نشریه پژوهش‌های علوم دامی/ جلد ۲۸ شماره ۱/ سال۱۳۹۷/ صفحات ۷۷ تا ۹۲

# اثر نوع مکمل آهن بر عملکرد، ترکیب برخی از عناصر معدنی، هورمون‌های تیروئیدی و فراسنجه‌های خون بره‌های نر مهربان

**حسن علی‌عربی[1*]، نسرین زند[2]، علی اصغر بهاری[3]، مهدی حاجی ولیئی[4] و خلیل زابلی[5]**

تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۹ تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۲۹

[1] دانشیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

[2] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد تغذیه دام، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

[3] دانشیار گروه علوم درمانگاهی، دانشکده پیرا دامپزشکی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

[4] دانشیار گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

[5] استادیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

[*] مسئول مکاتبه : Email: h_aliarabi@yahoo.com

**چکیده**

**زمینه مطالعاتی:** عنصر آهن در بدن نقش‌هایی دارد و ممکن است تأثیر انواع منابع آن در جیره غذایی دام متفاوت باشد. **هدف:** این آزمایش به‌منظور بررسی اثر دو نوع مکمل آهن (نانو اکسید آهن و سولفات آهن) بر عملکرد و غلظت برخی از عناصر معدنی، هورمون‌های تیروئیدی و فراسنجه‌های هماتولوژی در خون بره‌های در حال رشد انجام شد. **روش کار:** تعداد ۳۰ رأس بره نر مهربان (با میانگین وزن زنده ۱/۵۱ ± ۲۷/۱۰ کیلوگرم) در ۵ تیمار آزمایشی به مدت ۶۰ روز استفاده شدند. تیمارهای آزمایشی شامل شاهد (فاقد مکمل آهن) و چهار جیره دیگر که به ترتیب مقادیر ۲۵ و ۵۰ میلی-گرم در کیلوگرم نانو اکسید آهن یا سولفات آهن به جیره پایه افزوده شده بود. وزن کشی دام‌ها هر ۱۵ روز یکبار و خونگیری در روزهای ۳۰ و ۶۰ آزمایش انجام شد. **نتایج:** ماده خشک مصرفی و وزن نهایی در تیمارهای مکمل شده با آهن و میانگین افزایش وزن روزانه در تیمارهای مکمل شده با نانو اکسید آهن به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بود ($P<0/05$). مکمل آهن سبب کاهش معنی‌دار غلظت مس در روز ۶۰ نمونه‌گیری و افزایش غلظت آهن پلاسما در هر دو دوره نمونه‌گیری از خون شد ($P<0/05$). اما غلظت عناصر روی، کلسیم و فسفر در پلاسما تحت تأثیر مکمل آهن قرار نگرفت. استفاده از مکمل آهن سبب افزایش معنی‌دار تعداد گلبول های قرمز خون و غلظت هموگلوبین شد ($P<0/05$). غلظت هورمون‌های $T_3$ و $T_4$در تیمارهای مکمل شده نیز به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بود ($P<0/05$). **نتیجه-گیری نهایی:** نتایج حاصل نشان داد هر چند که استفاده از مکمل آهن سبب بهبود عملکرد بره‌ها شد، اما بین دو نوع مکمل استفاده شده تفاوت معنی‌داری در ارتباط با عملکرد و هورمون‌های تیروئیدی در پایان دوره مشاهده نشد. اما مکمل نانو آهن نسبت به سولفات آهن بر شاخص‌های هماتولوژی موثر تر بود.

**واژگان کلیدی :** افزایش وزن، سولفات آهن، گوسفند، نانو اکسید آهن

**مقدمه**

مواد معدنی در فعالیت بیومولکول‌های زیادی از قبیل هورمون‌ها، آنزیم‌ها و در ساختمان بدن نقش دارند. از این‌رو باید مقدار کافی از این ترکیبات در خوراک مصرفی دام‌ها گنجانده شود (ساتل ۲۰۱۰). گزارش‌های متعددی در خصوص کمبود مواد معدنی در حیوانات اهلی ارائه شده است. مهم‌ترین عاملی که سبب کمبود این ترکیبات در بدن می‌گردد، مصرف ناکافی آن‌ها از طریق جیره و یا حضور آنتاگونیست‌ها در خوراک مصرفی می‌باشد (آندروود و ساتل ۱۹۹۹). نقش عناصر کم مصرف در تنظیم فرآیندهای متابولیکی در بدن به‌خوبی شناخته شده است. بیشتر این عناصر از قبیل روی، مس و آهن نقش فعالی در رشد و تولید مثل حیوانات بازی می‌کنند (آندروود و ساتل ۱۹۹۹). متاسفانه در بیشتر مناطق کشور ما، غلظت برخی از این عناصر کم مصرف در خاک اندک می‌باشد و یا اینکه آنتاگونیست آن‌ها با سایر عناصر موجود در خاک، مانع از جذب این عناصر توسط گیاه می‌شود. در چنین شرایطی استفاده از این گیاهان توسط دام‌ها سبب می‌شود که نیاز آن‌ها به این عناصر تأمین نگردد. برای رفع این مشکل بایست عناصر مورد نظر به صورت مکمل به جیره غذایی دام‌ها اضافه گردد. یکی از عناصر کم مصرف، عنصر آهن می‌باشد. عنصر آهن در تعداد زیادی از واکنش‌های بیوشیمیایی بدن نقش دارد. فراهم کردن آهن در جیره سبب افزایش پارامترهای هماتولوژی و بهبود رشد گوساله و بره می‌شود (مهری و همکاران ۲۰۰٤). همچنین، وجود آهن در جیره غذایی برای اشتها، ترشح هورمون‌های تیروئیدی و متابولیسم گلوکز لازم و ضروری است (ساتل ۲۰۱۰). در رابطه با اثر مکمل آهن بر غلظت عناصر موجود در خون نیز گزارشات متعددی وجود دارد. بر اساس نظر آندروود و ساتل (۱۹۹۹) مصرف آهن از طریق رابطه آنتاگونیسیتی با جذب عنصر مس، سبب کاهش غلظت مس پلاسما می‌شود. مهری و همکاران (۲۰۰٤) گزارش کردند که مصرف مکمل آهن در گوساله‌های شیرخوار سبب افزایش غلظت آهن در سرم خون شد. طبق نظر هارو و همکاران (۲۰۰۹) مصرف ٦۰۰ میلی‌گرم آهن در جیره بره‌های پرواری سبب کاهش غلظت کلسیم و فسفر پلاسما شد. میلتنبرگ و همکاران (۱۹۹۱) گزارش کرد که مصرف آهن در جیره گوساله‌ها سبب افزایش تعداد گلبول‌های قرمز و غلظت هموگلوبین شد. بر اساس نظر زیمرمن (۲۰۰٦) نیز کمبود آهن در بدن سبب کاهش غلظت هورمون‌های $T_3$ و $T_4$ در خون می‌شود.

اخیراً ترکیباتی با عنوان نانو ذرات با استفاده از علم نانوتکنولوژی به بازار عرضه شده‌اند. تغییر اندازه ذرات به نانو ذره (اندازه کمتر از ۱۰۰ نانومتر) سبب افزایش نسبت سطح به حجم و تغییر در سایر خصوصیات آن‌ها می‌شود. افزایش سطح تماس در نانو ذرات اجازه می‌دهد که فعل و انفعالات آنها با مولکول‌های آلی و غیرآلی به‌صورت متفاوتی صورت گیرد (فرانسیسکو و همکاران ۲۰۰۸). یکی از این ترکیبات، نانو اکسید آهن است که در عرصه‌های مختلف صنعتی و حتی به‌عنوان افزودنی خوراکی از آن استفاده می‌شود (سونگ و همکاران ۲۰۱۰). طبق آزمایشات انجام شده توسط نیکانوو و همکاران (۲۰۱۱) استفاده از مکمل آهن به شکل نانو اکسید آهن در جیره طیور، سبب افزایش وزن روزانه گردید و هیچگونه اثر مخرب و مسمومیت در پی نداشت. همچنین، تمام پارامترهای خونی و بافتی نیز در مقایسه با تیمار شاهد، در حد طبیعی بود. اما در زمینه اثرات مصرف نانو ذرات آهن در جیره نشخوارکنندگان تحقیقی در دسترس ما قرار نگرفت. لذا آزمایش حاضر طراحی و اجرا گردید تا اثر مکمل نانو ذرات آهن بر عملکرد و برخی پارامترهای خونی بره‌های نر مهربان بررسی شوند.

**مواد و روش‌ها**

حیوانات، جیره‌ها و نحوه تغذیه: در این آزمایش از تعداد ۳۰ رأس بره نر مهربان ۰/۵± ٤ ماهه با میانگین وزن زنده ۱/۵۱±۲۷/۱ کیلوگرم در داخل جایگاه‌های انفرادی به مدت ٦۰ روز استفاده شد. جیره غذایی دام‌ها بر اساس توصیه NRC (۲۰۰۷) و مطابق نیاز آن‌ها تنظیم شد. مکمل آهن به دو شکل سولفات آهن (تهیه شده از شرکت مرک آلمان) و نانو اکسید آهن (تهیه شده از شرکت نوترینو، تهران با اندازه ذرات بین ۱۰۰-۲۰ نانومتر) بودند که به جیره پایه اضافه شدند.

تیمارهای آزمایشی شامل ۱) جیره پایه (شاهد)، ۲) جیره پایه به‌علاوه ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم آهن به‌صورت نانو اکسید آهن، ۳) جیره پایه به‌علاوه ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم آهن به‌صورت نانو اکسید آهن، ٤) جیره پایه به‌علاوه ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم آهن به‌صورت سولفات آهن و ۵) جیره پایه به‌علاوه ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم آهن به‌صورت سولفات آهن بودند. جیره‌ها در دو نوبت صبح (ساعت ۸) و عصر (ساعت ۱٦) در اختیار دام‌ها قرار گرفت (جدول ۱). برای این منظور مقدار خوراک روزانه طوری تنظیم شد که ۱۰ درصد باقیمانده داشته باشد (NRC ۲۰۰۷). پیش از شروع آزمایش جهت سازگاری با محیط و جیره آزمایشی، کلیه بره‌ها به مدت ۲۱ روز با جیره شاهد تغذیه شدند. در کل دوره پیش آزمایش و نیز دوره اصلی آزمایش، آب آشامیدنی تمیز به‌طور آزاد در اختیار دام‌ها قرار گرفت.

**جدول ۱- ترکیب شیمیایی مواد خوراکی و جیره پایه**

**Table 1- Chemical composition of the feedstuffs and basal diet**

| مواد مغذی<br>Nutrients | یونجه<br>Alfalfa | دانه جو<br>Barley grain | کنجاله سویا<br>Soybean meal | جیره پایه [1]<br>Basal diet [1] |
|---|---|---|---|---|
| ماده خشک<br>Dry matter (%) | 92.50 | 93.92 | 94.37 | 93.54 |
| ماده آلی<br>Organic matter (%DM) | 92.52 | 94.40 | 93.47 | 93.85 |
| پروتئین خام<br>Crude protein (%DM) | 15.94 | 11.91 | 45.82 | 13.87 |
| چربی خام<br>Ether extract (%DM) | 1.75 | 1.90 | 1.79 | 1.85 |
| الیاف نامحلول در شوینده خنثی<br>Neutral detergent fiber (%DM) | 48.96 | 19.8 | 28.10 | 28.03 |
| الیاف نامحلول در شوینده اسیدی<br>Acid detergent fiber (%DM) | 32.42 | 8.38 | 9.85 | 15.04 |
| کربوهیدرات‌های غیر فیبری<br>Non fiber carbohydrate (%DM) | 25.87 | 60.79 | 17.76 | 50.10 |
| انرژی قابل متابولیسم<br>Metabolizable energy [2] (Mcal/kg) | 2.00 | 3.00 | 3.00 | 2.73 |

۱- جیره پایه شامل ۲۷/۵ درصد یونجه، ۷۰ درصد دانه جو و ۲/۵ درصد کنجاله سویا بود.

۲- انرژی قابل متابولیسم (مگا کالری بر کیلوگرم ماده خشک) بر اساس جداول ان آر سی (۲۰۰۷) محاسبه شد.

1- Basal diet was included 27.5% alfalfa, 70% barley grain and 2.5% soybean meal.

2- Metabolizable Energy (Mcal/kg) was calculated based on NRC (2007)

در شروع آزمایش، بره‌ها طی ۲ روز متوالی و با ۱٦ ساعت محرومیت از آب و خوراک، پیش از خوراک‌دهی صبح توزین شدند و میانگین وزن دو روز به عنوان وزن روز صفر برای هر دام در نظر گرفته شد (زابلی و همکاران ۲۰۱۳). جمع‌آوری نمونه‌ها و ثبت مشاهدات: همه بره‌ها هر ۱۵ روز یکبار (در ۲ روز متوالی) پیش از خوراک‌دهی صبح (با محرومیت غذایی ۱٦ ساعته) توزین شدند تا تغییرات وزن زنده مشخص گردد. در روزهای ۳۰ و ٦۰ پیش از خوراک‌دهی صبح، عملیات خون‌گیری از طریق ورید وداج از تمام بره‌ها انجام شد. خون گرفته شده در یک لوله حاوی هپارین جمع‌آوری شد. برای به‌دست آوردن پلاسما، نمونه خون به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانتریوفوژ شد و جهت آزمایشات بعدی در دمای ۸۰- قرار داده شدند (دزفولیان و علی‌عربی ۲۰۱٦). برای تعیین پارامترهای هماتولوژی، مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر از خون هپارینه به درون میکروتیوب‌های ۱/۵ میلی‌لیتری ریخته شد، بلافاصله به آزمایشگاه تشخیص طبی فرستاده شد و با استفاده از دستگاه سلول‌شمار اتوماتیک (مدل Diatron Abacus c2.8، ساخت اتریش) پارامترهای هماتولوژی تعیین گردید.

روش آنالیز نمونه‌ها: نمونه‌های مربوط به تعیین ماده خشک و ترکیب شیمیایی (چربی خام، ماده آلی و پروتئین خام) در خوراک به‌روش AOAC (۲۰۰۰) و مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) نیز به ترتیب طبق روش ون‌سوست و همکاران (۱۹۹۱) و ون‌سوست (۱۹٦۳) آنالیز شد. جهت تعیین مقدار مواد معدنی (کلسیم، فسفر، روی، آهن و مس) نمونه‌های خوراک، پیش از هضم اسیدی در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه به مدت ٤ ساعت سوزانده شدند. نمونه‌های مربوط به تعیین فسفر نیز در دمای ٤۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت قرار گرفتند (ژانگ و همکاران ۲۰۰۸). غلظت عناصر آهن، روی و مس در نمونه‌های خوراک و پلاسما با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Varian Spectr AA 200 استرالیا)، کلسیم و فسفر نمونه‌ها نیز به‌روش AOAC (۲۰۰۰) تعیین شد. غلظت هورمون‌های تیروئید با استفاده از کیت الایزای ساخت شرکت پیشتاز طب و بر اساس سنجش ایمونولوژیکی آنزیمی رقابتی و با استفاده از دستگاه الایزا (مدل ELX808 Bio Tek، ساخت آمریکا) مطابق دستورالعمل مربوطه اندازه گیری شد.

آنالیز آماری داده‌ها: داده‌ها با استفاده از رویه GLM و با استفاده از نرم‌افزار SAS آنالیز شدند (SAS ۲۰۰۱). مدل آماری استفاده شده $Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$ بود که در آن $Y_{ij}$ مقدار مشاهده تیمار $i$ ام در تکرار $j$ ام، $\mu$ اثر میانگین، $T_i$ اثر تیمار $i$ ام و $e_{ij}$ اثرخطای آزمایش مربوط به تیمار $i$ ام در تکرار $j$ ام بود. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح خطای ۵ درصد انجام گرفت.

## نتایج و بحث

نتایج مربوط به اثر سطح و منبع آهن بر عملکرد بره‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. ماده خشک مصرفی در تیمارهای حاوی مکمل آهن به طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد بود ($P<۰/۰۵$). هم‌چنین، میانگین افزایش وزن روزانه در تیمارهای مکمل شده با نانو اکسید آهن (تیمارهای ۲ و ۳) نیز به طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد بود ($P<۰/۰۵$). وزن نهایی بره‌های دریافت کننده مکمل آهن به‌طور معنی‌داری بهتر از گروه شاهد بود و در این میان، نانو اکسید آهن اثر بیشتری داشت ($P<۰/۰۵$).

**جدول ۲ - اثر مکمل آهن (سولفات آهن و نانو اکسید آهن) بر عملکرد بره‌ها**

**Table 2- Effect of iron supplement (iron sulphate and nano iron oxide) on lamb's performance**

| | تیمار ۱ T 1 | تیمار ۲ T 2 | تیمار ۳ T 3 | تیمار ٤ T 4 | تیمار ٥ T 5 | مقدار p p- value | خطای استاندارد میانگین‌ها Standard error means |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| وزن اولیه Initial body weight (kg) | 30.14 | 30.51 | 29.53 | 30.15 | 29.84 | 0.2318 | 0.195 |
| ماده خشک مصرفی Dry matter intake (kg/day) | 1.23 $^{d}$ | 1.32 $^{c}$ | 1.42 $^{a}$ | 1.36 $^{bc}$ | 1.39 $^{ab}$ | 0.0001 | 0.020 |
| میانگین افزایش وزن روزانه Body weight gain mean (kg/day) | 0.19 $^{b}$ | 0.22 $^{a}$ | 0.22 $^{a}$ | 0.20 $^{ab}$ | 0.20 $^{ab}$ | 0.0200 | 0.004 |
| وزن نهایی Final body weight (kg) | 40.23 $^{c}$ | 44.26 $^{a}$ | 43.31 $^{ab}$ | 42.81 $^{b}$ | 42.54 $^{b}$ | 0.0001 | 0.259 |

تیمارهای آزمایشی شامل ۱) جیره پایه (شاهد)، ۲) جیره پایه بعلاوه ۲۵ قسمت در میلیون آهن به صورت نانو اکسید آهن، ۳) جیره پایه بعلاوه ۵۰ قسمت در میلیون آهن به صورت نانو اکسید آهن، ٤) جیره پایه بعلاوه ۲۵ قسمت در میلیون آهن به صورت سولفات آهن و ٥) جیره پایه بعلاوه ۵۰ قسمت در میلیون آهن به صورت سولفات آهن بودند. حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.

Treatments included: T1) basal diet (control), T2) control+ 25 ppm Fe as a nano iron oxide, T3) control+ 50 ppm Fe as a nano iron oxide, T4) 25 ppm Fe as a iron sulphate and T5) 50 ppm Fe as a iron sulphate.

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

مشابه نتایج مطالعه حاضر، گیزر و همکاران (۱۹۹۱) گزارش کردند که استفاده از سطوح ٤ و ۸ میلی‌لیتر کمپلکس دکستران آهن ۲۰ درصد، به‌صورت تزریقی سبب بهبود عملکرد در گوساله‌ها شد. مهری و همکاران (۲۰۰٦) نیز گزارش کردند که مصرف روزانه ۱۵۰ میلی‌گرم در روز آهن به‌صورت سولفات آهن در گوساله‌های شیرخوار به مدت ۲۸ روز، سبب شد که میانگین افزایش وزن روزانه به طور معنی‌داری افزایش یابد.

بر خلاف نتایج آزمایش حاضر، هارو و همکاران (۲۰۰۹) مقدار صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم آهن به صورت سولفات آهن به جیره پایه در بره‌های ۷ ماهه اضافه کردند و مشاهده نمودند که با اضافه کردن مکمل آهن ماده خشک مصرفی تحت تأثیر قرار نگرفت. باستدت و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که تفاوت معنی‌داری در افزایش وزن روزانه بین گوساله‌هایی که مکمل آهن دریافت کرده بودند (مقادیر ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم هیدروکلرید آهن به‌صورت تزریقی) با گروه شاهد مشاهده نشد. عبدالرحیم و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که افزودن مقدار ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم سولفات آهن به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره به مدت ۱۳۵ روز، اثر معنی‌داری بر افزایش وزن روزانه، وزن پایان دوره و خوراک مصرفی بره-های پرواری (۹-۸ ماهه) نداشت. هانسن و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند که مصرف سطح بالای مکمل آهن (۷۵۰ میلی گرم سولفات آهن به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره) در گوساله‌های در حال رشد سبب کاهش بازده مصرف خوراک در یک دوره ٥٦ روزه شد. یکی از عوامل موثر در کاهش مصرف خوراک در موقع استفاده از سطح بالای آهن به خاطر کاهش خوش‌خوراکی جیره می‌باشد (عبدالرحیم و همکاران ۲۰۱۲). اما پرابوو و همکاران (۱۹۸۸) با استفاده از مکمل آهن (به صورت کربنات آهن) در چهار سطح صفر، ۳۰۰، ٦۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک جیره در بره‌های نر نژاد سافولک و دورست اثر معنی‌داری در خوراک مصرفی و افزایش وزن روزانه

مشاهده نکردند. همچنین، مک‌گویر و همکاران (۱۹۸۵) گزارش کردند که مصرف مکمل آهن تا سطح ۱۰۰۰ قسمت در میلیون ماده خشک جیره به‌صورت کربنات آهن و سولفات آهن در گوساله‌های نر، تأثیری بر مصرف خوراک در آن‌ها نداشت. نتایج مشابهی نیز توسط میلر و همکاران (۱۹۹۱) در گوساله‌های جوان و توسط ویس و همکاران (۲۰۱۰) در گاوهای شیری در اوایل شیردهی گزارش شده است. سطح مصرف مکمل آهن در مطالعه حاضر، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک جیره بود. در حالیکه در مطالعه هانس و همکاران (۲۰۱۰) سطح آهن مصرفی ۷۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک جیره بوده است. با توجه به اثر منفی سطوح بالای آهن بر مصرف خوراک (عبدالرحیم و همکاران ۲۰۱۲)، لذا کاهش بازده مصرف خوراک در مطالعه هانس و همکاران (۲۰۱۰) توجیه‌پذیر می‌باشد. اما در خصوص مطالعات دیگر مانند عبدالرحیم و همکاران (۲۰۱۲) با توجه به اینکه حیوانات در حال رشد و با سنین پایین تر نیاز بالاتری به آهن دارند و با توجه به اینکه سن بره‌های مورد استفاده در آزمایش فوق ۸-۷ ماهه بوده است، در حالیکه در آزمایش ما، سن بره‌ها در حدود ٤ ماه بود. همانطور که بعداً اشاره خواهد شد، بر اساس اثر مثبتی که آهن بر شاخص‌های هماتولوژی و هورمون‌های تیروئیدی داشته است، لذا عملکرد بهتر و مصرف خوراک بالاتر بره‌ها در آزمایش حاضر می‌تواند توجیه پذیر باشد.

یکی از عوامل موثر بر زیست فراهمی عناصر معدنی، نوع منبع آن‌ها می‌باشد. در همین راستا، هانسن و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که استفاده از ۷۵۰ میلی‌گرم سولفات آهن به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره، در یک دوره ٥٦ روزه باعث کاهش مصرف خوراک در گوساله ها شد. اما استفاده از ٤۰۰۰ میلی‌گرم کربنات آهن به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره، اثر معنی‌داری بر مصرف خوراک گوساله ها نداشت. این محققین نتیجه‌گیری کردند که به دلیل تفاوت در میزان محلول بودن منابع مختلف آهن (به‌طوریکه میزان محلول بودن سولفات آهن بیش‌تر از کربنات آهن می‌باشد)، مقدار مصرف خوراک و افزایش وزن تحت تأثیر همین عامل قرار گرفته باشد. در رابطه با اثر نانو آهن بر عملکرد دام‌های نشخوارکننده تحقیقی مشاهده نگردید. در یک تحقیق که روی طیور انجام شده بود، استفاده از نانو اکسید آهن در جیره جوجه‌های گوشتی، باعث افزایش وزن و خوراک مصرفی در تیمارهای مکمل شده در مقایسه با تیمار شاهد شد (نیکانوو و همکاران ۲۰۱۱).

به طور کلی، با توجه به نتایج به دست آمده و مقایسه آن با تحقیقات انجام شده، می‌توان نتیجه گرفت که علت تفاوت نتایج ما با نتایج سایر محققین، احتمالاً ناشی از مقدار و نوع مکمل آهن مصرف شده، نوع جیره پایه، سن و گونه دام و البته سطح آهن در جیره پایه می‌باشد. به نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر، مقدار آهن مورد استفاده در جیره پایه برای دستیابی به سطح حداکثر تولید دام کافی نبوده است و استفاده از مکمل آهن بخصوص به صورت نانو اکسید آهن سبب بهبود عملکرد بره‌ها شده است.

نتایج مربوط به غلظت عناصر معدنی موجود در پلاسما به تفکیک روزهای نمونه‌برداری (روز ۳۰ و روز ٦۰) در جدول ۳ گزارش شده است. افزودن مکمل آهن به جیره سبب کاهش معنی‌دار غلظت مس پلاسما در هر دو زمان نمونه‌برداری (روز ۳۰ و روز ٦۰) در تیمارهای مکمل شده (به جز تیمار ۲ و روز ۳۰) در مقایسه با تیمار شاهد شد ($P<۰/۰۵$).

مشابه نتایج حاضر، در مطالعه هامفریز و همکاران (۱۹۸۳) مقدار ۸۰۰ قسمت در میلیون آهن به‌صورت کربنات آهن در جیره تلیسه‌ها به مدت ۳۲ هفته موجب کاهش غلظت مس پلاسما شد.

**جدول ۳- اثر مکمل آهن (سولفات آهن و نانو اکسید آهن) بر غلظت عناصر معدنی پلاسما (میلی‌گرم بر لیتر)**

**Table 2- Effect of iron supplement (iron sulphate and nano iron oxide) on plasma minerals concentration (mg/l)**

| عناصر معدنی Minerals | زمان نمونه-برداری Recording time | تیمار ۱ T 1 | تیمار ۲ T 2 | تیمار ۳ T 3 | تیمار ٤ T 4 | تیمار ٥ T 5 | مقدار p p- value | خطای استاندارد میانگین‌ها Standard error means |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مس Copper | روز ۳۰ Day 30 | 0.76 b | 0.74 bc | 0.91 a | 0.69 c | 0.50 d | 0.0001 | 0.017 |
| | روز ٦۰ Day 60 | 0.79 a | 0.61 b | 0.62 b | 0.58 b | 0.49 c | 0.0001 | 0.016 |
| روی Zinc | روز ۳۰ Day 30 | 1.67 | 1.63 | 1.66 | 1.65 | 1.64 | 0.6700 | 0.020 |
| | روز ٦۰ Day 60 | 1.36 | 1.25 | 1.29 | 1.31 | 1.30 | 0.1900 | 0.025 |
| آهن Iron | روز ۳۰ Day 30 | 2.23 d | 2.84 a | 2.71 ab | 2.47 c | 2.58 bc | 0.0003 | 0.045 |
| | روز ٦۰ Day 60 | 2.37 d | 3.05 a | 2.80 b | 2.58 c | 2.73 c | 0.0001 | 0.016 |
| کلسیم Calcium | روز ۳۰ Day 30 | 97.92 | 97.77 | 97.16 | 97.76 | 97.51 | 0.2500 | 0.248 |
| | روز ٦۰ Day 60 | 96.10 | 95.88 | 95.86 | 95.60 | 96.00 | 0.3700 | 0.175 |
| فسفر Phosphorus | روز ۳۰ Day 30 | 64.41 | 64.11 | 63.99 | 64.17 | 63.37 | 0.6300 | 0.387 |
| | روز ٦۰ Day 60 | 61.94 | 61.82 | 61.36 | 61.86 | 61.62 | 0.2400 | 0.215 |

تیمارهای آزمایشی شامل ۱) جیره پایه (شاهد)، ۲) جیره پایه بعلاوه ۲۵ قسمت در میلیون آهن به صورت نانو اکسید آهن، ۳) جیره پایه بعلاوه ۵۰ قسمت در میلیون آهن به صورت نانو اکسید آهن، ٤) جیره پایه بعلاوه ۲۵ قسمت در میلیون آهن به صورت سولفات آهن و ٥) جیره پایه بعلاوه ۵۰ قسمت در میلیون آهن به صورت سولفات آهن بودند. حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.

Treatments included: T1) basal diet (control), T2) control+ 25 ppm Fe as a nano iron oxide, T3) control+ 50 ppm Fe as a nano iron oxide, T4) 25 ppm Fe as a iron sulphate and T5) 50 ppm Fe as a iron sulphate.
Means with different superscript letters in rows are significantly different (P<0.05).

استاندیش و آمرمن (۱۹۷۱) گزارش کردند که مصرف ۱٦۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم آهن (به صورت سولفات آهن) در جیره گوسفندان نر، سبب شد که غلظت مس پلاسما از ۱۰٤ (میگرو گرم در ۱۰۰ میلی لیتر) در تیمار شاهد به ۷۱ در تیمار مکمل شده کاهش یابد. غلظت مس پلاسما در نشخوارکنندگان در دامنه ۰/۵۵ تا ۰/۹۵ میلی‌گرم بر لیتر قرار دارد (آندروود و ساتل ۱۹۹۹). همچنین، علیمحمدی (۲۰۱۲) و فدایی فر (۲۰۱٤) غلظت مس پلاسما در بره‌های نر در حال رشد را به ترتیب ۰/۷۷ و ۰/۷۲ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کرده اند که

مشابه به نتایج مطالعه حاضر می‌باشد. افزودن مکمل آهن به جیره (۵۰ میلی‌گرم در روز) سبب سنتز متالوتیونین در کبد و به تبع آن افزایش ماندگاری مس در کبد می‌شود که نتیجه آن کاهش غلظت مس پلاسما می‌باشد (یادریک و همکاران ۱۹۸۹). این گزارشات با یافته‌های ما هماهنگی داشت و بره‌های دریافت کننده مکمل آهن نسبت به تیمار شاهد غلظت مس پلاسمایی پایین‌تری داشتند. همچنین، بر اساس نظر آندروود و ساتل (۱۹۹۹) و نیز هامفریز و همکاران (۱۹۸۳) افزایش مکمل آهن به جیره به علت رقابت با مس و رابطه آنتاگونیستی آن در موقع جذب از روده، سبب کاهش غلظت مس پلاسما می‌گردد.

مطابق جدول ۳ غلظت عنصر روی در پلاسما در هیچ یک از دو زمان نمونه‌برداری تحت تأثیر مکمل آهن قرار نگرفت و تفاوت معنی‌داری بین تیمار شاهد و تیمارهای دریافت کننده مکمل آهن مشاهده نشد. مشابه نتایج ما، پرابوو و همکاران (۱۹۸۸) گزارش کردند که مصرف مکمل آهن در جیره بره‌های در حال رشد تأثیری بر غلظت عنصر روی در پلاسما نداشت. غلظت عنصر روی در پلاسما در حیوانات نشخوارکننده در دامنه ۰/۸ تا ۱/٦ میلی‌گرم بر لیتر قرار دارد (آندروود و ساتل ۱۹۹۹). علیمحمدی (۲۰۱۲) نیز غلظت این عنصر در پلاسمای بره‌های نر در حال رشد را ۱/۲٤ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کرده است. غلظت این عنصر در تیمارهای مورد بررسی در مطالعه حاضر نیز در دامنه فوق قرار داشت.

غلظت آهن پلاسما در هر دو دوره نمونه‌برداری تحت تأثیر مصرف مکمل آهن در جیره قرار گرفت و تفاوت بین تیمار شاهد با تیمارهای مکمل شده معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$). مشابه نتایج مطالعه حاضر، هامفریز و همکاران (۱۹۸۳) گزارش کردند که مصرف ۸۰۰ قسمت در میلیون آهن در جیره تلیسه ها به‌صورت کربنات آهن به مدت ۳۲ هفته سبب شد که غلظت آهن پلاسما تحت تأثیر مکمل آهن قرار گیرد. در مطالعه ایشان، غلظت آهن پلاسما در تیمار شاهد و تیمار مکمل شده به ترتیب ۲ و ۳/۵ میلی گرم بر لیتر بود. همچنین، در مطالعه مهری و همکاران (۲۰۰٤) که از مقدار ۱۵۰ میلی گرم در روز آهن بصورت سولفات آهن در گوساله‌های شیرخوار به مدت ۲۸ روز استفاده شده بود، غلظت آهن سرم خون به طور معنی‌داری افزایش یافت. غلظت آهن پلاسما در نشخوارکنندگان در حالت طبیعی در حدود ۱/۹۳ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است (آندروود و ساتل ۱۹۹۹). طبق گزارش علیمحمدی (۲۰۱۲) و فدایی فر (۲۰۱٤) غلظت آهن پلاسما در بره‌های نر در حال رشد به ترتیب ۱/۹۱ و ۱/۸۸ میلی‌گرم بر لیتر بود. غلظت آهن پلاسما در تیمارهای مکمل شده بالاتر از این مقدار بود که علت آن مصرف آهن در جیره بود.

غلظت کلسیم و فسفر پلاسما در هر دو دوره نمونه-برداری در کلیه تیمارها در یک اندازه بود و تفاوت بین تیمارها معنی‌دار نشد. مشابه نتایج ما، هارو و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که استفاده از مکمل آهن به شکل سولفات آهن در جیره بره‌های پرواری به مقدار ۳۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک جیره، اثری بر غلظت کلسیم و فسفر پلاسما نداشت. اما مصرف ٦۰۰ قسمت در میلیون آن سبب کاهش معنی‌دار مقدار عناصر فوق در پلاسما شد. همچنین، رینچر و همکاران (۲۰۰٤) گزارش کردند که استفاده از مکمل آهن در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ قسمت در میلیون ماده خشک جیره به-صورت سولفات آهن، تأثیر معنی‌داری بر غلظت کلسیم و فسفر پلاسما در خوک‌های بالغ نداشت. در تحقیقات استاندیش و آمرمن (۱۹۷۱) در رابطه با اثر سولفات آهن بر روی گوسفندان نر نیز نتایج مشابهی به دست آمد.

از آنجا که جذب عناصر دو ظرفیتی مانند آهن، روی و مس در سلول‌های روده کوچک از طریق ترانسپورترهایی مانند $DMT_1$ صورت می‌گیرد، لذا این عناصر برای جذب می‌توانند با یکدیگر رقابت داشته باشند (گراپر و همکاران ۲۰۰۹). همچنین، در برخی از

گزارشات اثر آنتاگونیستی آهن بر غلظت عناصر کلسیم و فسفر در بدن دام‌ها گزارش شده است (هارو و همکاران ۲۰۰۹). لذا در موقع بررسی اثر مصرف آهن در بدن، غلظت عناصر فوق نیز در خون بایست بررسی گردد.

نتایج مربوط به اثر مکمل آهن بر شاخص‌های هماتولوژی در جدول ٤ ارائه شده است. استفاده از مکمل آهن سبب افزایش معنی‌دار تعداد گویچه‌های قرمز (RBC) و غلظت هموگلوبین (HGB) خون در تیمارهای مکمل شده در مقایسه با تیمار شاهد شد ($P<۰/۰۵$). اما درصد گویچه‌های قرمز خون (PCV) فقط در تیمار ۲ افزایش معنی‌دار نشان داد که علت آن مشخص نشد (درصد هماتوکریت نشان‌دهنده حجم گلبول‌های قرمز در پلاسما می‌باشد).

در مطالعه علیمحمدی (۲۰۱۲) مقادیر RBC، HGB و PCV در بره‌های نر در حال رشد در حالت طبیعی به ترتیب ۱۵/٦۵ ($۱۰^{۱۲}$ در لیتر)، ۱۱/۳۵ (گرم در دسی‌لیتر) و ۳۸/٤۰ درصد گزارش شده است. بر اساس نتایج میلتنبرگ و همکاران (۱۹۹۱) اضافه کردن ٤٦۰ قسمت در میلیون آهن به‌صورت سولفات آهن به جیره گوساله‌های شیرخوار سبب افزایش RBC، HGB و PCV شد. همچنین، مهری و همکاران (۲۰۰٤) مقدار ۱۵۰ میلی‌گرم در روز عنصر آهن (به شکل سولفات آهن) به گوساله به مدت ۲۸ روز از بدو تولد دادند و مشاهده کردند که مقدار HGB به طور معنی‌داری در گروه تیمار شده در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. هموگلوبین از یک قسمت پروتئینی به نام گلوبین و یک رنگدانه آهن‌دار به نام هم تشکیل شده است. برای ساخته شدن هم، نیاز به عنصر آهن است و لذا در صورت کمبود آهن، سنتز هم و به دنبال آن، سنتز هموگلوبین کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر، هسته مرکزی هموگلوبین از آهن تشکیل شده است و وجود آهن برای ساخته شده هموگلوبین و نیز گلبول قرمز در بدن ضروری است (ساتل ۲۰۱۰). هر چند، استاندیش و آمرمن (۱۹۷۱) گزارش کردند که مصرف ۱٦۰۰ قسمت در میلیون آهن به صورت سولفات آهن در بره‌های در حال رشد سبب کاهش مقدار HGB خون نسبت به تیمار شاهد شد.

همچنین، در آزمایش ایشان درصد PCV خون در تیمار دریافت کننده مکمل آهن در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت. عنصر آهن به عنوان یک عنصر اساسی در انتقال اکسیژن و فرآیند ساخت هموگلوبین و میوگلوبین نقش دارد. علاوه بر این، سیستم آنزیمی سیتوکروم اکسیدازc در زنجیره تنفسی در میتوکندری حاوی عنصر آهن می‌باشد. وظیفه این آنزیم دریافت الکترون از مولکول سیتوکروم و انتقال آن به یک مولکول اکسیژن و تبدیل آن به مولکول آب می‌باشد. لذا کمبود آهن می تواند فرآیند زنجیره تنفسی و ذخیره انرژی را از طریق آنزیم‌های میتوکندیایی مختل کند و در صورت کمبود آهن، فعالیت عضلانی بدن از طریق کاهش عملکرد هوازی آن مختل شود (یو و همکاران ۲۰۰٦).

**جدول ۴- اثر مکمل آهن (سولفات آهن و نانو اکسید آهن) بر** شاخص‌های هماتولوژی

**Table 4- Effect of iron supplement (iron sulphate and nano iron oxide) on hematological index**

| شاخص‌های هماتولوژی hematological index | زمان نمونه-برداری Recording time | تیمار ۱ T 1 | تیمار ۲ T 2 | تیمار ۳ T 3 | تیمار ٤ T 4 | تیمار ٥ T 5 | مقدار p p- value | خطای استاندارد میانگین‌ها Standard error means |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تعداد گویچه‌های قرمز ($10^{12}$ در لیتر) | روز ۳۰ Day 30 | 18.74 $^{c}$ | 22.11 $^{a}$ | 21.23 $^{ab}$ | 19.73 $^{bc}$ | 19.03 $^{c}$ | 0.0360 | 0.431 |
| Red blood cell ($10^{12}$/l) | روز ٦۰ Day 60 | 17.08 $^{d}$ | 23.99 $^{a}$ | 22.70 $^{b}$ | 21.28 $^{c}$ | 20.60 $^{c}$ | 0.0001 | 0.623 |
| غلظت هموگلوبین (گرم در دسی لیتر) | روز ۳۰ Day 30 | 13.23 $^{d}$ | 15.65 $^{ab}$ | 16.18 $^{a}$ | 15.00 $^{c}$ | 14.30 $^{c}$ | 0.0001 | 0.280 |
| Hemoglobin (g/100ml) | روز ٦۰ Day 60 | 14.52 $^{b}$ | 17.45 $^{a}$ | 17.12 $^{a}$ | 16.08 $^{a}$ | 15.81 $^{ab}$ | 0.0450 | 0.630 |
| درصد گویچه‌های قرمز خون Packed cell volume (%) | روز ۳۰ Day 30 | 42.40 $^{b}$ | 46.60 $^{a}$ | 44.14 $^{ab}$ | 41.23 $^{b}$ | 43.71 $^{ab}$ | 0.0300 | 1.185 |
| | روز ٦۰ Day 60 | 46.00 $^{b}$ | 49.88 $^{a}$ | 48.22 $^{ab}$ | 47.25 $^{ab}$ | 46.33 $^{b}$ | 0.020 | 1.080 |

تیمارهای آزمایشی شامل ۱) جیره پایه (شاهد)، ۲) جیره پایه بعلاوه ۲۵ قسمت در میلیون آهن به‌صورت نانو اکسید آهن، ۳) جیره پایه بعلاوه ۵۰ قسمت در میلیون آهن به‌صورت نانو اکسید آهن، ٤) جیره پایه بعلاوه ۲۵ قسمت در میلیون آهن به‌صورت سولفات آهن و ٥) جیره پایه بعلاوه ۵۰ قسمت در میلیون آهن به‌صورت سولفات آهن بودند. حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.

Treatments included: T1) basal diet (control), T2) control+ 25 ppm Fe as a nano iron oxide, T3) control+ 50 ppm Fe as a nano iron oxide, T4) 25 ppm Fe as a iron sulphate and T5) 50 ppm Fe as a iron sulphate.

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

بر اساس نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر، بره‌های دریافت کننده نانو اکسید آهن شاخص های هماتولوژی بالاتری نسبت به سولفات آهن داشتند که علت آن احتمالاً جذب بیشتر آهن در شکل نانو و یا متابولیسم متفاوت این دو شکل آهن در بدن می‌باشد. نتایج مربوط به غلظت هورمون‌های تیروئیدی در سرم خون بره‌ها در جدول ٥ ارائه شده است. مطابق جدول ٥، غلظت هورمون‌های تری یدو تیرونین ($T_3$) و تیروکسین ($T_4$) در هر دو دوره نمونه‌برداری در تیمارهای مکمل شده به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بود ($P<۰/۰۱$). نظیفی و همکاران (۲۰۰۹) غلظت هورمون‌های فوق را در سرم خون بره‌ها در حالت طبیعی به ترتیب ۱/٦۷–۱/۲٤ و ٦۱/٦۳–۸٦/۸ نانو مول بر لیتر گزارش کردند که با نتایج ما تقریباً همخوانی دارد.

**جدول ۵- اثر مکمل آهن (سولفات آهن و نانو اکسید آهن) بر غلظت** هورمون‌های تیروئید (نانومول بر لیتر)

**Table 5- Effect of iron supplement (iron sulphate and nano iron oxide) on Thyroid hormones concentrations**

| هورمون Hormon | زمان نمونه‌برداری Recording time | تیمار ۱ T 1 | تیمار ۲ T 2 | تیمار ۳ T 3 | تیمار ٤ T 4 | تیمار ٥ T 5 | مقدار p p- value | خطای استاندارد میانگین‌ها Standard error means |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تری یدو تیرونین $T_3$ | روز ۳۰ Day 30 | 1.38 $^{d}$ | 1.87 $^{a}$ | 1.67 $^{b}$ | 1.65 $^{b}$ | 1.57 $^{c}$ | 0.0001 | 0.04 |
| | روز ٦۰ Day 60 | 1.76 $^{b}$ | 2.38 $^{a}$ | 2.77 $^{a}$ | 2.47 $^{a}$ | 2.70 $^{a}$ | 0.0004 | 0.15 |
| تترا یدوتیرونین $T_4$ | روز ۳۰ Day 30 | 79.29 $^{d}$ | 86.00 $^{a}$ | 84.44 $^{ab}$ | 82.60 $^{c}$ | 83.25 $^{bc}$ | 0.0001 | 0.54 |
| | روز ٦۰ Day 60 | 84.68 $^{c}$ | 89.03 $^{a}$ | 86.91 $^{b}$ | 87.21 $^{ab}$ | 86.65 $^{b}$ | 0.0130 | 0.67 |
| نسبت $T_3$ به $T_4$ $T_4/T_3$ | روز ۳۰ Day 30 | 57.53 $^{a}$ | 46.04 $^{d}$ | 50.49 $^{c}$ | 49.99 $^{c}$ | 52.81 $^{b}$ | 0.0001 | 0.56 |
| | روز ٦۰ Day 60 | 47.65 $^{a}$ | 42.58 $^{b}$ | 43.35 $^{ab}$ | 44.17 $^{ab}$ | 55.76 $^{ab}$ | 0.0210 | 1.57 |

تیمارهای آزمایشی شامل ۱) جیره پایه (شاهد)، ۲) جیره پایه بعلاوه ۲۵ قسمت در میلیون آهن به صورت نانو اکسید آهن، ۳) جیره پایه بعلاوه ۵۰ قسمت در میلیون آهن به صورت نانو اکسید آهن، ٤) جیره پایه بعلاوه ۲۵ قسمت در میلیون آهن به صورت سولفات آهن و ٥) جیره پایه بعلاوه ۵۰ قسمت در میلیون آهن به صورت سولفات آهن بودند. T3 : تری یدو تیرونین ، T4 : تترا یدوتیرونین(تیروکسین)

حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.

Treatments included: T1) basal diet (control), T2) control+ 25 ppm Fe as a nano iron oxide, T3) control+ 50 ppm Fe as a nano iron oxide, T4) 25 ppm Fe as a iron sulphate and T5) 50 ppm Fe as a iron sulphate. T3 : Tri-iodo-tironin, T4 : Tetra-iodo-tironin (thyroxine)

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

همچنین، علیمحمدی (۲۰۱۲) مقادیر $T_3$، $T_4$ و $T_3/T_4$ را در بره‌های نر در حال رشد در حالت طبیعی به ترتیب ۱/٤۸ و۸۵/۱۰ نانو مول بر لیتر و ۵۷/۷٤ گزارش کرد. مقادیر فوق در گزارش فدایی فر (۲۰۱٤) در بره‌های نر در حال رشد و در حالت طبیعی به ترتیب ۱/۵۲ و ۸۰/۷۸ نانو مول بر لیتر و ۵۳/٤۲ بیان شده است. مشابه نتایج ما، افخمی اردکانی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که مصرف روزانه مقادیر ۰/۰۲، ۰/۰۵ و ۰/۱۵ میکروگرم نانو اکسید آهن در موش صحرایی به مدت ۱۵ روز سبب افزایش غلظت هورمون $T_4$ در خون شد. فعالیت نرمال غده تیروئید به عناصر کمیاب زیادی وابسته است و این عناصر هم در سنتز و هم در متابولیسم هورمون‌های تیروئید نقش دارند (زیمر من ۲۰۰٦). نقش برخی از عناصر کمیاب مانند آهن، مس و روی در متابولیسم تیروئید کمتر شناخته شده است. اما مشخص شده است که کمبود و یا مسمومیت با این عناصر اثر منفی بر متابولیسم هورمون‌های تیروئیدی دارد (زیمر من ۲۰۰٦). زیمرمن (۲۰۰٦) و اسمیت و همکاران (۱۹۹٤) گزارش کردند عنصر آهن برای ساخت و عملکرد بسیاری از آنزیم‌ها بخصوص آنزیم‌های دخیل در فعالیت غده تیروئید نقش دارد و کمبود آن در بدن و کم‌خونی حاصل از آن سبب می‌شود که غلظت هورمون‌های $T_3$ و $T_4$ در خون کاهش یابد. هس و همکاران (۲۰۰۲) و سونجا و همکاران (۲۰۰۲) نیز بیان

کردند که کاهش آهن در بدن علاوه بر کم خونی سبب کاهش فعالیت غده تیروئید و به تبع آن کاهش غلظت هورمون‌های تیروئیدی می‌گردد.

مطالعات اخیر نشان داده است علت اینکه هورمون‌های تیروئیدی در شرایط کمبود آهن مختل می‌شود، به دلیل کاهش فعالیت آنزیم تیروئید پراکسیداز (یک آنزیم وابسته به آهن) است. این آنزیم در سنتز هورمون‌های تیروئید نقش دارد. به عبارت دیگر، آنزیم تیروئید پراکسیداز مراحل اولیه سنتز هورمون‌های تیروئیدی (اتصال اتم ید به تیروگلوبین و ساخت مونو یدو تیرونین ($T_1$) و دی یدو تیرونین ($T_2$)) را کنترل می‌کند. همچنین، این آنزیم سبب ساخته شدن $T_3$ (از طریق اتصال $T_1$ و $T_2$) و $T_4$ (از طریق اتصال دو مولکول $T_2$) نیز می‌شود (سونجا و همکاران ۲۰۰۲). از آنجا که آنزیم تیروئید پراکسیداز یک آنزیم وابسته به آهن است، لذا کمبود آهن، فعالیت آنزیم فوق را کاهش می‌دهد (زیمرمن ۲۰۰۶). همچنین، گزارش شده است که فعالیت آنزیم دیدیناز کبدی در موش‌هایی که دچار فقر آهن بودند، کاهش یافت. این آنزیم در تبدیل $T_4$ به $T_3$ نقش دارد و لذا در صورت وجود کمبود آهن، تبدیل $T_4$ به $T_3$ کاهش می‌یابد و این نشان می‌دهد که مکانیسمی که فعالیت دیدیناز کبدی را کنترل می‌کند، تحت تأثیر کمبود آهن قرار می‌گیرد (زیمرمن ۲۰۰۶). لذا علی‌رغم اینکه در جیره‌های با کمبود آهن، تبدیل $T_4$ به $T_3$ به میزان کمتری صورت می گیرد، اما احتمالاً در تیمارهای دریافت کننده مکمل آهن، هم ترشح $T_4$ و هم تبدیل آن به $T_3$ نیز بیشتر بوده است. به نظر می‌رسد که با توجه به اثر هورمون‌های تیروئیدی بر متابولیسم پایه و عملکرد دام و نیز وابستگی این آنزیم‌ها به عنصر آهن، لذا اثر مکمل آهن بر عملکرد و رشد بره‌ها در آزمایش حاضر، از این طریق نیز تأثیر گذار بوده است.

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که استفاده از مکمل آهن سبب بهبود عملکرد، افزایش غلظت آهن خون و هورمون‌های تیروئیدی در بره‌ها شد، همچنین، غلظت آهن و هورمون‌های تیروئیدی در خون همه تیمارها در حد نرمال بودند (هرچند که غلظت ترکیبات فوق در تیمار شاهد در محدود پایین دامنه و در تیمارهای دریافت کننده مکمل آهن در محدوده بالای دامنه طبیعی آن بودند). بین دو نوع مکمل استفاده شده نیز تفاوت معنی‌داری در ارتباط با عملکرد و هورمون‌های تیروئیدی در پایان دوره مشاهده نشد. اما مکمل نانو آهن نسبت به سولفات آهن بر شاخص‌های هماتولوژی موثر تر بود.

## منابع مورد استفاده


Abdelrahim GM, Khatiwada J and 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.

Afkhami-Ardakani M, Shirband A, Golzadeh J, Asadi-amani M, Latifi E, Kheylapour M and Jafari N, 2013. The effect of iron oxide nanoparticles on liver enzymes (ALT, AST and ALP), thyroid hormones (T3 and T4) and TSH in rats. Journal of Shahrekord University of Medical Sciences 14(6): 82-88. (In Persian).

Alimohamady RH, 2012. Influence of different amounts and sources of selenium supplementation on performance and some ruminal and blood parameters in Mehraban male Lambs. Thesis submitted for Master of Science, Department of animal science, Bu Ali Sina University. (In Persian).

AOAC, 2000. Official methods of analysis, 16th ed. USDA, Washington, DC.

Bostedt H, Hospes R, Wehrend A and Schramel P, 2000. Effects of the parenteral administration of iron preparations in the early development of calves. Tierarzt Umschau 55: 305–315.

Dezfoulian AH and Aliarabi H, 2017. A comparison between different concentrations and sources of cobalt in goat kid nutrition. Animal 11(4): 600-607.

Fadayifar A, 2014. Effect of slow-release bolus of Zn, Co and Se on blood parameters of pregnant ewes and performance of Mehraban lambs. Thesis submitted for PhD in Animal Nutrition, Department of animal science, Bu Ali Sina University. (In Persian).

Francisco HSJ, Facundo R, Diana CCCP, Fidel MG, Alberto EM, Amaury DJPG, Humberto TP and Gabriel MC, 2008. The antimicrobial sensitivity of Streptococcus mutans to nanoparticles of silver, zinc oxide and gold, Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine 4: 237-240.

Geisser P, Hohl H, Bear M, Heim H and Fischer W, 1991. Investigation on the dosage/efficacy relationship of iron dextran in veal calves. Arzneimittel. Forschung 41: 32-37.

Gropper SAS, Smith JL and Groff JL 2009. Advanced nutrition and human metabolism. 5th ed. Australia: Wadsworth/Cengage Learning Pp: 469-532.

Hansen SL, Ashwell MS, Moeser AJ, Fry RS, Knuston MD and Spears JW, 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.

Haro IM, Dennis BR and Haro JM, 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.

Hess SY, Zimmermann MB, Adou P, Torresani T and Hurrell RF, 2002. Treatment of iron deficiency in goitrous children improves the efficacy of iodized salt in Côte d'Ivoire. The American Journal of Clinical Nutrition 75:743–48.

Humphries WR, Phillippo M, Young BW and Bremner I, 1983. The influence of dietary iron and molybdenum on copper metabolism in calves, British Journal of Nutrition 49 (1): 77-86.

McGuire SO, Miller WJ, Gentry RP, Neathery NW, Ho SY and Blackmon DM, 1985. Influence of high dietary iron as ferrous carbonate and ferrous sulfate on iron metabolism in young calves. Journal of Dairy Science 68: 2621.

Miller WJ, Gentry RP, Blackmon DM and Fosgate HH, 1991. Effects of high dietary iron as ferrous carbonate on performance of young dairy calves. Journal of Dairy Science 74: 1963-1967.

Miltenburg GAJ, Wensing T, Van Vliet JPM, Schuijt G, Van de Broek J and Breukink HJ, 1991. Blood hematology, 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: 3086–3094.

Mohri M, Sarrafzadeh F and Seifi HA, 2006. Effects of oral iron supplementation on haematocrit, live weight gain and health in neonatal dairy calves. Iranian Journal of Veterinary Research 7: 34–37.

Mohri M, Sarrafzadeh F, Seif, HA and 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.

Nazifi S, Pilevarian AA and Jalaei J, 2009. The relationship between thyroid hormones, some antioxidant enzymes and trace elements in blood serum of Mehraban sheep. Journal of Veterinary Medicine & Laboratory 1: 47-59. (In Persian).

Nikonov IN, Folmanis YG, Folmanis GE, Kovalenko LV, Laptev GY, Egorov IA, Fisinin VI and Tananaev IG, 2011. Iron nanoparticles as a food additive for poultry. Doklady Biological Sciences 440 (1): 328-331.

NRC, 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids, National Academy Press, Washington, DC.

Prabowo A, Spears JW and Goode L, 1988. Effects of dietary iron on performance and mineral utilization in lambs fed a forage-based diet. Journal of Animal Science 66: 2028-2035.

Rincker, MJ, Hill GM, Link JE and Rowntree JE, 2004. Effects of dietary iron supplementation on growth performance, hematological status, and whole-body mineral concentrations of nursery pigs. Journal of Animal Science 82: 3189–3197.

SAS, 2001. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA

Smith SM, Finley J, Johnson LK and Lukaski HC, 1994. Indices of in vivo and in vitro thyroid hormone metabolism in iron deficient rats. Nutrition Research 14:729–39.

Song W, Zhang J, Guo J, Zhang J, Ding F, Li L and Sun Z, 2010. Role of the dissolved zinc ion and reactive oxygen species in cytotoxicity of ZnO nanoparticles. Toxicology Letters 199: 389–397.

Sonja YH, Michael BZ, Myrtha A, Wolfgang L and Richard FH, 2002. Iron deficiency anemia reduces Thyroid peroxidase activity in rats. The Journal of Nutrition 132: 1951–1955.

Standish JF, and Ammerman CB, 1971. Effect of excess dietary iron as ferrous sulfate and ferric citrate on tissue mineral composition of sheep. Journal of Animal Science 33 (2): 481-484.

Suttle N, 2010. Mineral nutrition of livestock, 4th Edition. Honorary Research Fellow Moredun Foundation Pentland Science Park Bush Loan Penicuik Midlothian EH26 0PZ, UK, CAB International

Underwood EJ and Suttle NF, 1999. The mineral nutrition of livestock. CAB international, Wallingford, U.K.

Van Soest PJ, 1963. Use of detergents in the analyses of fibrous feed. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin, Journal of the Association of Official Agricultural Chemists, 46: 829-835.

Vansoest PJ, Robertson JB and Lewis BA, 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74: 3588- 3590.

Weiss WP, Pinos-Rodriguez JM and Socha MT, 2010. Effects of feeding supplemental organic iron to late gestation and early lactation dairy cows. Journal of Dairy Science 81: 2153-2160.

Yadrick MK, Kenney MA, Winterfeldt EA. 1989. Iron and zinc status: response to supplementation with zinc and iron in adult females. The American Journal of Clinical Nutrition 49: 145–150.

Yu OL, Xiang LD, Yan ZC, Hai TW and Zhong MQ 2006. Molecular analysis of increased iron status in moderately exercised rats. Molecular and Cellular Biochemistry 282: 117-123.

Zaboli Kh, Aliarabi H, Tabatabai MM, Bahari AA and Zarei ghan Z, 2013. Effect of zinc oxide nano particle and zinc oxide on performance and some blood parameters in male Markhoz goat kids. Animal Production Research 2(2): 29-41. (In Persian).

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

Zimmermann MB, 2006. The influence of iron status on iodine utilization and thyroid function. Annual Review of Nutrition 26: 367–389.

# Effect of iron source on performance, some minerals, thyroid hormones and blood metabolites of Mehraban male lambs

**H Aliarabi [1*], N Zand [2], A A Bahari [3], M Hajivaliei [4] and Kh Zaboli [5]**

Received: October 30, 2016 Accepted: August 20, 2017

[1]Associate Professor, Department of Animal, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran
[2] MSc Student, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran
[3]Assistant Professor, Department of Clinical Science, Faculty of Para veterinary Sciences, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran
[4]Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Science, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran
[5]Assistant Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran
[*]Corresponding author: E mail: h_aliarabi@yahoo.com

**Introduction**: Iron is one of the essential trace elements for livestock, which is essential for the transport, storage and use of oxygen. Iron is one of the components of hemoglobin, myoglobin, transferrin, cytochromes and many enzymatic systems including catalase, peroxidase, phenylalanine and hydroxylase. Providing iron in the diet improves hematologic parameters and growth performances of calf and lamb. Also, the presence of iron in the diet is necessary for appetite, secretion of thyroid hormones and glucose metabolism. Recently compounds as nanoparticles using nanotechnology have been released. Changes in particle size to the nano-particle (size less than 100 nm) increase surface to volume ratio and change their other characteristics. Increasing the surface area of the nanoparticles allows their interactions with organic and inorganic molecules occur differently. One of these compounds is iron oxide nanoparticle which is used in various industrial fields and even as feed additive. Since the experiments and research on iron nanoparticles have not been carried out in the field of ruminant nutrition, so far this experiment was designed to evaluate the effect of two types of iron (nano iron oxide and iron sulfate) on performance (feed intake and average daily gain), plasma concentration of some minerals, thyroid hormones and hematological parameters of growing Mehraban lambs.

**Material and methods:** In this experiment, 30 male lambs with 4 ± 0.5 months age and average live weight of 27.1 ± 1.51 kg in a completely randomized design were used for 60 days. The lambs were placed indoor in 2×1 meter individual cage with a cement floor and received water and feed individually and ad libitum. The treatments were: 1) basal diet (control), 2) basal diet + 25 mg/kg iron as nanoparticles of iron oxide, 3) basal diet + 50 mg/kg iron as nanoparticles of iron oxide, 4) basal diet + 25 mg/kg iron as ferrous sulfate and 5) basal diet + 50 mg/kg iron as ferrous sulfate. Diets were offered to the animals in the morning (8:00) and evening (16:00). In the beginning of the experiment, before morning feeding, lambs were weighed in two consecutive days with 16 hours feed and water deprivation and the average weight of these two days for each animal was considered as weight of day zero. Feed intake on a daily basis in every single lamb was measured. All lambs every 15 days (2 consecutive days) before morning feeding (with a 16-hour feed and water deprivation) were weighed to determine changes in body weight. On days 30 and 60 before the morning feeding, blood samples through the jugular vein were taken from all lambs. Immediately after blood collection, 0.5 ml of heparinized blood was poured into 1.5 ml micro tube and sent to a medical laboratory and using automatic cell counter, hematological parameters (number of red cell, concentration of hemoglobin and red cell percent) were determined. Plasma concentrations of iron, zinc and copper were determined using atomic absorption spectrometry and

calcium and phosphorus were determined according to standard methods. Plasma concentrations of thyroid hormones (T3 and T4) were measured based on the immunological competitive enzyme assay using ELISA in accordance with relevant guidelines.

**Results and discussion:** Dry matter intakes of iron supplemented treatments (treatments 2, 3, 4 and 5) were 1.32, 1.42, 1.36 and 1.39 kg/d, respectively, which were significantly higher than control (1.23 kg/d), ($P<0.05$). Also, average daily gain in the treatments supplemented with iron oxide nanoparticles (treatments 2 and 3, respectively 0.22 and 0.22 kg/d) was significantly higher than the control (0.19 kg per days) ($P<0.05$). The finishing weight of lambs receiving iron supplement (treatments 2, 3, 4 and 5, respectively, 44.26, 43.31, 42.81 and 42.54 kg) were significantly higher than the control group (40.23kg) and iron oxide nanoparticles were more effective ($P<0.05$). Adding iron supplement to the diet, except for treatments 2 in day 30, resulted in a significant decrease in plasma concentration of copper in both the sampling times (days 30 and 60) compared to control treatment ($P<0.05$). Copper plasma concentration of treatments 1 to 5 on day 30 was 0.76, 0.74, 0.91, 0.69 and 0.50 mg/l, respectively, and on day 60, was 0.79, 0.61, 0.62, 0.58 and 0.49 mg/l, respectively. plasma zinc concentration of any of the two sampling times (days 30 and 60) was not affected by iron supplementation and no significant difference was observed between control and iron supplemented treatments. Plasma iron concentration in both sampling times was affected by iron supplementation in the diet and the differences between the control (2.23 mg/l on day 30 and 2.37 mg/l on day 60) with iron supplemented treatments (in treatments 2, 3, 4 and 5 was 2.84, 2.71, 2.47 and 2.58 mg/l on days 30 and 3.05, 2.80, 2.58 and 2.73 mg/l on day 60) were statistically significant ($P <0.05$). Plasma concentrations of calcium and phosphorus in both sampling times in all treatments were similar and the difference between treatments was not statistically significant. The use of iron supplement caused a significant increase in the number of red blood cell and concentration of hemoglobin in supplemented treatments compared with control (except for hemoglobin concentration in group 5 on day 60) ($P<0.05$). But the number of red blood cell significantly increased only in group 2, the reason of which was not specified. Plasma concentrations of thyroid hormones ($T_3$ and $T_4$) in both sampling times (days 30 and 60) in supplemented treatments were significantly higher than the control group ($P<0.01$).

**Conclusion:** In overall, the obtained results of this study showed that iron supplementation improved performance, blood iron and thyroid hormones concentrations in lambs. Also blood concentrations of iron and thyroid hormones in all the treatments were within the normal range. However concentrations of above mentioned compounds in control group were in down the ranges and in iron supplemented treatments were in top the ranges. Also no significant difference was observed between the two types of supplements for performance and thyroid hormones at the end of the period. But nano-iron supplement was more effective on hematological indices compared to ferrous sulfate.

**Keywords**: Iron sulphate, Nano iron oxide, Sheep, Weight gain