

تأثیر غنی‌سازی شیر با مکمل مس به شکل‌های مختلف بر عملکرد، قابلیت هضم، وضعیت اسهال و فراسنجه‌های خونی بره‌های شیرخوار افشاری

محمد بیاتی^۱، *سهیل میرحبیبی^۲، مجتبی حقیقت^۳، حسین عمرانی^۴، محمد اسدی^۵

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم دامی، واحد گلپایگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گلپایگان، ایران.

^۲ نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم دامی، واحد گلپایگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گلپایگان، ایران. رایانامه: S.mirhabibi@yahoo.com

^۳ استادیار گروه علوم دامی، واحد گلپایگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گلپایگان، ایران.

^۴ بخش پژوهش‌های بیوتکنولوژی، موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

^۵ گروه تحقیقات علوم دامی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

Mohammad Bayati¹, Soheil Mirhabibi^{2*}, Mojtaba Haghighat³, Hossein Emrani⁴, Mohammad Asadi⁵

- 1- MSc Student, Department of animal science, Golpayegan Branch, Islamic Azad University, Golpayegan, Iran
- 2- Assistant professor Department of animal science, Golpayegan Branch, Islamic Azad University, Golpayegan, Iran. E mail: s.mirhabibi@yahoo.com
- 3- Assistant professor Department of animal science, Golpayegan Branch, Islamic Azad University, Golpayegan, Iran.
- 4- Assistant professor, Biotechnology Research Department , Animal Science Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
- 5- PhD., Dept. of Animal Sciences Research, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Gorgan, Gorgan, Iran

چکیده

سابقه و هدف: بره‌های تازه متولد شده نیازهای ویژه‌ای برای تسریع عملکرد رشد و بهبود سیستم ایمنی خود دارند. غذای مایع برای بره‌های تازه متولد شده، شیر است که به‌عنوان منبع غنی از پروتئین‌های ضروری عمل می‌کند، اما فاقد مواد معدنی کافی است. مواد معدنی یکی از مهمترین بهبود دهنده‌های متابولیک هستند که می‌توانند به سلامت بره‌ها در سطوح فراتغذیه‌ای کمک کنند. عنصر مس از عناصر آنتی اکسیدانت می‌باشد که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. مس یک عنصر کمیاب ضروری است که در سیستم‌های آنزیمی متعددی مشارکت دارد و بخشی از ساختار سوپراکسید دیسموتاز را تشکیل می‌دهد که با غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد نقش مهمی در مکانیسم دفاعی بدن ایفا می‌کند. با توجه به مقدار کم مس موجود در شیر با فرض اینکه استفاده از مس به‌عنوان یک آنتی اکسیدان طبیعی می‌تواند استرس

اکسیداتیو را کاهش دهد، سیستم ایمنی بدن را تقویت کند و عملکرد رشد دام را بهبود بخشد، مطالعاتی با هدف تأثیر غنی‌سازی شیر با مکمل مس به شکل‌های مختلف بر عملکرد، قابلیت‌هضم، وضعیت اسهال و فراسنجه‌های خونی بره‌های شیرخوار افشاری انجام شد.

مواد و روش‌ها: بدین منظور از ۳۶ رأس بره تازه متولد شده نژاد افشاری که همه تک قلو بودند به مدت ۴۲ روز استفاده شد. در ساعات اولیه زندگی بره‌ها به جایگاه‌های انفرادی منتقل شده و آغوز گله با بطری به بره‌ها داده شد. بره‌ها در سن ۷ روزگی، به ۳ تیمار با ۱۲ تکرار تقسیم شدند و تیمارها شامل: ۱- گروه شاهد (شیر بدون مکمل مس)، ۲- گروه تغذیه شده با شیر حاوی مس معدنی و ۳- گروه تغذیه شده با شیر حاوی مس آلی بود. مقدار استفاده از مس در شیر هر رأس بره در روز ۵ میلی گرم بود. پیش از تغذیه، مکمل مس در شیر کاملاً حل شد. به منظور بررسی فاکتورهای عملکردی و بررسی تغییرات وزن بره‌ها هر ۲۱ روز وزن کشی شدند؛ در کل دوره هر هفته یک بار از خوراک هر تیمار نمونه‌گیری به عمل آمد. برای اندازه‌گیری قابلیت هضم ظاهری ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام، چربی خام، الیاف نامحلول در شوینده خشی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی از روش خاکستر غیر محلول در اسید (AIA) به عنوان مارکر داخلی استفاده شد. سه روز در هفته به صورت تصادفی مدفوع بره‌ها مورد ارزیابی گرفت. در روز پایانی پژوهش، جهت بررسی تغییرات فراسنجه‌های بیوشیمیایی، آنتی‌اکسیدانی و عناصر خون تیمارها، از سیاهرگ و داج آنها خونگیری انجام شد.

یافته‌ها: با توجه به نتایج بدست آمده، غنی‌سازی شیر با مکمل مس سبب افزایش معنی‌دار وزن نهایی، افزایش وزن دوره و میانگین افزایش وزن روزانه بره‌های دریافت‌کننده شد به طوری که بیشترین افزایش وزن دوره و افزایش وزن روزانه متعلق به بره‌های تغذیه شده با شیر حاوی مس آلی بود ($P<0.05$). همچنین، مصرف شیر غنی‌سازی شده با مکمل مس به شکل‌های آلی و معدنی سبب بهبود قابلیت‌هضم ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی شد و بیشترین افزایش قابلیت‌هضم الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در گروه مصرف‌کننده شیر حاوی مس آلی گزارش شد ($P<0.05$). علاوه بر این، مکمل مس سبب کاهش نمره مدفوع شد و بهترین قوام مدفوع متعلق به گروه دریافت‌کننده شیر حاوی مس آلی بود ($P<0.05$). غنی‌سازی شیر با مس موجب کاهش تعداد بره‌های مبتلا به اسهال و روزهای ابتلا به اسهال آنها شد و بهترین وضعیت متعلق به گروه مس آلی بود. استفاده از شیر حاوی اشکال مختلف مس سبب افزایش گلوکز بره‌های مصرف‌کننده شد ($P<0.05$). مکمل مس سبب افزایش غلظت مس در بره‌ها شد و بیشترین مس خون متعلق به گروه دریافت‌کننده مس آلی بود ($P<0.05$). طبق نتایج حاضر، مصرف شیر غنی‌شده با مکمل مس سبب افزایش سرولوپلاسمین و وضعیت آنتی‌اکسیدانی کل و کاهش مالون دی آلدهید شد؛ بیشترین افزایش در سرولوپلاسمین و وضعیت آنتی‌اکسیدانی کل متعلق به گروه دریافت‌کننده شیر حاوی مس آلی بود ($P<0.05$).

نتیجه‌گیری: بهترین حالت عملکرد، قوام مدفوع و وضعیت آنتی‌اکسیدانی و غلظت مس و سرولوپلاسمین در گروه دریافت‌کننده مس آلی دیده شد. لذا استفاده از مس آلی در شیر بره‌های شیرخوار جهت بهبود عملکرد و سلامت توصیه می‌شود.

کلیدواژه: آنتی‌اکسیدان، بره شیرخوار، عملکرد، مس آلی، مس معدنی

Impact of milk enrichment with copper supplement in different forms on performance, digestibility, diarrhea status, and blood parameters of suckling Afshari lambs

Abstract

Background and Objectives: Newborn lambs have special needs to accelerate growth performance and improve their immune system. The primary liquid food for newborn lambs is milk, which acts as a rich source of essential proteins but lacks sufficient minerals. Minerals are one of the most important metabolic enhancers that can help lamb health at supra-nutritional levels. Copper is one of the antioxidant elements that holds special importance. Copper is an essential trace element involved in multiple enzymatic systems and forms part of the structure of superoxide dismutase, which plays a significant role in the body's defense mechanism by deactivating free radicals. Considering the low amount of copper present in milk, assuming that the use of copper as a natural antioxidant can reduce oxidative stress,

strengthen the immune system, and improve growth performance of livestock, a study was conducted to investigate the effect of enriching milk with copper supplements in various forms on performance, digestibility, diarrhea status, and blood parameters of suckling Afshari lambs.

Material and Methods: To this end, 36 newborn Afshari lambs, all singleton, were used for 42 days. In the early hours of life, the lambs were transferred to individual boxes, and the flock's colostrum was given to the lambs by bottle. At 7 days old, the lambs were divided into 3 treatments with 12 replicates each, and the treatments included: 1- control group (milk without copper supplement), 2- group fed milk containing mineral copper, and 3- group fed milk containing organic copper. The amount of copper used in the milk per lamb per day was 5 milligrams. Before feeding, the copper supplement was completely dissolved in the milk. To investigate performance factors and examine daily and total weight changes, the lambs were weighed every 21 days; during the entire period, feed samples were taken once a week for each treatment. To measure the apparent digestibility of dry matter, organic matter, crude protein, crude fat, and neutral detergent fiber, the acid-insoluble ash (AIA) method was used as an internal marker. Three days a week, the lambs' feces were randomly evaluated. On the last day of the study, to examine changes in biochemical, antioxidant, and blood element parameters of the treatments, blood was taken from their jugular vein.

Results: According to the obtained results, enriching milk with copper supplement caused a significant increase in final weight, period weight gain, and average daily weight gain of the receiving lambs, so that the highest period weight gain and daily weight gain belonged to lambs fed milk containing organic copper ($P<0.05$). Also, consumption of milk enriched with copper supplement in organic and mineral forms led to improvement in the digestibility of dry matter, organic matter, crude protein, and ADF, and the highest increase in ADF digestibility was reported in the group consuming milk containing organic copper ($P<0.05$). Moreover, copper supplement caused a decrease in fecal score, and the best fecal consistency belonged to the group receiving milk containing organic copper ($P<0.05$). Enriching milk with copper reduced the number of lambs affected by diarrhea and their days of diarrhea, and the best condition belonged to the organic copper group. Using milk containing different forms of copper caused an increase in glucose of the consuming lambs ($P<0.05$). Copper supplement caused an increase in copper concentration in lambs, and the highest blood copper belonged to the group receiving organic copper ($P<0.05$). According to the present results, consumption of milk enriched with copper supplement caused an increase in ceruloplasmin and total antioxidant status and a decrease in malondialdehyde; the highest increase in ceruloplasmin and total antioxidant status belonged to the group receiving milk containing organic copper ($P<0.05$).

Conclusion: The best condition in performance, fecal consistency, antioxidant status, and the concentration of copper and ceruloplasmin was seen in the group receiving organic copper. Therefore, the use of organic copper in milk for suckling lambs is recommended to improve performance and health.

Keywords: Antioxidant, Inorganic copper, Organic copper, Performance, Suckling lambs

مقدمه

غذای مایع اولیه برای بره‌های تازه متولد شده، شیر است که به‌عنوان منبع غنی از پروتئین‌های ضروری عمل می‌کند اما فاقد مواد معدنی کافی است (Wu و همکاران، ۲۰۲۱). لذا بره‌ها در اوایل زندگی که منبع اصلی تغذیه آنها شیر است، ممکن است مستعد ابتلا به بیماری و استرس اکسیداتیو باشند، زیرا مواد معدنی برای عملکرد بهینه سیستم ایمنی ضروری می‌باشد (Asadi و همکاران، ۲۰۲۲). در بین مواد معدنی آنتی‌اکسیدانت، مس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در میان مواد معدنی، مس یک عنصر کمیاب ضروری است که در سیستم‌های آنزیمی متعددی مشارکت دارد که این آنزیم‌ها عبارتند از سیتوکروم اکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز، لیزیل اکسیداز، تیروزیناز، منوآمین اکسیداز و اسید آسکوربیک اکسیداز و ... (Suttle، ۲۰۱۰). عنصر مس

برای فرآیندهای بیولوژیکی مختلفی ضروری است و در تولید هموگلوبین نقش کاتالیزور آنزیمی را ایفا می‌کند (Fulton و همکاران، ۲۰۲۳). مس در بیش از ۲۰ متالوآنزیم، کوفاکتور و متالوپروتئین حضور دارد که با تخریب رادیکال‌های آزاد، تشکیل بافت‌های همبند، میلین و استخوان‌ها، رنگدانه و پشم مرتبط هستند (Khatami Khalkhoran و همکاران، ۲۰۲۴). مس به‌عنوان جزئی از سیتوکروم اکسیداز عمل می‌کند که در تولید آدنوزین‌تری‌فسفات نقش دارد و بخشی از ساختار سوپراکسید دیسموتاز را تشکیل می‌دهد که با غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد نقش مهمی در مکانیسم دفاعی بدن ایفا می‌کند (Chang و همکاران، ۲۰۱۸). کمبود مس سبب کاهش تولید نوتروفیل‌ها و به‌دنبال آن منجر به افزایش فعالیت رادیکال‌های سوپراکسید و پراکسید هیدروژن می‌شود و در نتیجه دام را در معرض استرس اکسیداتیو قرار می‌دهد (Muehlenbein و همکاران، ۲۰۰۱). علاوه بر این، مس در خونسازی از طریق پروتئین سرولوپلاسمین ایفای نقش می‌کند که خود خواص ضد التهابی آن را نشان می‌دهد (Goff، ۲۰۱۸). سرولوپلاسمین اتصال آهن به پروتئین ذخیره فریتین را تسهیل کرده و با جمع‌آوری آهن آزاد و کاهش اثرات رادیکال‌های آزاد به مکانیسم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی کمک می‌کند (Hellman و همکاران، ۲۰۰۲). همچنین، مس در معرض مجادله بسیار قوی با عناصر آهن، گوگرد و مولبدن است و مقادیر اضافی این عناصر، مقدار مس موجود در دسترس حیوان را کاهش می‌دهد (NASEM، ۲۰۱۶). کمبود مس همچنین سبب عوارضی نظیر کم خونی، کاهش رشد، اختلال در تشکیل استخوان، اختلالات عصبی، از بین رفتن رنگدانه‌های پشم، رشد غیر طبیعی پشم، اختلال در وظایف نخاع و بروز اسهال می‌گردد (Asadi و همکاران، ۲۰۲۵a).

گوسفندان نسبت به گاوها و بزها به مکمل مس حساسیت بیشتری دارند پس با توجه به سن، نژاد، جیره مصرفی و شرایط محیطی باید توجه بیشتری به نوع مس مصرفی و مقدار مصرف آن داشت تا سبب مسمومیت بره‌ها نشود (Cheng و همکاران، ۲۰۱۱). مس مورد استفاده در تغذیه دام به شکل‌های آلی و معدنی می‌باشد. بار الکتریکی منفی در نمک‌های معدنی مانند سولفات مس و اکسید مس باعث رقابت در جذب این عناصر در دستگاه گوارش و در نهایت کاهش قابلیت دسترسی آنها می‌شود (Asadi و همکاران، ۲۰۲۵b). فرم آلی مواد معدنی که به شکل کیلات‌های فلزی با اسیدهای آمینه و پپتیدها هستند از زیست‌فراهمی بالاتری در مقایسه با شکل معدنی آنها برخوردارند و سبب بهبود رشد و سلامتی دام می‌شوند (Toghdroy و همکاران، ۲۰۲۲). شکل آلی مس سبب کاهش تداخل با سایر مواد، بهبود اثربخشی، مصرف دوز کمتر با نتایج بهتر و دفع کمتر و در نتیجه کاهش آلودگی محیط زیستی می‌گردد (Ognik و همکاران، ۲۰۱۶). Pal و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که افزودن مس آلی به جیره بره‌های پرواری سبب افزایش غلظت مس خون آنها شد. مکمل‌سازی جیره غذایی بزهای کشمیر با مس به میزان ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک، افزایش وزن روزانه را نسبت به گروه شاهد بهبود بخشید (Zhang و همکاران، ۲۰۰۸). در پژوهشی، افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک در گوساله‌هایی که کمپلکس عناصر حاوی مس به شکل آلی دریافت کردند نسبت به گروه شاهد مشاهده شد (Wo و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی (TAS) در گوساله‌هایی که جیره حاوی مکمل مس دریافت می‌کردند، افزایش یافت (Vaswani و همکاران، ۲۰۱۸).

با توجه به اهمیت عنصر مس و این مسئله که مقدار کم مس موجود در شیر (حدود ۰/۰۲ میلی‌گرم بر لیتر) نمی‌تواند مس مورد نیاز بره شیرخوار که ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک مصرفی است را تأمین کند، پژوهشی به منظور تأثیر مکمل مس به شکل‌های مختلف بر عملکرد، قابلیت هضم، وضعیت اسهال و فراسنجه‌های خونی بره‌های شیرخوار افشاری صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در تابستان ۱۴۰۴ در گوسفندداری صنعتی واقع در شهرستان بندرگز، استان گلستان انجام شد. بدین منظور از ۳۶ رأس بره تازه متولد شده نژاد افشاری که همه تک قلو بودند به مدت ۴۲ روز استفاده شد. در ساعات اولیه زندگی بره‌ها به باکس‌های انفرادی منتقل شده و آغوز گله با بطری به بره‌ها داده شد. تغذیه آغوز تا روز دوم زندگی به میزان ۱۰ درصد وزن بدن ادامه یافت و تا روز پایانی طرح با شیر به مقدار ۱۰ درصد وزن بدن، دو بار در روز تغذیه شدند. بره‌ها پس از تولد به مدت هفت روز تحت مراقبت‌های ویژه بهداشتی آغوز قرار گرفتند و سپس وارد طرح آزمایشی شدند. بره‌ها در سن ۷ روزگی، به ۳ تیمار با ۱۲ تکرار تقسیم شدند و تیمارها شامل: ۱- گروه شاهد (شیر بدون مکمل مس)، ۲- گروه تغذیه شده با شیر حاوی مس معدنی و ۳- گروه تغذیه شده با شیر حاوی مس آلی بود. مقدار استفاده از مس در شیر هر رأس بره در روز ۵ میلی گرم بود. پیش از تغذیه، مکمل مس در شیر کاملاً حل می‌شد. مس معدنی با درصد خلوص ۲۴ درصد به شکل سولفات مس از شرکت کیمیارشد گلستان و مس آلی به شکل کیلاته با خلوص ۱۲ درصد از شرکت صدور احراز شرق (بن‌زا) تهیه شد. برای تعیین غلظت مس شیر گله ۱۰ نمونه شیر ۱۵-۲۰ میلی لیتری تهیه شد و با دستگاه جذب اتمی (مدل: Varian SpectraAA220 / استرالیا) غلظت مس اندازه‌گیری شد. غلظت مس موجود در شیر گوسفند ۱۶/۰-۱۸/۰ میلی گرم بر لیتر به دست آمد. جیره آغازین مورد استفاده بره‌ها و مواد مغذی آنها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- اجزای جیره آغازین و مواد مغذی

Table 1. Starter diet components and chemical composition

درصد ماده خشک	اجزای جیره
30.00	یونجه خشک (Alfalfa hay)
20.00	دانه ذرت (Corn grain)
25.00	دانه جو (Barley grain)
14.00	سبوس گندم (Wheat bran)
9.70	کنجاله سویا (Soybean meal)
0.50	نمک (Salt)
0.50	پودر صدف (Oyster powder)
0.30	دی کلسیم فسفات (Dicalcium phosphate)
ترکیب شیمیایی	
مقدار	مواد مغذی
89.00	ماده خشک (Dry matter) (%)
2.85	انرژی قابل متابولیسم (Metabolizable Energy) (Mcal/Kg)
17.00	پروتئین خام (Crude protein) (%)
18.60	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) (%)
22.50	الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) (%)
2.74	چربی خام (Ether extract) (%)
3.31	خاکستر (Ash) (%)
0.63	کلسیم (Calcium) (%)
0.33	فسفر (Phosphorus) (%)
0.44	مس (Copper) (mg/kgDM)

به منظور بررسی فاکتورهای عملکردی و بررسی تغییرات وزن بره‌ها هر ۲۱ روز (روز ابتدای طرح، روز ۲۱ و روز ۴۲) وزن کشی شدند؛ برای محاسبه تغییرات وزن، وزن کشی بره‌ها به صورت هر ۲۱ روز، پس از ۱۶ ساعت گرسنگی با استفاده از ترازوی دیجیتال صورت گرفت. میانگین افزایش وزن روزانه از تقسیم نمودن اضافه وزن بازه زمانی آزمایش بر تعداد روزهای همان بازه زمانی محاسبه گردید.

در کل دوره هر هفته یک بار از خوراک داده شده برای هر تیمار نمونه‌گیری به عمل آمد. باقی‌مانده خوراک دام‌های هر تیمار به صورت روزانه ذخیره شد و هر هفته یک بار نیز از آن نمونه‌گیری صورت گرفت. از نمونه‌های جمع‌آوری شده خوراک داده شده در کل دوره و باقی‌مانده خوراک کل دوره برای هر تیمار یک نمونه ۱۰۰ گرمی تهیه و در ظروف سر بسته نگهداری شد. برای اندازه‌گیری قابلیت هضم ظاهری ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام، چربی خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی از روش خاکستر غیر محلول در اسید (AIA) به عنوان مارکر داخلی استفاده شد (Sunvold و Cochran, ۱۹۹۱). برای این منظور نمونه‌برداری از مدفوع در شش روز آخر آزمایش از تمامی بره‌ها که در قفس‌های متابولیکی قرار داده شده بودند، نمونه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها با یکدیگر مخلوط و یک نمونه ۱۰۰ گرمی از هر کدام برای هر دام برداشته و در آن خشک در دمای ۶۴ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۴۸ ساعت گردیدند. نمونه‌ها به وسیله آسیاب دارای غربال یک میلی‌متری آسیاب شدند. ترکیب شیمیایی خوراک و مدفوع (ماده خشک، پروتئین خام، خاکستر، ماده آلی) مورد بررسی قرار گرفت. اندازه‌گیری ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام و چربی خام طبق روش AOAC (۲۰۰۰) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی با روش Van Soest (۱۹۹۴) صورت گرفت.

سه روز در هفته به صورت تصادفی مدفوع بره‌ها مورد ارزیابی گرفت. نمره‌های مدفوع بر اساس ۱- نرمال و سفت، ۲- شل اما با جنبه کلی سالم، ۳- بسیار شل، بدون جدایی آبکی و ۴- آبکی خواهد بود و اگر برای دو روز متوالی یا بیشتر نمره‌های ۳ و ۴ دیده شد، اسهال در نظر گرفته می‌شد (Slanzon و همکاران، ۲۰۱۹).

جهت بررسی تغییرات فراسنجه‌های خونی تیمارها، در روز پایانی پژوهش، ۲ ساعت پیش از تغذیه صبح، از رگ وداچ ۸ رأس بره از هر تیمار با استفاده از لوله‌های ونوجکت خونگیری انجام شد. بلافاصله پس از خونگیری، نمونه‌ها به منظور جداسازی سرم از پلاسما، در ۳۰۰۰ دور به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شده و تا روز آزمایش در فریزر در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. فراسنجه‌های بیوشیمیایی (گلوکز، کلسترول، تری‌گلیسیرید، اوره و پروتئین کل، آلبومین، گلوبولین) نمونه‌های مورد مطالعه توسط کیت شرکت پارس آزمون به روش فتومتریک اندازه‌گیری شد. عناصر معدنی سرم خون (مس، آهن و روی) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و کیت‌های خودکار شرکت پارس آزمون تعیین شدند. مقدار آنتی‌اکسیدانی کل، مالون‌دی‌آلدئید و سوپراکسید دیسموتاز پلاسمای خون با استفاده از کیت‌های شرکت پارس آزمون و سروپلاسمین با سنجش فعالیت اکسیدازی سروپلاسمین به روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شدند.

در نهایت اطلاعات حاصل از آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تیمار و ۱۲ تکرار آنالیز شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹,۱ انجام شد و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون توکی در سطح معنی‌داری پنج درصد انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از مدل آماری زیر استفاده شد:

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

Y_{ij} = مقدار مشاهده تیمار i ام در تکرار j ام

μ = اثر میانگین

T_i = اثر تیمار i ام

e_{ij} = اثر خطای آزمایشی مربوط به تیمار i ام در تکرار j ام

نتایج و بحث

نتایج مربوط به تأثیر غنی سازی شیر با مکمل مس بر عملکرد بره های شیرخوار در جدول ۲ گزارش شده است. غنی سازی شیر با مکمل مس سبب افزایش معنی دار وزن نهایی، افزایش وزن دوره و میانگین افزایش وزن روزانه بره های دریافت کننده شد به طوری که بیشترین افزایش وزن دوره و افزایش وزن روزانه متعلق به بره های تغذیه شده با شیر حاوی مس آلی بود ($P < 0.05$). شکل های مختلف مکمل مس تأثیری بر وزن روز ۲۱ گروه های آزمایشی نداشت ($P > 0.05$).

هم راستا با نتایج پژوهش حاضر، استفاده از مکمل مس به شکل آلی و معدنی سبب بهبود معنی دار افزایش وزن روزانه در بره های زندی شد (Hoseinpour و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین، مکمل سازی جیره غذایی بزهای کشمیر با مکمل مس افزایش وزن روزانه را نسبت به گروه شاهد بهبود بخشید (Zhang و همکاران، ۲۰۰۸). در پژوهشی با استفاده از شکل معدنی و آلی مکمل روی و مس دریافتند که بیشترین افزایش وزن و وزن نهایی متعلق به بره های مصرف کننده روی مس کیلات شده بود (Feizdar barabadi و همکاران، ۲۰۲۵). از طرفی، Saeed و همکاران (۲۰۲۵) گزارش کردند که استفاده از سطوح مختلف مس آلی تأثیری بر وزن بدن بره های آواسی نداشت. مخالف با نتایج حاضر، در پژوهشی، استفاده از سطوح مختلف نانو اکسید مس و سولفات مس تأثیری بر وزن نهایی و افزایش وزن روزانه بره های پرواری نداشت (Khatami Khalkhoran و همکاران، ۲۰۲۴). Eftekhari و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که استفاده از مکمل سولفات مس تغییری در افزایش وزن روزانه و وزن نهایی بزغاله های مهابادی ایجاد نکرد. از طرفی، استفاده از نانو مس و مس-لیزین در جیره بره های نر تغییری در وزن نهایی ایجاد نکرد و سبب کاهش میانگین افزایش وزن روزانه شد (Hozhabri و همکاران، ۲۰۱۸). علاوه بر این، Aliarabi و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که استفاده از اشکال آلی و معدنی مس تغییری در عملکرد رشد بره ها ایجاد نکرد. مواد معدنی و ویتامین ها نقش مهمی در مراحل اولیه رشد گوساله ها ایفا می کنند (Asadi و همکاران، ۲۰۲۵a). مس به دلیل خواص آنتی اکسیدانی خود در بهبود عملکرد رشد نقش پررنگی ایفا می کند (Cunnane، ۱۹۸۲). مس به عنوان کوفاکتور آنزیم هایی مثل سوپراکسید دیسموتاز و آنزیم های متابولیکی عمل می کند. بهبود عملکرد این آنزیم ها باعث کاهش استرس اکسیداتیو و افزایش کارایی سلولی می شود که رشد را تسهیل می کند (Asadi و همکاران، ۲۰۲۵c). همچنین مصرف مس باعث افزایش متابولیت هایی مثل اسید پالمیتیک می شود که در ساخت چربی نقش دارند، این موضوع به افزایش ذخیره انرژی و وزن کمک می کند (Ward و همکاران، ۱۹۹۶). از طرفی مس ممکن است با بهبود مورفولوژی روده و افزایش فعالیت سلول های بنیادی سلامت دستگاه گوارش را ارتقا داده و باعث جذب بهتر مواد مغذی شود (Wang و همکاران، ۲۰۱۲). دلیل افزایش وزن دوره و روزانه بیشتر گروه تغذیه شده با مس آلی می تواند به دلیل زیست فراهمی بالاتر و فاقد بار الکتریکی بودن شکل کیلاته مس که باعث می شود بدون هیچ رقابتی با سایر کاتیون ها جذب می گردد، باشد (Teymouri و همکاران، ۲۰۲۵). نتایج مختلف می تواند به دلیل نوع گونه، شکل و سطح مکمل مس، سن دام و توسعه دستگاه گوارش حیوان باشد.

جدول ۲- تأثیر غنی‌سازی شیر با مکمل مس بر عملکرد بره‌های شیرخوار

Table 2. The effect of milk enrichment with copper supplement on performance of suckling lambs

تیمارهای آزمایشی (Experimental treatments)					
خطای استاندارد	سطح احتمال	مس آلی	مس معدنی	شاهد	
SEM	P-Value	Organic Cu	Inorganic Cu	Control	
0.8652	0.8612	5.54	5.33	5.40	وزن ابتدایی (کیلوگرم)
					Initial weight (kg)
0.6123	0.0793	9.49	9.33	8.82	وزن روز ۲۱ (کیلوگرم)
					Weight on day 21 (kg)
0.9711	0.0001	14.78 ^a	13.99 ^a	12.56 ^b	وزن نهایی (کیلوگرم)
					Final weight (kg)
0.6132	0.0219	9.24 ^a	8.66 ^b	7.16 ^c	افزایش وزن دوره (کیلوگرم)
					Total weight gain (kg)
12.5690	0.0017	220.00 ^a	206.19 ^b	170.47 ^c	افزایش وزن روزانه (گرم)
					Daily weight gain (gr)

^{a-c} حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

نتایج مربوط به تأثیر غنی‌سازی شیر با مکمل مس بر قابلیت‌هضم بره‌های شیرخوار در جدول ۳ گزارش شده است. مصرف شیر غنی‌سازی شده با مکمل مس به شکل‌های آلی و معدنی سبب بهبود قابلیت‌هضم ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام و ADF شد و بیشترین افزایش قابلیت‌هضم ADF در گروه مصرف‌کننده شیر حاوی مس آلی گزارش شد ($P < 0.05$). در قابلیت‌هضم چربی خام و NDF گروه‌های آزمایشی مختلف تغییری مشاهده نشد ($P > 0.05$).

موافق با پژوهش حاضر، Hoseinpour و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مکمل مس آلی و مکمل مس معدنی در تغذیه بره‌های زندی دریافتند که مکمل مس آلی سبب افزایش قابلیت‌هضم ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام و ADF در بره‌های مصرف‌کننده شد. همچنین، در پژوهشی دیگر یافتند که استفاده از سطوح مختلف مس آلی به شکل پروتئینات مس در مقایسه با مس معدنی باعث بهبود قابلیت‌هضم ماده خشک، ماده آلی و پروتئین خام بزها شد (Mondal و Biswas, ۲۰۰۷). Feizdar barabadi و همکاران (۲۰۲۵) مشاهده کردند که قابلیت‌هضم ماده خشک، ماده آلی و NDF در بره‌های دریافت‌کننده جیره حاوی مکمل مس و روی به هر دو شکل سولفات و کیلات نسبت به گروه شاهد به طور معنی‌داری افزایش داشت. افزودن ترکیبی حاوی مس در فرم‌های آلی و غیرآلی به جیره بره‌های پرواری قابلیت‌هضم ماده خشک، ماده آلی و NDF آن‌ها را بهبود بخشید (El Ashry و همکاران, ۲۰۱۲). اما در مطالعه‌ای که استفاده از اشکال مختلف عناصر معدنی در فرم‌های غیرآلی را بررسی کردند، Genther و Hansen (۲۰۱۵) مشاهده کردند که منگنز، مس و آهن هیدروکسی قابلیت‌هضم ماده خشک را کاهش دادند، در حالی که منگنز، مس و آهن سولفات تأثیری بر قابلیت‌هضم ماده خشک در گوساله‌ها نداشتند. مس یک کوفاکتور کلیدی در آنزیم‌هایی مانند سوپر اکسید دیسموتاز و لیزین اکسیداز است که نقش مهمی در فرایندهای اکسیداتیو و تشکیل بافت همبند دارند و بهبود عملکرد این آنزیم‌ها موجب بهبود سلامت سلولی و فعالیت میکروبی روده شده و در نتیجه قابلیت‌هضم افزایش می‌یابد (Spears, ۲۰۰۳). از طرفی، مکمل مس ممکن است تعادل میکروبی روده را به سمت باکتری‌های مفید هدایت کند. این باکتری‌ها آنزیم‌های هضمی بیشتری ترشح کرده و قابلیت‌هضم پروتئین و مواد آلی را افزایش می‌دهند (Bremner, ۱۹۹۸). همچنین، مکمل مس آلی به دلیل

جذب بالاتر و کاهش اثرات سمی یون مس آزاد، فعالیت میکروب‌های تجزیه‌کننده فیبر شکمبه را افزایش داده، که باعث بهبود بیشتر هضم الیاف نامحلول در شوینده اسیدی می‌شود (Chaudhary و همکاران، ۲۰۱۳). ممکن است عوامل متعددی نظیر انواع مکمل مس، سطوح مورد استفاده، نوع دام، جنس و سن دام در ایجاد اختلاف بین گزارش‌های مختلف نقش داشته باشند.

جدول ۳- تأثیر غنی‌سازی شیر با مکمل مس بر قابلیت هضم بره‌های شیرخوار

Table 3. The effect of milk enrichment with copper supplement on digestibility of suckling lambs

سطح احتمال P-Value	خطای استاندارد SEM	تیمارهای آزمایشی (Experimental treatments)			گرم/کیلوگرم (g/kg)
		مس آلی Organic Cu	مس معدنی Inorganic Cu	شاهد Control	
0.0001	1.5633	71.88 ^a	68.56 ^b	66.97 ^b	ماده خشک (Dry matter)
0.0011	0.9716	79.96 ^a	74.00 ^b	72.17 ^b	ماده آلی (Organic matter)
0.0027	1.2388	66.59 ^a	62.11 ^b	60.88 ^b	پروتئین خام (Crude protein)
0.7819	3.1785	85.19	83.17	81.86	چربی خام (Ether extract)
0.6363	0.8871	45.54	44.27	42.88	الیاف نامحلول در شوینده خشتی (NDF)
0.0001	1.0076	55.19 ^a	49.11 ^b	46.55 ^c	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)

^{a-c} حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

نتایج مربوط به تأثیر غنی‌سازی شیر با مکمل مس بر وضعیت اسهال بره‌های شیرخوار در جدول ۴ آمده است. مکمل مس سبب کاهش نمره مدفوع شد و بهترین قوام مدفوع متعلق به گروه دریافت‌کننده شیر حاوی مس آلی بود ($P < 0.05$). غنی‌سازی شیر با مس موجب کاهش تعداد بره‌های مبتلا به اسهال و روزهای ابتلا به اسهال آنها شد و بهترین وضعیت متعلق به گروه مس آلی بود. تجویز نانو ذرات مس همراه با نانو ذرات روی بروز اسهال را کاهش داده و قوام مدفوع گوساله‌ها را بهبود بخشید (Pandey و همکاران، ۲۰۲۳). در مقابل، استفاده از اشکال مختلف مس توسط مادر تأثیری بر نتایج سلامتی گوساله‌ها نداشت (Chang و همکاران، ۲۰۱۸؛ Kushwaha و همکاران، ۲۰۲۱). در پژوهشی، گوساله‌هایی که مکمل مس دریافت کردند، مدفوع با قوام بیشتری نسبت به گروه شاهد نشان دادند و بالاترین نمرات قوام مدفوع و کمترین بروز اسهال در گوساله‌هایی مشاهده شد که همزمان ویتامین C و مس دریافت کردند (Jafari و همکاران، ۲۰۲۴). استفاده از عناصر معدنی کمیاب نظیر مس ارتباط مستقیم با کاهش بروز اسهال و بهبود سلامت گوساله‌ها دارد (Grzybowska و همکاران، ۲۰۱۸). خواص ضداسهالی مس احتمالاً به عملکردهای ایمنی مدولاسیون آن‌ها مرتبط است؛ فرض بر این است که مکانیسم‌های مؤثر بر اثرات ضداسهالی مس شامل تقویت پاسخ‌های ایمنی و مدولاسیون استرس اکسیداتیو می‌شود (Pandey و همکاران، ۲۰۲۳). استفاده از ریزمغذی‌های مرتبط با سیستم آنتی‌اکسیدانی حل‌شده در شیر، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بره‌های شیرخوار را افزایش داده و محصولات پراکسیداسیون لیپید ناشی از استرس اکسیداتیو را کاهش می‌دهد. در نتیجه، این افزایش در سیستم آنتی‌اکسیدانی منجر به کاهش بروز اسهال، تأخیر در شروع این اختلال متابولیک و بهبود نمرات میانگین مدفوع در بره‌ها می‌شود (Asadi و همکاران، ۲۰۲۵a).

جدول ۴- تأثیر غنی‌سازی شیر با مکمل مس بر وضعیت اسهال بره‌های شیرخوار

Table 4. The effect of milk enrichment with copper supplement on Diarrhea status of suckling lambs

تیمارهای آزمایشی (Experimental treatments)	خطای استاندارد	سطح احتمال
--	----------------	------------

P-Value	SEM	مس آلی Organic Cu	مس معدنی Inorganic Cu	شاهد Control	
0.0001	0.1619	1.32 ^c	1.46 ^b	1.59 ^a	نمره مدفوع Fecal consistency score
-	-	2	3	4	تعداد بره‌های مبتلا به اسهال Number of lambs with Diarrhea
-	-	2	2	3	روزهای ابتلا به اسهال Average days of diarrhea

^{a-c} حروف غیر مشابه در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

نتایج مربوط به تأثیر غنی‌سازی شیر با مکمل مس بر فراسنجه‌های بیوشیمیایی بره‌های شیرخوار در جدول ۵ گزارش شده است. استفاده از شیر حاوی اشکال مختلف مس سبب افزایش گلوکز بره‌های مصرف‌کننده شد ($P < 0.05$). در بین گروه‌های آزمایشی مختلف تغییری در غلظت کلسترول، تری‌گلیسیرید، اوره، آلبومین، گلوبولین و نسبت آلبومین به گلوبولین بره‌ها مشاهده نشد ($P > 0.05$).

Moazeni Zadeh و همکاران (۲۰۲۴) گزارش دادند که گوساله‌هایی که مکمل گلیسینات حاوی مس را دریافت کرده‌اند، غلظت‌های بالاتری از گلوکز، آلبومین و HDL را نشان دادند و در عوض غلظت LDL کمتری داشتند. در مقابل، **Khatami** و **Khalkhoran** (۲۰۲۴) دریافتند که مکمل‌های مس به شکل نانو و سولفات غلظت گلوکز خون بره‌های پرواری نداشت. از طرفی، مکمل‌سازی جیره بره‌های مهابادی با سولفات مس تأثیری معنی‌دار بر پارامترهای خونی مانند گلوکز، تری‌گلیسیریدها و کلسترول پلازما نداشت (**Eftekhari** و همکاران، ۲۰۲۰). **Datta** و همکاران (۲۰۰۷) نیز اشاره کردند که غلظت گلوکز پلازما مکمل‌سازی مس کاهش یافت. در پژوهشی کمپلکس عناصر کم نیاز حاوی مس در گوساله‌های شیرخوار تأثیری بر غلظت گلوکز خون آنها نداشت (**Moazeni Zadeh** و همکاران، ۲۰۲۳). ریزمغذی‌ها، به‌ویژه مس، برای متابولیسم لیپیدها، پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها ضروری هستند (**Kerkaert** و همکاران، ۲۰۲۱). کمبود این ریزمغذی‌ها می‌تواند متابولیسم گلوکز، ترشح انسولین و جذب گلوکز ناشی از انسولین را محدود کند (**Teymouri** و همکاران، ۲۰۲۵). مس یک عنصر مهم در فعالیت آنزیم‌های مختلف متابولیکی از جمله آنزیم‌های مرتبط با تنفس سلولی و متابولیسم انرژی است که مصرف آن می‌تواند فعالیت برخی از این آنزیم‌ها را افزایش دهد، که باعث افزایش تولید انرژی و تسریع گلیکولیز و گلوکونئوژنز و به عبارتی ساخت گلوکز جدید می‌شود؛ بنابراین، سطوح بالای گلوکز مشاهده‌شده در بره‌های شیرخواری که مصرف شیر حاوی اشکال مختلف مس داشتند، ممکن است به نقش آن‌ها در گلوکونئوژنز مرتبط باشد (**Suttle**، ۲۰۱۰). اختلاف در یافته‌ها می‌تواند به دلیل تفاوت انواع مکمل مس، سطوح مورد استفاده، نوع دام، جنس و سن دام در پژوهش‌ها باشد.

جدول ۵- تأثیر غنی‌سازی شیر با مکمل مس بر فراسنجه‌های بیوشیمیایی بره‌های شیرخوار

Table 5. The effect of milk enrichment with copper supplement on biochemical parameters of suckling lambs

تیمارهای آزمایشی (Experimental treatments)					
سطح احتمال P-Value	خطای استاندارد SEM	مس آلی Organic Cu	مس معدنی Inorganic Cu	شاهد Control	
0.0001	4.986	93.89 ^a	92.55 ^a	86.17 ^b	گلوکز (میلی گرم/دسی لیتر) Glucose (mg/dL)

0.4122	7.619	97.15	98.56	102.11	کلسترول (میلی گرم/دسی لیتر)
					Cholesterol (mg/dL)
0.5196	0.8857	19.97	20.01	18.66	اوره (میلی گرم/دسی لیتر)
					BUN (mg/dL)
0.0996	1.456	33.79	30.17	32.11	تری گلیسرید (گرم/دسی لیتر)
					Triglyceride (g/dL)
0.5156	0.8125	7.26	7.29	7.32	پروتئین کل (گرم/دسی لیتر)
					Total protein (g/dL)
0.6617	0.4461	4.12	4.06	4.17	آلبومین (گرم/دسی لیتر)
					Albumin (g/dL)
0.7916	0.1965	3.14	3.23	3.15	گلوبولین (گرم/دسی لیتر)
					Globulin (g/dL)
0.6169	0.0819	1.30	1.26	1.32	آلبومین: گلوبولین
					Albumin: Globulin

^{a-c} حروف غیر مشابه در هر ردیف نشان دهنده اختلاف معنی دار می باشد.

نتایج مربوط به تأثیر غنی سازی شیر با مکمل مس بر وضعیت آنتی اکسیدانی و عناصر معدنی خون بره ها در جدول ۶ گزارش شده است. مکمل مس سبب افزایش غلظت مس در بره ها شد و بیشترین مس خون متعلق به گروه دریافت کننده مس آلی بود ($P < 0.05$). مصرف شیر غنی شده با مکمل مس سبب افزایش سرولوپلاسمین و وضعیت آنتی اکسیدانی کل و کاهش مالون دی آلدئید شد؛ بیشترین افزایش در سرولوپلاسمین و وضعیت آنتی اکسیدانی کل متعلق به گروه دریافت کننده شیر حاوی مس آلی بود ($P < 0.05$). در بین گروه های آزمایشی مختلف تغییری در غلظت روی، آهن و سوپراکسید دیسموتاز گزارش نشد ($P > 0.05$).

همسو با نتایج پژوهش حاضر، در پژوهش Pal و همکاران (۲۰۱۰)، افزودن مس آلی به جیره بره های پرواری غلظت مس سرم را افزایش داد. از سوی دیگر، افزودن مس نانو و مس-لیزین به جیره بره ها منجر به افزایش غلظت مس سرم شد (Hozhabri و همکاران، ۲۰۱۸). اما، Moazeni Zadeh و همکاران (۲۰۲۳) مشاهده کردند که استفاده از مکمل معدنی حاوی مس تأثیری بر وضعیت مس خون گوساله ها نداشت. در پژوهشی دیگر، استفاده از کمپلکس مواد معدنی آلی تأثیری بر سطح مس خون گوساله ها نداشت (Ahola و همکاران، ۲۰۰۵). موافق با نتایج پژوهش انجام شده، استفاده از مکمل مس در جیره بره های پرواری سبب افزایش سرولوپلاسمین خون آنها نسبت به گروه شاهد شد (Senthilkumar و همکاران، ۲۰۰۹). همسو با پژوهش حاضر استفاده از قرص آهسته رهش مس در دوره انتقال میش ها سبب افزایش سرولوپلاسمین آنها شد (Nasr Chaleshtori و همکاران، ۲۰۲۱).

استفاده از کمپلکس معدنی حاوی مس در گاوهای دوره انتقال سبب افزایش سرولوپلاسمین آنها شد (Asadi و همکاران، ۲۰۲۵b). همسو با پژوهش حاضر، Vaswani و همکاران (۲۰۱۸) دریافتند که فعالیت آنتی اکسیدانی (TAS) در گوساله های که جیره حاوی مس دریافت می کردند، افزایش یافته است. همچنین، محققان نشان دادند که سطح سرمی سوپراکسید دیسموتاز و ظرفیت آنتی اکسیدانی کل در بزهای دریافت کننده نانو ذرات مس و مس سولفات به طور معناداری نسبت به گروه شاهد، بالاتر بود، در حالی که محتوای سرمی مالون دی آلدئید آنها به طور معناداری کمتر بود (Shen و همکاران، ۲۰۲۰). با این حال، مکمل سازی با عناصر کم مصرف حاوی مس تأثیری بر فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز و وضعیت کل آنتی اکسیدانی گوساله های شیرخوار نداشت (Moazeni Zadeh و همکاران، ۲۰۲۳). علاوه بر این، Dezfoulan و همکاران (۲۰۱۲) مشاهده کردند که مکمل سازی با مس تأثیر معناداری بر فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در بره ها نداشت.

شکل آلی مواد معدنی نسبت به شکل اکسید و سولفات آنها قابلیت جذب بهتری در دستگاه گوارش دارد (Henry و همکاران، ۱۹۹۲). شکل معدنی مس دارای بار الکتریکی مثبت بوده که موجب ایجاد رقابت با کاتیون‌های دیگر در جایگاه جذب جهت عبور از لایه مخاطی روده شده و میزان جذب مس را کاهش می‌دهد؛ این در حالی است که شکل آلی مس فاقد بار الکتریکی بوده و هنگام جذب هیچ‌گونه تداخل و رقابتی با سایر کاتیون‌ها ایجاد نمی‌نماید و به‌سرعت از دیواره روده عبور و به صورت مطلوب به‌وسیله دام جذب و مورد استفاده قرار می‌گیرد (McDowell, ۲۰۳۳). علاوه بر این، شکل آلی مس باند شده با اسید آلی، اسیدآمین یا پپتیدها، کمتر تحت تأثیر pH و شرایط شکمبه و شیردان قرار می‌گیرد و نهایتاً بهتر به مکان‌های جذب روده کوچک می‌رسند (Roshanzamir و همکاران، ۲۰۲۳). با افزایش مس خون، افزایش سرولوپلاسمین نیز اتفاق می‌افتد. نقش مس در خون سازی از طریق سرولوپلاسمین انجام می‌شود و سرولوپلاسمین خود سبب تسهیل اتصال آهن به فریتین شده و می‌تواند با جمع‌آوری آهن آزاد و از بین بردن رادیکال‌های آزاد سبب کاهش مالون دی آلدئید شده و سیستم آنتی اکسیدانی را قوی‌تر نماید (Kegley و همکاران، ۲۰۱۶). مواد معدنی یکی از مهم‌ترین مواد مغذی برای افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی هستند (Teymouri و همکاران، ۲۰۲۵). مس برای چندین آنزیم مرتبط با متابولیسم انرژی یا آنتی‌اکسیدانی و پروتئین‌های انتقال الکترون ضروری است (Grzybowska و همکاران، ۲۰۱۸). مس جزء اساسی سوپر اکسید دیسموتاز است و افزایش غلظت سرمی آن با حضورش در ساختار سوپر اکسید دیسموتاز تسهیل می‌شود، و بنابراین به وضعیت آنتی‌اکسیدانی بدن کمک می‌کند. افزایش فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز در خون وضعیت کلی آنتی‌اکسیدانی سرم را بهبود بخشیده و در نتیجه عملکرد رشد و سلامت گوساله‌ها را تقویت می‌کند (Asadi و همکاران، 2025).

جدول ۶- تأثیر غنی‌سازی شیر با مکمل مس بر غلظت عناصر و وضعیت آنتی‌اکسیدانی بره‌های شیرخوار

Table 4. The effect of milk enrichment with copper supplement on mineral concentration and antioxidant status of suckling lambs

تیمارهای آزمایشی (Experimental treatments)					
سطح احتمال P-Value	خطای استاندارد SEM	مس آلی Organic Cu	مس معدنی Inorganic Cu	شاهد Control	
0.0001	0.0417	0.81 ^a	0.69 ^b	0.54 ^c	مس (نانوگرم/دسی‌لیتر) Copper (ng/dL)
0.3189	0.0916	0.68	0.69	0.67	روی (نانوگرم/دسی‌لیتر) Zinc (ng/dL)
0.0872	0.0712	1.37	1.38	1.42	آهن (مول/لیتر) Iron (mol/L)
0.0089	0.3725	11.97 ^a	10.89 ^b	9.03 ^c	سرولوپلاسمین (میلی‌گرم/دسی‌لیتر) ceruloplasmin (mg/dl)
0.6844	0.0199	0.70	0.69	0.71	سوپراکسید دیسموتاز (واحد/میلی‌گرم) Superoxide dismutase (U/mg)
0.0001	0.0117	1.49 ^b	1.56 ^b	1.76 ^a	مالون دی آلدئید (نانومول/میلی‌لیتر) Malondialdehyde (nmol/ml)
0.0001	0.1261	5.12 ^a	5.01 ^b	4.86 ^c	وضعیت آنتی اکسیدانی کل (میلی‌مول/لیتر) Total antioxidant status (mmol/l)

^{a-c} حروف غیر مشابه در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

نتیجه‌گیری

غنی‌سازی شیر با مکمل مس به شکل‌های مختلف سبب بهبود وزن نهایی، افزایش وزن دوره، افزایش وزن روزانه، قابلیت هضم ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام و ADF بره‌های شیرخوار شد و بره‌های تغذیه شده با مکمل مس قوام مدفوع بهتری داشتند. همچنین مکمل مس به هر دو شکل سبب افزایش گلوکز، مس، سرولوپلاسمین، سوپراکسید دیسموتاز و وضعیت آنتی اکسیدانی کل و کاهش مالون دی آلدهید شد. بهترین حالت در عملکرد، قوام مدفوع و وضعیت آنتی اکسیدانی و غلظت مس و سرولوپلاسمین در گروه دریافت‌کننده مس آلی دیده شد. لذا استفاده از مس آلی در شیر بره‌های شیرخوار جهت بهبود عملکرد و سلامت توصیه می‌شود.

منابع

- Aliarabi, H., Tabatabaee, M.M., Fadayifar, A., Torkashvan, S., Bahari, A.A., Zamani, P., Alipour, D., & Dezfoulan, A.H. (2011). The effect of addition of organic zinc supplementation with and or without Cu on performance plasma minerals profile and some enzyme activity in male Mehraban lambs. *Journal of Animal Science Researches*, 21: 111-121. (In Persian)
- AOAC. (2000). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist, 17th edition, Arlington, USA.
- Asadi, M., Kamali, R., & Asadzadeh, N. (2025a). The effect of vitamin and mineral supplementation during the late pregnancy of Holstein dairy cows on performance, skeletal growth index, diarrhea status, blood and antioxidant parameters of their newborn calves. *Journal of Animal Production*, 27(1): 27-41. (In Persian)
- Asadi, M., Kamali, R., & Asadzadeh, N. (2025b). The Effect of Vitamin and Mineral Supplement Injection during the Transition Period on Inflammatory and Antioxidant Indices of Dairy Cows. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 17(2): 141-154. (In Persian)
- Asadi, M., Kamali, R., & Asadzadeh, N. (2025c). The effect of mineral and vitamin injections in late pregnancy on feed intake, milk production and composition, colostrum quality and metabolic abnormalities. *Journal of Ruminant Research*, 13(3), 203-222. (In Persian)
- Asadi, M., Ghoorchi, T., & Toghdory, A. (2025). Effect of dietary supplementation with different forms of chromium on feed intake, milk production and composition, blood parameters of Afshari ewes in transition period under the influence of heat stress. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 76(1): 8575–8588.

Asadi, M., Toghdory, A., Hatami, M., & Ghassemi Nejad, J. (2022). Milk Supplemented with Organic Iron Improves Performance, Blood Hematology, Iron Metabolism Parameters, Biochemical and Immunological Parameters in Suckling Dalagh Lambs. *Animals*, 12(4): 510.

Bremner, I. (1998). "Manifestations of copper excess." *American Journal of Clinical Nutrition*, 67(5 Suppl): 1069S-1073S.

Chang, Z., Zhang, H., Dong, H., Mehmood, K., Ijaz, M., Ahmad, H.I., Naeem, M.A., Wu, Q., Nabi, F., & Zhu, H. (2018). Effect of CuSO₄ and nano copper on serum antioxidant capacity in weaned piglets. *Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents*, 32(2): 99–104.

Chaudhary, U.B., Tripathi, M.K., Gupta, B., Dutta, T., & Sirohi, H. (2013). Effect of inorganic and organic zinc and copper supplementation on performance, nutrient utilization, rumen fermentation and blood biochemistry of kids. *Indian Journal of Animal Sciences*, 83: 1313-1322.

Cheng, J., Ma, H., Fan, C., Zhang, Z., Jia, Z., Zhu, X., & Wang, L. (2011). Effects of different copper sources and levels on plasma superoxide dismutase, lipid peroxidation, and copper status of lambs. *Biological Trace Element Research*, 144: 570-579.

Cunnane, S.C. (1982). Differential regulation of essential fatty acid metabolism to the prostaglandins: possible basis for the interaction of zinc and copper in biological systems. *Progress in Lipid Research*, 21: 73-90.

Datta, C., Mondal, M.K., & Biswas, P. (2007). Influence of dietary inorganic and organic form of copper salt on performance, plasma lipids and nutrient utilization of Black Bengal (*Capra hircus*) goat kids. *Animal Feed Science Technology*, 135: 191-209.

Dezfoulan, A.H., Aliarabi, H., Tabatabaei, M.M., Zamani, P., Alipour, D., Bahari, A., & Fadayifar, A. (2012). Influence of different levels and sources of copper supplementation on performance, some blood parameters, nutrient digestibility and mineral balance in lambs. *Livestock Science*, 147: 9-19.

Eftekhari, M., zali, A., akbari, A., ganjkhanelou, M., & hatefi, A. (2020). Effect of copper supplement on performance and blood parameters in Mahabadi castrated kids. *Research Journal of Livestock Science*, 32(125): 3-14. (In Persian)

El Ashry, G.M., Hassan, A.A., & Soliman, S.M. (2012). Effect of Feeding a Combination of Zinc, Manganese and Copper Methionine Chelates of Early Lactation High Producing Dairy Cow. *Food Nutrient Science*, 3: 1084-1091.

Feizdar barabadi, Y., Ghiasi, S.E., Kadkhodae, R., & Mojtahedi, M. (2025). Effect of Organic Supplementation of Zinc and Copper Stabilized in the Rumen on Gas Production, Performance, Nutrient

Digestibility, and Antioxidant Enzyme Activities in Fattening Lambs. *Iranian Journal of animal Science*, 56(2): 255-275.

Fulton, J.O., Blair, A.D., Underwood, K.R., Daly, R.F., Gonda, M.G., Perry, G.A., & Wright, C.L. (2023). The Effect of Copper and Zinc Sources on Liver Copper and Zinc Concentrations and Performance of Beef Cows and Suckling Calves. *Veterinary Science*, 10: 511.

Genther, O.N., & Hansen, S.L. (2015). The effect of trace mineral source and concentration on ruminal digestion and mineral solubility. *Journal of Dairy Science*, 98(1): 566-573.

Goff, J.P. (2018). Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acidase and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *Journal of Animal Science*, 101: 2763–28.

Grzybowska, D., Sobiech, P., & Snarska, A. (2018). Copper – An essential micronutrient for calves and adult cattle. *Journal of Elementology*, 24.

Hellman, N.E., & Gitlin, G.D. (2002). Ceruloplasmin metabolism and function. Edward Mallinckrodt Department of Pediatrics, Washington University School of Medicine. *Journal of Animal Science*, 22: 439–458.

Henry, P.R., Ammerman, C.B., & Litell, R.C. (1992). Relative bioavailability of manganese from a manganese-methionine complex and inorganic sources for ruminant. *Journal of Dairy Science*, 75: 3473-3478.

Hoseinpour, N., Norouzian, M.A., & Afzalzadeh, A. (2014). Effect of different sources of copper on performance, gas production parameters and nutrients digestibility in Zandi lamb. *Journal of Animal Production*, 16(2): 93-101.

Hozhabri, F., Darabi, M., & Moeini, M.M. (2018). Assessing the various copper supplements effect on performance, some blood parameters and humoral immune response of male Sanjabi lambs. *Journal of Ruminant Research*, 6(1): 101-116. (In Persian)

Jafari, H., Fatahnia, F., Khodamoradi, S., & Taasoli, G. (2024). Effect of ascorbic acid and copper injection on serum parameters concentration and the incidence of metabolic disorders in transition dairy cows under heat stress. *Animal Science Research*, 34(1), 45-61. (In Persian)

Kegley, E.B., Ball, J.J., & Beck, P. (2016). Impact of mineral and vitamin status on beef cattle immune function and health. *Journal of Animal Science*, 94: 59–69.

Kerkaert, H.R., Woodworth, J.C., Derouche, J.M., Dritz, S.S., Tokach, M.D., Goodband, R.D., & Manzke, N.E. (2021). Determining the effects of manganese source and level on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *Translational Animal Science*, 5: txab067.

Khatami Khalkhoran, S., Seifdavati, J., Abdibenemar, H., seyedsharifi, R., Hedayat-Evrigh, N., & Alipour einaldin, M. (2024). The effect of different levels of copper nanooxide and copper sulfate on performance, immunity, blood parameters and carcass characteristics of fattening lamb. *Animal Science Research*, 34(2): 45-57. (In Persian)

Kushwaha, R., Kumar, V., Kumar, M., Vaswani, S., & Kumar, A. (2021). Effects of inorganic and nano copper supplementation on growth performance, nutrient utilization and mineral availability in growing Sahiwal heifers. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 38(2): 278–285.

McDowell, L.R. (2003). *Minerals in Animal and Human Nutrition* (2nd Ed.). Netherlands: Elsevier Science B. V., Amsterdam.

Moazeni Zadeh, M.H., Towhidi, A., Zhandi, M., Rezayazdi, K., & Javaheri Barfourrooshi, 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. (In Persian)

Moazeni zadeh, M.H., Towhidi, A., Zhandi, M., & Rezayazdi, K. (2023). Effects of supplementation of some trace minerals on growth performance, biochemical, enzymatic, antioxidant, hormonal and hematological parameters in Holstein suckling calves. *Journal of Ruminant Research*, 11(1): 75-92. (In Persian)

Mondal, M., & Biswas, P. (2007). Different sources and levels of copper supplementation on performance and nutrient utilization of castrated black bengal (*Capra hircus*) kids diet. *Asian Australian Journal of Animal Sciences*, 20: 1067-1072.

Muehlenbein, E.L., Brink, D.R., Deutscher, G.H., Carlson, M.P., & Johnson, A.B. (2001). Effects of inorganic and organic copper supplemented to first-calf cows on cow reproduction and calf health and performance. *Journal of Animal Science*, 79(7): 1650–1659.

Nasr Chaleshtori, P., Fadayifar, A., Azizi, A., & Azarfar, A. (2021). The effect of Slow-Release Bolus of Copper on Performance and Some Blood Metabolites of Lori-Bakhtiari Pregnant Ewes and Their Lambs. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 13(2): 193-205.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2016). *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, 8th ed.; National Academies Press: Washington, DC, USA, ISBN 978-0-309-31702-3.

Ognik, K., Stępniewska, A., Cholewińska, E., & Kozłowski, K. (2016). The effect of administration of copper nanoparticles to chickens in drinking water on estimated intestinal absorption of iron, zinc, and calcium. *Poultry Science*, 95: 2045-2051.

Pal, D.T., Gowda, N.K.S., Prasad, C.S., Amarnath, R., Bharadwaj, U., Suresh Babu, G., & Sampath, K.T. (2010). Effect of copper and zinc-methionine supplementation on bioavailability, mineral status and tissue concentrations of copper and zinc in ewes. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 24: 89-94.

Pandey, P., Kumar, M., Kumar, V., Kushwaha, R., Vaswani, S., Kumar, A., Singh, Y., & Shukla, P.K. (2023). The Dietary Supplementation of Copper and Zinc Nanoparticles Improves Health Condition of Young Dairy Calves by Reducing the Incidence of Diarrhoea and Boosting Immune Function and Antioxidant Activity. *Biological Trace Element Research*, 201(8): 3791-3803.

Roshanzamir, H., Rezaei, J., & Fazaeli, H. (2023). Effect of using organic complexes of Mn, Zn and Cu (compound with glycine- or methionine-) instead of sulphate forms (equal to or twice NRC recommendation) on health, fertility and blood metabolites of dairy cows and calves. *Animal Production Research*, 8(1): 1-15. (In Persian)

Saeed, O.A., Shareef, M.A., Alnori, H.M., Leo, T.K., Al-Bayar, M.A., Abed, I.A., & Attallah, O.K. (2025). Physiological and Histological Responses of Awassi Lambs to High Dietary Organic Copper Supplementation. *Animals*, 15: 1066.

Senthilkumar, P., D. Nagalakshmi, Y. R. & Sudhakar, K. (2009). Effect of different level and source of copper supplementation on immune response and copper dependent enzyme activity in lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 41, 645-653.

Shen, X., Song, C., & Wu, T. (2020). Effects of nano-copper on antioxidant function in copper deprived Guizhou black goats. *Biological Trace Element Research*, 199(6): 2201-2207.

Slanzon, G.S., Toledo, A.F., Silva, A.P., Coelho, M.G., da Silva, M.D., Cezar, A.M., & Bittar, C.M.M. (2019). Red propolis as an additive for preweaned dairy calves: Effect on growth performance, health, and selected blood parameters. *Journal of Dairy Science*, 102(10): 8952-8962.

Spears, J.W. (2003). "Trace mineral bioavailability in ruminants." *Journal of Nutrition*, 133(5 Suppl 2): 1506S-1509S.

Sunvold, G.D., & Cochran, R.C. (1991). Technical note: evaluation of acid detergent lignin, alkaline peroxide lignin, acid insoluble ash, and indigestible acid detergent fiber as internal markers for prediction

of alfalfa, brome grass, and prairie hay digestibility by beef steers. *Journal of Animal Science*, 69(12):4951-4955.

Suttle, N.F. (2010). Mineral Nutrition of Livestock. 4th Edition. CABI Publication. Wallingford, UK.

Teymouri, A., Toghdory, A., Ghoorchi, T., & Asadi, M. (2025). Impact of Milk Enrichment with Manganese Supplement in Organic and Inorganic Forms on Performance, Biochemical, Antioxidant Parameters and Feeding Behavior of Suckling Calves. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 17(1): 21-33. (In Persian)

Toghdory, A., Asadi, M., Hatami, M., & Ghassemi Nejad, J. (2022). The Effect of Feeding Fortified Milk with Organic Iron Supplementation on Performance, Diarrhea Status and Blood Parameters in Suckling Dalagh Lambs. *Research On Animal Production*, 13(36): 66-73.

Van Soest, P.J. (1994). Nutritional Ecology of the Ruminants. Cornell University Press, Ithaca, New York. 1994.

Vaswani, S., Kumar, V., Roy, D., Kumar, M., & Kushwaha, R. (2018). Effect of different sources of copper supplementation on performance, nutrient utilization, blood biochemicals and plasma mineral status of growing Haryana heifers. *Indian Journal of Animal Science*, 88(7): 812–818.

Wang, M.Q., Du, Y.J., Wang, C., Tao, W.J., He, Y.D., & Li, Y. (2012). Effects of copper-loaded chitosan nanoparticles on intestinal microflora and morphology in weaned. Role of HDL-associated proteins and lipids in the regulation of inflammation. *Advances in Lipoprotein Research*, 53.

Ward, J.D., Spears, J.W., & Kegley, E.B. (1996). Bioavailability of copper proteinate and copper carbonate relative to copper sulfate in cattle. *Journal of Dairy Science*, 19: 127-132.

Wo, Y., Jin, Y., Gao, D., Ma, F., Ma, Z., Liu, Z., Chu, K., & 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, S., Li, X., Chen, X., Zhu, Y., & Yao, J. (2021). Optimizing the growth and immune system of dairy calves by subdividing the pre-weaning period and providing different milk volumes for each stage. *Animal Nutrition*, 7(4): 1296-1302.

Zhang, W., Wang R., Kleemann D.O., Lu D., Zhu X., Zhang C., & Jia, Z. (2008). Effects of dietary copper on nutrient digestibility, growth performance and plasma copper status in cashmere goats. *Small Ruminant Research*, 74: 188-193.