

The effect of different levels of zinc on performance and retention of some mineral elements in Mehraban male lambs

Khalil Zaboli^{1*}, Mahbod Mehradkia², Hasan Ali Arabi³

¹ (Corresponding author) Assistant Professor, Dept. of Animal Science, Agriculture Faculty, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, Email: zaboli@basu.ac.ir

² M.Sc. Graduated Dept. of Animal Science, Agriculture Faculty, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

³ Professor, Dept. of Animal Science, Agriculture Faculty, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 07/06/2025
Revised: 12/07/2025
Accepted: 19/07/2025

Keywords:
Blood minerals
Mehraban male lamb
Retention
Zinc

ABSTRACT

Background and Objectives: Zinc (Zn) is one of the trace elements that affects the growth, reproduction and improvement of the immune system of animals. Recently, Zn has been supplemented to the diet for improving the performance of livestock. However, supplementation with excess Zn to the diet may, decrease performance, affect the absorption and retention of other mineral elements. The present study was conducted to investigate the effect of different levels of Zn in form of inorganic, on performance and concentration of some blood mineral elements and their retention in Mehraban male lambs.

Materials and Methods: To conduct this experiment, 18 Mehraban male lambs with an average age of 3-4 months and an initial body weight of 33.62 ± 2.67 kg were assigned to 3 treatments with 6 replicates each, as a completely randomized design. Experimental treatments included 1) control group (basal diet, without supplementation of Zn), treatment 2) basal diet plus 40 mg Zn/kg DM in the form of zinc sulfate and treatment 3) basal diet plus 80 mg Zn/kg DM in the form of zinc sulfate. During the experimental period (60 days), feed intake and body weight gain were measured daily and every 15 days, respectively. The blood samples were taken from the lambs via the jugular vein, on the day 60 at before feeding morning. Then, 4 lambs from each treatment were randomly selected and transferred to the metabolic cages. Considering 5 days for adaptation period, fecal and urine samples of the lambs were collected for 5 days for mineral balance trial. The chemical composition of diet compounds, feces, urine and blood minerals (zinc, calcium, phosphorus, iron, and copper) were determined using standard methods.

Results: The results showed that the supplementation of zinc in the diet had no effect on dry matter intake. However, its effect on daily weight gain and feed conversion ratio was significant ($P < 0.05$). Accordingly, the daily weight gain in lambs in control group and treatments 2 and 3 was 241.07, 269.35 and 273.81 g/d, respectively. Also, zinc supplementation significantly increased the level of zinc in the blood of lambs ($P < 0.05$), and its value increased from 0.86

mg/L (in the control group) to 1.24 and 1.13 mg/L in treatments 2 and 3, respectively. Retention of zinc in body was affected by zinc supplementation ($P<0.05$), and its value were 3.40, 6.14, and 5.82 mg/d in control group and treatments 2 and 3, respectively. However, the retention of other measured mineral elements was not affected by zinc supplementation. The correlation between zinc retention and other mineral elements was not significant.

Conclusion: Generally, the results showed that supplementation of 40 and 80 mg Zn/kg DM to the diet of lambs improved the performance (daily weight gain). Also, the concentration of zinc in the blood and its retention in the body were affected by the supplementation of zinc.

Cite this article: Zaboli, Kh., Mehradkia, M., Arabi, H.A. (2026). The effect of different levels of zinc on performance and retention of some mineral elements in Mehraban male lambs. *Journal of Ruminant Research*, 14(1), 35-50.



© The Author(s)



10.22069/ejrr.2025.23763.2012

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

اثر سطوح مختلف عنصر روی بر عملکرد و ابقاء برخی عناصر معدنی در بره‌های نر مهربان

خلیل زابلی^{۱*}، مهبد مهادکیا^۲، حسن علی عربی^۳

^۱ (نویسنده مسئول) استادیار، تغذیه دام و استاد گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران، رایانامه: zaboli@basu.ac.ir

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد تغذیه دام و استاد گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

^۳ استاد تغذیه دام و استاد گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	<p>سابقه و هدف: عنصر روی (Zn) یکی از عناصر کم‌مصرف می‌باشد که در رشد، تولیدمثل و بهبود سیستم ایمنی حیوانات تأثیرگذار است. در حال حاضر عنصر روی برای افزایش عملکرد، به جیره غذایی دام افزوده می‌شود؛ اما افزودن بیش از حد آن به جیره، ممکن است علاوه بر کاهش عملکرد، بر جذب و ابقای سایر عناصر معدنی نیز تأثیرگذار باشد. پژوهش حاضر، باهدف بررسی اثر سطوح مختلف عنصر روی به فرم معدنی بر عملکرد و غلظت برخی از عناصر خون و ابقای آن‌ها در بره‌های نر مهربان انجام شد.</p>
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۳/۱۸ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۴/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۴/۲۹	<p>مواد و روش‌ها: برای انجام این آزمایش، از تعداد ۱۸ رأس بره نر نژاد مهربان با سن ۵-۴ ماهه و میانگین وزن زنده $2/97 \pm 33/55$ کیلوگرم با ۳ تیمار و ۶ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۱) گروه شاهد (جیره پایه، بدون افزودن مکمل روی)، تیمار ۲) جیره پایه به علاوه مقدار ۴۰ میلی‌گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره به صورت سولفات روی و تیمار ۳) جیره پایه به علاوه مقدار ۸۰ میلی‌گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره به صورت سولفات روی بود. در طول دوره آزمایش (۶۰ روز)، مقدار خوراک مصرفی به صورت روزانه و تغییرات وزن بره‌ها هر ۱۵ روز ثبت شد. در روز ۶۰ آزمایش، از همه بره‌ها قبل از خوراک‌دهی صبح، از طریق سیاهرگ و داج خون‌گیری شد. سپس، تعداد ۴ رأس بره به صورت تصادفی از هر تیمار انتخاب و به داخل قفس‌های متابولیکی منتقل شدند و با در نظر گرفتن ۵ روز دوره عادت‌پذیری، نمونه مدفوع و ادرار بره‌ها به مدت ۵ روز جمع‌آوری گردید. ترکیب شیمیایی اجزای جیره، عناصر معدنی موجود در مدفوع، ادرار و خون (عناصر روی، کلسیم، فسفر، آهن و مس) با استفاده از روش‌های استاندارد تعیین شد.</p>
واژه‌های کلیدی: ابقاء بره نر مهربان عناصر معدنی خون عنصر روی	<p>یافته‌ها: نتایج نشان داد استفاده از مکمل روی در جیره اثری بر مصرف ماده خشک نداشت؛ اما اثر آن برافزایش وزن روزانه و ضریب تبدیل غذایی معنی‌دار بود ($P < 0/05$). بر این اساس، بره‌ها در گروه شاهد و تیمارهای ۲ و ۳ به ترتیب ۲۴۱/۰۷، ۲۶۹/۳۵ و ۲۷۳/۸۱ گرم در روز افزایش وزن داشتند. همچنین، مصرف مکمل روی سبب افزایش معنی‌دار سطح روی در خون</p>

بره‌ها شد ($P < 0/05$) و سطح روی خون بره‌ها از $0/86$ میلی‌گرم بر لیتر (در گروه شاهد) به $1/24$ و $1/13$ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب در تیمارهای ۲ و ۳ افزایش یافت. ابقای عنصر روی در بدن تحت تأثیر مصرف مکمل روی قرار گرفت ($P < 0/05$) و مقدار آن از $3/40$ میلی‌گرم در روز (در گروه شاهد) به $6/14$ و $5/82$ میلی‌گرم در روز در تیمارهای ۲ و ۳ افزایش یافت؛ اما ابقاء سایر عناصر اندازه‌گیری شده، تحت تأثیر مصرف مکمل روی قرار نگرفت. همبستگی بین ابقاء عنصر روی با سایر عناصر معنی‌دار نبود.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، نتایج نشان داد که افزودن مقادیر 40 و 80 میلی‌گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره سبب بهبود عملکرد (افزایش وزن روزانه) بره‌ها شد. همچنین، غلظت عنصر روی در خون و ابقا آن در بدن تحت تأثیر افزودن مکمل روی قرار گرفت.

استناد: زابلی، خلیل؛ مهردادکیا، مهبد؛ عربی؛ حسن‌علی. (۱۴۰۵). اثر سطوح مختلف عنصر روی بر عملکرد و ابقاء برخی عناصر معدنی در بره‌های نر مهربان. پژوهش در نشخوارکنندگان، ۱۴(۱)، ۳۵-۵۰.



10.22069/ejrr.2025.23763.2012

© نویسندگان



ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

امروزه در اکثر واحدهای دامپروری، به منظور افزایش عملکرد دامها، از مکمل‌های معدنی، بخصوص عناصر کم‌مصرف در جیره غذایی آنها استفاده می‌شود. یکی از این عناصر کم‌مصرف، عنصر روی می‌باشد. این عنصر در رشد، تولیدمثل و بهبود سیستم ایمنی حیوانات تأثیرگذار است و این اثرگذاری از طریق حمایت از ساختار و عملکرد آنزیم‌ها و فاکتورهای رونویسی متعددی در بدن صورت می‌گیرد (Suttle, 2010). از آنجائی که بدن حیوانات قادر به ذخیره مقادیر زیاد این عنصر نیست، لذا مصرف روزانه آن از طریق جیره غذایی ضروری می‌باشد (Pal و همکاران، 2010). مهم‌ترین علائم کمبود روی در بدن شامل کاهش اشتها، اختلال در رشد و تضعیف سیستم ایمنی می‌باشد. در حال حاضر توصیه می‌شود که برای جلوگیری از کمبود بالینی این عنصر در بدن، در جیره گوسفندان، مقدار ۳۲-۳۰ میلی‌گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی، وجود داشته باشد (NRC, 2007). با این حال، برای حمایت از رشد مطلوب و افزایش عملکرد، استفاده از مقادیر روی اضافی در جیره توصیه می‌شود (Kegley و Spears, 2002). در این راستا گزارش‌هایی مبنی بر بهبود عملکرد بره‌های در حال رشد با مکمل نمودن عنصر روی در جیره پایه وجود دارد. در یک پژوهش، مصرف ۳۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم از ماده خشک جیره در بره‌های در حال رشد ۵-۴ ماهه، باعث بهبود مصرف ماده خشک و افزایش وزن روزانه آنها شد (Alimohammady و همکاران، 2019). با این حال، افزودن عنصر روی به جیره، ممکن است بر جذب و ابقای سایر عناصر نیز تأثیرگذار باشد. گزارش شده است که برخی از کاتیون‌های دو ظرفیتی مانند مس و آهن از نظر ساختار شیمیایی شبیه عنصر روی هستند

و از آنجائی که این عناصر سیستم انتقال مشابهی در سطح غشای سلولی دارند، لذا در موقع جذب، با عنصر روی رقابت می‌کنند و بین جذب آنها ارتباط متقابل منفی ایجاد می‌شود (Spears و Kegley, 2002). بر این اساس، مصرف مکمل روی در جیره ممکن است هموستاز و ابقای این عناصر در بدن را تحت تأثیر قرار دهد. لذا، توصیه می‌شود که در موقع افزودن عنصر روی به جیره دامها، به زیست‌فراهمی عناصر فوق نیز توجه شود (Deters و همکاران، 2021). گزارشات متعددی در خصوص اثر آنتاگونیستی عنصر روی با سایر عناصر گزارش شده است. در یک تحقیق گزارش شد که افزودن عنصر روی به جیره بره‌های در حال رشد، سبب کاهش جذب ظاهری و ابقای عنصر کلسیم در بدن شد (Garg و همکاران، 2008). افزودن عنصر روی به جیره گوساله‌ها نیز سبب کاهش ابقای عنصر مس در بدن شد (Khan, 1978). همچنین، گزارش شده است که یک تعامل بازدارنده بین عناصر روی و آهن وجود دارد که نتیجه آن، کاهش جذب آهن و ایجاد کم‌خونی در بدن می‌شود (Henry و Miles, 2000). با توجه به موارد فوق، پژوهش حاضر، باهدف بررسی اثر عنصر روی بر عملکرد و غلظت برخی از عناصر خون و ابقای آنها در بره‌های نر مهربان انجام شد.

مواد و روش‌ها

حیوانات و تیمارهای آزمایشی: برای انجام این آزمایش، از تعداد ۱۸ رأس بره نر نژاد مهربان با میانگین سن ۵-۴ ماه (میانگین وزن زنده ۳۳/۵۵±۲/۹۷ کیلوگرم) استفاده شد. قبل از شروع آزمایش، همه بره‌ها از نظر بهداشتی و ابتلاء به بیماری توسط دامپزشک مورد بررسی قرار گرفتند و در صورت تأیید سلامت آنها، وارد آزمایش شدند. سالن آزمایش به صورت سرپوشیده و مجهز به تعداد ۱۸

خوراک‌دهی صبح (با اعمال محرومیت غذایی، ۱۶ ساعت گرسنگی) ثبت شد. همچنین، در روز ۶۰ آزمایش، از همه بره‌ها قبل از خوراک‌دهی صبح، از طریق سیاهرگ وداج خونگیری شد. سپس، نمونه‌های خون به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند و سرم جداسازی شده به داخل میکروتیوب‌های ۱ میلی‌لیتری منتقل و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در پایان آزمایش (روز ۶۰)، تعداد ۴ رأس بره به صورت تصادفی از هر تیمار انتخاب و به داخل قفس‌های متابولیکی منتقل شدند و با در نظر گرفتن ۵ روز دوره عادت‌پذیری، نمونه مدفوع و ادرار بره‌ها به مدت ۵ روز جمع‌آوری گردید. برای این منظور، بره‌ها روزانه در دو نوبت در ساعات ۰۸:۰۰ و ۱۶:۰۰ مطابق برنامه غذایی دوره قبل تغذیه شدند و مقدار خوراک خورده شده، باقی‌مانده احتمالی خوراک، مدفوع و ادرار دفع شده طی ۲۴ ساعت به طور روزانه ثبت و از آن‌ها جهت آنالیزهای بعدی نمونه‌برداری شد.

آنالیز شیمیایی: ترکیب شیمیایی اجزای جیره و مدفوع (ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام، دیواره سلولی و دیواره سلولی بدون همی سلولز) با استفاده از روش‌های استاندارد تعیین شد (Vansoest و همکاران، ۱۹۹۱؛ AOAC، ۲۰۱۲). برای تعیین عناصر معدنی موجود در خوراک، مدفوع و ادرار از روش هضم خشک استفاده شد (Salama Ahmed و همکاران، ۲۰۰۳). پس از هضم نمونه‌ها، غلظت کلسیم و فسفر آن‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Variancary 100، استرالیا) و غلظت عناصر روی، مس و آهن نیز با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Varian SpectraAA 200، استرالیا) اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت کلسیم و فسفر سرم خون از کیت آزمایشگاهی شرکت پارس آزمون با استفاده از دستگاه اتوآنالایزر (مدل کلاسیک آلفا، ایران) و برای تعیین

عدد باکس انفرادی به ابعاد $1 \times 1/5$ متر با کف سیمانی بود. این باکس‌ها قبل از شروع آزمایش شستشو و شعله‌افکنی شدند. هر باکس دارای آخور و آب‌خوری مجزا بود که امکان دسترسی به خوراک و آب آشامیدنی تازه را به راحتی برای بره‌ها فراهم می‌کرد. به منظور عادت‌دهی به محیط و جیره‌ها، همه بره‌ها قبل از شروع آزمایش، به مدت ۳ هفته از جیره پایه که شامل علوفه خشک یونجه، دانه جو و کنجاله سویا بود و مطابق جداول استاندارد غذایی، نیاز بره‌ها را (به جز عنصر روی) تأمین می‌کرد تغذیه شدند (NRC، ۲۰۰۷). سپس بره‌ها به مدت ۲ روز متوالی قبل از خوراک‌دهی صبح با ۱۶ ساعت گرسنگی قبلی وزن‌کشی شده و میانگین وزن زنده هر یک از آن‌ها به عنوان وزن اولیه برای شروع آزمایش در نظر گرفته شد. پس از آن، بره‌ها به صورت تصادفی و بر اساس وزن زنده در گروه شاهد و دو تیمار (با ۶ تکرار) گروه‌بندی شده و به مدت ۶۰ روز مطابق با تیمارهای آزمایشی تغذیه شدند. تیمارهای آزمایشی شامل (۱) گروه شاهد (جیره پایه، بدون افزودن مکمل روی)، تیمار (۲) جیره پایه به علاوه مقدار ۴۰ میلی‌گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره و تیمار (۳) جیره پایه به علاوه مقدار ۸۰ میلی‌گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره بود. جیره‌ها در دو نوبت صبح (ساعت ۰۸:۰۰) و بعدازظهر (ساعت ۱۶:۰۰) در اختیار بره‌ها قرار می‌گرفت. به منظور افزودن عنصر روی به جیره از سولفات روی (تولیدشده توسط شرکت SAMCHUNPURECHEMICAL CO کشور کره جنوبی) استفاده شد. ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی، در جدول ۱ ارائه گردیده است

نمونه‌برداری: در طول دوره آزمایش، مقدار خوراک مصرفی به صورت روزانه و تغییرات وزن بره‌ها در روزهای ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ آزمایش و قبل از

غلظت عناصر روی، مس و آهن سرم خون نیز از دستگاه جذب اتمی (مدل واریان، استرالیا) استفاده شد (Rimbach و همکاران، ۱۹۹۸).

جدول ۱- اجزا و ترکیب شیمیایی جیره پایه

Table 1. Ingredients and chemical composition of the basal diet

جیره پایه*	کنجاله سویا	دانه جو	یونجه	ترکیبات شیمیایی
Basal diet	Soybean meal	Barley grain	Alfalfa	Chemical components
92.77	90.62	93.14	92.12	ماده خشک Dry Matter (%)
93.01	91.10	93.65	93.28	ماده آلی Organic Matter (%)
12.05	39.37	9.62	15.31	پروتئین خام Crude Protein (%)
31.01	21.67	27.35	41.53	دیواره سلولی NDF (%)
47.15	26.38	58.92	35.48	کربوهیدرات های غیر فیبری NFC (%)
2.76	3.00	3.00	2.10	انرژی قابل متابولیسم ¹ ME ¹ (Mcal/kg)
عناصر معدنی Mineral matters				
26.10	62.03	26.07	22.93	روی Zn (Mg/kg DM)
0.52	0.31	0.08	1.76	کلسیم Ca (%)
0.29	0.66	0.29	0.26	فسفر P (%)
180.36	205.50	92.90	381.10	آهن Fe (Mg/kg DM)
9.16	18.80	8.20	10.65	مس Cu (Mg/kg DM)

* جیره پایه شامل یونجه خشک (۲۷ درصد)، دانه جو (۷۰ درصد) و کنجاله سویا (۳ درصد) بود.

¹ انرژی قابل متابولیسم با استفاده از جداول انجمن ملی تحقیقات (۲۰۰۷) محاسبه گردید.

The basal diet consisted of alfalfa hay (27%), barley grain (70%) and soybean meal (3%)

¹Metabolizable Energy was calculated based on NRC (2007).

وزن روزانه، ماده خشک مصرفی روزانه و ضریب تبدیل غذایی، وزن شروع آزمایش بره‌ها به‌عنوان کواریت در نظر گرفته شد؛ اما با توجه به عدم معنی‌داری، در مدل استفاده نشد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن در سطح خطای ۵ درصد انجام شد. ضرایب همبستگی بین ابقاء عناصر در بدن

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و رویه GLM انجام شد (SAS، ۱۹۹۱). مدل آماری به صورت $Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$ بود که در آن Y_{ij} : مقدار هر مشاهده، μ : اثر میانگین، T_i : اثر تیمار و e_{ij} : اثر خطای آزمایشی بود. برای آنالیز صفات افزایش

نیز با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱) و رویه CORR محاسبه و آزمون شد.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به عملکرد بره‌ها در جدول شماره ۲ آورده شده است. مطابق جدول فوق، استفاده از مکمل روی در جیره اثری بر مصرف ماده خشک نداشت؛ اما اثر آن بر افزایش وزن روزانه و ضریب تبدیل غذایی معنی‌دار بود ($P < 0/05$). بر اساس توصیه جداول انجمن ملی تحقیقات (۲۰۰۷) نیاز روزانه عنصر روی برای بره‌های ۵۰ - ۳۰ کیلوگرم (با افزایش وزن روزانه ۲۵۰ گرم در روز)، در محدوده ۴۹ - ۲۸ میلی‌گرم در روز می‌باشد. در آزمایش حاضر، سطح عنصر روی در جیره پایه (مطابق جدول ۱)، در حدود ۲۶/۱۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی بود که با نظر گرفتن مصرف روزانه ۱۴۶۴/۷۵ تا ۱۳۵۶/۷۷ گرم ماده خشک توسط هر یک از بره‌ها (جدول ۲)، نیاز روزانه بره‌ها به عنصر روی از طریق جیره پایه تأمین می‌شد و لذا جیره پایه از نظر عنصر روی دارای کمبود نبود. بر این اساس، افزودن عنصر روی به جیره پایه، اثری بر مصرف ماده خشک نداشت؛ اما با توجه به اثر مثبت عنصر روی بر بهبود متابولیسم و فرآیند رشد بدن، به نظر می‌رسد که مصرف آن در سطوح بالاتر، باعث بهبود عملکرد بره‌ها شده است. لازم به ذکر است که یکی از علائم اولیه کمبود عنصر روی در جیره، کاهش اشتها و به دنبال آن کاهش مصرف خوراک می‌باشد (Suttle, 2010). گزارش شده است که علت تأثیر عنصر روی بر اشتها، ممکن است از طریق اثر این عنصر بر بیان ژن‌های کنترل‌کننده اشتها باشد؛ زیرا میزان تولید و ترشح هورمون‌ها و آنزیم‌هایی که در کنترل اشتها نقش دارند، تحت تأثیر کمبود عنصر روی، تغییر می‌کند (Kennedy و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین، کمبود

عنصر روی در بدن، سبب کاهش ترشح هورمون رشد و فاکتور رشد شبه انسولین^۱ نیز می‌شود. این دو هورمون در رشد و افزایش وزن بدن تأثیر زیادی دارند (MacDonald, 2000).

مشابه نتایج پژوهش حاضر، گزارش شده است که افزودن مقدار ۴۰ میلی‌گرم عنصر روی در روز، به صورت سولفات روی به جیره پایه (حاوی ۲۲ میلی‌گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک) بره‌های از شیر گرفته شده، اثری بر ماده خشک مصرفی آن‌ها نداشت (Vanvalin و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین، افزودن مقدار ۳۵ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره به جیره پایه (که حاوی ۳۲/۵ میلی‌گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره بود)، اثری بر صفات عملکردی (ماده خشک مصرفی، افزایش وزن روزانه و ضریب تبدیل غذایی) گوساله‌های نر نداشت (Mandal و همکاران، ۲۰۰۷). در یک تحقیق مشابه نیز گزارش شد که مصرف مقدار ۸۰ میلی‌گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره از منابع مختلف روی در جیره پایه (حاوی ۲۹/۶ میلی‌گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک) بره‌های نر اثری بر هیچ‌کدام از صفات عملکردی آن‌ها نداشت (Grešáková و همکاران، ۲۰۲۱).

نتایج مربوط به اثر سطوح مختلف عنصر روی بر غلظت عناصر خون بره‌ها در جدول شماره ۳ آورده شده است. مطابق جدول فوق، استفاده از مکمل روی در جیره، سبب افزایش معنی‌دار سطح عنصر روی در خون بره‌ها شد ($P < 0/05$)؛ اما در بین تیمارهای دریافت‌کننده مکمل روی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. مشابه نتایج پژوهش حاضر، استفاده از مقدار ۳۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق منابع مختلف روی سبب افزایش غلظت روی

1. IGF₁

اثر سطوح مختلف عنصر روی بر عملکرد و ابقاء برخی عناصر... / خلیل زابلی و همکاران

در خون بره‌های در حال رشد شد (Alimohamady و همکاران، ۲۰۱۹). نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققین گزارش شد (Soufi و همکاران، ۲۰۲۲). غلظت عنصر روی در خون گوسفندان در دامنه ۱/۲ تا ۰/۸ میلی‌گرم بر لیتر قرار دارد (Suttle، ۲۰۱۰) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. لازم به ذکر است که غلظت روی در خون، یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای بررسی وضعیت عنصر روی در بدن می‌باشد؛ زیرا با افزایش مصرف روی از طریق جیره غذایی، مقدار آن در خون افزایش می‌یابد.

جدول ۲- اثر سطوح مختلف عنصر روی بر عملکرد بره‌ها

Table 2. Effect of different levels of zinc on performance of lambs

p-value	SEM	تیمار ۳	تیمار ۲	شاهد	فراسنجه‌ها
		Treatment 3	Treatment 2	Control	Parameters
0.98	1.334	33.50	33.66	33.70	وزن اولیه (کیلوگرم) Initial body weight (kg)
0.19	35.046	1394.63	1464.75	1356.77	ماده خشک مصرفی (گرم بر روز) Dry matter intake (g/day)
< 0.01	11.925	273.81 ^a	269.35 ^a	241.07 ^b	افزایش وزن روزانه (گرم بر روز) Average daily gain (gr)
0.04	0.263	5.11 ^b	5.40 ^b	5.64 ^a	ضریب غذایی تبدیل Feed conversion ratio

تیمارهای آزمایشی شامل: گروه شاهد (جیره پایه حاوی ۲۶/۱۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره)، تیمار ۲ (جیره پایه + ۴۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی) و تیمار ۳ (جیره پایه + ۸۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی)

حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار ($P < 0.05$) می‌باشد.

Treatments included: Control group (basal diet with 26.10 mg Zn/kg DM), Treatment 2 (basal diet + 40 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate), and Treatment 3 (basal diet + 80 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate).

Means with different superscript letters in rows are significantly different ($P < 0.05$).

SEM: Standard error of the mean

استفاده از مقدار ۲۰ میلی‌گرم عنصر روی به‌ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره در بره‌های در حال رشد، اثری بر مقدار کلسیم و فسفر خون آن‌ها نداشت (Soufi و همکاران، ۲۰۲۲).

اما برخلاف نتایج پژوهش حاضر، استفاده از مقدار ۲۴ میلی‌گرم اکسید روی به‌ازای هر کیلوگرم از وزن زنده به‌صورت روزانه در جیره، سبب کاهش سطح کلسیم و فسفر خون در بزها شد که علت آن به دلیل مصرف زیاد عنصر روی بیان‌شده است (Phiri و همکاران، ۲۰۰۹). لازم به ذکر است که عنصر روی یک فلز دو ظرفیتی است و غلظت بیش‌ازحد آن در جیره ممکن است با جذب سایر فلزات دو ظرفیتی مثل

مطابق جدول ۳، غلظت عناصر کلسیم و فسفر خون بره‌ها در گروه شاهد و تیمارهای ۲ و ۳ یکسان بود و تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد. لازم به ذکر است که غلظت کلسیم سرم خون نشخوارکنندگان در دامنه ۱۲ تا ۹ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر و غلظت فسفر در محدوده ۶/۱ تا ۹/۲ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر قرار دارد (Suttle، ۲۰۱۰). همسو با نتایج پژوهش حاضر، گزارش شد که استفاده از مقدار ۳۰ میلی‌گرم عنصر روی به‌ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق منابع مختلف روی اثری بر مقدار کلسیم و فسفر خون بره‌های در حال رشد نداشت (Alimohamady و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین،

وجود رابطه آنتاگونیستی عناصر روی و مس، در پژوهش حاضر، افزودن عنصر روی به جیره اختلاالی در جذب مس ایجاد نکرده باشد؛ زیرا اثر عنصر روی بر جذب سایر عناصر معدنی در نشخوارکنندگان وقتی تأثیرگذار است که سطح آن در جیره، چندین برابر سطح توصیه شده باشد (Suttle، ۲۰۱۰).

در مطالعه حاضر، مصرف مکمل روی اثر معنی داری بر غلظت آهن خون بره‌ها نداشت که در راستای نتایج سایر محققین بود. مشابه نتایج پژوهش حاضر، گزارش شده است که استفاده از مقدار ۳۵ میلی گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی اثری بر مقدار آهن خون گاوهای پرواری نداشت (Mandal و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین استفاده از مقدار ۸۰ میلی گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق مصرف منابع مختلف روی، اثر معنی داری بر غلظت آهن خون بره‌های نر نداشت (Grešáková و همکاران، ۲۰۲۱).

کلسیم، آهن و مس رقابت و تداخل ایجاد کند. لذا مقدار این عناصر در خون تغییر یابد (Suttle، ۲۰۱۰). در مطالعه حاضر، به نظر می‌رسد که سطح عنصر روی در تیمارهای مکمل شده به حدی نبوده است که بتواند بر این امر اثرگذار باشد.

در مطالعه حاضر، هیچ اثری از مصرف مکمل روی بر غلظت مس خون بره‌ها مشاهده نشد که با نتایج سایر محققین مطابقت دارد. در یک تحقیق گزارش شد که اضافه کردن مقدار ۲۰ میلی گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک مصرفی در جیره بزغاله‌های مرغوز اثری بر غلظت مس خون آن‌ها نداشت (Zaboli و همکاران، ۲۰۱۳)؛ اما مصرف مقدار ۲۵۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره سبب کاهش معنی دار غلظت مس خون گوساله‌های نر گاو میش شد که ممکن است به دلیل مصرف سطح بالای عنصر روی در جیره بوده باشد (Attia و همکاران، ۱۹۸۷). به نظر می‌رسد که علی‌رغم

جدول ۳- اثر سطوح مختلف عنصر روی بر مقدار عناصر خون بره‌ها

Table 3. Effect of different levels of zinc on concentration of minerals in blood of lambs

p-value	SEM	تیمار ۳	تیمار ۲	شاهد	فراسنجه‌ها
		Treatment 3	Treatment 2	Control	Parameters
< 0.01	0.057	1.13 ^a	1.24 ^a	0.86 ^b	عنصر روی Zinc (mg/l)
0.30	0.580	13.20	12.16	12.55	عنصر کلسیم Calcium (mg/dl)
0.73	0.244	5.54	5.63	5.80	عنصر فسفر (mg/dl)phosphorus
0.72	0.056	0.69	0.67	0.74	عنصر مس Copper (mg/l)
0.75	0.090	1.78	1.88	1.85	عنصر آهن Iron (mg/l)

تیمارهای آزمایشی شامل: گروه شاهد (جیره پایه حاوی ۲۶/۱۰ میلی گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره)، تیمار ۲ (جیره پایه + ۴۰ میلی گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی) و تیمار ۳ (جیره پایه + ۸۰ میلی گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی).

حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی دار ($P < 0.05$) می باشد.

Treatments included: Control group (basal diet with 26.10 mg Zn/kg DM), Treatment 2 (basal diet + 40 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate), and Treatment 3 (basal diet + 80 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate).

Means with different superscript letters in rows are significantly different ($P < 0.05$).

اثر سطوح مختلف عنصر روی بر عملکرد و ابقاء برخی عناصر... / خلیل زابلی و همکاران

روی، در بره‌های ۵-۴ ماهه، سبب شد که ابقای عنصر روی از ۳/۲۹ به ۶/۰۵ میلی‌گرم در روز افزایش یابد (Aliarabi و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین، افزودن مقدار ۱۵ میلی‌گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره، از طریق منابع مختلف روی در بره‌های از شیر گرفته شده، سبب افزایش ابقای آن در بدن شد (Deters و همکاران، ۲۰۲۱). نتایج مشابهی هم در بزهای کشمیر یک‌ساله (Jia و همکاران، ۲۰۰۸) و گوساله‌های شیرخوار (Prakash Pal و همکاران، ۲۰۲۱) گزارش شد.

نتایج مربوط به اثر استفاده از سطوح مختلف عنصر روی بر متابولیسم عنصر روی در جدول شماره ۴ آورده شده است. مطابق جدول فوق، هرچند که افزایش مصرف روی در جیره سبب شد که مقادیر روی دفع شده از طریق مدفوع و ادرار به‌طور معنی‌داری افزایش یابد ($P < 0.05$)؛ اما علی‌رغم این موضوع، ابقای روی در بدن افزایش معنی‌داری نشان داد که با نتایج سایر محققین مطابقت دارد. به‌طور مشابه، استفاده از مقدار ۴۰ میلی‌گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره، از طریق سولفات

جدول ۴- اثر سطوح مختلف عنصر روی (میلی‌گرم در هر کیلوگرم) بر بالانس روی (میلی‌گرم در روز) در بره‌ها

p-value	SEM	تیمار			فراسنجه‌ها Parameters
		تیمار ۳ Treatment 3	تیمار ۲ Treatment 2	شاهد Control	
< 0.01	2.879	92.72 ^a	56.18 ^b	21.74 ^c	عنصر روی خورده شده Zn intake
< 0.01	2.811	84.31 ^a	48.28 ^b	17.34 ^c	عنصر روی دفع شده از طریق مدفوع Zn fecal excretion
< 0.01	0.058	2.60 ^a	1.76 ^b	1.00 ^c	عنصر روی دفع شده از طریق ادرار Zn urinary excretion
< 0.01	2.163	5.82 ^a	6.14 ^a	3.40 ^b	عنصر روی ابقاء شده در بدن Zn retention

تیمارهای آزمایشی شامل: گروه شاهد (جیره پایه حاوی ۲۶/۱۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره)، تیمار ۲ (جیره پایه + ۴۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی و تیمار ۳ (جیره پایه + ۸۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی)

حروف متفاوت در هر ردیف نشان دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار ($P < 0.05$) می‌باشد.

Treatments included: Control group (basal diet with 26.10 mg Zn/kg DM), Treatment 2 (basal diet + 40 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate), and Treatment 3 (basal diet + 80 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate). Means with different superscript letters in rows are significantly different ($P < 0.05$).

بر متابولیسم عناصر کلسیم و فسفر نداشت (Paul و Mahapatra، ۲۰۰۱). نتایج مشابهی هم در موقع مصرف مقادیر ۳۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره، در گوساله‌ها به دست آمد (Khan، ۱۹۷۸)؛ اما برخلاف نتایج ما، در تحقیق دیگری گزارش شد که استفاده از منابع مختلف عنصر روی، سبب کاهش ابقای کلسیم در بره‌های نر ۵-۴ ماهه شد (Garg و همکاران، ۲۰۰۸). نتایج

نتایج مربوط به اثر استفاده از سطوح مختلف عنصر روی بر متابولیسم عناصر کلسیم و فسفر در جدول شماره ۵ آورده شده است. مطابق جدول فوق، استفاده از سطوح مختلف عنصر روی در جیره، اثری بر مقدار کلسیم و فسفر دفع شده از طریق مدفوع و ادرار و همچنین ابقاء این عناصر نداشت. مشابه نتایج ما، در یک مطالعه افزایش مصرف عنصر روی از ۲۱۲ به ۲۷۲ میلی‌گرم در روز در گوساله‌های بوفالو، اثری

مشابهی هم در گوساله‌ها گزارش شد (Bedi, ۱۹۷۶). سبب شد که ابقای عنصر کلسیم کاهش یابد که دلیل ایشان گزارش کردند که وقتی سطح عنصر روی جیره در گوساله‌ها از ۲۰/۷ به ۱۲۰ میلی‌گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره، افزایش یافت،

جدول ۵- اثر سطوح مختلف عنصر روی (میلی‌گرم در هر کیلوگرم) بر بالانس کلسیم و فسفر (میلی‌گرم در روز) در بره‌ها

Table 5. Effect of different levels of zinc (mg/kg DM) on Calcium and Phosphorus balance in lambs (g/day)

p-value	SEM	تیمار ۳	تیمار ۲	شاهد	فراسنجه‌ها
		Treatment 3	Treatment 2	Control	Parameters
0.95	2.372	42.66	44.27	43.70	عنصر کلسیم خورده شده Ca intake
0.93	2.425	37.95	39.15	38.80	عنصر کلسیم دفع شده از طریق مدفوع Ca fecal excretion
0.21	0.002	0.75	0.80	0.92	عنصر کلسیم دفع شده از طریق ادرار Ca urinary excretion
0.33	0.812	3.95	4.31	3.98	عنصر کلسیم ابقاء شده در بدن Ca retention
0.95	0.132	2.52	2.47	2.42	عنصر فسفر خورده شده P intake
0.91	0.120	1.99	1.83	1.78	عنصر فسفر دفع شده از طریق مدفوع P fecal excretion
0.22	0.004	0.11	0.12	0.14	عنصر فسفر دفع شده از طریق ادرار P urinary excretion
0.63	0.017	0.44	0.52	0.50	عنصر فسفر ابقاء شده در بدن P retention

تیمارهای آزمایشی شامل: گروه شاهد (جیره پایه حاوی ۲۶.۱۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره)، تیمار ۲ (جیره پایه + ۴۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی) و تیمار ۳ (جیره پایه + ۸۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی)

حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار ($P < 0.05$) می‌باشد.

Treatments included: Control group (basal diet with 26.10 mg Zn/kg DM), Treatment 2 (basal diet + 40 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate), and Treatment 3 (basal diet + 80 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate).

Means with different superscript letters in rows are significantly different ($P < 0.05$).

۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره را گوساله‌ها استفاده کردند و مشاهده کردند که استفاده از مکمل روی اثری بر متابولیسم عناصر مس و آهن نداشت. به‌طور مشابه، در تحقیق دیگری، مقدار ۳۵ میلی‌گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق منابع مختلف روی در جیره گوساله‌های نر بکار برده شد و

نتایج مربوط به اثر استفاده از سطوح مختلف عنصر روی بر متابولیسم عناصر مس و آهن در جدول شماره ۶ آورده شده است. مطابق جدول فوق، استفاده از سطوح مختلف عنصر روی در جیره، اثری بر مقدار مس و آهن دفع شده از طریق مدفوع و ادرار و همچنین ابقاء این عناصر نداشت که در توافق با نتایج سایر محققین (Bedi, ۱۹۷۶) بود. ایشان سطوح ۲۰،

اثر سطوح مختلف عنصر روی بر عملکرد و ابقاء برخی عناصر... / خلیل زابلی و همکاران

مشاهده شد که متابولیسم و ابقای عناصر مس و آهن تحت تأثیر مکمل روی قرار نگرفت (Mandal و همکاران، ۲۰۰۷)؛ اما برخلاف نتایج ما، استفاده از مکمل روی در جیره گوساله‌ها سبب کاهش ابقای عنصر مس شد (Khan، ۱۹۷۸). ایشان بیان کردند که علت این وضعیت، ممکن است به دلیل سطح بالای عنصر روی مصرف شده و سطح پایین عنصر مس در جیره پایه بوده باشد. گزارش شده است که سطح بالای عنصر روی اثر آنتاگونیست بر متابولیسم مس دارد. به ویژه زمانی که سطح عنصر مس در جیره کم و یا دارای کمبود باشد (Towers و همکاران، ۱۹۸۱).

جدول ۶- اثر سطوح مختلف عنصر روی (میلی گرم در هر کیلوگرم) بر بالانس مس و آهن (میلی گرم در روز) در بره‌ها
Table 6 - Effect of different levels of zinc (mg/kg DM) on Copper and Iron balance in lambs (g/day)

p-value	SEM	تیمار ۳	تیمار ۲	شاهد	فراسنجه‌ها
		Treatment 3	Treatment 2	Control	Parameters
0.95	0.411	7.87	7.66	7.52	عنصر مس خورده شده Cu intake
0.97	0.324	5.88	5.22	5.10	عنصر مس دفع شده از طریق مدفوع Cu fecal excretion
0.30	0.112	0.38	0.40	0.48	عنصر مس دفع شده از طریق ادرار Cu urinary excretion
0.74	0.093	1.62	2.04	1.95	عنصر مس ابقاء شده در بدن Cu retention
0.82	7.756	157.46	153.23	150.53	عنصر آهن خورده شده Fe intake
0.82	4.818	85.19	75.69	73.95	عنصر آهن دفع شده از طریق مدفوع Fe fecal excretion
0.24	0.588	18.81	22.02	23.88	عنصر آهن دفع شده از طریق ادرار Fe urinary excretion
0.77	3.063	53.46	57.52	52.69	عنصر آهن ابقاء شده در بدن Fe retention

تیمارهای آزمایشی شامل: گروه شاهد (جیره پایه حاوی ۲۶/۱۰ میلی گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره)، تیمار ۲ (جیره پایه + ۴۰ میلی گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی) و تیمار ۳ (جیره پایه + ۸۰ میلی گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی)

حروف متفاوت در هر ردیف نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار ($P < 0.05$) می‌باشد.

Treatments included: Control group (basal diet with 26.10 mg Zn/kg DM), Treatment 2 (basal diet + 40 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate), and Treatment 3 (basal diet + 80 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate).
Means with different superscript letters in rows are significantly different ($P < 0.05$).

و مس با آهن معنی‌دار و مثبت بود ($P < 0.05$) و بین ابقای سایر عناصر، همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. لازم به ذکر است که هیچ تحقیق مشابهی در این زمینه در دسترس نویسندگان قرار نگرفت.

نتایج مربوط به ضرایب همبستگی بین ابقاء عناصر در بدن در اثر مصرف عنصر روی در جیره در جدول شماره ۷ ارائه شده است. مطابق جدول فوق، فقط همبستگی بین ابقاء عناصر آهن با فسفر، مس با فسفر

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین ابقاء عناصر در بدن بره‌ها

Table 7. Correlation coefficients between element retention in lambs

عناصر خون	روی (Zinc)	کلسیم (Calcium)	فسفر (Phosphorus)	آهن (Iron)	مس (Copper)
روی (Zinc)	1				
کلسیم (Calcium)	0.381 ^{ns}	1			
فسفر (Phosphorus)	0.493 ^{ns}	-0.044 ^{ns}	1		
آهن (Iron)	0.342 ^{ns}	-0.145 ^{ns}	0.806 ^{**}	1	
مس (Copper)	0.498 ^{ns}	0.032 ^{ns}	0.885 ^{***}	0.951 ^{***}	1

^{ns}: not significant, ^{**}: significant (p<0.01) and ^{***}: significant (p<0.001)

همبستگی مثبت بین مس با فسفر نیز دور از انتظار نیست.

لازم به ذکر است که در میان عناصر معدنی، آهن و مس به دلیل خاصیت اکسیدکنندگی قوی، منحصر به فرد هستند و این‌ها می‌توانند در صورت وجود مقدار زیاد، تشکیل رادیکال‌های آزاد (اکسیژن آسیب‌رسان) را تقویت کنند. لذا هموستاز آن‌ها به شدت در سطح سلول و اندام‌های بدن، کنترل می‌شود. با این حال، کمبود این‌ها نیز ممکن است با اختلالات فیزیولوژیکی مانند کاهش رشد، کم‌خونی و ضعیف شدن استخوان‌ها همراه باشد (Caglar و همکاران، ۲۰۱۸).

همچنین، عنصر مس یک اثر هم‌افزایی بر عنصر آهن دارد. به این صورت که وجود عنصر مس برای جذب آهن از روده ضروری است و وقتی سطح عنصر مس در جیره کم باشد، بدن ممکن است آهن کمتری نیز جذب کند. به عبارت دیگر، در مواقع کمبود آهن، انتقال مس به داخل سلول‌های انتروسیت روده افزایش می‌یابد تا امکان جذب آهن افزایش یابد (Caglar و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین، آنزیم سرلوپلاسمین که حاوی عنصر مس می‌باشد، سبب اکسید شدن آهن دو ظرفیتی به آهن سه ظرفیتی می‌شود. این وضعیت باعث باند شدن آهن با ترانسفرین شده و انتقال آهن را در پلاسما فراهم می‌کند (Henry و Miles، ۲۰۰۰).

در رابطه با همبستگی مثبت بین آهن با فسفر، گزارش شده است که افزایش دریافت آهن از طریق آلودگی مواد خوراکی به خاک، در ترکیب با سطوح پایین فسفر جیره، سبب کاهش عملکرد نشخوارکنندگان شده است و لذا اثرات نامطلوب سطح بالای آهن جیره را می‌توان با افزایش سطح فسفر جیره تا حدودی برطرف کرد. به عبارت دیگر، مصرف فسفر بیش از حد نیاز توصیه شده، از اثرات منفی آهن اضافی بر عملکرد جلوگیری می‌کند (Henry و Miles، ۲۰۰۰).

عناصر مس و فسفر نیز مانند سایر عناصر، نقش حیاتی در عملکرد بدن دارند و تعاملات بین آن‌ها پیچیده است. این دو عنصر می‌توانند بر زیست‌فراهمی یکدیگر تأثیر بگذارند. به طور کلی، عناصر مس و فسفر در مسیرهای متابولیکی مختلف از جمله متابولیسم انرژی و رشد استخوان‌ها با هم تعامل دارند. عنصر مس در ساخت سلول‌های استخوانی نقش دارند. همچنین، سلول‌ها از عنصر مس برای تولید ATP استفاده می‌کنند و همه این‌ها وابسته به وجود عنصر فسفر می‌باشد. از طرف دیگر، همان‌طور که قبلاً اشاره شد، عناصر مس و آهن دارای خصوصیات فیزیولوژیکی مشابهی هستند و اثرات متقابل فیزیولوژیکی بین این دو عنصر محتمل به نظر می‌رسد (Caglar و همکاران، ۲۰۱۸). بر این اساس، با توجه به همبستگی مثبت بین عناصر آهن با فسفر،

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن مقادیر ۴۰ و ۸۰ میلی‌گرم عنصر روی به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره سبب بهبود عملکرد (افزایش وزن روزانه) بره‌ها شد. همچنین، غلظت عنصر روی در خون و ابقا آن در بدن تحت تأثیر

افزودن مکمل روی در جیره قرار گرفت.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان مقاله از دانشگاه بوعلی سینا، به جهت تأمین منابع مالی این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را دارد.

منابع

- Aliarabi, H., Fadayifar, A., Tabatabaei, M. M., Zamani, P., Bahari, A. A., Farahavar, A., & Dezfoulian, A. H. (2015). Effect of Zinc Source on Hematological, Metabolic Parameters and Mineral Balance in Lambs. *Biological Trace Element Research*, 168(1): 82-90. <http://dx.doi.org/10.1007/s12011-015-0345-0>
- Alimohamady, R., Aliarabi, H., Bruckmaier, R. M., & Christensen, R. G. (2019). Effect of different sources of supplemental zinc on performance, nutrient digestibility, and antioxidant enzyme activities in lambs. *Biological Trace Element Research*, 189(1): 75-84. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1448-1>
- AOAC. (2012). Official Method of Analysis. AOAC International, Gaithersburg, MD.
- Attia, A. N., Awadalla, S. A., Esmail, E. Y., & Hady, M. M. (1987). Role of some microelements in nutrition of water buffalo and its relation to production. 2. Effect of zinc supplementation. *Assiut Veterinary Medical Journal*, 18 (35):, 81-90. doi: 10.21608/AVMJ.1987.189477
- Bedi, S. P. S. (1976). Biochemical studies on the effect of dietary zinc along with urea in cattle nutrition. PhD Thesis. Agra University, Agra, India.
- Caglar, D., Jung-Heun, H., & James, F. C. (2018). Intersection of Iron and Copper Metabolism in the Mammalian Intestine and Liver. *Comprehensive Physiology*, 8 (4): 1433-1461. doi: 10.1002/cphy.c170045
- Deters, E. L., Van-Der-Wal, A. J., Van-Valin, K. R., Beenken, A. M., Heiderscheit, K. J., Hochmuth, K. G., Jackson, T. D., Messersmith, E. M., McGill, J. L., & Hansen, S. L. (2021). Effect of bis-glycinate bound zinc or zinc sulfate on zinc metabolism in growing lambs. *Journal of Animal Science*, 99(9): 1-9. <https://doi.org/10.1093/jas/skab252>
- Garg, A. K., Mudgal, V., & Dass, R. S. (2008). Effect of organic zinc supplementation on growth, nutrient utilization and mineral profile in lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 144(1): 82-96. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.10.003>
- Grešáková, L., Tokarčíková, K., & Čobanová, K. (2021). Bioavailability of dietary zinc sources and their effect on mineral and antioxidant status in lambs. *Agriculture*, 11(11): 1093. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111093>
- Henry, P. R., & Miles, R. D. (2000). Interactions among the trace minerals. *Ciência Animal Brasileira/Brazilian Animal Science*, 1(2): 95-106.
- Jia ,W., Jia, Z., Zhang, W., Wang, R., Zhang, S., & Zhu, X. (2008). Effects of dietary zinc on performance, nutrient digestibility and plasma zinc status in Cashmere goats. *Small Ruminant Research*, 80(1): 68-72. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.09.009>
- Kennedy, K. J., Rains, T. M. & Shay, N. F. (1998). Zinc deficiency changes preferred macronutrient intake in subpopulations of Sprague-Dawley outbred rats and reduces hepatic pyruvate kinase gene expression. *Journal of Nutrition*, 128: 43-49.
- Khan S.A., (1978). Interaction of copper and zinc and its influence on the metabolism of major nutrients in growing calves. PhD Thesis. Aligarh Muslim University, Aligarh.

- MacDonald, R. S. (2000). The role of zinc in growth and cell proliferation. *The Journal of Nutrition*, 130: 1500-1508.
- Mandal, G. P., Dass, R. S., Isore, D. P., Garg, A. K., & Ram, G. C. (2007). Effect of zinc supplementation from two sources on growth, nutrient utilization and immune response in male crossbred cattle (*Bos indicus*×*Bos taurus*) bulls. *Animal Feed Science and Thchnology*, 38: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.09.014>
- National Research Council. (2007). Nutrient Requirements of Small Ruminants. National Academy press, Washington, DC.
- Pal, D. T., Gowda, N. K. S., Prasad, C. S., Amarnath, R., Bharadwaj, U., SureshBabu, G. and 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.
- Paul, S.S., Mahapatra, S., (2001). Mineral utilization and water metabolism in buffalo calves fed on roughage based diets. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 18:126–132.
- Phiri, E. C. J. H., Viva, M. M., Chibunda, R. T., & Mellau, L. S. B. (2009). Effect of zinc supplementation on plasma mineral concentration in grazing goats in sub-humid climate of Tanzania. *Tanzania Veterinary Journal*, 26(2): 92-96. doi: 10.4314/tvj.v26i2.53807
- Prakash Pal, P., Manl, V., Hassan Mir, S., Sharma, A., & Sarka, R. S. (2021). Comparative effect of zinc supplementation by hydroxy and inorganic sources on nutrient utilization, mineral balance, growth performance and growth biomarkers in pre-ruminant calves. *Archives of Animal Nutrition*, 75(6): 435-449. <http://dx.doi.org/10.1080/1745039X.2021.2007692>
- Rimbach, G., Walter, A., Most, E., & Pallauf, J. (1998). Effect of microbial phytase on zinc bioavailability and cadmium and lead accumulation in growing rats. *Food and Chemical Toxicology*, 36: 7-12. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(97\)00117-8](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(97)00117-8)
- Salama Ahmed, A. K., Cajat, G., Albanell, E., Snch, X., & Casals, R. (2003). Effects of dietary supplements of zinc methionine on milk production, udder health and zinc metabolism in dairy goats. *Journal of Dairy Science*, 70: 9-17. doi: 10.1017/s0022029902005708
- SAS. (1999). Statistical Analysis System, Statistical Methods. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Soufi, B., Alijoo, Y. A., Khamisabadi, H., & Khoobakht, Z. (2022). The effect of inorganic, organic and nano-zinc sources on growth performance, blood parameters and antioxidant activity of Sanjabi lambs. *Journal of Ruminant Research*, 9(4): 19-32 (in Persian). doi: 10.22069/EJRR.2021.18983.1786
- Spears, J. W., & Kegley, E. B. (2002). Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *Journal of Animal Science*, 80(10): 2747-2752. <https://doi.org/10.2527/2002.80102747x>
- Suttle, N. F. (2010). *Mineral nutrition of livestock*. 4th ed. CABI Publishing, New York.
- Towers, N. R., Young, P. W., & Wright, D. E. (1981). Effect of zinc supplementation on bovine plasma copper. *New Zealand Veterinary Journal*, 29(7): 113-114. doi: <https://doi.org/10.1080/00480169.1981.34816>
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10): 3583-3597. [https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- VanValin, K. R., Genter-Schroeder, O. N., Carmichael, R. N., Blank, C. P., Deters, E. L., Hartman, S. J., & Hansen, S. L. (2018). Influence of dietary zinc concentration and supplemental zinc source on nutrient digestibility, zinc absorption, and retention in sheep. *Journal of Animal Science*, 96(12): 5336-5344. <https://doi.org/10.1093/jas/sky384>
- Zaboli K, Aliarabi H, Bahari AA, Abbasalipourkabir R (2013) Role of dietary nano-zinc oxide on growth performance and blood levels of mineral: a study on in Iranian angora (markhoz) goat kids. *Journal of Pharmaceutical and Health Sciences*, 2(1): 19-26.