Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Research on Animal Production, Vol. 15, Issue 3, 2024 p: 120-131

OPEN ACCESS

Research Paper

Impacts of Chelated Iron Supplement with Organic Acid and Amino Acid on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Feeding Behaviors, and Blood Parameters in Suckling Calves

Mahdi Ghavidel[1], Abdolhakim Toghdory[2], Taghi Ghoorchi[3] and Mohammad Asadi[4]

1- M.Sc. Student, Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
2- Assistant Professor, Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, (Corresponding author: Toghdory@yahoo.com)
3- Professor, Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
4- Ph.D., Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 4 December, 2023 Accepted: 30 April, 2024

Extended Abstract

Background: Milk contains a relatively small amount of iron, and one of the most important negative aspects of milk nutrition is the occurrence of digestive diseases, such as diarrhea. Its iron concentration is in the range of 0.3-0.6 mg/kg. Calves are prone to iron deficiency. Iron is an essential component of hemoglobin, myoglobin, and several enzymes such as catalase, peroxidase, and cytochrome oxidase. In the early stages of life, calves do not have a functional rumen, and it seems that they are more like monogastric animals that must obtain the nutrients they need. They also suffer from a lack of immune systems. Therefore, this condition exposes them to critical challenges, mainly the risk of disease and death. Iron requirements of animals vary depending on their age, sex, and physiological stages. The iron requirement for calves is estimated to be around 100 ppm, and it is generally believed that young cows need more iron than mature animals. In most dairy farms, iron supplements are added to the diet from an inorganic source, which can undergo oxidation and react with other substances, thereby decreasing solubility. For the purposes of animal nutrition and increasing bioavailability, this research focuses on the use of chelates or preparations of protein iron. By using additives containing iron compounds, bioavailability can be increased by chelation, which consists of a double covalent bond of the metal with amino acids. To solve this problem, the desired elements should be added to the diets of livestock in the form of chelated supplements. This research was designed to investigate the effect of a chelated iron supplement containing organic acids and amino acids on the performance, digestibility of nutrients, feeding behaviors, and blood parameters of weanling calves.

Methods: Thirty-six newborn male calves (with an average weight of 35.1 ± 2.7 kg) were randomly divided into three groups with 12 replications. Experimental treatments were a control group (without iron supplementation), diets supplemented with 50 mg of chelated iron based on organic acids per calf per day, and diets supplemented with 50 mg of chelated iron based on amino acids per head of calf per day. First, all the calves were carefully examined to ensure their health and performance. The duration of the experiment was 63 days. Calves were weighed every 21 days, and the amount of consumed feed was recorded daily after 16 hours of starvation after feeding using a digital scale. The feed consumption of each animal was also calculated from the difference in the given diets and the remaining manger of each animal. The increase in the amount of feed given to the animals was determined based on the feed of each animal on the following day. The feed of the animal would increase if the animal left less than 10% feed on three consecutive days. Diets were adjusted based on NRC (NRC, 2001) completely mixed, and provided to the calves two times: 8 in the morning and 4 in the evening. Animals had free access to water. Calves were also milked twice in the morning and in the evening (at the rate of 10% of body weight). For the samples of digestibility, the samples of feed, residues, and feces were first collected from each animal on days 58 to 63 for 5 days. To measure blood metabolites, blood was sampled from the calf's jugular vein on day 63. Blood samples were transferred into anticoagulant-containing tubes. To prepare plasma, blood samples were centrifuged at 3000 rpm for 10 min, and plasma samples were transferred to -20 °C until analysis. During days 61 to 63 of the

Copyright ©2024 Ghavidel et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License which allows users to read, copy, distribute and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

experimental period, nutritional behaviors, including eating, resting, chewing, standing, and ruminating activities, were measured visually for all animals every 5 min for 48 hours.
Results: The calves receiving chelated iron supplements containing amino acids showed increases in final weight (P = 0.0496), total period weight (P = 0.0198), and daily weight (P = 0.0212) and a decrease in feed conversion ratio (P = 0.0413) compared to the control group and the treatment receiving chelated iron supplements containing the organic acids. There were no significant differences in dry matter and milk consumption among different treatments. Nutrient digestibility and feeding behaviors were not affected by experimental treatments. The consumption of iron supplements by calves in both chelated forms containing organic acids and amino acids increased the amount of blood iron (P = 0.0379), ferritin (P=0.0011), unsaturated iron binding capacity (P=0.0428), transferrin (P = 0.0331), red blood cells (P = 0.0333), hemoglobin (P = 0.0290), and hematocrit (P = 0.0001). Receiving chelated iron supplements decreased the total antioxidant index (P = 0.0001) and total iron binding capacity (P = 0.0001) compared to the control group.
Conclusion: According to the results of this research, it is recommended to provide chelated iron containing amino acids due to improving the performance of suckling calves.

Keywords: Blood Parameters, Feeding Behaviors, Iron Chelate, Performance, Suckling Calves

How to Cite This Article: Ghavidel, M., Toghdory, A., Ghoorchi, T., & Asadi, M. (2024). Impacts of Chelated Iron Supplement with Organic Acid and Amino Acid on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Feeding Behaviors, and Blood Parameters in Suckling Calves. *Res Anim Prod,* 15(3), 120-131. DOI: 10.61186/rap.15.3.120

مقاله پژوهشی

تأثیر مکمل آهن کیلاته حاوی اسیدآلی و اسیدآمینه بر عملکرد، قابلیت هضم مواد مغذی، رفتارهای تغذیه‌ای و فراسنجه‌های خونی گوساله‌های شیرخوار

مهدی قویدل[۱]، عبدالحکیم توغدری[۲]، تقی قورچی[۳] و محمد اسدی[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲- استادیار، گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، (نویسنده مسوول: Toghdory@yahoo.com)
۳- استاد، گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۴- دکتری، گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱
صفحه: ۱۲۰ تا ۱۳۱

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: شیر حاوی مقدار نسبتاً کمی آهن است همچنین یکی از مهم‌ترین جنبه‌های منفی تغذیه شیر، بروز بیماری‌های گوارشی، مانند اسهال می‌باشد. غلظت آهن آن در محدوده ۰/۳ تا ۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. گوساله‌ها مستعد ابتلا به کمبود آهن هستند. آهن جزء ضروری هموگلوبین، میوگلوبین و چندین آنزیم مانند کاتالاز، پراکسیداز و سیتوکروم اکسیداز است. در مراحل اولیه زندگی، گوساله‌ها شکمبه عملکردی ندارند. به‌نظر می‌رسد که آنها بیشتر شبیه حیوانات تک معده‌ای هستند که باید مواد مغذی مورد نیاز خود را از شیر دریافت کنند. همچنین از کمبود سیستم ایمنی رنج می‌برند. بنابراین، این شرایط آنها را با چالش‌های حیاتی، عمدتاً خطر ابتلا به بیماری و مرگ مواجه می‌کند. نیاز به آهن حیوانات متفاوت است و بستگی به سن، جنس و مراحل فیزیولوژیکی آنها دارد. نیاز به آهن برای گوساله‌ها حدود ۱۰۰ پی‌پی‌ام تخمین زده می‌شود و عموماً اعتقاد بر این است که گاوهای جوان نسبت به حیوانات بالغ به آهن بیشتری نیاز دارند. در اکثر مزارع گاو شیری، مکمل آهن اضافه شده به جیره از نوع منبع غیر آلی بوده که می‌تواند تحت اکسیداسیون قرار گرفته و با مواد دیگر واکنش دهد و سبب کاهش حلالیت شود. برای اهداف تغذیه حیوانات و افزایش فراهمی زیستی، تحقیقات بر استفاده از کیلات‌ها یا آماده‌سازی‌های آهن پروتئینی تمرکز دارد. با استفاده از افزودنی‌های حاوی ترکیبات آهن، فراهمی زیستی را می‌توان با کیلاسیون افزایش داد، که از یک پیوند کووالانسی دوگانه فلز با اسیدهای آمینه تشکیل شده است و لذا می‌بایست عناصر مورد نظر به‌صورت مکمل کیلاته به جیرهٔ دام‌ها اضافه شوند. این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر مکمل آهن کیلاته حاوی اسیدآلی و اسیدآمینه بر عملکرد، گوارش‌پذیری مواد مغذی، رفتارهای تغذیه‌ای و فراسنجه‌های خونی گوساله‌های شیرخوار طراحی و انجام شد.

مواد و روش‌ها: ۳۶ رأس گوسالهٔ نر تازه متولد شده (با میانگین وزن ۲/۷± ۳۵/۱ کیلوگرم) به‌طور تصادفی به ۳ گروه با ۱۲ تکرار تقسیم شدند. تیمارهای آزمایشی شامل: ۱) گروه شاهد (بدون مکمل آهن)، ۲) مکمل شده با ۵۰ میلی‌گرم آهن کیلاته بر پایه اسیدهای آلی به‌ازای هر رأس گوساله در روز و ۳) مکمل شده با ۵۰ میلی‌گرم آهن کیلاته بر پایه اسیدهای آمینه به‌ازای هر رأس گوساله در روز بودند. در ابتدا همه‌ی گوساله‌ها به‌طور دقیق معاینه شدند تا از نظر سلامت و صحت عملکرد آنها اطمینان حاصل شود. طول مدت آزمایش ۶۳ روز بود. وزن‌کشی گوساله‌ها هر ۲۱ روز و پس از ۱۶ ساعت گرسنگی با استفاده از ترازوی دیجیتال صورت گرفت. مقدار خوراک مصرفی و پس‌آخور به‌صورت روزانه ثبت شد. خوراک مصرفی هر دام نیز از تفاوت جیره داده شده و پس‌آخور باقی‌مانده هر دام محاسبه گردید. همچنین افزایش مقدار خوراک داده شده به دام‌ها براساس پس‌آخور هر دام در روز بعد مشخص می‌شد به‌طوری‌که اگر دام در سه روز متوالی پس‌آخور کمتر از ۱۰ درصد باقی می‌گذاشت، خوراک دام افزایش می‌یافت. جیره‌ها بر پایه NRC (NRC, 2001) تنظیم شدند. جیره‌ها به‌صورت کاملاً مخلوط و در دو نوبت ۸ صبح و ۱۶ عصر، در اختیار گوساله‌ها قرار می‌گرفتند. حیوانات دسترسی آزاد به آب داشتند. شیردهی به گوساله‌ها نیز در دو نوبت صبح و عصر (به‌میزان ۱۰ درصد وزن بدن) صورت می‌گرفت برای نمونه‌های مربوط به قابلیت هضم، ابتدا نمونه‌های خوراک، پس‌مانده و مدفوع جمع‌آوری شده هر دام در روز ۵۸ تا ۶۳ به‌مدت پنج روز جمع‌آوری گردید. برای اندازه‌گیری متابولیت‌های خونی، نمونه خون از رگ وداج گوساله‌ها در روز ۶۳ گرفته شد. نمونه‌های خون به‌داخل لوله‌های حاوی ماده ضد انعقاد منتقل شدند. برای تهیه پلاسما، نمونه‌های خون به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و در نهایت، نمونه‌های پلاسما تا زمان آنالیز به ۲۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. طی روزهای ۶۱ تا ۶۳ دورهٔ آزمایش رفتارهای تغذیه‌ای از جمله: فعالیت‌های خوردن، استراحت، جویدن، ایستادن و نشخوار کردن به‌فاصله هر ۵ دقیقه به‌صورت چشمی، برای تمام دام‌ها برای طول مدت ۴۸ ساعت اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: گوساله‌های دریافت کنندهٔ مکمل‌های آهن کیلاته حاوی اسید آمینه نسبت به گروه شاهد و تیمار دریافت کنندهٔ مکمل‌های آهن کیلاته حاوی اسید آلی، افزایش وزن نهایی (p=۰/۰۴۶۲)، افزایش وزن کل دوره (p=۰/۰۱۹۸)، افزایش وزن روزانه (p=۰/۰۲۱۲) و کاهش ضریب تبدیل غذایی (p=۰/۰۴۱۳) را نشان دادند. همچنین تفاوت معنی‌داری از نظر ماده خشک و شیر مصرفی در بین تیمارهای مختلف وجود نداشت. قابلیت هضم مواد مغذی و رفتارهای تغذیه‌ای تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت. مصرف مکمل آهن توسط گوساله‌ها به هردو شکل کیلاته حاوی اسیدآلی و اسیدآمینه سبب افزایش مقدار آهن (p=۰/۰۳۷۹)، فریتین (p=۰/۰۰۱۱)، ترنسفرین (p=۰/۰۳۳۱)، گلبول قرمز (p=۰/۰۳۳۳)، هموگلوبین (p=۰/۰۲۹۰) و هماتوکریت (p=۰/۰۰۰۱) خون شد. همچنین دریافت مکمل‌های آهن کیلاته سبب کاهش شاخص آنتی‌اکسیدانتی کل (p=۰/۰۰۰۱)، ظرفیت اتصال آهن غیراشباع (p=۰/۰۴۲۸) و ظرفیت کل اتصال آهن (p=۰/۰۰۰۱) نسب به گروه شاهد شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، دریافت آهن کیلاته حاوی اسیدآمینه به‌دلیل بهبود در عملکرد گوساله‌های شیرخوار قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آهن کیلاته، رفتار نشخوار، عملکرد، فراسنجه خونی، گوساله شیرخوار

مقدمه

موفقیت در برنامه‌های مربوط به پرورش گوساله و تلیسه، آینده هر واحد پرورش گاو شیری را تضمین می‌کند. به‌دلیل حساسیت زیاد گوساله به شرایط نامساعد محیطی و تغذیه‌ای، میزان تلفات در برخی واحدهای شیری، گسترده است (Caroprese *et al.*, 2009). برای داشتن گوساله‌های سالم و با حداقل مرگ و میر، نیاز به به‌کارگیری برنامه تغذیه‌ای مناسب به‌ویژه در ساعات اولیه پس از تولد و رعایت بهداشت محیط

است (Naseriyan *et al.*, 2017). از طرف دیگر، از آنجاکه بخش اعظم دستگاه گوارش گوساله‌های شیرخوار را شیردان تشکیل می‌دهد، به‌نظر می‌رسد این حیوانات بیشتر شبیه تک‌معده‌ای‌ها هستند که باید مواد مغذی موردنیاز خود را از شیر دریافت کنند (Xiao *et al.*, 2021). بنابراین این وضعیت آنها را با چالش‌های حیاتی، به‌طور عمده خطر ابتلا به بیماری و مرگ، مواجه می‌کند (Wu *et al.*, 2021). مواد معدنی بخش کوچکی از جیره‌های خوراکی هستند. اما کمبود آنها پیامدهای بزرگی بر سلامت حیوان دارد (Goff, 2014).

از همین‌رو، آهن یکی از عناصر کمیاب ضروری برای حفظ سلامت و کارایی حیوانات است (Asadi *et al.*, 2022). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که آهن در چندین فرآیند متابولیک نقش اساسی دارد و برای ساخت DNA، RNA و پروتئین‌ها در بدن ضروری است. مکمل جیره غذایی با آهن، سبب بهبود فراسنجه خونی و افزایش رشد بره شده است (Suttle, 2010). علاوه بر این، وجود آهن در جیره مصرفی در افزایش اشتها و متابولیسم گلوکز مؤثر است (Toghdari *et al.*, 2022; Asadi *et al.*, 2022). مکمل‌های آهن به‌صورت آلی و غیرآلی در جیره دام استفاده می‌شوند. در همین راستا گزارش شده است که مکمل آهن غیرآلی اضافه شده به جیره می‌تواند تحت اکسیداسیون قرار گرفته، با مواد دیگر واکنش و باعث کاهش حلالیت شوند (Podder *et al.*, 2021). ترکیبات معدنی می‌توانند اکسیداسیون شوند و به اشکال نامحلول تبدیل شوند (Smit, 1989). با استفاده از افزودنی‌های حاوی ترکیبات آهن، فراهمی زیستی را می‌توان با کیلاته کردن افزایش داد که از یک پیوند کووالانسی دوگانه فلز با اسیدهای آمینه تشکیل شده است (Raja *et al.*, 2008).

گزارش‌های مختلف در سراسر جهان تأیید می‌کنند که کیلات‌های فلزی اسیدهای آمینه و پپتیدها می‌توانند فراهمی زیستی عناصر کمیاب را افزایش دهند که این منجر به بهبود رشد و سلامت عمومی می‌شود وضعیتی که در صورت وجود حتی مقادیر کافی عناصر در شکل غیرآلی نمی‌تواند حاصل شود (Paik, 2001). با توجه به اینکه منبع اصلی آهن برای گوساله‌های تازه متولد شده شیر یا جایگزین شیر است و از آنجایی‌که شیر حاوی مقدار نسبتاً کمی آهن است گوساله‌ها مستعد ابتلا به کمبود آهن هستند (Gupta *et al.*, 2008; Marijanusic *et al.*, 2017). شیر کامل منبع ضعیفی از آهن است و غلظت آهن آن در محدوده ۰/۳ تا ۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Allan *et al.*, 2020)، به این معنی که گوساله‌های جوانی که از شیر تغذیه کنند، در معرض خطر کم‌خونی هستند. نیاز به آهن حیوانات متفاوت است که بستگی به سن جنس و مراحل فیزیولوژیک آنها دارد (Asadi *et al.*, 2022).

براساس توصیه‌های شورای ملی تحقیقات، یک گوساله شش هفته‌ای با مصرف ۰/۹ کیلوگرم ماده خشک در روز به ۱۰۰ میلی‌گرم آهن به‌ازای هر کیلوگرم ماده خشک نیاز دارد (NRC, 2001). بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر مکمل آهن کیلاته حاوی اسیدآلی و اسیدآمینه بر عملکرد، قابلیت هضم مواد مغذی، رفتارهای تغذیه‌ای و فراسنجه‌های خونی گوساله‌های شیرخوار بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شرکت کشت و دام گلدشت نمونه اصفهان در پاییز ۱۴۰۲ انجام گرفت. تعداد ۳۶ رأس گوسالهٔ نر تازه متولد شده (با میانگین وزن ۲/۷± ۳۵/۱ کیلوگرم) در قالب طرح کاملاً تصادفی به سه تیمار آزمایشی و دوازده تکرار در هر تیمار اختصاص یافتند. تیمارهای آزمایشی شامل گروه شاهد (بدون مکمل آهن)، مکمل شده با ۵۰ میلی‌گرم آهن کیلاته بر پایه اسیدهای آلی به‌ازای هر رأس گوساله در روز و مکمل شده با ۵۰ میلی‌گرم آهن کیلاته بر پایه اسیدهای آمینه به‌ازای هر رأس گوساله در روز بودند.

در ابتدا همه‌ی گوساله‌ها به‌طور دقیق معاینه شدند تا از نظر سلامت و صحت عملکرد آنها اطمینان حاصل شود. طول مدت آزمایش ۶۳ روز بود. در طول دوره‌ی آزمایش، گوساله‌ها در جایگاه‌های انفرادی نگهداری می‌شدند. جیره‌ها بر پایه NRC (NRC, 2001) تنظیم شدند. جیره‌ها به‌صورت کاملاً مخلوط و در دو نوبت، ۸ صبح و ۱۶ عصر، در اختیار گوساله‌ها قرار می‌گرفتند. حیوانات دسترسی آزاد به آب داشتند. شیردهی به گوساله‌ها نیز در دو نوبت صبح و عصر (به‌میزان ۱۰ درصد وزن بدن) صورت می‌گرفت. برای اندازه‌گیری متابولیت‌های خونی، نمونه خون از رگ وداج گوساله‌ها در روز ۶۳ گرفته شد. نمونه‌های خون به‌داخل لوله‌های حاوی ماده ضد انعقاد منتقل شدند. برای تهیه پلاسما، نمونه‌های خون به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و در نهایت، نمونه‌های پلاسما تا زمان آنالیز به ۲۰- درجه سانتیگراد منتقل شدند. از نمونه‌های پلاسما برای سنجش برخی از عناصر معدنی پلاسما (آهن) استفاده گردید. بدین‌منظور غلظت آهن توسط دستگاه جذب اتمی (LUMEX, R520, France) اندازه‌گیری شد. همچنین متابولیت‌های خونی با استفاده از کیت‌های شرکت پارس آزمون و به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Spect AA220, Variant) اندازه‌گیری شد.

حدود ۳ میلی‌لیتر خون نیز به لوله‌های حاوی محلول ضدانعقاد انتقال داده شد و برای آزمایش هماتولوژی منظور شد و بلافاصله در داخل یخ به آزمایشگاه انتقال یافت. فراسنجه‌های خونی شامل گلبول‌های قرمز، هموگلوبین، هماتوکریت، آزمایش شمارش پلاکت، میانگین حجم سلولی، میانگین هموگلوبین بدنی، میانگین غلظت هموگلوبین بدنی، سفید سلول‌های خونی، نوتروفیل‌ها، ائوزینوفیل‌ها، لنفوسیت‌ها و مونوسیت‌ها با استفاده از شمارش سلولی خودکار (Automatic Syfmex مدل NKX-21) اندازه‌گیری شدند (Dezfoulian *et al.*, 2012).

غلظت فریتین، ظرفیت اتصال آهن غیراشباع، ظرفیت اتصال کل آهن، اشباع ترانسفرین، ترانسفرین، وضعیت آنتی‌اکسیدانی کل، کاتالاز، مالون دی‌آلدئید، گلوکز و فعالیت آنزیم‌های آمینوترانسفراز، آلکالین فسفاتاز،آلانین‌آمینوترانسفراز، کراتین فسفوکیناز و لاکتات دهیدروژناز با استفاده از کیت‌های (manufact) توسط شرکت پارس آزمون (پارس آزمون، ایران)، با استفاده از طیف‌سنج فتومتریک (UV-Vis مدل ۳۶۵

LAMBDA, Perkinelmer, NY, USA) با طول موج انتشار خاص برای هر عنصر اندازه‌گیری شد.

واکاوی داده‌ها

پژوهش حاضر، با سه تیمار و دوازده تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS (۲۰۰۴) و رویه GLM و برای تعیین تفاوت‌های معنی‌دار از آزمون‌های چندگانه دانکن استفاده شد.

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

Y_{ij}= هر مشاهده از متغیر مورد اندازه‌گیری

μ= میانگین کل

T_i= اثر تیمار i ام

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

جدول ۱- جیرهٔ آزمایشی مورد استفاده و ترکیب مواد مغذی

Table 1. Experimental ration used in different treatments and composition of nu trients

اجزا جیره بر اساس درصد مادهٔ خشک Ingredient (%) DM basis		مواد مغذی و ترکیب شیمیایی Chemical composition	
کاه گندم Wheat straw	5.00	ماده خشک (درصد) Dry matter (%)	92.05
یونجهٔ خشک Alfalfa hay	5.00	انرژی قابل متابولیسم (مگاکالری در کیلوگرم) Metabolizable energy (Mcal/kg DM)	2.11
دانهٔ جو Barley grain	16.20	پروتئین خام (درصد) Crude protein (%)	18.40
دانهٔ ذرت Corn grain	36.11	چربی خام (درصد) Crude fat (%)	3.66
کنجاله سویا Soybean meal	33.80	کربوهیدارت‌های غیر الیافی (درصد) Non fiber carbohydrate (%)	28.86
مخمر Yeast	0.18	الیاف نامحلول در شوینده خنثی (درصد) Neutral detergent fiber (%)	42.27
اکسید منیزیم Magnesium oxide	0.18	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (درصد) Acid detergent fiber (%)	11.24
مکمل معدنی Mineral supplement	0.54	نشاسته (درصد) Starch (%)	18.60
مکمل ویتامینی Vitamin supplement	0.54	خاکستر (درصد) Ash (%)	6.81
بنتونیت Bentonite	0.11	کلسیم (درصد) Calcium (%)	1.42
سدیم بیکربنات Sodium bicarbonate	0.90	فسفر (درصد) Phosphorus (%)	0.71
دی کلسیم فسفات Dicalcium phosphate	0.18		
نمک Salt	0.36		
سنگ آهک Limestone	0.90		

مکمل مواد معدنی شامل ۱۳۵۰۰ میلی‌گرم منگنز، ۱۸۰۰۰میلی‌گرم روی، ۴۵۰۰ میلی‌گرم مس، ۱۰۰ میلی‌گرم کبالت، ۷۲ میلی‌گرم سلنیوم و ۲۰۰ میلی‌گرم ید در هر کیلوگرم.
Mineral premix contained per Kg: 13500 mg manganese, 18000 mg zinc, 4500 mg copper, 100 mg cobalt, 72 mg selenium, 200 mg iodine.

مکمل ویتامینه شامل ۱۰۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A، ۲۵۰۰۰۰واحد بین‌المللی ویتامین D3 و ۵۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین E در هر کیلوگرم است.
Vitamin premix contained per Kg: 1000000 IU Vitamin A, 250000 IU Vitamin D3, 5000 IU Vitamin E.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر، میانگین افزایش وزن روزانه، نرخ رشد و ضریب تبدیل خوراک در پایان ۶۳ روزگی در گروه مکمل آهن کیلاته با اسیدآمینه نسبت به گروه شاهد و مکمل حاوی اسید آلی بالاترین میزان بود (p<۰/۰۵).

همسو با پژوهش حاضر، والسزاک و همکاران (Budny-Walczak *et al.*, 2023) مشاهده کردند میانگین افزایش وزن روزانه، نرخ رشد و ضریب تبدیل خوراک در گروه حاوی کمپلکس پروتئین-آهن بالاترین میزان بود. آهن بر رشد سلول‌های دوازدهه در دستگاه گوارش خوک‌ها تأثیر می‌گذارد، که این نشان دهنده تأثیر مستقیم بر رشد روده، ایمنی و افزایش وزن زنده روزانه خواهد بود (Pu *et al.*, 2018). برخلاف نتایج ما، باستد و همکاران (Bostedt *et al.*, 2000) دریافتند که مکمل آهن اثر قابل‌توجهی بر افزایش وزن گوساله‌های شیرخوار نداشت. مشابه نتایج ما، حیدرپور بامی و همکاران (Heidarpour Bami *et al.*, 2008) افزایش وزن روزانه را در گوساله‌هایی که آهن دریافت کردند مشاهده نمودند. افزایش وزن روزانه در هفته‌های اول زندگی گوساله می‌تواند عملکرد اولین شیردهی و بافت پستانی را بهبود بخشد (Allan *et al.*, 2020).

براساس نتایج به‌دست‌آمده، آهن احتمالاً به‌دلیل مصرف خوراک آغازین بیشتر است که منجر به بهبود عملکرد می‌شود. محققین پیشنهاد کردند که مصرف خوراک، میانگین افزایش وزن روزانه و رشد در گوساله‌های دچار کمبود آهن کاهش می‌یابد، حتی زمانی‌که گوساله‌ها علاوه بر شیر با یونجه و غلات تغذیه شدند، پاسخ رشد افزایشی به تجویز آهن مشاهده شد (Radostits *et al.*, 2000). از طرفی یکی از عوارض کم‌خونی فقر آهن کاهش اشتها است (Ghrayeb *et al.*, 2020)، فرض بر این است که مقدار مناسب آهن در جیرهٔ برای اشتهای طبیعی و استفاده از گلوکز مورد نیاز است (Ceppi *et al.*, 1994). در توافق با مطالعه حاضر، مهری و همکاران (Mohri *et al.*, 2006) بیان کردند گوساله‌های گروه شاهد عملکرد و افزایش وزن کمتری نسبت به گروه حاوی آهن داشتند. بنابراین، میزان آهن جیره در گوساله‌های شاهد برای حداکثر عملکرد طبیعی کافی نبود.

در مرحله شیرخواری، رشد عمدتاً در استخوان و عضله اتفاق می‌افتد و بازده خوراک در این مرحله بیشتر از بزرگسالان است

(Nejad *et al.*, 2013). هانسن و همکاران (Hansen *et al.*, 2010) گزارش کردند که سطوح بالای مکمل آهن (۷۵۰ میلی‌گرم سولفات آهن به‌ازای هر کیلوگرم مادهٔ خشک جیره) در گوساله‌های در حال رشد سبب کاهش کارایی خوراک در یک دوره ۵۶ روزه شد. نتایج ما با مک فارلین و همکاران (McFarlane *et al.*, 1988) مطابقت داشت، که اشاره کردند که میزان کم آهن در جیرهٔ غذایی بر افزایش وزن، ضریب تبدیل غذایی و سلامت گوساله تأثیر منفی می‌گذارد. با این‌حال، در مطالعه دیگری، افزودن مکمل آهن به جیرهٔ غذایی گوساله‌ها تاثیری بر وزن، ضریب تبدیل غذایی و اندازه بدن نداشت (Cui *et al.*, 2016).

اگرچه در مطالعه حاضر، گوساله‌های شاهد از کم خونی رنج نمی‌بردند، اما وزن و افزایش وزن روزانه کمتر در آنها نشان داد که مقدارآهن جیره (شیر و خوراک آغازین) برای برآوردن نیاز گوساله برای رشد و عملکرد طبیعی کافی نیست. از آنجایی‌که آهن برای رشد باکتری‌ها ضروری است، محتوای کم آهن در شیر می‌تواند به‌عنوان یک مکانیسم محافظتی در برابر عفونت‌های باکتریایی در گوساله‌ها در نظر گرفته شود (Messenger & Barclay, 1983)، با این‌وجود کمبود آهن با افزایش نرخ عفونت، کاهش رشد و کاهش اشتها همراه است (Mohri *et al.*, 2010).

به‌طور کلی، با توجه به نتایج به‌دست آمده و مقایسه آن با تحقیقات انجام شده، می‌توان نتیجه گرفت که علت تفاوت نتایج ما با نتایج سایر محققین از نظر عملکرد، می‌تواند به‌دلیل نوع دام، جیره مصرفی، نوع آهن مصرفی و مقدار آن باشد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که مکمل آهن کیلات شده بر پایه اسیدآمینه احتمالاً به‌دلیل نوع باند مولکول‌های آلی (اسیدهای آمینه و پپتید) با آهن و جذب بالای آن اثرات مفیدی در فراسنجه‌های رشد داشته است.

جدول ۲- تأثیر مکمل آهن آلی برعملکرد گوساله‌های شیرخوار

Table 2. The effect of organic iron supplement on the performance of suckling calves

عملکرد Performance	شاهد Control	مکمل آهن حاوی Iron supplement with		SEM	سطح احتمال P-Value
		اسید آلی Organic acid	اسیدآمینه Amino acid		
وزن ابتدای دوره (کیلوگرم) Initial body weight (Kg)	35.75	35.66	35.66	0.470	0.9896
وزن روز ۲۱ (کیلوگرم) Body weight on day 21 (kg)	39.79	40.11	40.63	0.719	0.7082
وزن روز ۴۲ (کیلوگرم) Body weight on day 42 (kg)	53.23	54.20	54.80	0.976	0.4237
وزن روز ۶۳ (کیلوگرم) Body weight on day 63 (kg)	68.54^{b}	69.41^{b}	74.87^{a}	0.898	0.0462
افزایش وزن کل (کیلوگرم) Total weight gain (1–63 day, kg)	32.79^{b}	33.75^{b}	39.21^{a}	1.007	0.0198
افزایش وزن روزانه کل دوره (گرم) Total daily gain (1–63 day, g/d)	520.47^{b}	535.71^{b}	622.38^{a}	30.212	0.0212
میانگین مصرف ماده خشک روزانه کل دوره (گرم) Dry matter intake (1–63 day, g/d)	472.30	453.73	461.99	29.294	0.4192
میانگین شیر مصرفی روزانه (گرم) Milk offered (1–63 d, g/d)	6.56	6.67	6.70	0.748	0.8418
ضریب تبدیل غذایی کل دوره Feed conversion rate (1–63 day)	2.41^{a}	2.34^{a}	2.03^{b}	0.198	0.0413

تفاوت ارقام در هر ردیف با حروف نامشابه، معنی‌دار است (p<۰/۰۵). SEM: خطای استاندارد از میانگین

SEM: Standard error of means, means in column with different superscripts differ significantly (p<0/05): b-a

در مطالعه حاضر قابلیت هضم مادهٔ خشک، ماده آلی و پروتئین خام بین جیره‌های آزمایشی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در تضاد با پژوهش حاضر، هاریسون و همکاران (Harrison *et al.*, 1992) دریافتند که وقتی غلظت آهن بالاتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر شود، قابلیت هضم مادهٔ خشک به‌طور معنی‌داری کمتر از گروه شاهد می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر، قابلیت هضم ماده آلی، پروتئین خام، مادهٔ خشک برای گروه مکمل ۵۰۰ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم افزایش یافت (Wang *et al.*, 2020). با این‌حال، در برخی از مطالعات آزمایشگاهی، نشان داده شده است که ۱۰۰ و۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر آهن، هضم الیاف را کاهش می‌دهد (Hubbert *et al.*, 1958). افزودنی‌های سولفات آهن به‌طور معنی‌داری مادهٔ خشک و قابلیت هضم عصاره بدون نیتروژن را بهبود بخشیدند در حالی‌که پروتئین خام، الیاف خام و عصاره اتری بر قابلیت هضم تاثیری نداشتند (Kottb & Abdelgawad, 2010). همچنین ردی و همکاران (Reddy *et al.*, 2003) گزارش کردند که مکمل آهن و مس (۱۵ و۲۱ میلی‌گرم در روز) به‌طور معنی‌داری قابلیت هضم پروتئین خام در گاوهای شیری را کاهش می‌دهد. با این‌حال ساتل (Suttle, 1975) گزارش کرد که قابلیت هضم مادهٔ خشک و پروتئین خام تحت تأثیر مکمل معدنی حاوی آهن در گوساله‌هایی که از جیره حاوی آهن مکمل شده، قرار نگرفت، اما قابلیت هضم الیاف خام افزایش یافت. ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2008) بیان کردند که افزودن مکمل معدنی حاوی آهن و روی به جیره پایه قابلیت هضم الیاف نامحلول در شوینده‌های خنثی را در بزهای کشمیری بهبود بخشید، اما بر قابلیت هضم ماده آلی، پروتئین خام، مادهٔ خشک تأثیر معنی‌داری نداشت.

جدول ۳- تأثیر مکمل آهن آلی بر قابلیت هضم مواد مغذی گوساله‌های شیرخوار
Table 3. The effect of organic iron supplementation on nutrients digestibility of suckling calves

قابلیت هضم مواد مغذی (درصد) Nutrients Digestibility (%)	شاهد Control	مکمل آهن حاوی Iron supplement with		SEM	سطح احتمال P-Value
		اسید آلی Organic acid	اسید آمینه Amino acid		
مادهٔ خشک (درصد) Dry matter (%)	66.41	69.22	70.15	4.289	0.4188
مادهٔ آلی (درصد) Organic matter (%)	70.24	72.89	72.20	5.552	0.8780
پروتئین خام(درصد) Crude protein (%)	64.25	62.92	63.30	3.347	0.6693

SEM: Standard Error of Means
SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها؛ *p*-Value: احتمال معنی‌داری

نتایج تاثیر انواع مکمل آهن کیلاته بر رفتارهای تغذیه‌ای گوساله‌های شیرخوار در جدول شماره ۴ نشان داده شده است. مکمل آهن تاثیری بر رفتارهای تغذیه‌ای گوساله‌های شیرخوار نداشت.

اطلاعات اندکی در مورد تأثیر مکمل مواد معدنی جیره بر رفتارهای تغذیه‌ای وجود دارد. پژوهش مک فارلین و همکاران (McFarlane *et al.*, 1988) نشان داد که سن بر مدت زمانی که گوساله‌ها دراز می‌کشند، تأثیر می‌گذارد. بین هفته ۲ و ۱۶، زمان دراز کشیدن از ۶۹/۵ به ۷۶/۶ درصد کل زمان افزایش یافته است، که در تمام سنین به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از آن چیزی است که توسط برخی محققین گزارش شده است (Van Putten & Elshof, 1982; Webster & Saville, 1982). اما همسو با نتایج پژوهش حاضر، سندهاگ و همکاران (Sandhage *et al.*, 1983) و وینترز و همکاران (Winters *et al.*, 1984) نشان دادند که تیمارهای آزمایشی بر درصد کل زمان دراز کشیدن گوساله‌ها تأثیری نداشتند.

جدول ۴- تأثیر مکمل آهن آلی رفتارهای تغذیه‌ای گوساله‌های شیرخوار
Table 4. The effect of organic iron supplementation on feeding behaviors of suckling calves

رفتارهای تغذیه ای (دقیقه در روز) Feeding behaviors (min/day)	شاهد Control	مکمل آهن حاوی Iron supplement with		SEM	سطح احتمال *p*-Value
		اسید آلی Organic acid	اسیدآمینه Amino acid		
خوردن Eating	285.20	295.60	304.60	28.462	0.6960
نشخوار Rumination	268.00	282.20	284.80	21.020	0.5611
جویدن Chewing	553.20	577.80	589.40	1.007	0.4201
استراحت Resting	394.40	361.40	350.20	27.555	0.4862
آب خوردن Drinking water	36.40	40.00	33.20	2.556	0.7496
ایستادن Standing	456.00	460.80	467.20	22.332	0.5241

SEM: Standard Error of Means
SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها

مصرف مکمل آهن توسط گوساله‌ها به هر دو شکل کیلاته حاوی اسیدآلی و اسیدآمینه سبب افزایش مقدار آهن (p=۰/۰۳۷۹) و فریتین (p=۰/۰۰۱۱) خون شد. همچنین دریافت مکمل‌های آهن کیلاته سبب کاهش شاخص آنتی‌اکسیدانتی کل (p=۰/۰۰۰۱)، ظرفیت اتصال آهن غیراشباع (p=۰/۰۴۲۸) و ظرفیت کل اتصال آهن (p=۰/۰۰۰۱) نسب به شاهد شد. اما غلظت مالون دی‌آلدهید، کراتینین، لاکتات دهیدروژناز، آسپارتات آمینوترانسفراز، آلانین آمینوترانسفراز و آلکالین فسفاتاز خون گوساله‌ها تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت.

در پژوهشی، رجبیان و همکاران (Rajabian *et al.*, 2017) در مورد رابطه بین تنش اکسیداتیو، هماتولوژی و مشخصات آهن در گوساله‌های کم‌خون و غیر کم‌خون، به این نتیجه رسیدند که کمبود آهن می‌تواند با اختلال در سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانتی در گوساله‌های نوزادی مرتبط باشد و ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی معیوب ممکن است باعث ایجاد اکسیداتیو و آسیب به گلبول‌های قرمز آنها شود.

همچنین کم‌خونی فقر آهن را نمی‌توان صرفاً با محتوای کم آهن شیر گاو مرتبط دانست، حیوانات تازه متولد شده در معرض ابتلا به کم‌خونی هستند، سایر عواملی که به کمبود آهن کمک می‌کنند عبارتند از: خونریزی زخم‌های گوارشی (باعث از دست دادن خون مزمن)، آلودگی به انگل‌های خونخوار، بیماری‌های خونریزی دهنده و سوء تغذیه (Ramin *et al.*, 2014).

در پژوهشی غلظت عنصر آهن پلاسما در گروه‌های دریافت‌کننده ویتامین E و سلنیوم افزایش یافت (Asadi *et al.*, 2018). در مطالعه جورلینگ و دول (Joerling & doll, 2019)، بیان شد که فریتین سرم ممکن است یک ابزار تشخیصی مفید در تشخیص کم‌خونی فقر آهن در گوساله‌ها باشد. با این‌حال، این موضوع در گاو نیاز به آزمایش‌های اضافی و اعتبارسنجی مقادیر مرجع دارد. زیرا فریتین سرم ممکن است به‌دلیل ورم پستان و متریت افزایش یابد. در پژوهشی، میانگین غلظت ترانسفرین در گروه مکمل آهن در مقایسه با گروه شاهد از نظر آماری بالاتر بود. اما مقادیر میانگین ظرفیت کل اتصال آهن و ظرفیت اتصال آهن غیراشباع کمتر بود (Budny-Walczak *et al.*, 2023). کمبود آهن اولیه ممکن است منجر به کاهش غلظت آن در سرم خون شود. اما همچنین ممکن است منجر به افزایش ظرفیت کل اتصال آهن و طرفیت اتصال

آهن غیراشباع شود (Jones & Allison, 2007; Underwood & suttle, 1999).

پس از افزودن مکمل آهن خوراکی به شیر کامل، افزایش آماری معنی‌داری در ترانسفرین خون مشاهده شد (Kupczynski *et al.*, 2008; Mohri *et al.*, 2004; Budny-Walczak *et al.*, 2023). برخلاف پژوهش حاضر توتووا و همکاران (Tothova *et al.*, 2014) گزارش کردند که غلظت ترانسفرین در گوساله‌های گوشتی با کمبود آهن به ۸ میلی‌گرم در میلی‌لیتر افزایش می‌یابد که یک همبستگی منفی با غلظت هموگلوبین ایجاد می‌کند. در مطالعهٔ حاضر، افزودن آهن در تیمارهای آزمایشی منجر به کاهش غلظت شاخص آنتی‌اکسیدانتی کل شد. روند نزولی نیز توسط مهری و همکاران مشاهده شد (Mohri *et al.*, 2004). لازم به ذکر است که آسپارتات آمینوترانسفراز یک شاخص حساس آسیب کبدی است، اما گزارش‌های دیگر نیز سطح بالای آسپارتات آمینوترانسفراز را در گوساله‌ها تا سن ۸۴ روزگی توصیف می‌کنند (Mohri *et al.*, 2004). علاوه بر این، کلینکون و جژک (Klinkon & Ježek, 2012)، کاهش آسپارتات آمینوترانسفراز را تا هفته سوم زندگی و به‌دنبال آن افزایش متوسطی مشاهده کردند. همچنین، آنها بیان داشتند که اندازه‌گیری فعالیت آسپارتات آمینوترانسفراز در ارتباط با کراتینین برای تشخیص آسیب عضلانی استفاده خواهد شد (Klinkon & Ježek, 2012). در مطالعه‌ای دیگر کمپلکس پروتئین–آهن تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آلکالین فسفاتاز، آلانین آمینوترانسفراز و آسپارتات آمینوترانسفراز نداشت (Budny-Walczak *et al.*, 2023).

بر اساس نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر، گوساله‌های دریافت کننده مکمل آهن فراسنجه‌های خونی بالاتری داشتند که علت آن احتمالاً جذب بیشتر آهن دراین دو شکل بوده و یا متابولیسم متفاوت این دو شکل آهن در بدن می‌باشد.

جدول ۵- تأثیر مکمل آهن آلی بر فراسنجه‌های خونی گوساله‌های شیرخوار

Table 5. The effect of organic iron supplementation on blood parameters of suckling calves

فراسنجه‌های خونی Blood parameters	شاهد Control	مکمل آهن حاوی Iron supplement with		SEM	سطح احتمال *p*-Value
		اسید آلی Organic acid	اسیدآمینه Amino acid		
آهن Iron (µg/dL)	57.16[b]	108.09[a]	122.01[a]	14.647	0.0379
فریتین Ferritin (mol/L)	4.66[b]	4.99[a]	4.91[a]	0.122	0.0011
ظرفیت اتصال آهن غیراشباع Unsaturated iron binding capacity (mol/L)	156.51[b]	219.22[a]	249.01[a]	18.556	0.0428
ظرفیت کل اتصال آهن Total iron binding capacity (mol/L)	308.00[a]	218.66[b]	228.42[b]	23.433	0.0001
ترنسفرین Transferrin (mg/mL)	3.14[b]	4.82[a]	5.01[a]	0.602	0.0331
شاخص آنتی اکسیدانی کل Total antioxidant status (mmol/L)	0.65[a]	0.57[b]	0.53[b]	0.132	0.0001
مالون‌دی‌آلدهید Malondialdehyde (nmol/mL)	2.03	2.23	2.00	0.062	0.3523
کراتینین Creatinine (u/L)	1.05	1.10	1.02	0.077	0.7711
لاکتات دهیدروژناز Lactate dehydrogenase (u/L)	1059.66	1067.82	1010.98	41.410	0.6242
آسپارتات آمینوترانسفراز Aspartate aminotransferase (u/L)	52.16	46.82	49.27	2.001	0.4695
آلانین آمینوترانسفراز Alanine aminotransferase (u/L)	11.84	11.66	10.99	0.024	0.6403
آلکالین فسفاتاز Alkaline phosphatase (u/L)	721.26	716.55	692.12	20.113	0.3331

تفاوت ارقام در هر ردیف با حروف نامشابه، معنی‌دار است (p<۰/۰۵). SEM: خطای استاندارد از میانگین

SEM: Standard Error of Means, means in column with different superscripts differ significantly (p<0/05): b-a

داده‌ها نشان دادند که گروه مکمل آهن کیلات شده با اسیدهای آمینه به‌طور معنی‌داری سطوح گلبول‌های قرمز، هموگلوبین و هماتوکریت را افزا یش داد (p<۰/۰۵)، در حالیکه مکمل‌های آهن آلی تأثیر معنی‌داری بر سطوح پلاکت، حجم متوسط گلبول قرمز، میانگین هموگلوبین سلولی، میانگین غلظت هموگلوبین گلبول‌های قرمز، گلبول‌های سفید، نوتروفیل، لنفوسیت، مونوسیت و ائوزینوفیل نداشتند.

کاهش گلبول‌های قرمز در هفته‌های اول زندگی پس از تولد یک پدیده فیزیولوژیکی است که نشان دهنده رشد طبیعی گوساله‌ها است و ارتباطی با سطح آهن ندارد با این‌حال، باید توجه داشت که این می‌تواند به‌دلیل طول عمر کوتاه‌تر گلبول‌های قرمز جنین باشد (Harve *et al.*, 1997). با بیان این مطلب، مهری و همکاران (Mohri *et al.*, 2006) بیان کردند که مکمل آهن در ماه اول زندگی در گوساله‌ها از کاهش گلبول‌های قرمز جلوگیری می‌کند. در پژوهشی روند کاهشی در مقادیر هموگلوبین و هماتوکریت به‌دلیل کمبود آهن نیز در گوساله‌های شیرخوار در هفته‌های اول زندگی گزارش شد (Kurtoglu *et al.*, 2003). تجویز آهن به گوساله‌ها باعث بهبود شاخص‌های هماتولوژیک و افزایش گلبول‌های قرمز می‌شود (Mohri *et al.*, 2004). حیدرپور بامی و همکاران (Heidarpour Bami *et al.*, 2008) مشاهده کردند که میانگین گلبول‌های سفید در گروه مکمل آهن در مقایسه با گروه شاهد کمتر بود و مقدار گلبول‌های قرمز، با وجود برخی تغییرات در طول دوره مطالعه، بین گروه‌ها تفاوتی نداشت.

در تضاد با پژوهش حاضر، در آزمایشی گوساله‌هایی که آهن دکستران را به‌صورت عضلانی دریافت کردند، علی‌رغم عدم

ایجاد کم‌خونی در گروه دریافت‌کننده، تنوع کمتری در فراسنجه‌های گلبول قرمز نشان دادند (Franciosi *et al.*, 2018). همچنین، مهری و همکاران (Mohri *et al.*, 2004) روند کاهشی را برای حجم متوسط گلبول قرمز و میانگین هموگلوبین سلولی تحت تأثیر دریافت آهن نشان دادند. علاوه بر این، نولز و همکاران (Knowles *et al.*, 2000) گزارش دادند که حجم متوسط گلبول قرمزدر گوساله‌های مصرف کننده آهن به‌مقدار اندکی کاهش یافت. به‌طور طبیعی مقدار گلبول‌های قرمز در ۳–۴ ماه اول پس از دوره نوزادی گوساله‌ها کاهش می‌یابد (Mohri *et al.*, 2004). با کاهش هم‌زمان غلظت گلبول‌های قرمز، کاهش حجم متوسط گلبول قرمز ممکن است نشان دهنده ارتباط بین حجم متوسط گلبول قرمز و تولید هموگلوبین، صرف‌نظر از سطح آهن در سرم خون باشد (Zimmermann, 2006; Mohri *et al.*, 2007). با این‌حال، میلتنبورگ و همکاران (Miltenburg *et al.*, 1991) گزارش کردند که حجم متوسط گلبول قرمز با تجویز آهن ارتباط مستقیم دارد.

جدول ۶- تأثیر مکمل آهن آلی بر فراسنجه‌های خون‌شناسی گوساله‌های شیرخوار

Table 6. The effect of organic iron supplementation on hematology of suckling calves

موارد خون شناسی Hematology cases	شاهد Control	مکمل آهن حاوی Iron supplement with		SEM	سطح احتمال *p*-Value
		اسید آلی Organic acid	اسیدآمینه Amino acid		
گلبول‌های قرمز Red blood cells (T/L)	8.25[b]	9.96[a]	10.14[a]	0.424	0.0333
هموگلوبین Hemoglobin (mmol/L)	9.05[b]	10.86[a]	11.36[a]	0.622	0.0290
هماتوکریت Hematocrit (L/L)	31.65[b]	37.92[a]	39.11[a]	1.982	0.0001
پلاکت Platelet count test (G/L)	627.66	602.50	598.82	70.792	0.7474
حجم متوسط گلبول قرمز Mean cell volume (fl)	34.31	35.33	35.38	1.454	0.8441
میانگین هموگلوبین سلولی Mean corpuscular hemoglobin (fmol)	10.88	11.28	11.31	0.382	0.6792
میانگین غلظت هموگلوبین گلبول‌های قرمز Mean corpuscular hemoglobin concentration (mmol/L)	31.75	31.88	31.98	0.361	0.9002
گلبول‌های سفید White blood cells (G/L)	9.04	10.13	8.94	0.715	0.0807
نوتروفیل Neutrophils (%)	3.26	3.41	3.12	0.507	0.1731
لنفوسیت Lymphocyte (%)	4.80	5.01	4.89	0.425	0.1704
مونوسیت Monocytes (%)	28.31	33.03	29.92	1.007	0.0988
ائوزینوفیل Eosinophils (%)	20.66	22.50	21.82	1.552	0.5914

تفاوت ارقام در هر ردیف با حروف نامشابه، معنی‌دار است (p<۰/۰۵). SEM: خطای استاندارد از میانگین

SEM: Standard Error of Means, means in column with different superscripts differ significantly (p<0/05): b-a

نتیجه‌گیری کلی

افزودن مکمل آهن کیلاته تأثیر معنی‌داری بر غلظت آهن درسرم و هموگلوبین خون داشت و همچنین سبب بهبود عملکرد در گروه مکمل آهن کیلاته حاوی اسیدآمینه شد و این در حالی است که سبب کاهش غلظت‌های ظرفیت کل اتصال آهن و ظرفیت اتصال آهن غیراشباع در سرم شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، دریافت آهن کیلاته بر پایه اسیدآمینه به‌دلیل بهبود در عملکرد گوساله‌های شیرخوار قابل توصیه می‌باشد. مطالعات آینده باید بر تأیید نتایج به‌دست آمده در حیوانات بیشتری متمرکز شود.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از گروه علوم دامی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به‌واسطهٔ فراهم نمودن امکانات آموزشی و آزمایشگاهی این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Abdelrahim, G. M., Khatiwada, J., & Gueye, A. (2012). Effect of dietary supplementation of ferrous sulfate on performance and carcass characteristics of finishing lambs. *Journal of Animal Research and Technology*, 1(1), 7-12. https://doi.org/10.3390/ani10050853

Allan, J., Plate, P., & Van Winden, S. (2020). The effect of iron dextran injection on daily weight gain and haemoglobin values in whole milk fed calves. *Animals*, 10(5), 853. https://doi.org 10.3390/ani10050853

AOAC. (2005). Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists. AOAC International, Maryland, USA.

Asadi, M., Ghoorchi, T., Toghdory, A., Rajabi Aliabadi, R., Iri Tomaj, R., & Sahneh, M. (2021). Comparison of selenium and vitamin E recommended NRC and ARC by diet and injection methods on performance, digestibility, some blood metabolites and skeletal growth indices of suckling Holstein calves. *Journal of Animal Science Research*, 31(2), 57-69. https://doi.org/10.22034/AS.2021.36647.1526 [In Persian]

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. https://doi.org/10.3390/ani12040510

Asadi, M., Toghdari, A., & Ghorchi, T. (2018). The effect of oral and injectable selenium and vitamin E on performance, blood parameters and digestibility of nutrients in suckling Dalagh lambs. *Journal of Animal Science Research*, 9(20), 79-87. https://doi.org/10.29252/rap.9.20.79 [In Persian]

Atyabi, N., Gharagozloo, F., & Nassiri, S. M. (2006). The necessity of iron supplementation for normal development of commercially reared suckling calves. *Comparative Clinical Pathology*, 15, 165-168. https://doi.org/10.1007/s00580-006-0624-4

Brun-Hansen, H. C., Kampen, A. H., & Lund, A. (2006). Hematologic values in calves during the first 6 months of life. *Veterinary Clinical Pathology*, 35(2), 182-187. https://doi.org/10.1111/j.1939-165x.2006.tb00111.x

Caroprese, M., Marzano, A., Entrican, G., Wattegedera, S., Albenzio, M., & Sevi, A. (2009). Immune response of cows fed polyunsaturated fatty acids under high ambient temperatures. *Journal of Dairy Science*, 92(6), 2796-280. https://doi.org/10.3168/jds.2008-1809

Ceppi, A., Mullis, P. E., Eggenberger, E., & Blum, J. W. (1994). Growth hormone concentration and disappearance rate, insulin-like growth factors I and II and insulin levels in iron-deficient veal calves. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 38(5), 281-286. https://doi.org/10.1159/000177822

Dezfoulian, 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(1-3), 9-19.

Franciosi, C., Rocha, T. G., & Fagliari, J. J. (2018). Hematological and biochemical parameters of neonatal Holstein calves supplemented with iron. *Pesquisa Veterinaria Brasileira*, 234-243. http://dx.doi.org/10.1590/1678-5150-PVB-4729

Ghrayeb, H., Elias, M., Nashashibi, J., Youssef, A., Manal, M., Mahagna, L., & Elias, A. (2020). Appetite and ghrelin levels in iron deficiency anemia and the effect of parenteral iron therapy: A longitudinal study. *Plos One*, 15(6): e0234209. 10.1371/journal.pone.0234209

Gupta, U. C., Kening, W. U., & Liang, S. (2008). Micronutrients in soils, crops, and livestock. *Earth Science Frontiers*, 15(5), 110-125. https://doi.org/10.1016/S1872-5791(09)60003-8

Hansen, S. L., Ashwell, M. S., Moeser, A. J., Fry, R. S., Knutson, M. D., & Spears, J. W. (2010). High dietary iron reduces transporters involved in iron and manganese metabolism and increases intestinal permeability in calves. *Journal of Dairy Science*, 93(2), 656-665.

Harrison, G. A., Dawson, K. A., & Hemken, R. W. (1992). Effects of high iron and sulfate ion concentrations on dry matter digestion and volatile fatty acid production by ruminal microorganisms. *Journal of Animal Science*, 70(4), 1188-1194. https://doi.org/10.2527/1992.7041188x

Harvey, J. W. (1997). The erythrocyte: physiology, metabolism, and biochemical disorders. *In Clinical biochemistry of domestic animals* (pp. 157-203). Academic Press.

Heidarpour Bami, M., Mohri, M., Seifi, H. A., & Alavi Tabatabaee, A. A. (2008). Effects of parenteral supply of iron and copper on hematology, weight gain, and health in neonatal dairy calves. *Veterinary Research Communications*, 32, 553-561. https://doi.org/10.1007/s11259-008-9058-6

Hubbert Jr, F., Cheng, E., & Burroughs, W. (1958). Mineral requirement of rumen microorganisms for cellulose digestion in vitro. *Journal of Animal Science*, 17(3), 559-568.

Joerling, J., & Doll, K. (2019). Monitoring of iron deficiency in calves by determination of serum ferritin in comparison with serum iron: A preliminary study. *Open Veterinary Journal*, 9(2), 177-184. https://doi.org/10.4314/ovj.v9i2.14

Jones, M. L., & Allison, R. W. (2007). Evaluation of the ruminant complete blood cell count. Veterinary Clinics of North America. *Food Animal Practice*, 23(3), 377-402. https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.07.002

Klinkon, M., & Ježek, J. (2012). Values of blood variables in calves. *A Bird's-Eye View of Veterinary Medicine*, 1.

Knowles, T. G., Edwards, J. E., Bazeley, K. J., Brown, S. N., Butterworth, A., & Warriss, P. D. (2000). Changes in the blood biochemical and haematological profile of neonatal calves with age. *Veterinary Record*, 147(21), 593-598. https://doi.org/10.1136/vr.147.21.593

Kottb, M. K. I., & Abdelgawad, M. R. (2010). Effect of ferrous sulfate supplementation on digestibility, nutritive value and energy nitrogen metabolism in local sheep. *Isotope and Radiation Research*, 42(1), 57-66. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117383

Kupczynski, R., Adamski, M., & Roman, A. (2008). Ksztaltowanie sie parametrow hematologicznych i rownowagi kwasowo-zasadowej krwi cielat w zaleznosci od poziomu zelaza w pierwszym tygodniu ich zycia. *Acta Scientiarum Polonorum. Zootechnica*, 7(3-4), 61-69. https://doi.org/10.3390/ijms18071501

Kurtoglu, E., Ugur, A., Baltaci, A. K., & Undar, L. (2003). Effect of iron supplementation on oxidative stress and antioxidant status in iron-deficiency anemia. *Biological Trace Element Research*, 96, 117-123. https://doi.org/10.1385/BTER:96:1-3:117

Marijanušić, K., Manojlović, M., Bogdanović, D., Čabilovski, R., & Lombnaes, P. (2017). Mineral composition of forage crops in respect to dairy cow nutrition. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 23(2).

McFarlane, J. M., Morris, G. L., Curtis, S. E., Simon, J., & McGlone, J. J. (1988). Some indicators of welfare of crated veal calves on three dietary iron regimens. *Journal of Animal Science*, 66(2), 317-325. https://doi.org/10.2527/jas1988.662317x

Mejia Haro, I., Brink, R. D., & Mejia Haro, J. (2009). Effects of inclusion of different levels of iron in lamb diets on apparent absorption and retention of phosphorus. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8(1), 19-22.

Messenger, A. J., & Barclay, R. (1983). Bacteria, iron and pathogenicity. *Biochemical Education*, 11(2), 54-63.

Miltenburg, G. A. J., Wensing, T., Van Vliet, J. P. M., Schuijt, G., Van de Broek, J., & Breukink, H. J. (1991). Blood hemoglobin, plasma iron, and tissue iron in dams in late gestation, at calving, and in veal calves at delivery and later. *Journal of Dairy science*, 74(9), 3086-3094. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78494-4

Mohri, M., Poorsina, S., & Sedaghat, R. (2010). Effects of parenteral supply of iron on RBC parameters, performance, and health in neonatal dairy calves. *Biological Trace Element Research*, 136, 33-39. https://doi.org/10.1007/s12011-009-8514-7

Mohri, M., Sarrafzadeh, F., & Seifi, H. A. (2006). Effects of oral iron supplementation on haematocrit, live weight gain and health in neonatal dairy calves. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 7(1), 34-37. https://doi.org/10.22099/IJVR.2006.2678

Mohri, M., Sarrafzadeh, F., Seifi, H. A., & Farzaneh, N. (2004). Effects of oral iron supplementation on some haematological parameters and iron biochemistry in neonatal dairy calves. *Comparative Clinical Pathology*, 13, 39-42. https://doi.org/10.1007/s00580-004-0523-5

Mohri, M., Sharifi, K., & Eidi, S. (2007). Hematology and serum biochemistry of Holstein dairy calves: age related changes and comparison with blood composition in adults. *Research in Veterinary Science*, 83(1), 30-39. https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2006.10.017

Naseriyan, A. A., Elmi, H., Tahmasebi, A., & Farzaneh, N. (2017). Effect of flaxseed and cannula seed on digestibility and some of blood parameters in Kurdish ewes durring late gestation period. *Animal Sciences Journal*, 30(115), 167-178. https://doi.org/10.22092/asj.2017.113273

Nejad, J. G., Hosseindoust, A., Shoae, A., Ghorbani, B., Lee, B. H., Oskoueian, E., & Sung, K. I. (2013). Effects of feeding levels of starter on weaning age, performance, nutrient digestibility and health parameters in Holstein dairy calves. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(6), 827. https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12704. 10.5713/ajas.2012.12704

NRC. (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. *7th rev*. National Academy Press, Washington DC, USA.

Paik, I. (2001). Application of chelated minerals in animal production. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 14(SPI), 191-198.

Podder, R., Glahn, R. P., & Vandenberg, A. (2021). Iron-and zinc-fortified lentil (lens culinaris medik.) demonstrate enhanced and stable iron bioavailability after storage. *Frontiers in Nutrition*, 7, 62–80. https://doi.org/10.3389/fnut.2020.614812

Pu, Y., Li, S., Xiong, H., Zhang, X., Wang, Y., & Du, H. (2018). Iron promotes intestinal development in neonatal piglets. *Nutrients*, 10, E726. https://doi.org/10.3390%2Fnu10060726

Radostits, O. M., Mayhew, I. G., & Houston, D. M. (2000). Veterinary clinical examination and diagnosis. WB Saunders.

Raja, K. B., Jafri, S. E., Dickson, D., Acebròn, A., Cremonesi, P., Fossati, G., & Simpson, R. J. (2000). Involvement of Iron (Ferric) Reduction in the Iron Absorption (Budny-Walczak, Śpitalniak-Bajerska et al. 2023) Mechanism of a Trivalent Iron-Protein Complex (Iron Protein Succinylate. *Pharmacology & Toxicology*, 87(3), 108-115.

Rajabian, F., Mohri, M., & Heidarpour, M. (2017). Relationships between oxidative stress, haematology and iron profile in anaemic and non-anaemic calves. *Veterinary Record*, 181(10), 265-265. https://doi.org/10.1136/vr.104179

Ramin, A. G., Asri-Rezaei, S., Paya, K., Eftekhari, Z., Jelodary, M., Akbari, H., & Ramin, S. (2014). Evaluation of anemia in calves up to 4 months of age in Holstein dairy herds. *Veteriner Fakültesi Dergisi (Istanbul)*, 40(1), 1-6.

Reddy, Y. R., Krishna, N., Rao, E. R., & Reddy, T. J. (2003). Influence of dietary protected lipids on intake and digestibility of straw based diets in Deccani sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 106(1-4), 29-38.

Sandhage, M. E., Albright, J. L., Van Dame, L. M., & Walker, S. C. (1983). Veal calf behavior in standard wooden crates. *Am. Dairy Sci. Assoc*. 78th Annu. Meet., Univ. of Wisconsin, Madison. p, 48.

Smith, J. E. (1989). Iron metabolism and its diseases. *Clinical biochemistry of domestic animals*.

Suttle, N. F. (1975). Changes in the availability of dietary copper to young lambs associated with age and weaning. *The Journal of Agricultural Science*, 84(2), 255-261.

Suttle, N. F. (2022). Mineral nutrition of livestock, 4th Edition. CAB International, Wallingford, UK, pp 334–354

Toghdari, A., Asadi, M., Hatami, M., & Ghasmi 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. https://doi.org/10.52547/rap.13.36.66 [In Persian]

Tothova, C. S., Nagy, O., & Kovac, G. A. B. R. I. E. L. (2014). Acute phase proteins and their use in the diagnosis of diseases in ruminants: a review. *Veterinární Medicína*, 59(4), 163-180. https://doi.org/10.17221/7478-VETMED

Underwood, E. J., & Suttle, N. F. (1999). The mineral nutrition of livestock 3rd edition. CAB International, Wallingford, UK, pp 375–396

Van Putten, G., & Elshof, W. Y. (1982). The lying behaviour of veal calves up to 220 kg. In Welfare and Husbandry of Calves (pp. 83-97). *Martinus Nijhoff the Hague, Boston, London.*

Walczak, A., Śpitalniak-Bajerska, K., Szołtysik, M., Pogoda-Sewerniak, K., & Kupczyński, R. (2023). Effects of Iron Supplementation on Metabolism in Calves Receiving Whole Milk. *Animals*, 13(3), 477. https://doi.org/10.3945/jn.114.193417

Wang, Y., Jiang, M., Zhang, Z., & Sun, H. (2020). Effects of over-load iron on nutrient digestibility, haemato-biochemistry, rumen fermentation and bacterial communities in sheep. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(1), 32-43. https://doi.org/10.1111/jpn.13225

Webster, A. J. F., & Saville, C. (1982). The effect of rearing systems on the development of behaviour in calves. In Welfare and Husbandry of Calves (pp. 168-179). *Martinus Nijhoff the Hague*.

Winters, T. A., Allrich, R. D., Albright, J. L., Walker, S. C., & Sandhage, M. E. (1984). Behavior and cortisol measurement in veal calves reared under commercial conditions. *Journal of Animal Science*, 59(Suppl. 1), 148.

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. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.06.007

Xiao, J., Chen, T., Alugongo, G. M., Khan, M. Z., Li, T., Ma, J, &Cao, Z. (2021). Effect of the length of oat hay on growth performance, health status, behavior parameters and rumen fermentation of Holstein female calves. *Metabolites*, 11(12), 890. https://doi.org/10.3390/metabo11120890

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(1-3), 188-193.

Zimmermann, M. B. (2006). The influence of iron status on iodine utilization and thyroid function. *Annual Review of Nutrition*, 26, 367-389. https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.26.061505.111236