نشریه علوم دامی
(پژوهش و سازندگی)

شماره ۱۲۸، پاییـز ۱۳۹۹
ص‌ص: ۱۲۵~۱۴۰

اثر نانو اکسید آهن بر شاخص‌های عملکرد تولید، کیفیت تخم مرغ و وضعیت پاداکسایشی مرغ‌های تخم‌گذار

- **امیر جوادی فر**
دانش آموخته کارشناسی ارشد پرورش و مدیریت تولید طیور دانشگاه بیرجند.
- **سید جواد حسینی واشان** (نویسنده مسئول)
دانشیار تغذیه طیور دانشگاه بیرجند.
- **محمدباقر منتظر تربتی**
استادیار ژنتیک و اصلاح دام دانشگاه بیرجند.
- **یاسمن شمشیرگران**
استادیار ژنتیک و اصلاح دام دانشگاه بیرجند.

تاریخ دریافت : فروردین ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش : مهر ۱۳۹۸
شماره تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۳۶۱۱۹۰۰
Email: jhosseiniv@birjand.ac.ir

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/asj.2019.125781.1900

چکیده

به منظور تعیین اثر سطوح مختلف نانو اکسید آهن بر عملکرد، شاخص‌های کیفی تخم مرغ و وضعیت پاداکسایشی مرغ‌های تخم‌گذار، آزمایشی با ۹۶ قطعه مرغ تخم‌گذار سویه *Bovens* در اوج تولید (۲۸ هفته) در قالب طرح کاملا″ تصادفی با سه گروه آزمایشی و چهار تکرار و ۸ قطعه مرغ در هر تکرار اجرا شد. مرغ‌ها به مدت هشت هفته با جیره‌های آزمایشی حاوی سطوح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نانواکسیدآهن بر کیلوگرم جیره تغذیه شدند. یافته ها نشان داد، مکمل نانو آهن بر صفات عملکرد تولید شامل درصد تخم مرغ، وزن تخم مرغ، توده تخم مرغ تولید، مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک و غلظت پروتئین تام خون اثری نداشت. در دوره ۲۸ روزه اول؛ شاخص شکل تخم مرغ و مقاومت پوسته در سطح ۱۰۰ نانوآهن در مقایسه با شاهد افزایش یافت در دوره ۲۸ روزه دوم نیز واحد هاو و وزن نسبی پوسته در سطح ۱۰۰ نانوآهن در مقایسه با شاهد افزایش یافت ولی سایر صفات کیفی تخم مرغ شامل شاخص رنگ زرده، شکل تخم-مرغ، ارتفاع زرده، واحد هاو، و وزن نسبی سفیده و زرده و صفات پوسته تخم‌مرغ شامل ضخامت، مقاومت، وزن مخصوص و وزن نسبی پوسته تخم مرغ تحت تاثیر مکمل نانو آهن قرار نگرفت. استفاده از مکمل نانواکسیدآهن سبب افزایش غلظت لیپوپروتئین با چگالی بالا خون، آهن، روی و عیار پادتن بر ضد نیوکاسل و آنفلوآنزا در مقایسه با شاهد شد و غلظت کلسترول، تری گلیسرید، لیپوپروتئین با چگالی پایین و آلانین آمینوترانسفراز در مقایسه با شاهد کاهش یافت. غلظت مالون‌دی‌آلدئید خون با افزودن نانوذرات آهن افزایش یافت. بنابراین افزودن مکمل نانواکسیدآهن در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم می تواند باعث بهبود برخی خصوصیات کیفی تخم‌مرغ، کاهش کلسترول و تری‌گلیسرید خون، و بهبود پاسخ ایمنی بدون تاثیر منفی بر صفات عملکرد تولیدی در مرغ‌های تخم‌گذار گردد.

واژه‌های کلیدی: ایمنی، کلسترول، مالون دی‌آلدئید، مرغ تخم‌گذار، نانو اکسید آهن، واحد هاو.

Animal Science Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 128 pp: 125-140

The Effect of Iron Nano Oxide on performance, Egg Quality indices and Antioxidant status of laying hen.

By: Javadifar, Amir[1], Hosseini-Vashan[2*], Seyyed Javad, MontazerTorbati[3] Mohammad Bagher, Shamshirgaran[3] Yasaman
1-Graduate Student in Poultry production and Husbandary, University of Birjand
2-Associate Professor in Poultry Nutrition, University of Birjand
3-Assistant Professor in Genetics and Animal breeding, University of Birjand
* Associate Professor in Poultry Nutrition, Animal Science Department, University of Birjand, jhosseiniv@birjand.ac.ir; tel: 09153611900

Received: April 2019 **Accepted: October 2019**

In order to investigate the effects of different levels of iron nano-oxide (INO) on performance, egg quality parameters and the antioxidant status of laying hens, 96 Bovens layer hens at the production peak (28 weeks) were used. The experiment was done for 8 weeks in a completely randomized design with 3 treatments, 4 replicates and 8 birds in each replicate. Hens were fed with experimental diets containing 0, 50 and 100 mg iron nanooxide/ kg of diet. The results were revealed that the iron nanooxid had no effect on performance indices including egg percentage, egg weight, egg mass, feed intake, and FCR and total protein. In the first 28 days, the level of 100 ppm of INO increased the egg shape and eggshell strength as compare to control. In the second 28 days, the INO increased the haugh unit and eggshell relative weight. The other egg quality traits such as yolk color, egg shape, yolk index, haugh unit, and the relative weight of albumen and yolk and eggshell thickness, egg strength, specific gravity were not altered by the levels of INO. The blood concentration of HDL, iron, zinc were increased with increasing the levels of INO. The antibody titer against Newcastle disease and Influenza were increased with increasing the levels of dietary INO. Dietary supplementation of INO decreased the serum concentration of cholesterol, triglyceride, LDL, and ALT compared to control. The yolk and serum concentration of MDA was increased by the addition of iron nanoparticles. Therefore, the addition of iron oxide supplementation can improve performance indices, some qualitative characteristics of egg and immune response and decrease the serum lipid in laying hens.

Key words: Cholesterol, Haugh unit, Immune, Layer Hen, Malondialdehyde, Nano iron.

مقدمه

در سال‌های اخیر، فن آوری نانو به سرعت در حال پیشرفت بوده و اثر زیادی بر زندگی انسان، حیوان، محیط زیست و صنعت داشته است (Ahn و همکاران، ۱۹۹۸). نانو لغتی یونانی به معنای بسیار کوچک است (Rai و همکاران، ۲۰۰۹). نانومتر، 10^{-9} متر، یعنی یک میلیاردیم متر، مقیاس مشخصه مولکول ها بوده، یعنی گروهی از اتم‌ها که توسط پیوندهای کووالانسی به یکدیگر متصل شده‌اند(Ramadan و همکاران، ۲۰۱۰). به دلیل اندازه کوچک، نانو ذرات می توانند از جریان خون وارد سامانه لنفاوی و در نهایت وارد بافت‌های بدن شوند (Arabi و همکاران، ۲۰۱۲). کاهش اندازه ذرات در مقیاس نانو و افزایش نسبت سطح به حجم در ترکیبات نانو، سبب شده تا سطح تماس این ترکیبات با سایر بیومولکول‌ها افزایش یافته و فعل و انفعالات شیمیایی این مواد با مولکول های آلی و غیر آلی در بدن به طور متفاوتی صورت گیرد که در بسیاری از موارد هنوز ناشناخته است (Francisco و همکاران، ۲۰۰۸). محققان نشان دادند که با تغییر در ترکیب جیره غذایی طیور می‌توان ارزش تغذیه‌ای تخم پرنده را تغییر داد

(Park و همکاران، ۲۰۰۴). میزان مواد معدنی موجود در تخم مرغ تحت تأثیر مواد معدنی جیره قرار می‌گیرد که بعد از جذب آن در زرده در حال توسعه ذخیره می شود و یا به صورت مستقیم از مجرای تخم‌بر به درون سفیده ترشح می‌شود (Butzen و همکاران، ۱۹۸۵). براساس تحقیقات پیشین؛ فرم های کلیت شده یا پروتئینه شده آهن، قابلیت دسترسی بیشتری در مقایسه با فرم‌های غیر آلی آهن در تغذیه دام و طیور داشته‌اند (Feng و همکاران،۲۰۰۷ و ۲۰۰۹). آهن از جمله عناصر مورد نیاز تمام یاخته‌های بدن است و بخصوص در کبد و طحال ذخیره می‌شود و لکوسیت ها آن را از کبد و طحال به مغز استخوان انتقال داده که برای ساختن گلبول‌های قرمز به کار می‌رود. یکی از مکان‌های اصلی جذب آهن در طیور دوازدهه است (Nadadur و همکاران، ۲۰۰۸؛ Tako و همکاران، ۲۰۱۰). آهن برای سوخت و ساز کامل ویتامین‌های B ضروری است. آهن در انتقال اکسیژن توسط گلبول های قرمز، تولید هموگلوبین خون، مقاومت در برابر تنش و عملکرد صحیح آنزیم‌ها و تقویت سامانه‌ی ایمنی نقش دارد. کمبود آهن در انواع مختلفی از ماهیان موجب کم‌خونی (Gatlin and Wilson, 1986) و یا کاهش تخمه‌گشایی تخم ماهیان می‌شود (Hirao و همکاران، ۱۹۵۵). تغذیه طیور با کمپلکس آهن- متیونین، نسبت به تغذیه آن‌ها با آهن معدنی، منجر به افزایش میزان آهن زرده تخم‌مرغ گردید (Saldenha و همکاران، ۲۰۰۹).

تاکنون اثر سمی در ارتباط با نانو ذرات آهن روی جوجه گوشتی گزارش نشده است (Nikonov و همکاران، ۲۰۱۱). تغذیه نانوذرات آهن در مرغ تخم‌گذار علاوه بر بهبود کیفیت فیزیکی تخم (اندازه تخم، اجزای نسبی تخم مرغ و مقاومت پوسته)؛ باعث بهبود ترکیب شیمیایی تخم مرغ نیز می‌شود (Saldenha و همکاران، ۲۰۰۹). هر چند در این زمینه تناقضاتی وجود دارد در مطالعه دیگری گزارش شد که استفاده از نانو ذرات آهن در جیره بلدرچین، بر میزان آهن، روی و مس زرده تخم تاثیر نداشت، در واقع سطوح مختلف نانو ذرات آهن جیره در کل دوره آزمایشی تاثیری بر غلظت آهن در تخم نداشت (Abbasi و همکاران، ۲۰۱۵). تزریق کلیت نانو ذرات آهن و المیت در مقایسه با گروه های آزمایشی سولفات آهن، نانو ذرات آهن و المیت سبب افزایش وزن جوجه‌ها شد، با تزریق کلیت نانو ذرات آهن و المیت، نسبت وزن جوجه به وزن تخم مرغ در مقایسه با شاهد افزایش یافت (Saki و همکاران، ۲۰۱۴). نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داد افزودن سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم آهن باعث افزایش آهن و روی تخم مرغ می‌گردد (Ramasden, 2005). در مطالعات پیشین گزارش شده است نانوذرات فلزات و بویژه آهن می‌توانند واکنش‌های اکسیداتیو و تولید رادیکال‌های آزاد را در بدن افزایش دهند که میزان تولید به اندازه ذرات و خصوصیات شیمیایی آن بستگی دارد (Dayem و همکاران، ۲۰۱۷) در مطالعه دیگری نیز گزارش شد نانوذرات آهن بر میزان بروز واکنش‌های اکسیداتیو اثر ندارد ولی باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز شد(Behera و همکاران، ۲۰۱۴). بنابراین هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر نانو اکسید آهن بر عملکرد، خصوصیات کیفی تخم مرغ و وضعیت پاداکسایشی مرغ‌های تخم‌گذار است.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام این آزمایش؛ نانواکسید آهن مورد نیاز آزمایش از شرکت پیشگامان نانومواد ایرانیان در سال ۱۳۹۶ تهیه گردید نانواکسید آهن مورد استفاده دارای درصد خلوص ۹۵/۵ و اندازه ذرات ۴۵-۳۵ نانومتر بود. تعداد ۱۲۰ قطعه مرغ تخم‌گذار سویه " *Bovens*" در دوره اوج تولید (سن ۲۸ هفتگی) انتخاب و پس از ۱۰ روز دوره پیش آزمایش؛ تعداد ۹۶ قطعه مرغ تخمگذار دارای تولید یکنواخت انتخاب و در واحدهای آزمایشی توزیع و به مدت ۸ هفته با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند. در هر واحد آزمایشی هشت قطعه مرغ طوری قرار گرفتند که میانگین تولید در بین گروه‌های مختلف در آزمایش تقریبا یکسان باشد. قرار گرفتن مرغ‌ها درون واحدهای آزمایشی به صورت کاملا" تصادفی بود. اجزای جیره پایه آزمایشی در هر سه گروه آزمایشی مشابه بود گروه‌های آزمایشی شامل سطوح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر

کیلوگرم نانو اکسید آهن بود که به جیره پایه اضافه شد و در اختیار پرندگان گروه‌های آزمایشی قرار گرفت. میزان آهن در جیره پایه برابر ۵۰ میلی‌گرم بود. هر سه گروه آزمایشی، سطح انرژی، پروتئین و ترکیب شیمیایی مشابهی داشتند درصد پروتئین خام، سطح لیزین، آرژنین، متیونین، الیاف خام، چربی خام، کلسیم، فسفر و سدیم کل آن ها بر اساس توصیه دفترچه راهنمای سویه *Bovens* متعادل شد. جیره شاهد بر پایه ذرت و کنجاله سویا تنظیم گردید (جدول ۱). لازم به یادآوری است که مقدار آهن موجود آب مصرفی ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر آب بود.

آبخوری‌های سالن از نوع پستانکی و دانخوری‌ها به صورت زنجیری بود. برنامه نوری بر اساس راهنمای مرغ تخم‌گذار سویه بونز، ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی تنظیم گردید. واکسیناسیون مرغ های تخمگذار علیه بیماری نیوکاسل و آنفلوآنزا قبل از شروع دوره آزمایشی و هفته ششم آزمایش بصورت اسپری انجام گرفت.

در طی آزمایش، درصد تولید تخم‌مرغ، میانگین وزن تخم‌مرغ، گرم تخم مرغ تولیدی روزانه بصورت روزانه رکوردبرداری شدند و میزان مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک بصورت هفته-ای در هر دوره محاسبه گردید. صفات کیفی تخم مرغ شامل شاخص زرده، شاخص رنگ زرده، شاخص کیفیت سفیده (واحد هاو)، وزن نسبی زرده و سفیده، و شاخص اندازه تخم‌مرغ با استفاده از دستگاه‌های کیفیت تخم مرغ (اوکایو ساخت کشور ژاپن) در پایان هر دوره ۲۸ روزه اندازه گیری شد. شاخص زرده از حاصل تقسیم قطر زرده بر ارتفاع زرده ضربدر ۱۰۰ محاسبه شد، وزن نسبی زرده و سفیده نیز از حاصل تقسیم وزن زرده یا سفیده بر وزن کل تخم ضربدر ۱۰۰ محاسبه شد. واحد هاو با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (فرخوی و همکاران، ۱۳۸۶).

$$HU=100log_{10}(h-1.7\ w^{0.37}+7.6)$$

در این فرمول HU: شاخص هاو؛ h ارتفاع سفیده و w وزن تخم مرغ

صفات کیفی پوسته تخم‌مرغ شامل ضخامت پوسته تخم‌مرغ (دستگاه ضخامت سنج پوسته اوکایو ساخت کشور ژاپن)، وزن مخصوص تخم‌مرغ ، استحکام پوسته و وزن نسبی پوسته به صورت دوره‌ای (۲۸ روزه) در انتهای هر دوره بررسی شدند. وزن مخصوص تخم مرغ از قرار دادن تخم مرغ ها در محلول های آب نمک که با وزن مخصوص متفاوت در دامنه ۱/۰۴ تا ۱/۰۹۶ گرم بر سانتی متر مکعب تعیین شد. استحکام پوسته نیز با دستگاه استحکام سنج پوسته تخم مرغ (اوکایو، ساخت کشور ژاپن) تعیین شد (فرخوی و همکاران، ۱۳۸۶).

در انتهای دوره آزمایش (انتهای هفته هشتم) از دو قطعه مرغ از هر تکرار خونگیری انجام شد. پس از سانتریفوژ (۲۵۰۰ دوره به مدت ۱۰ دقیقه) و جداسازی پلاسمای خون، شاخص‌های بیوشیمیایی خون شامل غلظت کلسترول، تری‌گلیسرید، لیپوپروتئین با چگالی بالا (HDL[1])، لیپوپروتئین با چگالی پایین (LDL[2]) و پروتئین تام خون تعیین شد. غلظت شاخص های مذکور با دستگاه طیف سنجی نوری خودکار (اتوآنالایزر جسان چم ۲۰۰ ساخت کشور ایتالیا) و کیت‌های بیوشیمیایی آزمایشگاهی شرکت پارس آزمون ایران اندازه‌گیری شد. غلظت مالون دی‌آلدئید (MDA[3]) خون و کلسترول زرده تخم‌مرغ نیز در پایان دوره آزمایش تعیین گردید. میزان جذب MDA با دستگاه طیف سنجی نوری (اسپکتروفتومتر یونیکوی آمریکا مدل ۴۸۰۲) در طول موج ۵۳۲ نانومتر قرائت شد (Ahn و همکاران، ۱۹۹۸).

[1] High density lipoprotein
[2] Low density lipoprotein
[3] Malondialdehyde

جدول ۱. مواد خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی

مواد خوراکی	گرم در ۱۰۰ گرم	مواد مغذی تامین شده (محاسبه شده)	
ذرت	۵۸/۰۰	انرژی قابل سوخت وساز(Kcal/Kg)	۲۸۰۰
کنجاله سویا	۲۷/۳۲	پروتئین (٪)	۱۷/۵۳
روغن سویا	۰/۲۰	فسفر قابل جذب (٪)	۰/۴۲۲
کربنات کلسیم	۸/۳۶	کلسیم (٪)	۳/۸۳
دی کلسیم فسفات	۱/۲۰	سدیم (٪)	۰/۱۵۳
مکمل معدنی	۰/۲۶	کلر (٪)	۰/۱۷۲
مکمل ویتامینی	۰/۲۶	پتاسیم (٪)	۰/۷۱۸
نمک	۰/۲۰	فیبر (٪)	۳/۳۷
جوش شیرین	۰/۰۵	متیونین + سیستئین (٪)	۰/۷۶۵
رنگدانه قرمز 1%	۰/۳۶	لیزین (٪)	۰/۹۰۴
رنگدانه زرد 1%	۰/۲۰	تره‌ئونین (٪)	۰/۷۰۳
ویتامین E	۰/۰۱	تریپتوفان (٪)	۰/۲۲۷
ویتامین ب کمپلکس	۰/۰۸	چربی (٪)	۳۰/۰۰
متیونین	۰/۲۴	اسید لینولئیک (٪)	۱/۳۹
لیزین	۰/۰۲	کولین (٪)	۱۴/۲۰
ناتوزیم P 10%	۰/۲۵	نسبت انرژی به پروتئین	۱۵۹/۷
زئولیت	۲/۹۸	نسبت کلسیم به فسفر	۹/۰۰
پاداکسیدان	۰/۰۱		

هر کیلوگرم مکمل ویتامینه حاوی ۴۸۰۰۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین A، ۱۴۰۰۰۰۰ واحد بین المللی D3؛ ۱۲۰۰۰ واحد بین المللی E، ۱۲۰۰ میلی‌گرم K3؛ ۱۰۰۰ میلی‌گرم B1، ۲۸۰۰ میلی‌گرم B2، ۱۶۰۰۰ میلی‌گرم B3، ۴۸۰۰ میلی‌گرم B5، ۲۰۰۰ میلی‌گرم B6، ۴۰۰ میلی‌گرم B9، ۸ میلی‌گرم B12 و ۲۰۰ گرم کولین.
هر کیلوگرم مکمل معدنی حاوی ۲۰۰ گرم کولین، ۴ گرم مس، ۰/۴گرم ید، ۳۲ گرم آهن، ۳۴ گرم منگنز، ۰/۱۲ گرم سلنیم و ۳۲ گرم روی

برای تجزیه وتحلیل داده‌ها از نرم افزار آماری SAS (SAS,۲۰۰۵) نسخه ۹/۱۲ و رویه GLM استفاده شد. طرح پایه آزمایش براساس طرح کاملا تصادفی بود و داده ها با استفاده از رویه خطی عمومی مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند برای داده-های عملکرد تولید و کیفیت تخم مرغ و پوسته تخم مرغ که دارای بیش از یک داده در زمان هستند برای تجزیه آماری از مدل داده‌های تکراردار در زمان استفاده شد، از رویه و مقایسات میانگین‌ها با استفاده از آزمونه آماری توکی در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد تولیدی: نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد اثر زمان برای شاخص‌های مورد مطالعه در آزمایش که دارای داده‌های تکراردار در زمان بودند معنی‌دار نبود بنابراین در جداول و تحلیل-ها بصورت جداگانه ارائه نشده است. استفاده از مکمل نانو اکسید آهن تاثیری بر درصد تولید تخم‌مرغ و میانگین وزن تخم مرغ نداشت (جدول ۲) بجز در هفته ششم که افزودن مکمل نانو اکسید آهن به صورت خطی باعث افزایش میانگین وزن تخم‌مرغ نسبت به گروه شاهد شد بیشترین وزن تخم‌مرغ در گروهی که جیره حاوی ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانو اکسید آهن دریافت کرده

بودند و به میزان ۶۲/۱۱ گرم مشاهده شد. مکمل نانو اکسید آهن در هفته های ششم، هفتم و کل دوره دوم بر توده تخم‌مرغ تولیدی روزانه اثر داشت ($P<0.05$)، با افزایش سطح نانو اکسید آهن، وزن توده تخم‌مرغ در مقایسه با شاهد افزایش یافت. بیشترین وزن توده تخم مرغ تولیدی روزانه در هفته ششم ، مربوط به سطح ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانو اکسید آهن در جیره غذایی مرغ‌های تخم‌گذار و به میزان ۵۹/۵۶ گرم در روز بود ($P=۰/۰۳۷$). بطور مشابه، ساکی و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که افزودن مکمل غذایی آهن به جیره مرغ‌های مادر گوشتی، تاثیری بر درصد تولید تخم‌مرغ نداشت. درحالی که Ramadan و همکاران (۲۰۱۰) دریافتند که مرغ های تخم گذاری که جیره فاقد مکمل آهن دریافت کرده بودند از درصد تخم‌گذاری پایین‌تری برخوردار بودند همچنین وزن تخم مرغ در مرغ های تغذیه شده با جیره حاوی مکمل آهن در مقایسه با شاهد بالاتر بود. در مطالعه مشابه دیگری گزارش شد سطوح ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم مکمل آهن در جیره مرغ تخم گذار بر صفات درصد تولید و وزن تخم مرغ اثر نداشت (Bertchini و همکاران، ۲۰۰۹) استفاده از سه منبع سولفات آهن، آلمیت و آویلا آهن ۶۰ بر عملکرد مرغ تخم‌گذار نشان داد مکمل آهن-متیونین بر شاخص‌های عملکردی شامل درصد تولید و وزن تخم مرغ اثر ندارد (Park و همکاران، ۲۰۰۴).

مکمل نانو اکسید آهن در هفته های ششم، هفتم و کل دوره دوم بر توده تخم‌مرغ تولیدی روزانه اثر داشت ($P<0.05$) و در بقیه هفته‌ها اثر نداشت. بیشترین وزن توده تخم‌مرغ تولیدی روزانه در هفته ششم، مربوط به سطح ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم نانو اکسید آهن در جیره غذایی مرغ‌های تخم گذار و به میزان ۵۹/۵۶ گرم در روز بود ($P<0.05$). یافته های حاضر با نتایج سروش و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت داشت. محققان نشان دادند که افزودن مکمل آهن به جیره غذایی مرغ‌های مادر گوشتی بر توده تخم‌مرغ تولیدی روزانه اثری نداشت (افخمی اردکانی و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به اینکه مقادیر ذخایر مکمل آهن بتدریج در بدن افزایش یافته است و به تخم مرغ منتقل شده است مشاهده می شود که در دوره ۲۸ روزه دوم آزمایش، صفات کیفی تخم مرغ بیشتر تحت تاثیر سطح مکمل نانواکسید آهن قرار گرفته و باعث بهبود صفات کیفی تخم مرغ قرار گرفته‌اند (سروش و همکاران، ۱۳۹۲) .

جدول ۲. اثر نانو اکسید آهن بر صفات عملکردی مرغ تخم‌گذار

صفت	دوره	هفته	نانواکسیدآهن (mg/kg) ۰	۵۰	۱۰۰	SEM	P-value
درصد تخم گذاری(٪)	۲۸ روز اول	اول	۹۴/۳۷	۹۳/۵۴	۹۴/۷۹	۱/۱۶	۰/۷۴۴
		دوم	۹۳/۸۵	۹۴/۰۰	۹۰/۱۳	۱/۳۶	۰/۰۹۳۹
		سوم	۹۳/۳۳	۹۲/۲۹	۹۲/۹۱	۲/۰۲	۰/۹۳۵۱
		چهارم	۹۴/۱۶	۹۴/۱۶	۹۳/۱۲	۱/۸۹	۰/۹۰۴۱
		کل دوره	۹۳/۹۳	۹۳/۵۰	۹۲/۷۴	۱/۱۵	۰/۷۶۴
	۲۸ روز دوم	پنجم	۹۵/۴۵	۹۷/۱۲	۹۶/۸۳	۰/۸۶	۰/۳۶۴۲
		ششم	۹۴/۶۷	۹۵/۵۰	۹۵/۸۸	۰/۸۲	۰/۵۷۴
		هفتم	۹۳/۴۵	۹۴/۸۱	۹۵/۴۵	۰/۷	۰/۱۴۱۳
		هشتم	۸۸/۷	۹۱/۲۵	۹۰/۰۳	۰/۹۵	۰/۱۹۰۶
		کل دوره	۹۳/۰۷	۹۴/۶۷	۹۴/۵۵	۰/۵۱	۰/۰۶۸۱
میانگین وزن تخم مرغ(گرم)	۲۸ روز اول	اول	۶۰/۳۹	۶۰/۴۱	۶۰/۷۷	۰/۴	۰/۷۶۳۷
		دوم	۵۹/۸۱	۵۹/۵۸	۶۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۵۴۰۶
		سوم	۶۰/۲۸	۶۰/۳۵	۶۰/۱۱	۰/۳۶	۰/۸۹۳۳
		چهارم	۶۰/۶۸	۶۰/۷۵	۶۱/۱۷	۰/۴۱	۰/۶۶۸
		کل دوره	۶۰/۲۹	۶۰/۳۴	۶۰/۶۴	۰/۳۱	۰/۷۰۶۹
میانگین وزن تخم مرغ(گرم)	۲۸ روز دوم	پنجم	۶۱/۶	۶۲/۰۶	۶۱/۷۳	۰/۲۲	۰/۳۳۱۲
		ششم	۶۰/۷^{b}	۶۱/۴^{ab}	۶۲/۱۱^{a}	۰/۳۳	۰/۰۲۱۱
		هفتم	۶۰/۷۳	۶۱/۵۳	۶۱/۶۹	۰/۳	۰/۰۷۹۷
		هشتم	۶۰/۶	۶۱/۲۷	۶۱/۳۶	۰/۴۵	۰/۴۴۴۱
		کل دوره	۶۰/۹۱	۶۱/۵۷	۶۱/۷۲	۰/۲۵	۰/۰۶۸۷
توده تخم مرغ تولیدی روزانه (گرم در روز)	۲۸ روز اول	اول	۵۶/۹۹	۵۶/۵۱	۵۷/۵۶	۰/۷۲	۰/۵۹۶۴
		دوم	۵۶/۱۱	۵۶/۲۸	۵۴/۵۲	۰/۸۶	۰/۳۰۱۲
		سوم	۵۶/۲۳	۵۵/۷۱	۵۵/۸۳	۱/۱۴	۰/۹۴۵۷
		چهارم	۵۷/۱۳	۵۷/۱۷	۵۶/۹۱	۱/۰۳	۰/۹۸۲۸
		کل دوره	۵۶/۶۱	۵۶/۴۲	۵۶/۲۱	۰/۶۴	۰/۹۰۴۲
	۲۸ روز دوم	پنجم	۵۸/۸۱	۶۰/۲	۵۹/۷۸	۰/۶۲	۰/۲۶۰۱
		ششم	۵۷/۴۷^{b}	۵۸/۶۵^{ab}	۵۹/۵۶^{a}	۰/۵۴	۰/۰۳۷
		هفتم	۵۶/۷۶^{b}	۵۸/۳۳^{ab}	۵۸/۸۸^{a}	۰/۴۵	۰/۰۰۷۹
		هشتم	۵۳/۷۷	۵۵/۸۹	۵۵/۲۴	۰/۶۵	۰/۰۸۱۳
		کل دوره	۵۶/۷^{b}	۵۸/۲۸^{a}	۵۸/۳۶^{a}	۰/۳۳	۰/۰۰۲۱

$^{a-b}$: میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌دار است ($P<۰/۰۵$).

شاخص توده تخم مرغ تولیدی روزانه از جمله شاخص‌های اقتصادی موفق در ارزیابی تولید مرغ تخم گذار است که بهبود آن می‌تواند به افزایش تولید و درآمد اقتصادی منجر شود. در مطالعات پیشین، روند مشخصی در رابطه با اثر مکمل های آهن بر عملکرد مرغ تخمگذار گزارش نشده است هر چند کمبود آن می-تواند باعث افت تولید و کیفیت پوسته تخم مرغ شود(سروش و همکاران، ۱۳۹۲؛ Park و همکاران، ۲۰۰۴، Ramasden, 2005).

یافته‌های حاصل از اثر نانو اکسید آهن بر مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک مرغ تخم‌گذار در جدول ۳ ارائه شده است. نانواکسیدآهن در هفته چهارم و هفتم اثر معنی‌داری بر میانگین خوراک مصرفی روزانه گذاشت ($P<0.05$) هر چند در سایر هفته ها و کل دوره، سطح مکمل نانواکسید آهن تاثیری بر مصرف خوراک نداشت. در دو هفته چهارم و هفتم افزایش سطح نانواکسید آهن تا سطح ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره باعث افزایش میزان مصرف خ وراک شد. در بسیاری از مطالعات پیشین گزارش شده است که افزودن مکمل آهن به جیره، بر میزان مصرف خوراک تاثیری ندارد (Park و همکاران، ۲۰۰۴، Ramasden, 2005) ولی Son و همکاران(۲۰۱۵) نشان دادند که افزایش سطح آهن جیره به طور خطی باعث افزایش خوراک مصرفی روزانه گردید که با نتایج دو هفته چهارم و هفتم این مطالعه همخوانی دارد هر چند در کل، سطح مکمل نانوآهن بر مصرف خوراک تاثیری نداشت.

از مهمترین ویژگی‌های تولیدی دیگر، مرغ تخم‌گذار ضریب تبدیل خوراک است. هرچه رقم این صفت کمتر باشد از لحاظ اقتصادی با صرفه‌تر می‌باشد. استفاده از نانواکسید آهن تاثیری بر ضریب تبدیل خوراک نداشت، ساکی و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که کاهش معنی‌داری در ضریب تبدیل خوراک در اثر تغذیه نانوذرات آهن در جیره در مقایسه با گروه شاهد مشاهده شد. هر چند در مطالعات دیگر نیز مشابه با یافته‌های پژوهش حاضر، استفاده از مکمل‌های آهن تاثیری بر ضریب تبدیل خوراک نداشت (Bertchini و همکاران، ۲۰۰۰؛ Park و همکاران، ۲۰۰۴؛ Ramasden، ۲۰۰۵).

صفات کیفی تخم‌مرغ: یافته های حاصل از اثر سطوح مختلف نانواکسید آهن بر صفات کیفی تخم مرغ در جدول ۴ ارائه شده است. سطح نانواکسیدآهن بر شاخص‌های ارتفاع زرده، شاخص رنگ زرده و وزن نسبی زرده وسفیده تخم‌مرغ نسبت به گروه شاهد اثر معنی‌داری نداشت. بطور مشابه در تحقیقی گزارش شد افزودن مکمل آهن تا سطح ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم جیره تاثیری بر صفات کیفی تخم مرغ ندارد (Bertchini و همکاران، ۲۰۰۰)، هر چند Park و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که مکمل نمودن آهن-متیونین در سطوح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم در جیره مرغ تخم‌گذار می‌تواند بر شاخص رنگ زرده اثر بگذارد و با افزایش سطح مکمل آهن-متیونین، رنگ زرده و شاخص شکل تخم مرغ بصورت خطی افزایش یافتند (Park و همکاران، ۲۰۰۴). شاخص شکل تخم‌مرغ نشان دهنده تقارن بین قطر کوچک و بزرگ تخم‌مرغ است و در هنگام بررسی این صفت به آسانی مشخص می‌شود که تخم‌مرغ از نظر شکل ظاهری دراز، قطور یا استاندارد است چنانچه شاخص شکل در دامنه ۷۲ تا ۸۰ (بیضوی) باشد مناسب است ولی چنانچه کوچکتر از ۷۲ باشد تخم مرغ دراز و اگر بزرگتر از ۸۰ باشد تخم مرغ گرد خواهد بود (سروش و همکاران، ۱۳۹۲). در این آزمایش سطح نانواکسید آهن باعث افزایش شاخص شکل تخم به سمت بیضوی گردید. واحد هاو د ر واقع بیانگر کیفیت داخلی تخم‌مرغ است. هر چقدر میزان پخش شدن سفیده روی سطح صاف کمتر بوده و ارتفاع سفیده بیشتر خواهد بود و در نتیجه واحد هاو بزرگتر است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان دادکه استفاده از نانواکسید آهن در جیره غذایی مرغ تخم‌گذار در دوره دوم آزمایش باعث افزایش شاخص واحد هاو در مقایسه با شاهد شد ($P<0.05$) که با افزایش سطح نانواکسید آهن واحد هاو افزایش یافت. Ramsden (۲۰۰۵) گزارش کردکه افزایش سطح آهن در جیره غذایی مرغ‌های تخم گذار اثری بر واحد هاو نداشت. Park و همکاران (۲۰۰۴) نیز گزارش نمودند که سطح و نوع مکمل آهن بر واحد هاو اثر ندارد. احتمالا" بهبود غلظت سفیده تخم مرغ و افزایش واحد هاو در جوجه های تغذیه شده با مکمل آهن بدلیل

تأثیر بر جذب و سوخت وساز مواد مغذی و افزایش ابقای آن‌ها در تخم مرغ باشد . زیرا هرچه غلظت و تراکم مواد مغذی در سفیده بیشتر باشد سفیده غلیظ‌تر و واحد هاو آن بالاتر خواهد بود (صادقی و همکاران، ۱۳۸۵). یکی دیگر از صفات کیفی تخم‌مرغ وزن زرده به عنوان درصدی از وزن تخم‌مرغ است و معمولا" با افزایش اندازه زرده، تخم مرغ نیز بزرگتر می شود. با توجه به نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها ، وزن نسبی زرده و سفیده به عنوان نسبتی از وزن تخم‌مرغ تحت تأثیر سطح نانو اکسید آهن قرار نگرفت.

جدول ۳. اثر نانو اکسید آهن بر مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک در مرغ تخم‌گذار

صفت	دوره	هفته	نانواکسیدآهن (mg/kg) ۰	۵۰	۱۰۰	SEM	P-value
مصرف خوراک (گرم در روز)	۲۸ روز اول	اول	۱۱۰/۶	۱۱۰/۶۶	۱۱۱	۰/۲۳	۰/۵۲۱۷
		دوم	۱۱۱/۹۱	۱۱۲	۱۱۱/۵	۰/۲۵	۰/۳۳۲۲
		سوم	۱۱۲/۵۰	۱۱۲	۱۱۱/۷۵	۰/۲۴	۰/۰۶۴۵
		چهارم	۱۲۰/۳[a]	۱۱۸/۶[b]	۱۲۱[a]	۰/۲۳	۰/۰۰۰۱
		کل دوره	۱۱۳/۷۵	۱۱۳/۲۵	۱۱۳/۳۵	۰/۳	۰/۴۶۶۷
	۲۸ روز دوم	پنجم	۱۲۴/۹	۱۲۴/۶	۱۲۳/۳	۰/۳۷	۰/۱۱۹
		ششم	۱۲۴/۲۵	۱۲۴/۶	۱۲۳/۴	۰/۳۶	۰/۰۶۷۵
		هفتم	۱۱۶/۴[b]	۱۱۷/۹[a]	۱۱۸/۵[a]	۰/۴۱	۰/۰۰۲۹
		هشتم	۱۱۶/۳	۱۱۵/۹	۱۱۵/۵	۰/۵۶	۰/۵۹۲۱
		کل دوره	۱۲۰/۷۹	۱۲۰/۴۷	۱۲۰/۲	۰/۲۹۵	۰/۳۸۹۴
ضریب تبدیل خوراک (گرم : گرم)	۲۸ روز اول	اول	۱/۹۴	۱/۹۶	۱/۹۳	۰/۰۲	۰/۶۳۶۲
		دوم	۲/۰۰۳	۱/۹۹	۲/۰۵	۲/۰۳	۰/۳۵۱۶
		سوم	۲/۰۰۳	۲/۰۴	۲/۰۰۴	۰/۰۵	۰/۸۵۰۵
		چهارم	۲/۱۱	۲/۰۸	۲/۱	۰/۰۴	۰/۸۶۳۳
		کل دوره	۲/۰۱	۲/۰۲	۲/۰۲	۰/۰۲	۰/۹۸۲۶
	۲۸ روز دوم	پنجم	۲/۰۶	۲/۰۷	۲/۱	۰/۰۲	۰/۰۸۲۶
		ششم	۲/۰۷	۲/۱۲	۲/۱۳	۰/۰۱۸	۰/۰۸۵
		هفتم	۲/۰۱	۲/۰۲	۲/۰۵	۰/۰۱۵	۰/۲۲۰۱
		هشتم	۲/۰۹	۲/۰۷	۲/۱۳	۰/۰۲	۰/۰۸۸۵
		کل دوره	۲/۰۶	۲/۰۷	۲/۱۰	۰/۰۱۲	۰/۰۷۲

[a-b]: میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌دار است (P<۰/۰۵).

جدول ٤: اثر نانو اکسید آهن بر صفات کیفی تخم‌مرغ

	صفت	نانواکسید آهن (mg/kg)			SEM	P_value
		۰	۵۰	۱۰۰		
۲۸ روز اول	شاخص زرده	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۰۰۲	۰/۲۹۱۹
	شاخص شکل تخم مرغ	۶۹/۵۳^{b}	۷۱/۰۸^{ab}	۷۲/۷۸^{a}	۰/۵۹	۰/۰۰۰۹
	واحد هاو	۸۳/۳۴	۸۰/۰۳	۷۸/۲۹	۲/۸۳	۰/۴۴۵۵
	شاخص رنگ زرده	۱۰/۱۸	۱۰/۴۱	۱۰/۱۶	۰/۱	۰/۰۷۹۴
	وزن نسبی زرده (٪ وزن تخم مرغ)	۲۶/۴۹	۲۶/۸۸	۲۶/۷۷	۰/۳۹	۰/۷۷۲۷
	وزن نسبی سفیده (٪ وزن تخم مرغ)	۵۹/۹	۵۸/۸	۵۹/۲	۰/۴۹	۰/۳۲۰۳
	وزن نسبی پوسته (٪ وزن تخم مرغ)	۱۳/۵۹	۱۴/۲۶	۱۳/۹۳	۰/۹۹	۰/۱۲۱۷
	ضخامت پوسته (um)	۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۳۷	۰/۰۰۴	۰/۸۴۹۲
	مقاومت پوسته (N/cm^2)	۳/۲۲^{b}	۳/۴۶^{ab}	۳/۷۲^{a}	۰/۳۲	۰/۰۰۸۷
	وزن مخصوص (gr/cm^3)	۱/۰۸۶	۱/۰۸۸	۱/۰۸۵	۰/۰۰۰۹	۰/۱۲۵۳
۲۸ روز دوم	شاخص زرده	۲۴/۱۴	۲۳/۹۲	۲۴/۳۹	۰/۳۳	۰/۶۲۰۲
	شاخص شکل تخم مرغ	۷۱/۶۸	۷۱/۸۶	۷۱/۹۷	۰/۲	۰/۶۵۹۴
	واحد هاو	۸۱/۹۷^{b}	۸۳/۴۶^{ab}	۸۳/۸^{a}	۱/۱۲	۰/۰۲۶۵
	شاخص رنگ زرده	۸/۹	۸/۹	۸/۸	۰/۰۹	۰/۹۹۴۲
	وزن نسبی زرده (٪ وزن تخم مرغ)	۳۰/۷	۳۱/۱۴	۳۱/۸	۰/۳۶	۰/۰۸۴
	وزن نسبی سفیده (٪ وزن تخم مرغ)	۵۷/۹	۵۷/۷	۵۷/۴	۰/۴۳	۰/۶۶۴۳
	وزن نسبی پوسته (٪ وزن تخم مرغ)	۱۰/۱۸^{b}	۱۱/۱۱^{a}	۱۰/۶۸^{a}	۰/۱۴	۰/۰۰۰۱
	ضخامت پوسته (um)	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۴۱	۰/۰۰۳	۰/۱۰۶
	مقاومت پوسته (N/cm^2)	۳/۵۲	۳/۸۴	۳/۶۸	۰/۰۱	۰/۰۶۰۳
	وزن مخصوص (gr/cm^3)	۱/۰۷^{b}	۱/۰۸^{a}	۱/۰۸^{a}	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۱

^{a,b} : وجود حروف مختلف روی اعداد هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌هاست (P< ۰/۰۵).

مکمل نانواکسید آهن جیره بر مقاومت پوسته تخم‌مرغ اثر داشت (P<0.05) به طوری که مرغ هایی که جیره حاوی ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم نانو اکسید آهن دریافت کردند بیشترین و مرغ‌های گروه شاهد کمترین مقاومت پوسته تخم‌مرغ را نشان دادند. وزن نسبی پوسته و وزن مخصوص تخم مرغ نیز در دوره ۲۸ روزه دوم در مرغ-های تغذیه شده با نانواکسیدآهن در مقایسه با شاهد بالاتر بود. با افزایش سطح مکمل آهن، افزایش در وزن پوسته تخم مرغ نسبت به شاهد، مشاهده ش د. بیشترین وزن پوسته مربوط به سطح ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم نانواکسید آهن به میزان ۱۱/۱۱ گرم است. Abbasi و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند که افزایش میزان آهن جیره باعث

افزایش استحکام پوسته و در نتیجه بهبود مقاومت پوسته تخم‌مرغ در مرغ های مادر گوشتی شد. کیفیت پوسته تخم‌مرغ از مهمترین صفات مورد توجه در صنعت پرورش مرغ‌های تخم گذار تجاری و مرغ‌های مادر است زیرا اگر کیفیت پوسته تخم مرغ ضعیف باشد درصد قابل توجهی از تخم مرغ‌ها در مراحل جمع‌آوری و حمل ونقل از بین خواهند رفت که باعث ضرر اقتصادی می‌شوند.

شاخص‌های بیوشیمیایی خون: یافته‌های حاصل از اثر مکمل نانو اکسید آهن بر شاخص‌های بیوشیمیایی خون مرغ تخم‌گذار در جدول ۵ ارائه شده است($P< ۰/۰۵$). مکمل نمودن نانواکسید آهن به جیره مرغ تخم گذار باعث کاهش غلظت کلسترول، تری‌گلیسرید و LDL خون در مقایسه با شاهد شد ($P=۰۰۰۱$) و غلظت HDL خون در گروه تغذیه شده با مکمل نانواکسید آهن در مقایسه با شاهد افزایش یافت ($P=۰۰۰۱$). افزایش غلظت آهن جیره باعث کاهش میزان ابقای کلسترول خون گردید ($P=۰۰۱۴$). آهن از جمله عناصر دو ظرفیتی است که احتمال پراکسیداسیون لیپیدها را افزایش می‌دهد بنا براین با افزایش غلظت آهن در جیره، میزان پراکسیدسیون لیپیدها افزایش یافته و غلظت کلسترول و تری گلیسرید خون را کاهش می‌دهد هر چند در بعضی مطالعات پیشین گزارش شده است کمبود شدید آهن نیز باعث کاهش متابولیسم چربی‌ها و در نتیجه کاهش چربی خون می‌شود (AndadnaRao and Larkin، ۱۹۸۴). بنابراین مکمل نمودن آهن حتی بر نیمرخ اسیدهای چرب بافتی در جوجه گوشتی اثر دارد و باعث افزایش سطح اسیدهای چرب اشباع، غیراشباع با یک پیوند دوگانه و نسبت اسیدهای چرب امگا-۶ به امگا-۳ شد و مکمل نمودن آهن به جیره جوجه گوشتی باعث کاهش اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه گردید (Buckiuniene و همکاران، ۲۰۱۶).

مکمل نانواکسید آهن بر غلظت پروتئین تام خون و میزان فعالیت آنزیم آلانین آمینوترانسفراز خون اثر نداشت. در اثر تخریب و از بین رفتن سلول‌های کبدی، آنزیم آلانین آمینوترانسفراز در خون رها می‌شود . بنابراین بالارفتن این آنزیم نشانه‌ای از تخریب سلول‌های کبدی است. تحت شرایط عادی این آنزیم درون سلول‌های کبدی وجود دارد اما زمانی که کبد آسیب می‌بیند این آنزیم وارد جریان خون می‌شود. Yousefi و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که مقدار ۱۵۰ میکروگرم بر کیلوگرم نانو ذرات اهن باعث افزایش سطح سرمی فعالیت آنزیم آلانین آمینوترانسفراز[4] (ALT)، آسپارتات آمینوترانسفراز[5] (AST) و آلکالین فسفاتاز[6] (ALP) می‌شوند. یافته‌های حاصل از نتایج افخمی اردکانی (۱۳۹۱) نشان دادند که نانوذرات آهن در غلظت ۱۵۰ میکروگرم بر کیلوگرم باعث افزایش معنی‌دار ALT و ALP در موش صحرایی شد که این نتایج با مطالعه حاضر مطابقت ندارد. قاسم پور و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که تزریق نانوذرات آهن در موش صحرایی بر فعالیت AST، ALT و ALP اثر نداشت. یکی از دلایل احتمالی عدم افزایش فعالیت آنزیم‌های کبدی بررسی شده در این مطالعه آگلومره بودن نانو ذرات تهیه شده می باشد و این پدیده سبب کاهش سرعت جذب و عبور این نانو ذرات از غشاهای سلولی و کاهش ضایعات غشای سلولی و در نتیجه عدم افزایش فعالیت انواع آنزیم‌های کبدی شده است (Mokhtari و همکاران، ۲۰۰۷).

استفاده از مکمل نانواکسید آهن در گروه‌های آزمایشی در مقایسه با گروه شاهد باعث افزایش خطی غلظت آهن خون مرغ‌های تخمگذار گردید (جدول ۵) و مقادیر ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوذرات اکسیدآهن به طور مشخصی، باعث افزایش سطح سرمی آهن خون شد. محققان گزارش کردند که نانوذرات آهن در ماهی‌ها باعث افزایش آهن سرم نسبت به گروه شاهد شد (Behera و همکاران، ۲۰۱۴). Ghasempour و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند سطح آهن سرم خون ۲۴ ساعت پس از تزریق نانومیله‌های آهن نسبت به گروه کنترل در موش افزایش یافت. افزایش مقدار آهن جیره باعث افزایش غلظت آهن سرم در ۲۱ تا ۴۲ روزگی جوجه های گوشتی شد (Ma و همکاران، ۲۰۱۲). بطور مشابه Liao و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نمودند افزایش سطح مکمل آهن باعث افزایش میزان ابقای آهن در کبد، قلب و ماهیچه سینه شد هر چند بر غلظت آهن در پانکراس، کلیه، طحال و استخوان درشت نی تاثیر نداشت که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد.

[4] Alanine aminotransferase (ALT)
[5] Aspartate aminotransferase (ALT)
[6] Alkaline Phosphatase (ALP)

جدول ۵: اثر نانواکسیدآهن بر شاخص‌های بیوشیمیایی خون مرغ تخم‌گذار

شاخص	۰	۵۰	۱۰۰	SEM	P-value
تری گلیسرید(gr/dl)	۱۱۸۵/۲۳^{a}	۹۸۷/۵^{b}	۸۹۸/۴^{b}	۳۹/۶۳	۰/۰۰۰۱
کلسترول (mg/dl)	۲۳۹/۲^{a}	۱۹۱/۷^{b}	۱۷۷/۵^{b}	۱۱/۰۸	۰/۰۰۱۴
HDL (gr/dl)	۱۴۷/۷^{b}	۱۷۹/۵^{a}	۱۸۰/۲۳^{a}	۳/۱۷	۰/۰۰۰۱
LDL (gr/dl)	۶۹۰/۵^{a}	۵۱۲/۲۸^{b}	۴۵۸/۸^{b}	۲۷/۵۷	۰/۰۰۰۱
پروتئین تام (mg/dl)	۶/۴۵	۶/۵۷	۶/۲۲	۰/۱۱	۰/۰۹۹۴
آهن (mg/dl)	۳۰۷/۴^{c}	۳۲۷/۹^{b}	۳۵۵/۸^{a}	۲/۵	۰/۰۰۰۱
روی (mg/dl)	۵/۸^{b}	۶/۱^{ab}	۶/۲^{a}	۰/۰۸	۰/۰۰۹۳
آلانین آمینوترانسفراز(U/L)	۵/۲	۴/۵	۴/۳	۰/۳۹	۰/۲۸۹۹

^{a,b}: وجود حروف مختلف روی اعداد هر ردیف نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌هاست (P< ۰/۰۵)

داده‌های مرتبط با اثر مکمل نانو اکسید آهن بر غلظت MDA خون و زرده و عیار پادتن بر ضد نیوکاسل و آنفلونزا در جدول ۶ ارائه شده است. اثر سطوح مختلف نانواکسیدآهن بر عیار پادتن بر ضد نیوکاسل و آنفلونزا نشان داد که بین گروه‌های آزمایشی مختلف از نظر میزان عیار پادتن نیوکاسل در مقایسه با گروه شاهد تفاوت معنی‌دار آماری وجود دارد و تأثیری بر عیار پادتن آنفلوآنزا نداشت (P< ۰/۰۵). به طوری که با افزایش سطح مکمل نانواکسیدآهن در جیره مرغ‌های تخمگذار، میزان عیار پادتن نیوکاسل به صورت خطی افزایش پیدا کردند Yang و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که مکمل مس، آهن، روی و منگنز اثر معنی-داری بر لنفوسیت‌های خون، عیار پادتن ویروس و بیماری ویروسی نیوکاسل و وزن نسبی طحال نداشت. استفاده از مواد معدنی به مقدار کم یک راهبرد است که می تواند عملکرد ایمنی را بهبود بخشد و بر حفاظت پرندگان در برابر بیماری کمک کند (Milanović و همکاران، ۲۰۰۸؛ Moghaddam and Jahanian، ۲۰۰۹؛ Sunder و همکاران، ۲۰۰۸).

جدول ٦: اثر نانواکسیدآهن بر غلظت مالون دی‌آلدئید و عیار پادتن بر ضد نیوکاسل و آنفلوآنزا

شاخص	۰	۵۰	۱۰۰	SEM	P-value
MDAخون(µ gr/dl)	۰/۸۰^{b}	۰/۸۶^{b}	۰/۹۲^{a}	<۰۰۰۱/	۰/۰۰۰۱
MDAزرده(µ gr/dl)	۱/۲۳^{b}	۱/۲۸^{ab}	۱/۳۵^{a}	<۰۰۰۱/	۰/۰۰۱۶
عیار پادتن بر ضد نیوکاسل (Log_{10})	۸/۵۲^{b}	۸/۷۷^{ab}	۹/۳۳^{a}	<۰۰۰۱/	۰/۰۴۷۳
عیار پادتن بر ضد آنفولانزا (Log_{10})	۸/۴۱	۸/۷۲	۸/۷۵	<۰۰۰۱/	۰/۵۹۸

^{a,b}: وجود حروف مختلف روی اعداد هر ردیف نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌هاست (P< ۰/۰۵)

تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد غلظت مالون دی آلدئید (MDA) خون و زرده تحت تأثیر نانواکسید آهن جیره قرار گرفتند (P< ۰/۰۵) به طوری که با افزایش سطح آهن جیره، غلظت MDA خون و زرده به صورت خطی افزایش پیدا کرد. محمدی موحد و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند که قرارگیری ماهیان کپور در معرض نانواکسیدآهن بر میزان پراکسیداسیون چربی‌ها اثر گذاشته و باعث افزایش سطح MDA گردید Buckiuniene و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند افزایش سطح مکمل آهن باعث افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها، کاهش اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه و افزایش غلظت مالون دی آلدئید خون می‌گردد. بنابراین مکمل نمودن آهن در جیره جوجه گوشتی، احتمال فعالیت‌های اکسیداتیو را افزایش می-دهد (Buckiuniene و همکاران، ۲۰۱۶) بنابراین باعث کاهش لیپیدهای پلاسما می گردد. در مطالعه دیگری گزارش شد افزودن مکمل آهن باعث افزایش فعالیت آنزیم های سوپراکسید دسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز گردید ولی بر میزان آسیب‌های اکسیداتیو اثری نداشت (Behera و همکاران، ۲۰۱۴).

نتیجه‌گیری کلی: با توجه به یافته‌های مطالعه حاضر، سطح ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانو اکسید آهن باعث بهبود صفات کیفی تخم مرغ و شاخص‌های بیوشیمیایی خون و پاسخ ایمنی مرغان تخم‌گذار گردید بنابراین توصیه می‌شود از سطح ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانو اکسید آهن در جیره مرغ تخمگذار استفاده شود. هر چند در این سطح، احتمال افزایش پراکسیداسیون لیپیدهای تخم مرغ وجود دارد.

منابع

افخمی اردکانی، م.، شیربند، م.، گلزاده، ع. ج.، سامانی، م.ا.، لطیفی، ا.، خیلاپور، م.، و جعفری، ن. (۱۳۹۱). تأثیر نانوذرات آهن بر غلظت آنزیم های کبدی، هورمون های تیروئیدی و هورمون محرک تیروئید در موش صحرایی. *مجله دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد*، ۶: ۸۸-۸۲.

ساکی، ع. ا.، عباسی نژاد، م.، و احمدی، ا. (۱۳۹۳). اثرات استفاده از نانو ذرات آهن و متیونین مایع (آلیمت) در تغذیه جنینی و جیره بر عملکرد جوجه های گوشتی. *تحقیقات تولیدات دامی*، ۳(۳): ۷۱-۵۷.

سروش، س. ز.، سالاری، س.، ساری، م.، فیاضی، ج.، و طباطبایی، ص. (۱۳۹۲). تأثیر سطوح مختلف عنصر روی بر عملکرد، صفات کیفی تخم‌مرغ و برخی فراسنجه‌های خونی مرغ تخمگذار. *پژوهش‌های تولیدات دامی*، ۶(۱۱): ۱۹-۲۷.

فرخوی، م.، خلیقی سیگارودی، ت. نیک نفس، ف. ۱۳۸۶. راهنمای کامل پرورش طیور. انتشارات سازمان اقتصادی کوثر. تهران. ایران

صادقی، ق.ع.، مهری، م.، پوررضا، ج. (۱۳۸۵). تغذیه طیور اسکات. ارکان دانش.

محمدی، ه.، فرزین پور، ا.، و وزیری، ا. (۱۳۹۴). اثر نانو ذرات اکسید آهن بر برخی مواد معدنی زرد ه تخم در بلدرچین ژاپنی. *اولین همایش ملی گیاهان دارویی، طب سنتی و کشاورزی ارگانیک*، ۷ آذرماه ۱۳۹۳. همدان. ایران. صفحات: ۲۴۷-۲۴۱.

محمدی موحد، م.، ستاری، م.، باباخانی، آ.، غفوری، ح.، و جوهری، س.ع. (۱۳۹۴). اثر نانوذرات اکسیدآهن بر سیستم دفاعی، آنتی‌اکسیدانی و پراکسیداسیون چربی در بچه ماهیان کپور (*Cyprinus corpio*). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، گروه شیلات، دانشگاه گیلان.

Abbasi, M., Zaghari, M., Ganjkhanlo M., and Khalaji, S. (2015). Is dietary iron requirement of broiler breeder hens at the lat stage of production cycle influenced by phytase supplementation? *Journal of Applied Animal Research*. 43: 166-176.

Ahn, D.U., Sell, J.L., Chen, C.J.X., Wu, C. and Lee, J.I. (1998). Effects of dietary vitamin E supplementation on lipid oxidation and volatiles content of irradiated, cooked turkey meat patties with different packaging. *Poultry Science*. 77: 912–920.

AndadnaRao, G., and Larkin, E.C. (1984). Role of dietary iron in lipid metabolism. *Nutrition Research*, 4: 145-151.

Arabi, F., Imandar, M., Negahdary, M., TorkamaniNoughbi, M., Akbari-Dastjerdi H., and Fazilati, M. (2012). Investigation anti-bacterial effect of zinc oxide nanoparticles upon life of listeria monocytogenes .*Annals of Biological Research*. 3: 3679-3685.

Behera, T., Swain, P., Rangacharullu, P.V. and Samanta, M. (2014). Nano-Fe as food additive improves the hematological and immunological parameters of fish, *Labeo rohita H. Applied Nanoscience*. 4(6): 687-694.

Bertchini, A.G., Fassani, E.J., Fialho, E.T. and Spadoni, J.A. (2000). Iron Supplementation for Commercial Laying Hens in Second Cycle of Production. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 2(3): 267-272.

Buckiuniene, V., Gruzauskas, R., Kliseviciute, V., Raceviciute-Stupeliene, A., Svirmickas, G., Bliznikas, S., Miezeliene, A., Alencikiene, G. and Grashorn, M.A. (2016). Effect of organic and inorganic iron on iron content, fatty acid profile, content of malondialdehyde, texture and sensory properties of broiler meat. *European Poultry Science*, 80: DOI: 10.1399/eps.2016.141.

Butzen, P., Root, E. and Starcher, B. (1985). Zinc secretion in the oviduct of the coturnix quail.*Biological Trace Element Research*. 8: 283-300.

Cao, J., Henry, P.R., Guo, R., Holwarda, R.A., Toth, J.P., Littell, R.C., Miles, R.D. and Ammerman, C.B. (2000). Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental organic zinc sources for poultry and ruminants. *American Society of Animal Science*. 78:2039-2054.

Dayeme, A.A. Hossain, M.K., Lee, S.B., Kim, K., Saha, S. K., Yang, G., Choi, H.Y., and Cho, S. (2017). The role of reactive oxygen species (ROS) in the biological activities of metallic nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, 18: 120-141.

Feng, J., Ma, W.Q., Xu, Z.R., Wang, Y.Z. and Liu, J.X. (2009). The effect of iron glycine chelate on tissue mineral levels, fecal mineral concentration, and liver antioxidant enzyme activity in weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 150: 106-113.

Feng, J., Ma, W.Q., Xu, Z.R., Wang, Y.Z. and Liu, J.X. (2007). Effects of iron glycine chelate on growth, haematological and immunological characteristics in weaning pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 134:261-272.

Francisco, H. S. J., Facundo, R., Diana, C.C.C.P., Fidel, M.G., Alberto, E.M., Amaury, D.J.P.G., Humberto, T.P. and Gabriel, M.C. (2008). The antimicrobial sensitivity of Streptococcus mutans to nanoparticles of silver, zinc oxide and gold. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*. 4: 237-240.

Gatlin, I. and Wilson, R.P. (1986). Characterization of iron deficiency and the dietary iron requirement of fingerling channel catfish. *The Journal of Aquaculture*. 52: 191-198.

Ghasempour, S., Shokrgozar, M.A., Ghasempour, R. and Alipour, M. (2014). The Iron Nanorods Toxicity on L929 cell line. *Journal of Isfahan Medical School*. 31: 1973-1983.

Hirao, S., Yamada, J. and Kikuchi, R. (1955). Relation between chemical constituents of rainbow trout eggs and the hatching rate. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 21: 240-243.

Liao, X., Ma, C., Lu, L., Zhang, L. and Luo, X. (2017). Determination of dietary iron requirements by full expression of iron-containing cytochrome c oxidase in the heart of broilers from 22 to 42 d of age. *British Journal of Nutrition*, 118: 493–499.

Ma, W.Q., Sun, H., Zhou, Y., Wu, J. and Feng, J. (2012). Effects of iron glycine chelate on growth, tissue mineral concentrations, fecal mineral excretion, and liver antioxidant enzyme activities in broilers. *Biological Trace Element Research*. 149: 204-211.

Milanović, S., Lazarević, M., Jokić, Z., Jovanović, I., Pešut, O., Kirovski, D. and Marinković, D. (2008). The influ-ence of organic and inorganic Fe supplementation on red blood picture, immune response and quantity of iron in or-gans of broiler chickens. *Acta Veterinaria*. 58:179–189.

Mokhtari, M., Shariati, M. and Geshmardi, N. (2007). Oral effects of lead on thyroid hormones and liver enzymes in rats. *Hormozgan Medical Journal*. 11(2): 115-20.

Moghaddam, H. N. and Jahanian, R. (2009). Immunological responses of broiler chicks can be modulated by dietary supplementation of zinc-methionine in place of inor-ganic zinc sources. *Asian-Australas. Journal Animal Science*. 22:396–403.

Nadadur, S. S., Srirama, K. and Mudipalli, A. (2008). Iron transport and homeostasis mechanism: Their role in health and diseas. *Indian Journal Medical Research*. 128:533-544.

Nikonov, I.N., Folmanis, Y.G., Folmani, G.E., Kovalenko, L.V., Lapteva, G.Y., Egorov, I.A., Fisinin V.I. and Tananaev, G. (2011). Iron nanoparticles as a food additive for poultry. *Doklady Biological Sciences*, 440: 328-331.

Park, S. W., Namkung, H., Ahn, H.J. and Paik, I.K. (2004). Production of iron enriched eggs of laying hens. *Asian-Australian Journal of Animal Science*. 456-756.

Rai, M., Yadav, A. and Gade, A. (2009). Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology Advances*. 27: 76-83.

Ramadan, N.A., Omar, A.S., Bahakaim, A.S.A. and Osman, S.M.H. (2010). Effect of using different levels of iron with zinc and copper in layer's diet on egg iron enrichment. *International Journal of Poultry Science*. 9 (9): 842-850.

Ramsden, J.J. (2005). What is nanotechnology?. *Nanotechnology Perceptions*. 1: 3-17.

Saldenha, E.S.P.B., Garcia, E.A., pizzolante, C.C., Faittarone, A.B.G., Sechinato, A., Molino, A.B. and Lagana, C. (2009). Effect of Organic Mineral Supplementation on the Egg Quality of semi-Heavy layers in Their Second Cycle of Lay. *Brazilian Journal of Poultry Science*.241-247.

Son, J., Liu, D. and Shi, R. (2015). Supplemental dietary iron glycine modifies growth, immune function, and antioxidant enzyme activities in broiler chickens. *Livestock Science*. 176:129-134.

Sunder, G. S., Panda, A.K., Gopinath, N.C.S., Rao, S.V.R., Raju, M., Reddy, M.R. and Kumar, V. (2008). Effects of higher levels of zinc supplementation on perfor-mance, mineral availability, and immune competence in broiler chickens *Journal of Applied Poultry Research*. 17:79–86.

Tako, E., Rutzke, M.A. and Glahn, R.P. (2010). Using the domestic chicken (gallus gallus) as an *in vivo* model for iron bioavilability. *Poultry Science*. 89: 514-521.

Yang, X.J., Sun, X.X., Li, C.Y., Wu, X.H. and Yao, J.H. (2011). Effects of copper, iron, zinc, and manganes supplementation in a corn and soybean meal diet on the growth performance, meat quality, and immune responses of broiler chickens. *Poultry Science Association, Inc*. 263.

Yousefi, V., Amraeai, E., Saleh, H., Sadeghi, L., Najafi, L. and Fazilati, M. (2013). Evaluation of ironoxide nanoparticles effects on tissue and enzymes of thyroid in rats. *International Research Journal of Biological Science*. 7: 67-69.