



RESEARCH PAPER

OPEN ACCESS

## Influence of chelated iron supplement containing organic acids and amino acids on growth performance, skeletal growth indices, fecal score, and blood parameters in suckling calves

M. Ghavidel<sup>1</sup>, A. Toghdory<sup>2\*</sup>, T. Ghoorchi<sup>3</sup>, M. Asadi<sup>4</sup>

1. MSc Student, Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

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

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

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

(Received: 03-12-2023 – Revised: 06-05-2024 – Accepted: 11-05-2024)

**Introduction:** Minerals are a small part of the diet, but their deficiency has major consequences for the health and reproduction of animals. Iron is not only one of the most abundant elements on Earth (it is the fourth most common element in the Earth's crust), but it is also a vital component of living things and an essential nutrient for all animal species. The main source of iron for calves and other newborn ruminants is milk or milk replacer. Milk contains relatively small amounts of iron, and calves are prone to iron deficiency. In most dairy farms, iron supplements are added as an inorganic source to the diet, which can undergo oxidation and react with other substances, causing a decrease in solubility. To solve this problem, the desired elements should be added to the ration of livestock in the form of chelated supplements. Research shows that iron plays an essential role in several metabolic processes and is necessary for the synthesis of DNA, RNA, and proteins in the body. Dietary supplements with iron have increased hematology parameters and improved growth. In addition, the presence of iron in the diet is effective in increasing appetite and glucose metabolism. Based on this, this study was conducted to investigate the effect of chelated iron supplement containing organic acid and amino acid on the performance, skeletal growth indices, fecal score, and blood parameters of suckling calves.

**Materials and methods:** 36 newborn male calves (with an average weight of  $35.1 \pm 2.7$  kg) were randomly divided into three groups with 12 replicates. The treatments included the control group (basic diet without iron supplement), basic diet with chelated iron supplement containing organic acid, and basic diet with chelated iron supplement containing amino acid. The length of the trial period was 63 days. During the experiment, calves were kept in separate locations. The rations were based on the National Research Council (NRC) report which was published in 2001. The rations were provided by total mixed ration (TMR) in calves at 8 am and 4 pm and animals had free access to water. Milk feeding was also performed in the morning and evening (10% of body weight). Calves were weighed every 21 days. The amount of feed consumed and post-feed was recorded daily. Skeletal growth in the body was measured using a standard measuring device and caliper. Three days a week, the calves' feces were randomly evaluated. On the last day, three hours after the morning meal, calves were sampled from the veins and blood parameters were determined. Sampling was done using venoject tubes with and without heparin and the samples were immediately centrifuged at 3000 rpm for 10 minutes to separate the plasma and kept at  $-20^{\circ}\text{C}$  until the day of the experiment. Glucose, urea, triglyceride, cholesterol, total protein, albumin, and

\* Corresponding author: toghdory@yahoo.com



globulin were determined using a Pars Test automated analyzer and kit. The measurement of mineral elements in blood serum (iron, zinc, copper, calcium, and phosphorus) was done by atomic absorption device.

**Results and discussion:** The results showed that calves receiving chelated iron supplements with amino acids had an increase in the final weight, total period weight, and daily weight, and a decrease in feed conversion rate compared to the control group and treatment receiving chelated iron supplements with organic acids ( $P<0.05$ ). Also, there was no significant difference in terms of dry matter and milk consumption among different treatments. There was no significant difference in terms of skeletal growth indices among different treatments. Fecal score and diarrhea status improved in both treatments receiving iron supplements ( $P<0.05$ ). Consumption of iron supplements by calves in both chelated forms containing organic acids and amino acids increased blood glucose and iron and decreased blood copper and phosphorus ( $P<0.05$ ). However, cholesterol, triglyceride, urea, total protein, albumin, and blood globulin were not affected.

**Conclusions:** In general, according to the results of this research, the intake of chelated iron with amino acids is recommended due to the improvement in the performance of suckling calves.

**Keywords:** Iron chelate, Fecal score, Performance, Blood parameter, Suckling calves

**Ethics statement:** This study was conducted with the full consideration of animal welfare and the approval of this study was granted by the Ethics Committee of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

**Data availability statement:** The data that support the findings of this study are available on request from the corresponding author.

**Conflicts of interest:** The authors declare no conflicts of interest.

**Funding:** The authors received no specific funding for this project.

**Acknowledgment:** We would like to express our gratitude to the Department of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, for providing educational and laboratory facilities to conduct this research.

#### How to cite this article:

Ghavidel, M., Toghdory, A., Ghoorchi, T., & Asadi, M. (2024). Influence of chelated iron supplement containing organic acids and amino acids on growth performance, skeletal growth indices, fecal score, and blood parameters in suckling calves. *Animal Production Research*, 13(3), 61-74. doi: 10.22124/ar.2024.26191.1806



## تأثیر مکمل آهن کیلاته حاوی اسیدهای آلی و اسیدهای آمینه بر عملکرد، شاخص- های رشد اسکلتی، امتیاز مدفوع و فراسنجه‌های خونی گوساله‌های شیرخوار

مهدی قویدل<sup>۱</sup>، عبدالحکیم توغدری<sup>۲\*</sup>، تقی قورچی<sup>۳</sup>، محمد اسدی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

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

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

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

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۲ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۷ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۲)

### چکیده

مطالعه حاضر با هدف بررسی آثار منابع مختلف آهن آلی (مکمل آهن کیلاته با اسیدهای آلی و اسیدهای آمینه) در شیر بر عملکرد رشد، شاخص‌های رشد اسکلتی، امتیاز مدفوع و فراسنجه‌های خونی گوساله‌های شیرخوار انجام شد. ۳۶ رأس گوساله نر تازه متولد شده هلشتاین (با میانگین وزن  $35/1 \pm 2/7$  کیلوگرم) به‌طور تصادفی به سه گروه با ۱۲ تکرار تقسیم شدند. تیمارهای آزمایشی شامل: (۱) گروه شاهد (بدون مکمل آهن)، (۲) تغذیه با ۵۰ میلی‌گرم آهن کیلاته مبتنی بر اسیدهای آلی به‌ازای هر راس گوساله در روز، و (۳) تغذیه با ۵۰ میلی‌گرم آهن کیلاته مبتنی بر اسیدهای آمینه به‌ازای هر راس گوساله در روز، بودند. نتایج نشان داد که گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل‌های آهن کیلاته حاوی اسید آمینه نسبت به گروه شاهد و تیمار دریافت‌کننده مکمل‌های آهن کیلاته حاوی اسیدهای آلی، افزایش وزن نهایی، افزایش وزن کل دوره، افزایش وزن روزانه و کاهش ضریب تبدیل غذایی را نشان دادند ( $P < 0/05$ ). همچنین، تفاوت معنی‌داری از نظر شاخص‌های رشد اسکلتی در بین تیمارهای مختلف وجود نداشت. امتیاز مدفوع و وضعیت اسهال در هر دو تیمار دریافت‌کننده مکمل آهن بهبود یافت ( $P < 0/05$ ). مصرف مکمل آهن به‌وسیله گوساله‌ها به شکل کیلاته حاوی اسیدهای آلی و اسیدهای آمینه سبب افزایش گلوکز و آهن در خون و کاهش مس و فسفر خون شد ( $P < 0/05$ )، اما کلسترول، تری‌گلیسرید، اوره، پروتئین تام، آلبومین و گلوبولین خون تحت تأثیر قرار نگرفت. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، دریافت آهن کیلاته حاوی اسیدهای آمینه به‌دلیل بهبود عملکرد گوساله‌های شیرخوار، قابل توصیه است.

**واژه‌های کلیدی:** آهن کیلاته، امتیاز مدفوع، عملکرد، فراسنجه خونی، گوساله‌های شیرخوار

\* نویسنده مسئول: toghdory@yahoo.com

## مقدمه

تغذیه مناسب گوساله‌ها در دوران شیرخوارگی و در هفته‌های اول زندگی، تأثیر اساسی در رشد، نمو و بهره‌برداری بعدی آنها دارد. اولین خوراک مایع، شیر کامل یا جایگزین شیر است (Compinis *et al.*, 2002; Wagenaar *et al.*, 2007; Asadi *et al.*, 2021). شیر به‌عنوان اولین غذای مایع برای گوساله‌ها و منبع با ارزش پروتئین است. از طرفی، گوساله‌هایی که فقط با شیر کامل تغذیه می‌شوند در معرض کمبود آهن قرار می‌گیرند که نگران‌کننده است زیرا این ماده معدنی، مسئول عملکرد صحیح سیستم ایمنی است (Osorio *et al.*, 2016; Yasui *et al.*, 2014). یکی از مهمترین جنبه‌های منفی تغذیه شیر، بروز بیماری‌های گوارشی مانند اسهال است (Asadi *et al.*, 2018; Qadeer *et al.*, 2021). از سوی دیگر، شیر نمی‌تواند تمام مواد مغذی مورد نیاز سیستم ایمنی گوساله، به‌ویژه آهن را تأمین کند. شیر کامل منبع ضعیفی از آهن است و غلظت آهن آن در محدوده ۰/۳ تا ۰/۶ میلی گرم بر کیلوگرم است (Allan *et al.*, 2020). به این معنی که گوساله‌های جوانی که از شیر تغذیه می‌کنند در معرض خطر کم‌خونی هستند. آهن نقش مهمی در رشد اسکلتی، خون‌سازی (هموگلوبین و میوگلوبین)، فعالیت آنزیمی (Wysocka *et al.*, 2020)، ایمنی و دفاع آنتی‌اکسیدانی (سیتوکروم اکسیداز، پراکسیداز و کاتالاز) در بدن دارد. بنابراین، به‌عنوان یک عنصر کمیاب ضروری در نظر گرفته می‌شود. آهن جزء ضروری هموگلوبین، میوگلوبین و چندین آنزیم مانند کاتالاز، پراکسیداز و سیتوکروم اکسیداز است (Harvey, 2000). نشخوارکنندگان نوزاد به تبدیل هموگلوبین جنینی به بالغ و نرخ زیاد ساخت گلوبول قرمز به مکمل آهن نیاز دارند (Radwinska and Zareynska, 2014). همچنین، Rajabian *et al.* (2017) بیان کردند بین کمبود آهن و اختلال در سامانه دفاعی آنتی‌اکسیدانی در گوساله‌های تازه متولد شده ارتباط وجود دارد. کمبود آهن در گوساله‌ها با علائم بالینی از جمله کاهش رشد، از دست دادن اشتها و افزایش نرخ عفونت همراه است. مکمل آهن در گوساله‌های شیرخوار باعث افزایش حجم سلول‌های خونی و مقدار هموگلوبین خون گوساله‌های شیرخوار می‌شود (Mohri *et al.*, 2004; Kume and Tanabe, 1996; *al.*, 2004). گوساله‌ها شکمبه عملکردی ندارند و به‌نظر می‌رسد که آنها بیشتر شبیه

حیوانات تک معده‌ای هستند که باید مواد مغذی مورد نیاز خود را از شیر دریافت کنند (Xiao *et al.*, 2021). در مراحل اولیه زندگی، گوساله‌ها از کمبود سیستم ایمنی رنج می‌برند. بنابراین، این شرایط آنها را با چالش‌های حیاتی، عمدتاً خطر ابتلا به بیماری و مرگ مواجه می‌کند (Wu *et al.*, 2021). نیاز به آهن در حیوانات متفاوت است که بستگی به سن، جنس و مراحل فیزیولوژیکی آنها دارد. حیوانات جوان در مراحل اولیه زندگی نسبت به کمبود آهن حساسیت بیشتری دارند، اما نوزادان دارای مقداری ذخایر آهن در بدن خود هستند. بر اساس توصیه‌های شورای ملی تحقیقات (NRC, 2001)، یک گوساله شش هفته‌ای با مصرف ۰/۹ کیلوگرم ماده خشک (DM) در روز به ۱۰۰ میلی گرم آهن به‌ازای هر کیلوگرم DM نیاز دارد. (Mohri *et al.*, 2006) افزایش قابل توجهی در افزایش وزن کل و میانگین افزایش وزن روزانه بدون هیچ اثر قابل توجهی بر گلوبول قرمز (RBC) در گوساله‌هایی که مکمل آهن دریافت کرده‌اند نشان دادند. برخی از آزمایش‌ها افزایش غلظت و عملکرد هموگلوبین را قبل از دوره‌های از شیرگیری در گوساله‌هایی که مکمل آهن را به‌صورت خوراکی یا تزریقی دریافت کردند، گزارش کردند (Völker and Rotermund, 2000). در پژوهشی، Heidarpour Bami *et al.* (2008) بیان کردند که مکمل آهن تزریقی باعث افزایش وزن در گوساله‌های شیری یک ماهه شد. 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. تجویز آهن به گوساله‌ها با بهبود شاخص‌های خون‌شناسی و افزایش سود روزانه توجه می‌شود (Mohri *et al.*, 2004; Heidarpour Bami *et al.*, 2008). همچنین، نتایج Asadi *et al.* (2022) نشان داد که آهن آلی می‌تواند به‌عنوان مکمل خوراک در شیر برای بهبود افزایش وزن و ارتقای سلامت و برای بهبود وضعیت اکسیداتیو بره‌های شیرده در سطح پلاسما استفاده شود و مکمل آهن آلی ۲۵ میلی گرم در روز در بره‌های شیرده توصیه شده است. بنابراین، در تغذیه دام، برای جلوگیری از کمبود و افزایش زیست فراهمی این عنصر، بیشتر تحقیقات روی استفاده از کیلات آهن یا ترکیبات حاوی آهن آلی متمرکز است. هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر دو منبع آهن کمپلکس (مکمل آهن کیلات با اسیدهای آمینه و کیلات با اسیدهای آلی) بر فراسنجه‌های

روز وزن شده و با کسر از خوراک ارائه شده، مصرف خوراک روزانه محاسبه شد.

اندازه‌گیری رشد اسکلتی برای صفات طول بدن، ارتفاع، محیط شکم، محیط قفسه سینه، فاصله بین دو شاخ، فاصله بین دو چشم و عرض پوزه، هر ۲۱ روز به‌وسیله متر استاندارد و گونیا انجام شد (Khan *et al.*, 2011). همچنین، مدفوع گوساله‌ها به‌صورت روزانه مورد ارزیابی قرار گرفت. نمره مدفوع بر اساس ۱- سفت و با قوام، ۲- نرم و شل، ۳- شل و آبکی، ۴- آبکی همراه با مقداری خون، و ۵- آبکی همراه با خون و موکوس تعیین شد (Khan *et al.*, 2007). برای اندازه‌گیری متابولیت‌های خونی، نمونه خون از رگ وداچ گوساله‌ها در روز ۶۰ گرفته شد. نمونه‌های خون به داخل لوله‌های حاوی ماده ضد انعقاد (EDTA) منتقل شدند. برای تهیه پلاسما، نمونه‌های خون به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ rpm سانتریفوژ شد و در نهایت، نمونه‌های پلاسما تا زمان تجزیه در ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند. از نمونه‌های پلاسما برای سنجش برخی از عناصر معدنی پلاسما (کلسیم، فسفر، روی، آهن و مس) استفاده شد. بدین منظور، غلظت روی، مس و آهن با دستگاه جذب اتمی (LUMEX, R520, France) و کلسیم و فسفر با کیت‌های شرکت زیست شیمی و با دستگاه اسپکتروفتومتر (Spect AA220, Variant) اندازه‌گیری شد. همچنین، غلظت‌های گلوکز، کلسترول، اوره، تری گلیسرید، پروتئین کل، آلبومین و گلوبولین با استفاده از کیت‌های شرکت پارس آزمون و به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Spect AA220, Variant) اندازه‌گیری شد.

رشد و ضریب تبدیل، شاخص‌های رشد اسکلتی، امتیاز مدفوع و فراسنجه‌های خونی گوساله‌های شیرخوار در طول دوره تغذیه با شیر بود.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در شرکت کشت و دام گلدشت نمونه اصفهان در پاییز ۱۴۰۲ انجام گرفت. تعداد ۳۶ رأس گوساله نر تازه متولد شده (با میانگین وزن  $35/1 \pm 2/7$  کیلوگرم) در قالب طرح کاملاً تصادفی به سه تیمار آزمایشی و ۱۲ تکرار در هر تیمار اختصاص یافتند. تیمارهای آزمایشی شامل گروه شاهد (بدون مکمل آهن)، تغذیه با ۵۰ میلی گرم آهن کیلاته مبتنی بر اسیدهای آلی به‌ازای هر راس گوساله در روز، و تغذیه با ۵۰ میلی گرم آهن کیلاته مبتنی بر اسیدهای آمینه به‌ازای هر راس گوساله در روز بودند. در ابتدا، همه گوساله‌ها تحت معاینه و بررسی کامل و دقیق قرار گرفتند تا از سلامت و صحت عملکرد آنها اطمینان حاصل شود. طول مدت آزمایش برابر با ۶۳ روز بود. طی دوره آزمایش، گوساله‌ها در جایگاه‌های مجزا نگهداری شدند. جیره‌ها بر پایه (NRC (2001) تنظیم شدند. جیره‌ها به‌صورت TMR و در دو نوبت ۸ صبح و ۱۶ عصر در اختیار گوساله‌ها قرار گرفت و همچنین، دسترسی آزاد به آب وجود داشت. شیردهی به گوساله‌ها نیز در دو نوبت صبح و عصر (به میزان ۱۰ درصد وزن بدن) صورت می‌گرفت. جیره غذایی شروع‌کننده مورد استفاده و مواد مغذی در جدول ۱ ارائه شده است. مکمل آهن کیلاته مبتنی بر اسیدهای آلی و اسیدهای آمینه به مقدار ۵۰ میلی گرم به‌ازای هر راس گوساله در روز به شیر افزوده می‌شد. وزن‌کشی گوساله‌ها هر ۲۱ روز انجام شد. باقیمانده ماده خشک خوراک در هر

جدول ۱- اقلام خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره آزمایشی

Table 1. Ingredients and chemical composition of experimental diet

| Ingredient (%) DM basis |       | Chemical composition              |       |
|-------------------------|-------|-----------------------------------|-------|
| Wheat straw             | 5.00  | Dry matter (%)                    | 92.05 |
| Alfalfa hay             | 5.00  | Metabolizable energy (Mcal/kg DM) | 2.11  |
| Barley grain            | 16.20 | Crude protein (%)                 | 18.40 |
| Corn grain              | 36.11 | Crude fat (%)                     | 3.66  |
| Soybean meal            | 33.80 | Non fiber carbohydrate (%)        | 49.19 |
| Yeast                   | 0.18  | Neutral detergent fiber (%)       | 42.27 |
| Magnesium oxide         | 0.18  | Acid detergent fiber (%)          | 11.24 |
| Mineral supplement      | 0.54  | Starch (%)                        | 18.60 |
| Vitamin supplement      | 0.54  | Ash (%)                           | 6.81  |
| Bentonite               | 0.11  | Calcium (%)                       | 1.42  |
| Sodium bicarbonate      | 0.90  | Phosphorus (%)                    | 0.71  |
| Dicalcium phosphate     | 0.18  |                                   |       |
| Salt                    | 0.36  |                                   |       |
| Limestone               | 0.90  |                                   |       |

پژوهش حاضر، با سه تیمار و ۱۲ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. از رویه GLM نرم‌افزار SAS (2004) برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. همچنین، برای تعیین تفاوت‌های معنی‌دار بین میانگین تیمارها از آزمون دانکن استفاده شد.

### نتایج و بحث

نتایج مربوط به اثر مکمل آهن آلی بر عملکرد، مصرف جیره آغازین و ضریب تبدیل گوساله‌های شیرخوار در جدول ۲ گزارش شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر، میانگین افزایش وزن روزانه (ADG)، نرخ رشد (GR) و ضریب تبدیل خوراک (FCR) در پایان ۶۳ روزگی در گروه مکمل آهن کیلاته با اسید آمینه نسبت به دو گروه دیگر بالاترین میزان بود ( $P < 0.05$ ). هنگامی که گوساله‌ها در چند هفته اول زندگی خود به‌طور انحصاری از جیره غذایی شیر کامل تغذیه می‌شوند، در معرض خطر کم خونی هستند، علاوه بر این، کمبود آهن می‌تواند بر رشد، ایمنی و ضریب تبدیل خوراک، تأثیر منفی بگذارد. میانگین افزایش وزن روزانه ثبت شده در محدوده مقادیر طبیعی در نظر گرفته شده برای گوساله‌ها در این سن بود (NRC, 2001). علاوه بر این، اگر گوساله‌ها به غذای جامد دسترسی داشته باشند، ذخایر آن به‌طور کلی برای جلوگیری از کم-خونی شدید کافی است (Mohri et al., 2004). کیلات آهن-اسید آمینه برای غنی‌سازی جیره (Layrisse et al., 2000) و همچنین، مکمل‌های حیوانی استفاده شده است (Ettle et al., 2008). در توافق با نتایج این پژوهش، مشخص شد که تجویز آهن به‌طور قابل توجهی کل وزن بدن و افزایش وزن روزانه در گوساله‌ها را افزایش می‌دهد (Eisa and Elgebaly, 2010). در مطالعه‌ای دیگر گزارش شده است که وزن گوساله‌ها نیز با تجویز آهن، افزایش یافت (Mohri et al., 2004). همچنین، افزایش وزن کل و افزایش وزن روزانه با تجویز خوراکی آهن با دوز ۱۵۰ میلی گرم در روز به‌مدت ۲۸ روز در گوساله‌های شیری تازه متولد شده گزارش شده است (Mohri and Sarrafzadeh, 2006). در مطالعه‌ای دیگر، وزن کل، هفتگی و روزانه در گوساله‌های شیری تازه متولد شده پس از دریافت مکمل خوراکی آهن دکستران به‌میزان ۱۰۰۰ میلی گرم، افزایش یافت (Heidarpour Bami et al., 2008). بر خلاف نتایج مطالعه حاضر، هیچ اثر قابل توجهی از مکمل آهن بر وزن بدن

گوساله‌های تازه متولد شده گزارش نشده است (Bostedt et al., 2000; Moosavian et al., 2010). افزودن سولفات آهن به جیره به‌مدت ۱۳۵ روز، تأثیر معنی‌داری بر افزایش وزن روزانه، افزایش وزن کل و مصرف خوراک بره‌های پرواری نداشت (Wessling-Resnick, 2017). همچنین، گزارش شده است که سطوح بالای مکمل آهن (۷۵۰ میلی گرم سولفات آهن به‌ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره) در گوساله‌های در حال رشد باعث کاهش کارایی خوراک در یک دوره ۵۶ روزه شد (Hanse et al., 2010). در مطالعه حاضر، ضریب تبدیل در طول نه هفته اول زندگی از نظر آماری تحت تأثیر مکمل آهن قرار می‌گیرد. نتایج حاضر با پژوهش (Hamedi et al., 2022) هم‌سو بوده و با مطالعه (McFarlane et al., 1998) مطابقت داشت که اشاره کرد میزان اندک آهن در جیره غذایی بر افزایش وزن، ضریب تبدیل و سلامت گوساله، تأثیر منفی می‌گذارد. با این حال، در مطالعه دیگری، افزودن مکمل آهن به جیره غذایی گوساله‌ها هیچ تأثیر آماری بر وزن بدن، ضریب تبدیل و اندازه بدن نداشت (Cui et al., 2016). اگرچه در مطالعه حاضر، گوساله‌های گروه شاهد از کم‌خونی رنج نمی‌برند، اما وزن بدن، افزایش وزن روزانه و مصرف استارتر کمتر در آنها نشان می‌دهد که میزان آهن جیره (شیر و استارتر) برای برآوردن نیاز گوساله برای رشد و عملکرد طبیعی کافی نیست. نتایج مربوط به شاخص اسکلتی بدن گوساله‌ها در جدول ۳ گزارش شده است. در این مطالعه تمایل به افزایش رشد اسکلتی با افزایش سن وجود داشت که ممکن است به مصرف بیشتر ماده خشک از نظر متابولیسم و فیزیولوژیکی نسبت داده شود و این نتیجه نشان‌دهنده عملکرد بهتر دستگاه گوارش در حیوانات این گروه است، اگرچه افزایش وزن بدن تحت تأثیر مصرف خوراک قرار گرفت. (Marcondesand and Silva, 2021) بیان کردند که طی دوره شیرخواری، اندازه بدن عمدتاً تحت تأثیر پتانسیل ژنتیکی، تغذیه و سیاست مدیریتی است. با وجود مصرف قابل توجه شروع‌کننده و افزایش وزن روزانه، انتظار می‌رفت که اندازه اسکلتی بدن نیز تحت تأثیر درمان‌ها قرار گیرد. نتایج به‌دست آمده از این آزمایش با گزارش‌های سایر پژوهشگران هم‌خوانی دارد (Ferreira et al., 2013; Santos et al., 2015; Hamedi et al., 2022).

یک مطالعه دیگر (Hamedi *et al.*, 2022)، می‌توان چنین فرض کرد که گوساله‌های مورد آزمایش دارای کمبود آهن نبودند. هم‌سو با نتایج مطالعه حاضر، تغذیه مکمل آهن آلی در بره‌های شیرخوار سبب کاهش معنی‌دار تعداد بره‌های مبتلا به اسهال و میانگین روزهای ابتلا به اسهال شد (Asadi *et al.*, 2021). همچنین، در بره‌هایی که دوز ۲۵ میلی گرم مکمل آهن آلی نسبت به ۵۰ میلی گرم مکمل آهن آلی دریافت کرده بودند، تعداد بره‌های مبتلا به اسهال کمتری گزارش شد (Asadi *et al.*, 2021). در یک مطالعه گزارش شده است که شیوع ذات‌الریه و اسهال در گروه گوساله‌هایی که آهن دریافت نکردند، بیشترین و درگروهی که مکمل آهن خوراکی دریافت کرده‌اند، کمترین بود (Bunger *et al.*, 1996). همچنین، تغذیه مکمل آهن و روی به‌طور همزمان در نوزادان انسان، منجر به کاهش اسهال و بیماری‌های تنفسی شد (Baqui *et al.*, 2003).

با توجه به نتایج به‌دست آمده در جدول ۴، تغذیه مکمل آهن آلی در گوساله‌های شیرخوار، سبب کاهش معنی‌دار امتیاز مدفوع، تعداد گوساله‌های مبتلا به اسهال و میانگین روزهای ابتلا به اسهال شد ( $P < 0.05$ ). امتیازدهی مدفوع بر اساس رنگ و قوام، مفیدترین و دقیق‌ترین راه برای ارزیابی سلامت حیوان است (Larson *et al.*, 1977). محققین بیان کردند که شناسایی فوری و آبرسانی مجدد گوساله‌های مبتلا به اسهال، قبل از اینکه گوساله‌ها علائم بالینی کم آبی را نشان دهند، حیاتی است (Graham *et al.*, 2018). با افزایش سن، تمایل به بهبود قوام مدفوع وجود دارد. با این حال، گوساله‌های دریافت‌کننده مکمل آهن، مدفوع سخت‌تری نسبت به گروه شاهد داشتند. (Neuberger *et al.*, 2016). گزارش کردند که کمبود آهن، یکی از عوامل غیرعفونی است که در ایجاد اسهال گوساله نقش دارد. بر اساس این نتیجه‌گیری و نتایج

جدول ۲- اثر مکمل آهن بر عملکرد گوساله‌های شیرخوار

Table 2. Effect of iron supplement on the performance of suckling calves

| Performance traits                           | Control             | Iron supplement with |                     | SEM    | P-value |
|----------------------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------|---------|
|                                              |                     | Organic acid         | Amino acid          |        |         |
| Initial weight (kg)                          | 35.75               | 35.66                | 35.66               | 0.470  | 0.9896  |
| The first period of experiment <sup>1</sup>  |                     |                      |                     |        |         |
| Weight gain (kg)                             | 4.04                | 4.45                 | 4.97                | 0.549  | 0.0574  |
| Daily gain (g/d)                             | 194.32 <sup>b</sup> | 211.90 <sup>ab</sup> | 236.54 <sup>a</sup> | 8.698  | 0.0231  |
| Body weight on day 21 (kg)                   | 39.79               | 40.11                | 40.63               | 0.719  | 0.7082  |
| Dry matter intake (g/d)                      | 29.12               | 32.41                | 38.06               | 1.242  | 0.6261  |
| Milk offered (g/d)                           | 6.38                | 6.47                 | 6.51                | 0.462  | 0.6455  |
| The second period of experiment <sup>2</sup> |                     |                      |                     |        |         |
| Weight gain (kg)                             | 13.44               | 13.09                | 14.17               | 0.720  | 0.5613  |
| Daily gain (g/d)                             | 653.89              | 623.41               | 674.96              | 32.493 | 0.5357  |
| Body weight on day 42 (kg)                   | 53.23               | 54.20                | 54.80               | 0.976  | 0.4237  |
| Dry matter intake (g/d)                      | 460.78              | 435.55               | 481.12              | 32.291 | 0.6497  |
| Milk offered (g/d)                           | 7.80                | 7.94                 | 7.89                | 0.345  | 0.7418  |
| Feed conversion rate (kg)                    | 2.13                | 2.22                 | 2.11                | 0.121  | 0.4855  |
| The third period of experiment <sup>3</sup>  |                     |                      |                     |        |         |
| Weight gain (kg)                             | 15.31 <sup>a</sup>  | 15.21 <sup>a</sup>   | 20.07 <sup>a</sup>  | 0.684  | 0.0111  |
| Daily gain (g/d)                             | 729.04 <sup>b</sup> | 724.28 <sup>b</sup>  | 955.71 <sup>a</sup> | 41.281 | 0.0074  |
| Body weight on day 63 (kg)                   | 68.54 <sup>b</sup>  | 69.41 <sup>b</sup>   | 74.87 <sup>a</sup>  | 0.898  | 0.0462  |
| Dry matter intake (g/d)                      | 927.01              | 893.23               | 866.79              | 37.554 | 0.1848  |
| Milk offered (g/d)                           | 5.52                | 5.61                 | 5.69                | 0.297  | 0.6860  |
| Feed conversion rate (kg)                    | 2.18 <sup>b</sup>   | 2.16 <sup>b</sup>    | 1.62 <sup>a</sup>   | 0.210  | 0.0339  |
| End of period <sup>4</sup>                   |                     |                      |                     |        |         |
| Total weight gain (kg)                       | 32.79 <sup>a</sup>  | 33.75 <sup>a</sup>   | 39.21 <sup>b</sup>  | 1.007  | 0.0198  |
| Total daily gain (g/d)                       | 520.47 <sup>b</sup> | 535.71 <sup>b</sup>  | 622.38 <sup>a</sup> | 30.212 | 0.0212  |
| Dry matter intake (g/d)                      | 472.30              | 453.73               | 461.99              | 29.294 | 0.4192  |
| Milk offered (g/d)                           | 6.56                | 6.67                 | 6.70                | 0.748  | 0.8418  |
| Feed conversion rate (kg)                    | 2.41 <sup>a</sup>   | 2.34 <sup>a</sup>    | 2.03 <sup>b</sup>   | 0.198  | 0.0413  |

<sup>1</sup> Days 1-21 of the experiment ; <sup>2</sup> Days 22-42 of the experiment; <sup>3</sup> Days 43-63 of the experiment; <sup>4</sup> Days 1-63 of the experiment

<sup>a-b</sup> Different superscript letters in the same row represent a significant difference ( $P < 0.05$ ).

SEM: Standard error of the means

جدول ۳- اثر مکمل آهن بر شاخص‌های اسکلتی گوساله‌های شیرخوار

Table 3. Effect of iron supplement on the skeletal indices of suckling calves

| Skeletal growth index (cm) | Control | Iron supplement with |            | SEM   | P-value |
|----------------------------|---------|----------------------|------------|-------|---------|
|                            |         | Organic acid         | Amino acid |       |         |
| Day 21 of the experiment   |         |                      |            |       |         |
| Front height               | 77.50   | 77.40                | 76.66      | 4.121 | 0.7455  |
| Hip height                 | 79.66   | 79.16                | 79.33      | 5.218 | 0.6989  |
| Hip width                  | 13.18   | 13.33                | 13.87      | 0.201 | 0.8478  |
| Pin width                  | 6.00    | 6.14                 | 5.97       | 0.087 | 0.6333  |
| Belly environment          | 77.54   | 77.70                | 78.25      | 2.210 | 0.8452  |
| Long body                  | 44.18   | 44.16                | 44.29      | 2.419 | 0.7496  |
| Chest environment          | 79.14   | 79.33                | 79.87      | 5.128 | 0.6796  |
| Horns interval             | 10.27   | 10.33                | 10.41      | 0.120 | 0.8699  |
| Ayes interval              | 10.78   | 10.89                | 10.92      | 0.199 | 0.9012  |
| Day 42 of the experiment   |         |                      |            |       |         |
| Front height               | 80.45   | 79.41                | 79.50      | 5.021 | 0.7110  |
| Hip height                 | 83.18   | 81.83                | 82.41      | 4.533 | 0.8125  |
| Hip width                  | 14.72   | 15.33                | 15.25      | 0.444 | 0.6601  |
| Pin width                  | 6.51    | 6.48                 | 6.54       | 0.181 | 0.7740  |
| Belly environment          | 84.90   | 85.22                | 85.75      | 3.132 | 0.7686  |
| Long body                  | 48.27   | 47.41                | 48.91      | 1.002 | 0.8620  |
| Chest environment          | 90.14   | 91.45                | 90.97      | 4.079 | 0.7496  |
| Horns interval             | 10.95   | 11.12                | 11.66      | 0.188 | 0.7991  |
| Ayes interval              | 12.72   | 12.61                | 12.92      | 0.417 | 0.6955  |
| Day 63 of the experiment   |         |                      |            |       |         |
| Front height               | 86.81   | 86.68                | 87.02      | 2.064 | 0.8622  |
| Hip height                 | 88.81   | 89.08                | 89.00      | 2.693 | 0.7486  |
| Hip width                  | 15.18   | 15.95                | 15.79      | 0.841 | 0.5545  |
| Pin width                  | 6.54    | 6.59                 | 6.84       | 0.099 | 0.4562  |
| Belly environment          | 94.72   | 95.52                | 95.78      | 3.790 | 0.6240  |
| Long body                  | 51.40   | 51.66                | 52.29      | 2.618 | 0.7401  |
| Chest environment          | 99.04   | 101.88               | 102.97     | 5.115 | 0.8229  |
| Horns interval             | 11.15   | 11.95                | 12.16      | 0.257 | 0.4897  |
| Ayes interval              | 13.02   | 13.32                | 13.74      | 0.301 | 0.7691  |

SEM: Standard error of the means

جدول ۴- اثر مکمل آهن بر امتیاز مدفوع گوساله‌های شیرخوار

Table 4. Effect of iron supplement on feces score of suckling calves

| Trait                         | Control           | Iron supplement with |                   | SEM   | P-value |
|-------------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------|---------|
|                               |                   | Organic acid         | Amino acid        |       |         |
| Score of feces                | 2.76 <sup>a</sup> | 1.34 <sup>b</sup>    | 1.41 <sup>b</sup> | 0.017 | 0.0019  |
| Number of lambs with diarrhea | 6 <sup>a</sup>    | 3 <sup>b</sup>       | 3 <sup>b</sup>    | 0.333 | 0.0344  |
| Average days of diarrhea      | 2.45 <sup>a</sup> | 1.41 <sup>b</sup>    | 1.63 <sup>b</sup> | 0.192 | 0.0001  |

<sup>a-b</sup> Different superscript letters in the same row represent a significant difference ( $P < 0.05$ ).

SEM: Standard error of the means

دکستران) پس از تولد، تأثیر قابل توجهی بر سلامت (تعداد گوساله‌های مبتلا به اسهال و میانگین روزهای مبتلا به اسهال) گوساله‌های تزریق شده در مقایسه با حیوانات گروه شاهد نداشت (Heidarpour Bami *et al.*, 2008). نتایج متناقض گزارش شده در مطالعات مختلف، می‌تواند به دلیل نوع خوراک مصرفی، شکل فیزیکی و شیمیایی آهن، برهمکنش بین اجزای رژیم غذایی و نوع دام باشد (Regula *et al.*, 2014; Regula *et al.*, 2016).

با این حال، محققین دیگر (Kadis *et al.*, 1984; Lee *et al.*, 2008)، گزارش کردند که شیوع و شدت اسهال در خوک‌هایی که مکمل آهن دریافت کرده بودند، بیشتر از گروه شاهد بود. از سوی دیگر، Mohri *et al.* (2010) نشان دادند که مکمل خوراکی آهن با دوز ۱۵۰ میلی گرم در روز به مدت ۲۸ روز، هیچ تأثیری بر سلامتی و روزهای درمان بین گروه‌های آزمایشی نداشت. به طور مشابه، مطالعه‌ای دیگر نشان داد که تجویز تزریقی آهن (۱۰۰۰ میلی گرم



با آهن هستند، به‌ویژه آنهایی که در سوخت و ساز آهن شرکت می‌کنند، منجر به کمبود آهن می‌شود (Angelova et al., 2014). مس به‌عنوان یک عامل مشترک آنزیم‌های فعال در تغییر موازات سوپراکسید، انتقال الکترون و اکسیداسیون آهن عمل می‌کند (De Romaña et al., 2011). نشان داده شد که مصرف زیاد آهن دارای تاثیری بازدارنده بر جذب مس است (Humphries et al., 1983). آهن اضافی، به شکل سولفات آهن و سترات آهن، در رژیم غذایی بره منجر به کاهش مس پلاسما شد، در حالی که تاثیری بر کلسیم، فسفر و منیزیم نداشت (Sefdeen et al., 2017). مکمل مس می‌تواند تأثیر منفی بر آهن سرم داشته باشد (Van den Top, 2005). همچنین، اثبات شده است که انتقال‌دهنده فلز دو ظرفیتی (DMT) واسطه‌ای است که هم آهن و هم مس را حمل می‌کند و شرایط رقابتی بین آهن و مس در حمل و نقل و زیست‌فراهمی ایجاد می‌کند. بنابراین، رقابتی بین این عناصر در حین جذب ایجاد می‌شود (Arredondo and Núñez, 2005). استفاده از آهن در جیره غذایی بره باعث افزایش غلظت آهن در پلاسما و کاهش قابل توجه مس شد، اما تاثیری بر روی، کلسیم و فسفر نداشت (Arabi et al., 2018). مطالعه مشابهی گزارش داد که کربنات آهن در جیره بره از نظر آماری، مس پلاسما را کاهش داد و بر غلظت فسفر و روی تاثیری نداشت (Prabowo et al., 1988). استفاده از سطوح بالای آهن در رژیم غذایی بره (بیش از ۶۰۰ پی‌پی‌ام) منجر به کاهش جذب فسفر شد (Mejia Haro et al., 2009). کلسیم دارای تأثیر معکوس بر جذب آهن است و مصرف کلسیم به‌طور کلی جذب آهن را کم می‌کند (Lönnnerdal, 2010). همانند کلسیم (Walczyk et al., 2014)، فسفات‌ها مهارکننده‌های معروف جذب آهن هستند (Nakao et al., 2015). همچنین، در یک مطالعه (Mohri et al., 2004)، غلظت آهن سرم خون به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

نتایج اثر مکمل آهن آلی بر فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون در جدول ۶ گزارش شده است. در مطالعه حاضر، سطح گلوکز در تیمارهای دارای مکمل آهن، افزایش معنی‌داری نسبت به گروه شاهد نشان داد ( $P < 0.05$ ). با توجه به نتایج گزارش شده، مکمل کردن آهن آلی به‌صورت خوراکی در گوساله‌های شیرخوار هیچ تاثیری بر غلظت متابولیت‌های خون (کلسترول، تری‌گلیسرید، اوره، پروتئین تام، آلومین و گلوبولین) در میان گروه‌های آزمایشی نداشت. مشابه با

نتایج مربوط به غلظت عناصر معدنی موجود در سرم در جدول ۵ گزارش شده است. سطح آهن در گروه‌های دارای مکمل آهن نسبت به گروه شاهد، تفاوت معنی‌دار نشان داد. همچنین، افزودن مکمل آهن آلی باعث کاهش معنی‌دار غلظت مس پلاسما شد و غلظت فسفر در گروه مکمل آهن کیلاته با اسیدهای آمینه نسبت به دو گروه دیگر، کاهش معنی‌داری داشت ( $P < 0.05$ ). با این حال، غلظت کلسیم و روی تحت تأثیر مکمل‌های آهن آلی قرار نگرفت. غلظت آهن خون در گوساله‌های جوان متفاوت است و می‌تواند دامنه وسیعی از ۵۵/۸۴ میکروگرم در دسی‌لیتر تا ۱۶۷/۵۳ میکروگرم در دسی‌لیتر را پوشش دهد (Kupczyński et al., 2017). از طرفی، ساز و کار جذب آهن در اوایل زندگی کامل نیست و این ممکن است بر غلظت آهن تأثیر بگذارد. در هفته اول زندگی، غلظت آهن خون کاهش می‌یابد (Rajabian et al., 2017)، که ضرورت مصرف مکمل آهن را تایید می‌کند. آهن یک عنصر کمیاب ضروری مربوط به رشد است و برای فعالیت‌های سوخت و سازی مختلف مانند کوفاکتورهای آنزیمی، حیاتی است. بر اساس مطالعه حاضر، هر دو مکمل آهن آلی، اثر آماری یکسانی بر غلظت آهن سرم داشتند. لازم به ذکر است که اولین علامت کمبود آهن کاهش غلظت آهن خون است که در گوساله‌های پرورش یافته با شیر جایگزین به‌دلیل داشتن آهن آلی نادر است (Joerling and Doll, 2019). بر اساس (Yu et al., 2018)، استفاده از آهن آلی (آهن باند شده با اسیدهای آمینه) منجر به افزایش آهن سرم خوک شد که می‌تواند بر رشد حیوانات تأثیر بگذارد و با بیماری‌ها و عفونت‌هایی که در خوکچه‌ها مشاهده می‌شود، مبارزه کند. مطابق با یافته‌های Asadi et al. (2022)، استفاده از آهن آلی برای بره‌ها منجر به سطوح بالای آهن شد. از آنجایی که آهن یک ماده مغذی کلیدی است که در سلامت و ایمنی نقش دارد، سطوح مناسب آن برای پاسخ‌های ایمنی مطلوب مورد نیاز است (Mohus et al., 2018). سایر مواد معدنی، با استفاده از آهن آلی در شیر منجر به کاهش غلظت مس، کلسیم و فسفر پلاسما شدند. برخی از مواد معدنی مانند روی، کلسیم، مس و کروم در رابطه تضاد با آهن هستند، بنابراین فراوانی آنها منجر به مشکل در جذب آهن می‌شود (Angelova et al., 2014). از جنبه‌های دیگر، برخی از مواد معدنی در ارتباط هم‌افزایی با آهن هستند که می‌تواند ابزار مفیدی برای تشخیص علت کمبود آهن باشد. کمبود مواد معدنی که در رابطه هم‌افزایی

(Wang *et al.*, 2020). تزریق عضلانی ۵۰۰ میلی گرم آهن دکستران در روز دوم زندگی در گوساله‌های شیرخوار هلستاین، تفاوت معنی‌داری در غلظت‌های پروتئین تام، آلومین، اسید اوریک و کلسترول نشان نداد (Khaleghnia *et al.*, 2021). در مطالعه‌ای دیگر، افزودن آهن آلی منجر به افزایش قابل توجهی در کل پروتئین‌های سرم و گلوبولین در روزهای ۲۱، ۲۸ و ۳۵، و همچنین، تغییرات قابل توجهی در آلومین سرم شد (Eisa and Elgebal, 2010).

نتایج این پژوهش، تزریق ۵۰۰ میلی گرم آهن به‌تنهایی و همچنین، تزریق آهن و ویتامین A به‌طور همزمان به گوساله‌های شیرخوار در ۲۴-۴۸ ساعت پس از تولد، هیچ تأثیری بر غلظت‌های پروتئین تام، آلومین، گلوبولین و نسبت آلومین به گلوبولین در بین تیمارهای آزمایشی نداشت (Moosavian *et al.*, 2010). همچنین، تجویز خوراکی مقدار ۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی گرم آهن به شکل آهن سولفات منوهیدرات ( $\text{FeSO}_4\text{H}_2\text{O}$ ) در کیلوگرم جیره در گوسفند، تفاوت معنی‌داری در غلظت-های پروتئین تام و آلومین پلاسماي خون نشان نداد.

جدول ۵- اثر مکمل آهن بر غلظت مواد معدنی خون در گوساله‌های شیرخوار

Table 5. Effect of iron supplement on blood minerals of suckling calves

| Blood minerals              | Control            | Iron supplement with |                     | SEM    | P-value |
|-----------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|--------|---------|
|                             |                    | Organic acid         | Amino acid          |        |         |
| Iron ( $\mu\text{g/dL}$ )   | 57.16 <sup>b</sup> | 108.09 <sup>a</sup>  | 122.01 <sup>a</sup> | 14.647 | 0.0379  |
| Zinc ( $\mu\text{g/dL}$ )   | 67.50              | 65.00                | 73.33               | 5.388  | 0.5462  |
| Copper ( $\mu\text{g/dL}$ ) | 64.13 <sup>a</sup> | 55.55 <sup>b</sup>   | 57.01 <sup>b</sup>  | 3.629  | 0.0482  |
| Calcium (mg/dL)             | 10.33              | 10.43                | 10.30               | 0.210  | 0.8743  |
| Phosphorus (mg/dL)          | 6.21 <sup>a</sup>  | 6.01 <sup>ab</sup>   | 5.63 <sup>b</sup>   | 0.301  | 0.0337  |

<sup>a-b</sup> Different superscript letters in the same row represent a significant difference ( $P < 0.05$ ).

SEM: Standard error of the means

جدول ۶- اثر مکمل آهن بر فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون گوساله‌های شیرخوار

Table 6. Effect of iron supplement on biochemical parameters of suckling calves

| Blood biochemicals    | Control            | Iron supplement with |                     | SEM   | P-value |
|-----------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-------|---------|
|                       |                    | Organic acid         | Amino acid          |       |         |
| Glucose (mg/dL)       | 91.33 <sup>b</sup> | 114.33 <sup>a</sup>  | 109.30 <sup>a</sup> | 4.218 | 0.0001  |
| Urea (mg/dL)          | 27.16              | 28.33                | 24.84               | 1.241 | 0.6155  |
| Triglyceride (mg/dL)  | 40.33              | 43.50                | 39.82               | 1.205 | 0.4478  |
| Cholesterol (mg/dL)   | 114.82             | 111.16               | 124.84              | 6.947 | 0.1299  |
| Total protein (gr/dL) | 6.95               | 6.83                 | 7.20                | 0.888 | 0.4874  |
| Albumin (gr/dL)       | 3.88               | 3.88                 | 3.95                | 0.124 | 0.6748  |
| Globulin (gr/dL)      | 3.06               | 2.95                 | 3.25                | 0.111 | 0.6748  |
| Albumin: Globulin     | 1.27               | 1.32                 | 1.22                | 0.049 | 0.6137  |

<sup>a-b</sup> Different superscript letters in the same row represent a significant difference ( $P < 0.05$ ).

SEM: Standard error of the means

گوساله‌ها متمرکز شود. برای مطالعات آینده در مورد سوخت و ساز آهن در حیوانات پیش‌نسخ‌خور، در نظر گرفتن تفاوت عملکردی در جذب آهن و تأثیر این عنصر در بدن بر ارزیابی ژنوم توصیه می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، دریافت آهن کیلاته حاوی اسید آمینه به‌دلیل بهبود در عملکرد گوساله‌های شیرخوار، قابل توصیه است.

### تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از گروه علوم دامی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به‌واسطه فراهم نمودن امکانات

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که مکمل آهن آلی کیلات با اسیدهای آمینه باعث افزایش غلظت آهن سرم، افزایش وزن روزانه و کاهش ضریب تبدیل در مقایسه با گروه شاهد می‌شود. همچنین، این مکمل سبب بهبود وضعیت سلامت عمومی گوساله و مصرف خوراک شد. نتایج به‌دست‌آمده از گروه شاهد نشان می‌دهد که میزان آهن موجود در شیر، نیازهای اولیه آهن را برآورده می‌کند. بنابراین، افزایش آهن از راه مصرف مکمل‌ها باعث بهبود عملکرد دام می‌شود. کارآزمایی‌های بیشتر باید روی غلظت بالای آهن در جیره

آموزشی و آزمایشگاهی جهت انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

## فهرست منابع

- Ali Arabi, H., Zand, N., Bahari, A. A., Hajivaliei, M., & Zaboli, K. (2018). Effect of iron source on performance, some minerals, thyroid hormones and blood metabolites of Mehraban male lambs. *Journal of Animal Science Research*, 28(1), 77-92. [In Persian]
- 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. doi: 10.3390/ani10050853
- Angelova, M. G., Petkova-Marinova, T. V., Pogorielov, M. V., Loboda, A. N., Nedkova-Kolarova, V. N., & Bozhinova, A. N. (2014). Trace element status (iron, zinc, copper, chromium, cobalt, and nickel) in iron-deficiency anaemia of children under 3 years. *Anemia*, 2014, 718089. doi: 10.1155/2014/718089
- Arredondo, M., & Núñez, M. T. (2005). Iron and copper metabolism. *Molecular Aspects of Medicine*, 26(4-5), 313-327. doi: 10.1016/j.mam.2005.07.010
- 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. doi: 10.22034/AS.2021.36647.1526 [In Persian]
- Asadi, M., Toghdory, A., & Ghoorchi, T. (2018). Effect of oral administration and injection of selenium and vitamin E on performance, blood metabolites and digestibility of nutrients in suckling Dalagh lambs. *Research on Animal Production*, 9(20), 79-87. doi: 10.29252/rap.9.20.79 [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. doi: 10.3390/ani12040510
- Baqui, A. H., Zaman, K., Persson, L. A., Arifeen, S. E., Yunus, M., Begum, N., & Black, R. E. (2003). Simultaneous weekly supplementation of iron and zinc is associated with lower morbidity due to diarrhea and acute lower respiratory infection in Bangladeshi infants. *The Journal of Nutrition*, 133(12), 4150-4157. doi: 10.1093/jn/133.12.4150
- Bostedt, H., Hospes, R., Wehrend, A., & Schramel, P. (2000). Effects of the parenteral administration of iron preparations on the iron supply status during the early development period of calves. *Tierärztliche Umschau*, 55(6), 305-315.
- Bunger, U., Schmoldt, P., & Ponge, J. (1986). Oral and parenteral control of iron deficiency in relation to the course diseases in milk fed calves originating from different farms. *Monatshefte für Veterinärmedizin*, 41(3), 2-3.
- Compinis, W., Sirinupongsanan, W., Verasilpa, T., Meulen, U., Worachai, L., Khanthapanit, C., & Jaturasitha, S. (2002). Effect of soybean protein in milk replacers on veal calf performance. Conference on International Agricultural Research for Development.
- Cui, K., Tu, Y., Wang, Y. C., Zhang, N. F., Ma, T., & Diao, Q. Y. (2016). Effects of a limited period of iron supplementation on the growth performance and meat colour of dairy bull calves for veal production. *Animal Production Science*, 57(4), 778-784. doi: 10.1071/AN15388
- De Romaña, D. L., Olivares, M., Uauy, R., & Araya, M. (2011). Risks and benefits of copper in light of new insights of copper homeostasis. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 25(1), 3-13. doi: 10.1016/j.jtemb.2010.11.004
- Eisa, A. M., & Elgebal, L. S. (2010). Effect of ferrous sulphate on haematological, biochemical and immunological parameters in neonatal calves. *Veterinaria Italiana*, 46(3), 329-335.
- Ettle, T., Schlegel, P., & Roth, F. X. (2008). Investigations on iron bioavailability of different sources and supply levels in piglets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 92(1), 35-43. doi: 10.1111/j.1439-0396.2007.00707.x
- Ferreira, L. S., Bittar, C. M. M., Silva, J. T., Soares, M. C., Oltramari, C. E., Nápoles, G. G. O., & Paula, M. R. (2013). Performance and plasma metabolites of dairy calves fed a milk replacer or colostrum silage. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 65, 1357-1366. doi: 10.1590/S0102-09352013000500013
- Hamedi, M., Tahmasbi, A., & Nasserian, A. (2022). Performance response of neonatal calves to milk enriched with organic iron. *Journal of Livestock Science and Technologies*, 10(2), 9-18. doi: 10.22103/JLST.2022.19596.1412
- 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. doi: 10.3168/jds.2009-2341
- Harvey, J. W. (2008). Iron metabolism and its disorders. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*, 6, 259-285.
- 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. doi: 10.1007/s11259-008-9058-6
- Humphries, W. R., Phillippo, M., Young, B. W., & Bremner, I. (1983). The influence of dietary iron and molybdenum on copper metabolism in calves. *British Journal of Nutrition*, 49(1), 77-86. doi: 10.1079/BJN19830013
- 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. doi: 10.4314/ovj.v9i2.14
- Kadis, S., Udeze, F. A., Polanco, J., & Dreesen, D. W. (1984). Relationship of iron administration to susceptibility of newborn pigs to enterotoxigenic colibacillosis. *American Journal of Veterinary Research*, 45(2), 255-259.
- Khaleghnia, N., Mohri, M., & Seifi, H. A. (2021). The effects of parenteral iron administration on thyroid hormones, hematology, oxidative stress characteristics, performance, and health in neonatal Holstein calves. *Biological Trace Element Research*, 199, 1823-1832. doi: 10.1007/s12011-020-02293-7
- Khan, M. A., Lee, H. J., Lee, W. S., Kim, H. S., Kim, S. B., Ki, K. S., Ha, J. K., Lee, H. G., & Choi, Y. J. (2007). Pre-and postweaning performance of Holstein female calves fed milk through step-down and conventional methods. *Journal of Dairy Science*, 90(2), 876-885. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(07)71571-0
- Khan, M. A., Weary, D. M., & Von Keyserlingk, M. A. G. (2011). Invited review: Effects of milk ration on solid feed intake, weaning, and performance in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 94(3), 1071-1081. doi: 10.3168/jds.2010-3733
- Kume, S. I., & Tanabe, S. (1996). Effect of supplemental lactoferrin with ferrous iron on iron status of newborn calves. *Journal of Dairy Science*, 79(3), 459-464. doi: 10.3168/jds.s0022-0302(96)76386-5
- Kupczyński, R., Bednarski, M., Śpitalniak, K., & Pogoda-Sewerniak, K. (2017). Effects of protein-iron complex concentrate supplementation on iron metabolism, oxidative and immune status in preweaning calves. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(7), 1501. doi: 10.3390/ijms18071501
- Layrisse, M., García-Casal, M. N., Solano, L., Barón, M. A., Arguello, F., Llovera, D., & Tropper, E. (2000). Iron bioavailability in humans from breakfasts enriched with iron bis-glycine chelate, phytates and polyphenols. *The Journal of Nutrition*, 130(9), 2195-2199. doi: 10.1093/jn/130.9.2195
- Lee, S. H., Shinde, P., Choi, J., Park, M., Ohh, S., Kwon, I. K., & Chae, B. J. (2008). Effects of dietary iron levels on growth performance, hematological status, liver mineral concentration, fecal microflora, and diarrhea incidence in weanling pigs. *Biological Trace Element Research*, 126, 57-68. doi: 10.1007/s12011-008-8209-5
- Li, Y., Yang, W., Dong, D., Jiang, S., Yang, Z., & Wang, Y. (2018). Effect of different sources and levels of iron in the diet of sows on iron status in neonatal pigs. *Animal Nutrition*, 4(2), 197-202. doi: 10.1016/j.aninu.2018.01.002
- Lönnerdal, B. (2010). Calcium and iron absorption—mechanisms and public health relevance. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 80(4), 293. doi: 10.1024/0300-9831/a000036
- Marcondes, M. I., & Silva, A. L. (2021). Determination of energy and protein requirements of preweaned dairy calves: A multistudy approach. *Journal of Dairy Science*, 104(11), 11553-11566. doi: 10.3168/jds.2021-20272
- 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. doi: 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.
- 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. doi: 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. doi: 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. doi: 10.1007/s00580-004-0523-5
- Mohus, R. M., Paulsen, J., Gustad, L., Askim, Å., Mehl, A., DeWan, A. T., & Damås, J. K. (2018). Association

- of iron status with the risk of bloodstream infections: results from the prospective population-based HUNT Study in Norway. *Intensive Care Medicine*, 44, 1276-1283. doi: 10.1007/s00134-018-5320-8
- Moosavian, H. R., Mohri, M., & Seifi, H. A. (2010). Effects of parenteral over-supplementation of vitamin A and iron on hematology, iron biochemistry, weight gain, and health of neonatal dairy calves. *Food and Chemical Toxicology*, 48(5), 1316-1320. doi: 10.1016/j.fct.2010.02.030
- Nakao, M., Yamamoto, H., Nakahashi, O., Ikeda, S., Abe, K., Masuda, M., & Taketani, Y. (2015). Dietary phosphate supplementation delays the onset of iron deficiency anemia and affects iron status in rats. *Nutrition Research*, 35(11), 1016-1024. doi: 10.1016/j.nutres.2015.09.001
- National Research Council. (2001). Nutrient Requirements for Dairy Cattle. 7th Rev. edn. National Academies Press, Washington, DC, USA.
- Osorio, J. S., Trevisi, E., Li, C., Drackley, J. K., Socha, M. T., & Loor, J. J. (2016). Supplementing Zn, Mn, and Cu from amino acid complexes and Co from cobalt glucoheptonate during the periparturient period benefits postparturient cow performance and blood neutrophil function. *Journal of Dairy Science*, 99(3), 1868-1883. doi: 10.3168/jds.2015-10040
- Prabowo, A., Spears, J. W., & Goode, L. (1988). Effects of dietary iron on performance and mineral utilization in lambs fed a forage-based diet. *Journal of Animal Science*, 66(8), 2028-2035. doi: 10.2527/jas1988.6682028x
- Qadeer, M. K., Bhatti, S. A., Nawaz, H., & Khan, M. S. (2021). Effect of milk or milk replacer offered at varying levels on growth performance of Friesian veal calves. *Tropical Animal Health and Production*, 53, 1-8. doi: 10.1007/s11250-021-02666-7
- Radwinska, J., & Zarczynska, K. (2014). Effects of mineral deficiency on the health of young ruminants. *Journal of Elementology*, 19(3), 915-928. doi: 10.5601/jelem.2014.19.2.620
- 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>
- Regula, J., Krejpcio, Z., & Staniek, H. (2010). Bioavailability of iron from cereal products enriched with dried shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) as determined by iron regeneration efficacy method in female rats. *Journal of Medicinal Food*, 13(5), 1189-1194. doi: 10.1089/jmf.2009.0200
- Santos, F. H. R., De Paula, M. R., Lezier, D., Silva, J. T., Santos, G., & Bittar, C. M. M. (2015). Essential oils for dairy calves: effects on performance, scours, rumen fermentation and intestinal fauna. *Animal*, 9(6), 958-965. doi: 10.1017/S175173111500018X
- SAS Institute. (2004). User's Guide. Version 9.1: Statistics. SAS Institute, Cary, NC.
- Sefdein, S. M. (2017). Effect of dietary iron on copper metabolism in sheep. Doctoral dissertation, Harper Adams University.
- Toghdari, A., Asadi, M., Hatami, M., & Ghasmi Nejad, J. (2022). The effect of weaning 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. doi: 10.52547/rap.13.36.66 [In Persian]
- Van den Top, A. M. (2005). Reviews on the mineral provision in ruminants (I): Calcium Metabolism and Requirements in Ruminants. Productschap Diervoeder.
- Völker, H., & Rotermund, L. (2000). Possibilities of oral iron supplementation for maintaining health status in calves. *DTW. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*, 107(1), 16-22.
- Wagenaar, J. P. T. M., & Langhout, J. (2007). Practical implications of increasing 'natural living' through suckling systems in organic dairy calf rearing. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 54(4), 375-386. doi: 10.1016/S1573-5214(07)80010-8
- Walczyk, T., Muthayya, S., Wegmüller, R., Thankachan, P., Sierksma, A., Frenken, L. G., & Hurrell, R. F. (2014). Inhibition of iron absorption by calcium is modest in an iron-fortified, casein-and whey-based drink in Indian children and is easily compensated for by addition of ascorbic acid. *The Journal of Nutrition*, 144(11), 1703-1709. doi: 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. doi: 10.1111/jpn.13225
- Wessling-Resnick, M. (2017). Iron: Basic nutritional aspects. In *Molecular, genetic, and nutritional aspects of major and trace minerals*. Academic Press. Pp. 161-173.
- 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. doi: 10.1016/j.aninu.2021.06.007
- Wysocka, D., Snarska, A., & Sobiech, P. (2020). Iron in cattle health. *Journal of Elementology*, 25(3), 1175-1185. doi: 10.5601/jelem.2020.25.2.1960
- 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. doi: 10.3390/metabo11120890
- Yasui, T., Ryan, C. M., Gilbert, R. O., Perryman, K. R., & Overton, T. R. (2014). Effects of hydroxy trace minerals on oxidative metabolism, cytological endometritis, and performance of transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3728-3738. doi: 10.3168/jds.2013-7331
- Yu, B., Huang, W. J., & Chiou, P. W. S. (2000). Bioavailability of iron from amino acid complex in weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 86(1-2), 39-52. doi: 10.1016/S0377-8401(00)00154-1