عرض استخوان‌های هیپ (سانتی‌متر)
۰/۳۵		<۰/۰۰۰۱	۰/۸۸	۸۲/۶۳	۸۲/۷۱	ارتفاع استخوان پین (سانتی‌متر)

a-b: حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) است.

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

1. Vaughan
2. Underwood and Suttle
3. Miller
4. Miller & Miller
5. Salminen
6. Lassiter & Morton
7. Rojas
8. Mousavi-Haghshenas



در این پژوهش، استفاده از مواد معدنی کم‌مصرف به شکل آلی منجر به تغییرات غیرمعنی‌دار در غلظت سرمی عناصر روی، مس و آهن (به ترتیب  $P=0/05$  و  $P=0/11$  و  $P=0/19$ ) شد (جدول ۴). مانر<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که تغذیه مکمل گلایسینات عناصر روی، مس، آهن و منگنز نسبت به گروه شاهد باعث افزایش معنی‌دار غلظت آهن پلاسما در خوک‌ها شده و در حالی که غلظت روی، مس و منگنز بین دو گروه تفاوت معنی‌داری نداشت. اولسون<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۹) و باندی<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند که مکمل مواد معدنی کم‌مصرف روی، مس و منگنز به شکل آلی سطح سرمی مواد معدنی مربوطه را در مقایسه با گروه شاهد افزایش داد. دورتون<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که غلظت پلاسمایی عنصر مس در گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل عالی این عنصر بالاتر بود. لیو<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۲۳) و وو<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که غلظت پلاسمایی عنصر روی در گوساله‌های دریافت‌کننده پروتئینات روی نسبت به گروه شاهد بالاتر بود. مشخص شده که غلظت روی پلاسما ارتباط نزدیکی با دریافت خوراکی عنصر روی داشته و غلظت روی در سرم با مکمل خوراکی روی افزایش می‌یابد (دنگ<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). رایت و اسپیرز<sup>۸</sup> (۲۰۰۴) افزایش غلظت روی پلاسما را در گوساله‌های هلشتاین به دنبال افزودن عنصر روی به جیره گزارش کردند، همچنین ونگ<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که مکمل پروپیونات روی غلظت روی پلاسما را در گاوهای شیرده افزایش داد. در مطالعه حاضر، غلظت نسبتاً بالاتر مواد معدنی خون در گروه مکمل آلی ممکن است به دلیل جذب و ابقای بالاتر این عناصر به شکل آلی باشد.

جدول ۴. میانگین حداقل مربعات غلظت سرمی عناصر مس، آهن، روی و منگنز در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین (قسمت در میلیون)

SEM	P-value					فراسنجه
	گروه آزمایشی		تیمار		شاهد	
	تیمار × زمان	زمان	تیمار	تیمار	شاهد	
۴/۲۲	۰/۲۰	۰/۳۷	۰/۰۵	۱۰/۱۷۰	۸۶/۲۴	روی (قسمت در میلیون)
۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۱۲	۰/۱۱	۱۲۸/۷۲	۱۲۷/۹۹	مس (قسمت در میلیون)
۹/۸۰	۰/۵۴	۰/۰۰۱	۰/۱۹	۱۴۷/۳۴	۱۲۶/۲۲	آهن (قسمت در میلیون)
۰/۰۸	۰/۴۷	۰/۱۰	۰/۸۸	۱/۲۰	۱/۱۸	منگنز (قسمت در میلیون)

غلظت سرمی آلومین و گلوکز بالاتری در گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل گلایسینات عناصر کم‌مصرف مشاهده شد (جدول ۵). آلومین پروتئین ساخته‌شده در کبد است (کلینکون و جزک<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۲) و ۷۵ درصد فشار اسمزی پلاسما را تشکیل داده و پروتئین اصلی فاز حاد منفی است (توتوا<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). پروتئین‌های فاز حاد که در کبد تولید می‌شوند، در حیوانات سالم غلظت بسیار کمی داشته و در صورت بروز التهاب به سرعت تغییر می‌کنند (گوک و بوزوکلوهان<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۹). غلظت پروتئین‌های فاز حاد منفی مانند آلومین پس از عفونت و التهاب

1. Männer
2. Olson
3. Bhanderi
4. Dorton
5. Liu
6. Wo
7. Deng
8. Wright & Spears
9. Wang
10. Klinkon & Ježek
11. Tóthová
12. Gokce & Bozukluhan

به سرعت کاهش می‌یابد، در حالی که غلظت پروتئین‌های فاز حاد مثبت، مانند آمیلوئید A سرم و هاپتوگلوبین پس از عفونت و التهاب به سرعت افزایش می‌یابد (کاسکان و اسماعیل<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱). کبد حیوانات در شرایط التهابی آلبومین کم‌تری تولید می‌کند (شریبر<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۸۲). کاهش تولید آلبومین کبد در گوساله‌های گروه شاهد ممکن است با اختلال عملکرد سلول‌های کبدی ناشی از التهاب همراه باشد (صبری و وایل<sup>۳</sup>، ۲۰۱۳). یعقوب<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که مکمل گلایسینات مواد معدنی کم‌مصرف منجر به افزایش سطح آلبومین سرم طیور شد که مطابق با نتایج پژوهش حاضر است. شاکویر<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۰) و گافار<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۱) سطح بالاتر آلبومین پلاسما را در گاوهای دریافت‌کننده مکمل روی متیونین گزارش کردند. میشر<sup>۷</sup> (۲۰۱۷) و کومار<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۸) در گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل روی در مقایسه با گروه شاهد سطح بالاتر آلبومین پلاسما را مشاهده کردند. علاوه بر این، طی این آزمایش، سطح گلوکز سرم در گوساله‌های دریافت‌کننده شکل آلی مواد معدنی کم‌مصرف افزایش یافت. زیست‌فراهمی مواد معدنی کم‌مصرف به شکل ترکیب گلایسینات احتمالاً عملکردهای بیوشیمیایی را در بدن تقویت کرده (ریچاردز<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۰) و غلظت گلوکز خون را افزایش می‌دهد. طبق پژوهش‌های اولیه ویمهورست و منچستر<sup>۱۰</sup> (۱۹۷۲)، مکمل منگنز، گلوکونوژنز را در شرایط آزمایشگاهی بهبود می‌بخشد. بنابراین، افزایش غلظت گلوکز سرم در مطالعه حاضر ممکن است با نقش عنصر منگنز در گلوکونوژنز مرتبط باشد. یعقوب<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند که سطح گلوکز خون در جوجه‌های دریافت‌کننده مکمل گلایسینات عناصر روی، مس، آهن و منگنز افزایش یافت.

مطالعه حاضر نشان داد که مکمل مواد معدنی کم‌مصرف در مقایسه با گروه شاهد باعث کاهش معنی‌دار غلظت لیپوپروتئین‌های با چگالی پایین و افزایش معنی‌دار غلظت سرمی لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا در گوساله‌ها شد (جدول ۵). ارتباط بین التهاب و سوخت‌وساز چربی‌ها در انسان و گونه‌های مختلف حیوانی تأیید شده است (کارپنتیر و اسکرو<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۲). لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا نقش کلیدی در ایمنی ذاتی داشته و هنگام التهاب غلظت‌شان در خون کاهش می‌یابد (یاماموتو<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۰). وایت<sup>۱۴</sup> و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که در گوساله‌های درگیر فرایند التهاب احتمالاً به دلیل اکسیداسیون، غلظت لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا کاهش می‌یابد. سطح پایین لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا در گروه شاهد احتمالاً به اثرات محافظتی آن در برابر التهاب نسبت داده می‌شود (وو<sup>۱۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۴).

1. Coskan & Ismail
2. Schreiber
3. Sabry & Wael
4. Yaqoob
5. Shakweer
6. Gaafar
7. Mishra
8. Kumar
9. Richards
10. Wimhurst & Manchester
11. Yaqoob
12. Carpentier & Scruel
13. Yamamoto
14. White
15. Wu

جدول ۵. میانگین حداقل مربعات فراسنجه‌های بیوشیمیایی سرم در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

SEM	P-value		گروه آزمایشی			فراسنجه
	تیمار × زمان	زمان	تیمار	تیمار	شاهد	
۰/۱۰	۰/۰۰۲	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۴	۳/۸۳ <sup>a</sup>	۳/۴۸ <sup>b</sup>	آلبومین (گرم بر دسی‌لیتر)
۲/۷۳	۰/۳۹	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۳	۱۰۸/۷۴ <sup>a</sup>	۹۹/۴۹ <sup>b</sup>	گلوکز (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)
۰/۰۱	۰/۹۰	۰/۲۹	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۲۲	تری‌گلیسرید (گرم بر دسی‌لیتر)
۰/۲۴	۰/۴۶	۰/۱۴	۰/۸۹	۸/۶۸	۸/۳۷	پروتئین تام (میلی‌مول بر لیتر)
۰/۰۸	۰/۷۰	۰/۴۴	۰/۹۶	۱/۳۶	۱/۳۷	کلسترول تام (میلی‌مول بر لیتر)
۰/۰۷	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۱	۲/۱۱ <sup>a</sup>	۱/۷۴ <sup>b</sup>	لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا (میلی‌مول بر لیتر)
۰/۰۹	۰/۳۹	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۱	۱/۰۶ <sup>b</sup>	۱/۵۳ <sup>a</sup>	لیپوپروتئین‌های با چگالی پایین (میلی‌مول بر لیتر)
۰/۹۶	۰/۷۲	۰/۰۰۳	۰/۷۱	۲۶/۸۳	۲۶/۳۲	نیترژن اوره‌ای خون (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)
۰/۵۰	۰/۱۹	<۰/۰۰۰۱	۰/۲۹	۰/۸۷	۰/۹۴	بیلی‌روبین کل (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)
۰/۰۳	۰/۰۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۳۹	۰/۳۴	۰/۳۹	بیلی‌روبین مستقیم (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)

a-b: حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰۵) است.

مکمل آلی عناصر کم‌مصرف روی، مس، آهن و منگنز تأثیر معنی‌داری بر غلظت آنزیم‌های آلکالین فسفاتاز، لاکتات دهیدروژناز، آسپاراتات آمینوترانسفراز و آلانین آمینوترانسفراز نداشت (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد که سطوح مواد معدنی کم‌مصرف جیره پایه جهت حفظ سطح بهینه این آنزیم‌ها در سرم کفایت می‌کند. نتایج مشابهی توسط کسلر<sup>۱</sup> (۲۰۰۳)، موندال و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۹) و هم‌چنین رایت و اسپیرز<sup>۳</sup> (۲۰۰۴) گزارش شد، که نشان دادند مکمل عناصر کم‌مصرف بر سطوح آنزیمی سرم اثری نداشت.

جدول ۶. میانگین حداقل مربعات غلظت آنزیم‌های سرم در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

SEM	P-value		گروه آزمایشی			فراسنجه
	تیمار × زمان	زمان	تیمار	تیمار	شاهد	
۵۰/۵۵	۰/۳۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۶۷	۸۱۹/۹۷	۷۸۷/۹۲	آلکالین فسفاتاز (واحد بر لیتر)
۲۲/۱۷	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۵۴	۸۱۶/۱۶	۷۹۶/۳۶	لاکتات دهیدروژناز (واحد بر لیتر)
۲/۸۹	۰/۸۴	<۰/۰۰۰۱	۰/۵۶	۵۵/۸۵	۵۳/۵۷	آسپاراتات آمینوترانسفراز (واحد بر لیتر)
۰/۸۸	۰/۲۳	<۰/۰۰۰۱	۰/۷۹	۲۳/۷۳	۲۴/۰۸	آلانین آمینوترانسفراز (واحد بر لیتر)

#### ۴. نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مکمل‌کردن شکل آلی (گلایسینات) عناصر معدنی کم‌مصرف روی، مس، آهن و منگنز سبب بهبود برخی فراسنجه‌های بیوشیمیایی مرتبط با التهاب (آلبومین، لیپوپروتئین‌های با چگالی بالا و لیپوپروتئین‌های با چگالی پایین)، غلظت گلوکز و طول استخوان کارپوس در گوساله‌های شیرخوار شد که می‌تواند نشانه بهبود وضعیت التهابی در گوساله‌های گروه تیمار باشد. با این حال، مکمل مذکور باعث بهبود عملکرد رشد گوساله‌های شیرخوار نشد.

1. Kessler
2. Mondal
3. Wright & Spears

## ۵. تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ۶. منابع

- Baly, D. L., Curry, D. L., Keen, C. L., & Hurley, L. S. (1984). Effect of manganese deficiency on insulin secretion and carbohydrate homeostasis in rats. *The Journal of nutrition*, 114(8), 1438-1446.
- Bao, Y. M., Choct, M., Iji, P. A., & Bruerton, K. (2007). Effect of organically complexed copper, iron, manganese, and zinc on broiler performance, mineral excretion, and accumulation in tissues. *Journal of Applied Poultry Research*, 16(3), 448-455.
- Bhandari, B. M., Pande, A. M., & Parnerkar, S. (2010). Influence of organic and inorganic forms of trace minerals supplementation at different doses on daily weight gain and serum mineral levels in male calves. *Development*, 22, 8.
- Byrne, L., Hynes, M. J., Connolly, C. D., & Murphy, R. A. (2021). Influence of the chelation process on the stability of organic trace mineral supplements used in animal nutrition. *Animals*, 11(6), 1730.
- Carpentier, Y. A., & Scruel, O. (2002). Changes in the concentration and composition of plasma lipoproteins during the acute phase response. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 5(2), 153-158.
- Coskan, A., & İsmail, S. E. N. (2011). Sigirilarda akut faz proteinleri ve klinik kullanım alanları. *Saglik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 240-246.
- Deng, B., Zhou, X., Wu, J., Long, C., Yao, Y., Peng, H., Wan, D., & Wu, X. (2017). Effects of dietary supplementation with tribasic zinc sulfate or zinc sulfate on growth performance, zinc content and expression of zinc transporters in young pigs. *Animal Science Journal*, 88(10), 1556-1560.
- Dorton, K. L., Engle, T. E., Hamar, D. W., Siciliano, P. D., & Yemm, R. S. (2003). Effects of copper source and concentration on copper status and immune function in growing and finishing steers. *Animal Feed Science and Technology*, 110, 31.
- Engle, T. E., & Spears, J. W. (2000). Effects of dietary copper concentration and source on performance and copper status of growing and finishing steers. *Journal of Animal Science*, 78(9), 2446-2451.
- Feng, J. W. Q. M., Ma, W. Q., Niu, H. H., Wu, X. M., Wang, Y., & Feng, J. (2010). Effects of zinc glycine chelate on growth, hematological, and immunological characteristics in broilers. *Biological Trace Element Research*, 133, 203-211.
- Feng, J., Ma, W. Q., Xu, Z. R., Wang, Y. Z., & Liu, J. X. (2007). Effects of iron glycine chelate on growth, haematological and immunological characteristics in weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 134(3-4), 261-272.
- Gaafar, H. M. A., Bassiouni, M. I., Ali, M. F. E., Shitta, A. A., & Shamas, A. S. E. (2011). Effect of zinc methionine supplementation on productive performance of lactating Friesian cows. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2(2), 94-101.
- Gaál, T., Ribiczeyné-Szabó, P., Stadler, K., Jakus, J., Reiczigel, J., Kövér, P., Mezes, M., & Sümeghy, L. (2006). Free radicals, lipid peroxidation and the antioxidant system in the blood of cows and newborn calves around calving. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 143(4), 391-396.
- Gokce, H. İ., & Bozukluhan, K. (2009). Çiftlik hayvanlarında önemli akut faz proteinleri ve bunların veteriner hekimlik alanındaki kullanımı. *Dicle Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, (1), 1-14.
- Hansen, S. L., Schlegel, P., Legleiter, L. R., Lloyd, K. E., & Spears, J. W. (2008). Bioavailability of copper from copper glycinate in steers fed high dietary sulfur and molybdenum. *Journal of Animal Science*, 86(1), 173-179.
- Huang, L., Li, X., Wang, W., Yang, L., & Zhu, Y. (2019). The role of zinc in poultry breeder and hen nutrition: an update. *Biological Trace Element Research*, 192, 308-318.
- Iravani, J., & Vakili, R. (2021). Comparison of bioavailability of manganese glycinate and sulfate and their effects on laying hens performance. *Journal of Animal Environment*, 13(3), 113-120.
- Kessler, J., Morel, I., Dufey, P. A., Gutzwiller, A., Stern, A., & Geyer, H. (2003). Effect of organic zinc sources on performance, zinc status and carcass, meat and claw quality in fattening bulls. *Livestock Production Science*, 81(2-3), 161-171.

- Klinkon, M., & Ježek, J. (2012). Values of blood variables in calves. A bird's-eye view of veterinary medicine'. (Ed. CC Perez-Marin) pp, 301-320.
- Kratzer, H. F. (2017). Chelates In Nutrition: 0. CRC Press.
- Kumar, A., Sahu, D. S., Chandra, G., Yadav, S. P., Kumar, R., Jaiswal, V., ... & Singh, R. K. (2018). Effect of different sources of zinc on growth performance and haemato-biochemical profiles of Murrah Buffalo calves. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 35(4), 409-414.
- Lassiter, J. W., & Morton, J. D. (1968). Effects of a low manganese diet on certain ovine characteristics. *Journal of Animal Science*, 27(3), 776-779.
- Liu, J., Ma, F., Degen, A., & Sun, P. (2023). The Effects of Zinc Supplementation on Growth, Diarrhea, Antioxidant Capacity, and Immune Function in Holstein Dairy Calves. *Animals*, 13(15), 2493.
- Ma, W. Q., Sun, H., Zhou, Y., Wu, J., & Feng, J. (2012). Effects of iron glycine chelate on growth, tissue mineral concentrations, fecal mineral excretion, and liver antioxidant enzyme activities in broilers. *Biological Trace Element Research*, 149, 204-211.
- Ma, W., Niu, H., Feng, J., Wang, Y., & Feng, J. (2011). Effects of zinc glycine chelate on oxidative stress, contents of trace elements, and intestinal morphology in broilers. *Biological trace element research*, 142, 546-556.
- Männer, K., Simon, O., & Schlegel, P. (2006). Effects of different iron, manganese, zinc and copper sources (sulfates, chelates, glycinate) on their bioavailability in early weaned piglets. Tagung Schweine-und Geflügelernährung, M. Rodehutschord. 9th ed. Universität Halle-Wittenberg, Germany.
- Miller, E. R., Luecke, R. W., Ullrey, D. E., Baltzer, B. V., Bradley, B. L., & Hoefler, J. A. (1968). Biochemical, skeletal and allometric changes due to zinc deficiency in the baby pig. *The Journal of Nutrition*, 95(2), 278-286.
- Miller, J. K., & Miller, W. J. (1960). Development of zinc deficiency in Holstein calves fed a purified diet. *Journal of Dairy Science*, 43, 1854-1856.
- Miller, J. K., & Miller, W. J. (1962). Experimental zinc deficiency and recovery of calves. *The Journal of Nutrition*, 76(4), 467-474.
- Mishra, A. (2017). Effect of Supplementation of Nano Zinc Oxide on Zinc Bioavailability Immunomodulation Expression of Zinc Responsive Genes and Performance in Buffalo Calves (Doctoral dissertation, NDRI).
- Mondal, S., Samanta, C. C., Bairagi, B., & Biswas, P. (2009). Effects of organic and inorganic forms of supplemental copper, zinc, iron and manganese at different dose levels on growth performance and plasma minerals in crossbred male calves. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 9(1), 45-50.
- 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.
- Mutinati, M., Piccinno, M., Roncetti, M., Campanile, D., Rizzo, A., & Sciorsci, R. L. (2013). Oxidative stress during pregnancy in the sheep. *Reproduction in Domestic Animals*, 48(3), 353-357.
- 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.
- Pasternak, K., Kocot, J., & Horecka, A. (2010). Biochemistry of magnesium. *Journal of Elementology*, 15(3), 601-616.
- Pineda, O., & Ashmead, H. D. (2001). Effectiveness of treatment of iron-deficiency anemia in infants and young children with ferrous bis-glycinate chelate. *Nutrition*, 17(5), 381-384.
- Richards, J. D., Zhao, J., Harrell, R. J., Atwell, C. A., & Dibner, J. J. (2010). Trace mineral nutrition in poultry and swine. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(11), 1527-1534.
- Rojas, M. A., Dyer, I. A., & Cassatt, W. A. (1965). Manganese deficiency in the bovine. *Journal of Animal Science*, 24(3), 664-667.
- Sabry, M.E., & Wael, M.E. (2013). Acute phase proteins, lipid profile and proinflammatory cytokines in healthy and bronchopneumonic water buffalo calves. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 9(1), 34-40.
- Salminen, A., Kauppinen, A., & Kaarniranta, K. (2015). 2-Oxoglutarate-dependent dioxygenases are sensors of energy metabolism, oxygen availability, and iron homeostasis: potential role in the regulation of aging process. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 72, 3897-3914.

- Schreiber, G., Howlett, G., Nagashima, M., Millership, A., Martin, H., Urban, J., & Kotler, L. (1982). The acute phase response of plasma protein synthesis during experimental inflammation. *Journal of Biological Chemistry*, 257(17), 10271-10277.
- Shakweer, I. M. E., El-Mekass, A. A. M., & El-Nahas, H. M. (2010). Effect of two different sources of zinc supplementation on productive performance of Friesian dairy cows. *Egyptian Journal of Animal Production*, 47(1), 11-22.
- Smith, A. D., Panickar, K. S., Urban Jr, J. F., & Dawson, H. D. (2018). Impact of micronutrients on the immune response of animals. *Annual review of animal biosciences*, 6, 227-254.
- Spears, J. W. (1996). Organic trace minerals in ruminant nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 58(1-2), 151-163.
- Suttle, N. F. (2022). Mineral nutrition of livestock. Cabi.
- Tóthová, C., Nagy, O., & Kováč, G. (2014). Relationship between some variables of protein profile and indicators of lipomobilization in dairy cows after calving. *Archives Animal Breeding*, 57(1), 1-9.
- Underwood, E. J., & Suttle, N. F. (1999). The mineral nutrition of livestock (No. Ed. 3, pp. ix+-614).
- Yamamoto, M., Oohashi, T., Katoh, N., & Oikawa, S. (2000). Increased serum concentration of apolipoprotein C-III and its greater distribution to chylomicrons than to the high-density lipoprotein fraction in a calf with hyperlipidemia. *Journal of Veterinary Medical Science*, 62(10), 1033-1039.
- Yaqoob, M.U., Wang, G., Sun, W., Pei, X., Liu, L., Tao, W., Xiao, Z., Wang, M., Huai, M., Li, L., & Pelletier, W. (2020). Effects of inorganic trace minerals replaced by complexed glycinate on reproductive performance, blood profiles, and antioxidant status in broiler breeders. *Poultry Science*, 99(5), 2718-2726.
- Yin, L. H., Liu, X. P., Yi, L. Y., Wang, J., Zhang, Y. J., & Feng, Y. F. (2017). Structural characterization of calcium glycinate, magnesium glycinate and zinc glycinate. *Journal of Innovative Optical Health Sciences*, 10(03), 1650052.
- Vaughan, J. M. (1970). The physiology of bone. Clarendon Press. Oxford.
- Vohra, P., & Kratzer, F. H. (1957). The effect of dietary copper and molybdenum on turkey poults. *Poultry Science*, 36(5), 1096-1098.
- Ward, J.D., Spears, J.W., Kegley, E.B., 1993. Effect of copper level and source (copper lysine vs. copper sulfate) on copper status, performance, and immune response in growing steers fed diets with or without supplemental molybdenum and sulfur. *Journal of Animal Science*, 71, 2748-2755.
- Wang, R. L., Liang, J. G., Lu, L., Zhang, L. Y., Li, S. F., & Luo, X. G. (2013). Effect of zinc source on performance, zinc status, immune response, and rumen fermentation of lactating cows. *Biological Trace Element Research*, 152, 16-24.
- Weimer, P. J. (1998). Manipulating ruminal fermentation: a microbial ecological perspective. *Journal of Animal Science*, 76(12), 3114-3122.
- White, R., Giordano, S., & Datta, G. (2017). Role of HDL-associated proteins and lipids in the regulation of inflammation. *Advances in Lipoprotein Research*, 53.
- Wimhurst, J. M., & Manchester, K. L. (1972). Comparison of ability of Mg and Mn to activate the key enzymes of glycolysis. *FEBS letters*, 27(2), 321-326.
- Wright, C. L., & Spears, J. W. (2004). Effect of zinc source and dietary level on zinc metabolism in Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, 87(4), 1085-1091.
- Wo, Y., Jin, Y., Gao, D., Ma, F., Ma, Z., Liu, Z., Chu, K. and Sun, P. (2022). Supplementation With Zinc Proteinate Increases the Growth Performance by Reducing the Incidence of Diarrhea and Improving the Immune Function of Dairy Calves During the First Month of Life. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 911330.
- Wu, A., Hinds, C. J., & Thiemermann, C. (2004). High-density lipoproteins in sepsis and septic shock: metabolism, actions, and therapeutic applications. *Shock*, 21(3), 210-221.
- Zhang, L., Wang, Y. X., Xiao, X., Wang, J. S., Wang, Q., Li, K. X., ... & Zhan, X. A. (2017). Effects of zinc glycinate on productive and reproductive performance, zinc concentration and antioxidant status in broiler breeders. *Biological Trace Element Research*, 178, 320-326.