



Investigating the effect of flaxseed oil and fish oil on production performance, quality and enrichment of eggs in laying hens

Hormoz Jafari¹ | Hossein Moravej² | Mehdi Hajarmanesh³ |
Zeinab Boroumandnia⁴

1. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: Hormoz.Jafari@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: hmoravej@ut.ac.ir
3. Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: omidhajarmanesh.m@gmail.com
4. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: zbroumandnia@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 29 July 2025
Received in revised form
20 December 2025
Accepted 20 December 2025
Published online 20 January 2026

Keywords:

Fatty acid profile
Enriched eggs
Egg production
Omega-6 to omega-3 ratio

ABSTRACT

Objective: The objective of this study was to determine the effect of different levels of flaxseed oil and fish oil on productive performance, egg quality, yolk fatty acid pattern, and egg enrichment in laying hens.

Method: Three hundred and twenty-four white Shaver laying hens, 65 weeks old, were randomly assigned to one of six dietary treatments in an 8-week trial using a completely randomized block design with repeated measures. Six dietary treatments were used: treatment 1: control containing crude soybean oil and no source of flaxseed and fish oil; treatment 2: 1.5% flaxseed oil, treatment 3: 1.5% fish oil, treatment 4: 3% flaxseed oil, treatment 5: 3% fish oil and treatment 6: 1.5% flaxseed oil + 1.5% fish oil. The diets were based on corn and soybean meal and were formulated according to the nutritional requirements of Shaver layers in the late production phase.

Results: This study found that flaxseed oil and fish oil significantly affected egg weight, egg laying percentage and feed conversion ratio (FCR) ($P < 0.05$), but did not affect egg mass and feed intake. Egg weight in the 1.5% fish oil treatment was higher than the 1.5% flaxseed oil + 1.5% fish oil treatment ($P < 0.05$), but was not different from other treatments. Egg production in the 3% flaxseed oil treatment was higher than the control and 3% fish oil treatments ($P < 0.05$), but not different from other treatments. The FCR was significantly higher than 1.5% flaxseed oil and 1.5% fish oil ($P < 0.05$) but not different from the control and other experimental treatments. For egg quality traits, only Haugh unit was significantly affected by the experimental treatments. So that in the treatments with 1.5 and 3% flaxseed oil, the Haugh unit was higher than the 3% fish oil treatment ($P < 0.05$); however, no significant difference was observed between other treatments. Yolk fatty acid profile analysis revealed a significant difference between experimental treatments. The 3% fish oil treatment had the highest sum of eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) (182.14 mg/100 g of egg contents), whereas the 3% flaxseed oil treatment showed the highest level of alpha-linolenic acid (269.7 mg/100g egg) and the lowest ratio of omega-6 to omega-3 fatty acids ($P < 0.05$). The 1.5% fish oil treatment was the most cost-effective egg enrichment, elevating the level of EPA plus DHA by approximately 35% compared to the Iranian Veterinary Organization standard.

Conclusions: Overall, vegetable and animal sources of omega-3 did not have the same impact on laying hen egg performance and egg quality; however, flaxseed oil increased alpha-linolenic acid and improved internal egg quality, whereas fish oil, at 3%, produced the highest increase in yolk eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) concentration, with the lowest omega-6 to omega-3 ratio, which was appropriate for egg enrichment by EPA+DHA from an economic point of view.

Cite this article: Jafari, H., Moravej, H., Hajarmanesh, M., & Boroumandnia, Z. (2026). Investigating the effect of flaxseed oil and fish oil on production performance, quality and enrichment of eggs in laying hens. *Journal of Animal Production*, 27 (4), 499-512. DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2025.399647.623861>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2025.399647.623861>

Publisher: University of Tehran Press.



بررسی تأثیر روغن کتان و روغن ماهی بر عملکرد تولیدی، کیفیت و غنی‌سازی تخم‌مرغ در مرغ‌های تخم‌گذار

هرمز جعفری^۱ | حسین مروج^۲ | مهدی حجارمنش^۳ | زینب برومندنی^۴

۱. گروه علوم دامی، دانشکده‌گان کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: Hormoz.Jafari@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، دانشکده‌گان کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: hmoraveg@ut.ac.ir
۳. گروه علوم دامی، دانشکده‌گان کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: omidhajarmansh.m@gmail.com
۴. گروه علوم دامی، دانشکده‌گان کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: zboroumandnia@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۳۰

هدف: این مطالعه با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف روغن بذر کتان و روغن ماهی بر عملکرد تولیدی، کیفیت تخم‌مرغ، الگوی اسیدهای چرب زرده و غنی‌سازی تخم‌مرغ در مرغ‌های تخم‌گذار اجرا شد.

روش پژوهش: در این پژوهش، ۳۲۴ قطعه مرغ تخم‌گذار شیور سفید ۶۵ هفته‌ای به مدت هشت هفته به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با اندازه‌گیری‌های تکرار شده با شش تیمار، شش تکرار و نه پرنده در هر تکرار استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل تیمار ۱: شاهد حاوی روغن خام سویا و بدون منبع روغن بذر کتان و ماهی، تیمار ۲: ۱/۵ درصد روغن بذر کتان، تیمار ۳: ۱/۵ درصد روغن ماهی، تیمار ۴: سه درصد روغن بذر کتان، تیمار ۵: سه درصد روغن ماهی و تیمار ۶: ۱/۵ درصد روغن بذر کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی بود. جیره‌های غذایی بر پایه ذرت و کنجاله سویا بود و متناسب با نیاز مرغ‌های تخم‌گذار سویه شیور در فاز پایانی تولید تنظیم گردید.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که استفاده از روغن بذر کتان و روغن ماهی بر وزن تخم‌مرغ، درصد تخم‌گذاری و ضریب تبدیل خوراک تأثیر داشت ($P < 0.05$)، اما توده تخم‌مرغ و مصرف خوراک تحت تأثیر قرار نگرفتند. وزن تخم‌مرغ در تیمار ۱/۵ درصد روغن ماهی بیش‌تر از تیمار ۱/۵ درصد روغن بذر کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی بود ($P < 0.05$)، اما با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشت. تولید تخم مرغ در تیمار سه درصد روغن بذر کتان، بیش‌تر از تیمار شاهد و سه درصد روغن ماهی بود ($P < 0.05$)، اما تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها نداشت. ضریب تبدیل غذایی در تیمار سه درصد روغن ماهی بیش‌تر از ۱/۵ درصد روغن بذر کتان و ۱/۵ درصد روغن ماهی بود ($P < 0.05$)، اما نسبت به شاهد و سایر تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در بررسی صفات کیفی تخم‌مرغ مشخص شد که واحد هاو تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت ($P < 0.05$). به‌طوری‌که در تیمارهای حاوی ۱/۵ و سه درصد روغن بذر کتان، واحد هاو بالاتر از تیمار حاوی سه درصد روغن ماهی بود ($P < 0.05$) اما تفاوت معنی‌داری میان سایر تیمارها مشاهده نشد. بررسی الگوی اسیدهای چرب زرده نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بیش‌ترین غلظت مجموع ایکوزاپنتانویک اسید (EPA) و دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) (۱۸۲/۱۴) میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم محتویات تخم‌مرغ) در تیمار حاوی سه درصد روغن ماهی و بالاترین غلظت اسید آلفا-لینولنیک (۲۶۹/۷) میلی‌گرم) در تیمار سه درصد روغن بذر کتان مشاهده شد و نسبت اسیدهای چرب امگا ۶ به امگا ۳ در تیمار سه درصد روغن بذر کتان کم‌ترین بود ($P < 0.05$). با صرفه‌ترین تیمار اقتصادی از لحاظ غنی‌سازی تخم‌مرغ با اسیدهای چرب امگا ۳ (EPA+DHA)، تیمار ۱/۵ درصد روغن ماهی بود که حدود ۳۵ درصد میزان EPA به‌علاوه DHA را نسبت به میزان مشخص‌شده در دستورالعمل سازمان دامپزشکی ایران افزایش داد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که منابع گیاهی و حیوانی امگا ۳ اثرات متفاوتی بر عملکرد و کیفیت تخم‌مرغ دارند. روغن ماهی به‌ویژه در سطح سه درصد بیش‌ترین افزایش در EPA و DHA زرده را ایجاد کرد، درحالی‌که روغن بذر کتان موجب افزایش آلفا-لینولنیک و بهبود کیفیت داخلی تخم‌مرغ شد. کم‌ترین نسبت امگا ۶ به امگا ۳ در تیمارهای روغن بذر کتان مشاهده گردید. از نظر اقتصادی، تیمار ۱/۵ درصد روغن ماهی تأثیر مناسبی را در غنی‌سازی تخم‌مرغ با EPA+DHA نشان داد. در مجموع، انتخاب سطح و منبع مناسب امگا ۳ می‌تواند راهبردی مؤثر در تولید تخم‌مرغ غنی‌شده باشد.

کلیدواژه‌ها:

الگوی اسیدهای چرب

تخم‌مرغ غنی‌شده

تولید تخم‌مرغ

نسبت امگا ۶ به امگا ۳

استناد: جعفری، هرمز؛ مروج، حسین؛ حجارمنش، مهدی و برومندنی، زینب (۱۴۰۴). بررسی تأثیر روغن کتان و روغن ماهی بر عملکرد تولیدی، کیفیت و غنی‌سازی تخم‌مرغ در مرغ‌های تخم‌گذار. نشریه تولیدات دامی، ۲۷ (۴)، ۳۹۹-۵۱۲. DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2025.399647.623861>



۱. مقدمه

تخم‌مرغ به‌عنوان یک منبع پروتئینی با کیفیت بالا، ویتامین‌ها و مواد معدنی ضروری، نقش مهمی در تغذیه انسان ایفا می‌کند (Park & Lee, 2021). با وجود مزایای تغذیه‌ای قابل توجه، ترکیب اسیدهای چرب موجود در تخم‌مرغ به‌طور معمول حاوی نسبت بالایی از اسیدهای چرب امگا ۶ به امگا ۳ است (Simopoulos, 2016). این عدم تعادل در نسبت امگا ۶ به امگا ۳ که در بسیاری از رژیم‌های غذایی امروزی رایج است، می‌تواند اثرات نامطلوبی بر سلامتی داشته باشد، زیرا مصرف بیش از حد اسیدهای چرب امگا ۶ در مقابل امگا ۳ با افزایش خطر بیماری‌های التهابی، قلبی-عروقی و برخی از انواع سرطان مرتبط است (Willett *et al.*, 2019). در پاسخ به این نگرانی، در سال‌های اخیر، راه‌کارهای تغذیه‌ای برای اصلاح ترکیب اسیدهای چرب تخم‌مرغ توسعه یافته‌اند. یکی از مهم‌ترین و عملی‌ترین این راه‌کارها، غنی‌سازی تخم‌مرغ با اسیدهای چرب امگا ۳ از طریق تغذیه هدفمند مرغ‌های تخم‌گذار است (Wang *et al.*, 2020). اسیدهای چرب امگا ۳، به‌ویژه اسید ایکوزاپنتانوئیک (EPA) و اسید دکوزاهگزانوئیک (DHA)، دارای خواص ضد التهابی، محافظت از قلب و عروق و پیشگیری از بیماری‌هایی مانند دیابت نوع ۲، آلزایمر و برخی سرطان‌ها ایفا می‌کنند (Swanson *et al.*, 2012).

منابع مختلفی از اسیدهای چرب امگا ۳ برای تغذیه طیور مورد استفاده قرار گرفته‌اند. روغن بذر کتان به‌عنوان یک منبع گیاهی مهم شناخته می‌شود که در دو شکل رایج شامل روغن استخراج‌شده و بذر آسیاب‌شده به جیره افزوده می‌شود. این منبع، غنی از اسید آلفا-لینولنیک (ALA) است و استفاده از آن می‌تواند به غنی‌سازی تخم‌مرغ منجر شود (Ehr *et al.*, 2017). روغن ماهی به‌عنوان منبع حیوانی اسیدهای چرب امگا ۳ به‌طور گسترده در تغذیه مرغ‌های تخم‌گذار به‌کار می‌رود. این روغن دارای ترکیباتی همچون EPA و DHA است که به افزایش غلظت امگا ۳ در زرده تخم‌مرغ کمک می‌کند (Fraeye *et al.*, 2012). ریزجلبک‌ها نیز به‌عنوان منبع نوظهور و ارزشمند اسیدهای چرب امگا ۳ معرفی شده‌اند. این منابع به‌ویژه به‌دلیل محتوای بالای DHA و EPA مورد توجه قرار گرفته و می‌توانند در بهبود کیفیت تغذیه‌ای تخم‌مرغ نقش چشم‌گیری داشته باشند (Mens *et al.*, 2022).

نوع منبع، شکل فیزیکی (روغن یا بذر)، مقدار مصرف، مدت زمان تغذیه، ترکیب اسیدهای چرب، پایداری، قابلیت جذب، اثر بر ویژگی‌های فیزیکی و حسی تخم‌مرغ و همچنین هزینه‌های اقتصادی، همگی عواملی تعیین‌کننده در موفقیت راهبردهای غنی‌سازی محسوب می‌شوند (Cherian & Apperson, 2017). برخی ترکیبات ضدتغذیه‌ای مانند گلیکوزیدهای سیانوزنی و تانن‌های موجود در بذرهای گیاهی می‌توانند اثر منفی بر عملکرد و کیفیت تخم‌مرغ داشته باشند (Al-Nasser *et al.*, 2011). همچنین، مصرف بیش از حد (بیش از سه درصد) روغن‌های حاوی امگا ۳ ممکن است به‌دلیل اکسیداسیون اسیدهای چرب غیر اشباع، کیفیت داخلی تخم‌مرغ را تحت تأثیر قرار دهد یا پذیرش مصرف‌کننده را کاهش دهد (Brelaz *et al.*, 2019). از سوی دیگر، استفاده از سطوح مناسب و متعادل از این روغن‌ها می‌تواند بدون تأثیر منفی بر ویژگی‌های کیفی، ارزش تغذیه‌ای تخم‌مرغ را ارتقا بخشد (Shang *et al.*, 2020). تولید و عرضه تجاری تخم‌مرغ‌های غنی‌شده مستلزم رعایت ضوابط و استانداردهای تعیین‌شده از سوی سازمان دامپزشکی کشور است (۹۸/۰۳/IVO، ۱۳۹۸). غلظت اسید آلفا-لینولنیک مطابق این دستورالعمل باید بالاتر از ۶۰۰ میلی‌گرم (ALA>600 mg/100g) و مجموع اسیدهای چرب اسید اکوزاپنتانوئیک و اسید دکوزاهگزانوئیک بیش‌تر از ۸۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم محتویات تخم‌مرغ باشد (EPA+DHA>80 mg/100g). رعایت این الزامات، پیش‌نیاز اخذ مجوزهای قانونی و درج ادعای "غنی‌شده" روی محصول است. بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی و مقایسه اثربخشی دو محصول تجاری بر پایه روغن کتان و روغن ماهی به‌منظور تولید تخم‌مرغ غنی‌شده مطابق با استانداردهای سازمان دامپزشکی در خصوص غنی‌سازی تخم‌مرغ براساس اسیدهای چرب امگا-۳ در مرغ‌های تخم‌گذار بود.

۲. روش پژوهش

در این پژوهش از ۳۲۴ قطعه مرغ تخم‌گذار شیپور سفید با سن ۶۵ هفته‌ای در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با شش تیمار، شش تکرار و نه قطعه پرند در هر تکرار به مدت هشت هفته استفاده شد. این آزمایش در یک واحد مرغداری صنعتی مجهز به قفس‌های شش طبقه انجام شد. مرغ‌هایی که با درصد تولید و وزن تخم‌مرغ یکسان، نه روز قبل از شروع آزمایش انتخاب شدند. تیمارهای آزمایشی شامل تیمار ۱: شاهد حاوی روغن خام سویا و بدون منبع روغن بذر کتان و ماهی، تیمار ۲: ۱/۵ درصد روغن بذر کتان (پرشالیان، کیمیا دانش الوند، قم، ایران)، تیمار ۳: دارای ۱/۵ درصد روغن ماهی، تیمار ۴: سه درصد روغن بذر کتان، تیمار ۵: سه درصد روغن ماهی (امگا۳، کیمیا دانش الوند، قم، ایران) و تیمار ۶: ۱/۵ درصد روغن بذر کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی بودند. جیره‌ها بر پایه ذرت و کنجاله سویا و مطابق با توصیه‌های تغذیه‌ای سویه شیور سفید تنظیم شدند (جدول ۱). میزان EPA و DHA در منبع روغن ماهی به ترتیب ۸/۲۲ و ۱۳/۶۵ درصد و غلظت اسید آلفا لینولنیک در روغن کتان ۳۹/۴ درصد بود که با دستگاه کروماتوگرافی گازی (مدل Unicam 4600، انگلستان) اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

جدول ۱. مواد خوراکی و ترکیبات شیمیایی جیره‌های آزمایش

شاهد	روغن انفرادی	روغن ترکیبی	اقلام جیره (درصد)		
۱/۶ درصد روغن سویا	۱/۵ درصد روغن بذر کتان	۳ درصد روغن بذر کتان	۱/۵ درصد روغن ماهی	۳ درصد روغن ماهی	۱/۵ درصد روغن بذر کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی
ذرت	۵۱/۴۶	۵۱/۹۷	۴۶/۸۹	۵۱/۹۷	۴۶/۸۹
کنجاله دانه سویا (۴۳ درصد)	۳۰/۶۲	۳۰/۷۱	۳۱/۱۳	۳۰/۷۱	۳۱/۱۳
کربنات کلسیم	۶/۰۳	۶/۰۳	۶/۰۳	۶/۰۳	۶/۰۳
سیوس گندم	۴/۱۱	۳/۵۹	۵/۰۰	۳/۵۹	۵/۰۰
پوسته صدف	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰
پودر استخوان	۱/۱۷	۱/۱۷	۱/۱۶	۱/۱۷	۱/۱۶
روغن سویا	۱/۶۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
روغن کتان	۰/۰۰	۱/۵۰	۳/۰۰	۰/۰۰	۱/۵۰
روغن ماهی	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۵۰	۳/۰۰
آنزیم فیتاز ناتافوس (FTU)	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳۵
نمک	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵
مکمل ویتامینه و مواد معدنی ^۱	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰
دی-آل متیونین ۹۸ درصد	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸
پرکننده (ماسه)	۱/۰۰	۱/۰۰	۲/۷۵	۱/۰۰	۲/۷۵
جمع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
ترکیبات شیمیایی جیره ^۲					
انرژی قابل سوخت‌وساز (کیلوکالری بر کیلوگرم)	۲۶۶۰	۲۶۶۰	۲۶۶۰	۲۶۶۰	۲۶۶۰
پروتئین (درصد)	۱۷/۹۸	۱۷/۹۸	۱۷/۹۸	۱۷/۹۸	۱۷/۹۸
کلسیم (درصد)	۳/۹۴	۳/۹۴	۳/۹۴	۳/۹۴	۳/۹۴
فسفر قابل دسترس (درصد)	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۳۲
سدیم (درصد)	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷
فیبر خام (درصد)	۳/۰۹	۳/۰۶	۳/۰۸	۳/۰۶	۳/۰۸
چربی خام (درصد)	۴/۴۲	۴/۰۲	۵/۰۹	۴/۰۲	۵/۰۹
لیزین (درصد)	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸
متیونین (درصد)	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳
متیونین + سیستین (درصد)	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷
اسید لینولنیک (درصد)	۲/۱۴	۲/۰۹	۲/۷۷	۲/۰۹	۲/۷۷

۱. محتوای مکمل ویتامینه و مواد معدنی (براساس کاتالوگ سویه شیور سفید): ویتامین A ۱۰۰۰۰۰ IU، ویتامین D3 ۵۰۰۰ IU، ویتامین E ۲۰ mg، ویتامین K3 ۳ mg، ویتامین تیامین ۲ mg، ویتامین ریوفلاوین ۵ mg، ویتامین نیاسین ۴۰ mg، ویتامین اسید پانتوتینیک ۱۲ mg، ویتامین پیریدوکسین ۵ mg، ویتامین بیوتین ۰/۰۵ mg، ویتامین اسید فولیک ۰/۷۵ mg، ویتامین سیانوکوبالامین ۰/۰۱۵ mg، کوکین ۲۰۰ mg، ویتامین C ۱۰۰ mg. مواد معدنی شامل: منگنز ۷۰ ppm، روی ۶۰ ppm، آهن ۶۰ ppm، ید ۱ ppm، مس ۸ ppm، سلنیوم ۰/۲۵ ppm، کبالت ۰/۱۵ ppm.

۲. ترکیبات شیمیایی به روش NIR شرکت دگوسا ایونیک اندازه‌گیری شد.

جدول ۲. الگوی اسیدهای چرب روغن‌های آزمایشی

نام عمومی	نماد عددی	واحد	منبع روغن	
			روغن ماهی	روغن بذر کتان
Myristic	C14:0	درصد	۳/۵	-
Palmitic	C16:0	درصد	۲۱/۱	۶/۳
Stearic	C18:0	درصد	۴/۶۴	۵/۸
Arachidonic	C20:0	درصد	۳/۰۴	-
Palmitoleic	C16:1 n7	درصد	۵/۳۷	۰/۲
Oleic	C18:1 n9c	درصد	۳۵/۱۴	۲۳/۳۸
Linoleic	C18:2 n6c	درصد	۲/۱۶	۲۵
Linolenic	C18:3 n3	درصد	۲/۶	۳۹/۴
EPA ^۱	C20:5 n3c	درصد	۸/۲۲	-
DHA ^۲	C22:6 n3c	درصد	۱۳/۶۵	-
SFA ^۳	-	درصد	۳۲/۲۸	۱۲/۱۰
MUFA ^۴	-	درصد	۴۰/۴۱	۲۳/۵۸
PUFA ^۵	-	درصد	۲۶/۶۳	۶۴/۴۰
PUFA+MUFA	-	درصد	۶۷/۰۴	۸۷/۹۸
Σn3	-	درصد	۲۴/۴۷	۳۹/۴۰
Σn6	-	درصد	۲/۱۶	۲۵/۰۰
EPA+DHA	-	درصد	۲۱/۸۷	۰/۰۰
PUFA/SFA	-	-	۸۲/۰	۵/۳۲
MUFA+PUFA/SFA	-	-	۲/۰۸	۷/۲۷
n ₆ /n ₃	-	-	۰/۰۹	۰/۶۳
n ₃ /n ₆	-	-	۱۱/۳۳	۱/۵۸

۱. اسید ایکوزاپنتانویک، ۲. اسید دوکوزاهگزانوئیک، ۳. اسید چرب اشباع، ۴. اسید چرب تک غیراشباع، ۵. اسید چرب چند غیراشباع

تمامی شرایط پرورش شامل نوردهی، دما، رطوبت، تهویه، آبخوری و تغذیه براساس توصیه‌های مندرج در دفترچه راهنمای سویه شیور سفید اعمال شد. برنامه نوردهی به‌صورت خودکار و شامل ۱۵ ساعت روشنایی و نه ساعت تاریکی بود. دمای محیط در بازه ۱۸ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی سالن در محدوده ۴۰ تا ۵۰ درصد ثابت نگاه داشته شد. صفات کمی شامل وزن تخم‌مرغ (با ترازوی دیجیتال با دقت یک گرم)، درصد تخم‌گذاری (رابطه ۱)، توده تخم‌مرغ (رابطه ۲)، مصرف خوراک (رابطه ۳)، خوراک مصرفی روزانه هر پرنده معادل ۱۱۰ گرم دان بود که با ترازوی دیجیتال با دقت یک گرم وزن‌کشی و طی سه نوبت توزیع گردید. باقیمانده خوراک هر قفس به‌صورت هفتگی جمع‌آوری، توزین و ثبت شد و ضریب تبدیل خوراک (رابطه ۴) محاسبه شد. صفات کیفی شامل درصد پوسته، ضخامت پوسته (با میکرومتر)، درصد زرده و سفیده، واحد هاو (رابطه ۵)، وزن مخصوص تخم‌مرغ به‌روش غوطه‌وری (Butcher & Miles, 1991) اندازه‌گیری و شاخص زرده با استفاده از رابطه (۶) محاسبه شد. ترکیب اسیدهای چرب زرده از طریق دستگاه کروماتوگرافی گازی (مدل Unicam 4600، انگلستان) اندازه‌گیری شد. استخراج چربی کل و متیلاسیون اسیدهای چرب زرده تخم‌مرغ براساس روش استاندارد Metcalfe و همکاران (۱۹۶۶) با اصلاحات جزئی انجام شد. هزینه یک کیلوگرم

تخم مرغ با توجه به قیمت هر کیلوگرم خوراک و احتساب ضریب تبدیل خوراک (شاخص اقتصادی براساس قیمت تمام شده هزینه خوراک مصرفی برای تولید یک کیلوگرم تخم مرغ تولیدی) محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۱)} \quad 100 \times \frac{\text{تعداد کل تخم مرغ تولیدی گروه آزمایشی}}{\text{مرغ روز}} = \text{درصد تخم گذاری}$$

$$\text{رابطه ۲)} \quad 100 \times \frac{\text{میانگین وزن تخم مرغ} \times \text{درصد تخم گذاری}}{100} = \text{توده تخم مرغ}$$

$$\text{رابطه ۳)} \quad 100 \times \frac{\text{وزن کل خوراک مصرفی در گروه آزمایشی (گرم)}}{\text{مرغ روز}} = \text{میانگین مصرف خوراک روزانه (گرم)}$$

$$\text{رابطه ۴)} \quad 100 \times \frac{\text{وزن کل خوراک مصرفی در گروه آزمایشی (گرم)}}{\text{وزن کل تخم مرغ گروه آزمایشی (گرم)}} = \text{ضریب تبدیل خوراک}$$

$$\text{رابطه ۵)} \quad \text{HU} = 100 \log (H - 1.7 W^{0.37} + 7.6) \quad \text{HU} = \text{واحد هاو} \quad H = \text{ارتفاع سفیده (میلی متر)} \quad W = \text{وزن تخم مرغ (گرم)}$$

$$\text{رابطه ۶)} \quad \text{شاخص زرده} = \frac{\text{ارتفاع زرده (میلی متر)}}{\text{قطر زرده (میلی متر)}}$$

داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار مینی تب (نسخه ۱۸/۱) و آزمون اندرسون-دارلینگ ز نظر نرمال بودن بررسی شدند. سپس با استفاده از مدل (۷) برای داده‌های تکرار شده در زمان، تجزیه شدند. داده‌های مربوط به اسیدهای چرب با استفاده از مدل (۸) تجزیه شدند. میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح معنی داری ۵ درصد مقایسه شدند.

$$\text{رابطه ۷)} \quad Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + \delta_{ij} + P_k + (T \times P)_{ik} + e_{ijk}$$

$$\text{رابطه ۸)} \quad Y_{ij} = \mu + T_j + e_{ij}$$

در این رابطه‌ها، Y_{ij} و Y_{ijk} مقدار مشاهده شده؛ μ میانگین کل؛ T_i اثر i امین تیمار؛ B_j اثر j امین بلوک؛ δ_{ij} اشتباه تصادفی با میانگین صفر و واریانس σ^2 ، واریانس بین حیوانات مورد آزمایش درون تیمار؛ P_k اثر k امین دوره؛ $(T \times P)_{ik}$ اثر متقابل بین i امین تیمار و k امین دوره، e_{ij} و e_{ijk} اثر اشتباه تصادفی است.

۳. یافته‌های پژوهش

۳.۱. عملکرد تولیدی

اثرات سطوح مختلف روغن بذر کتان و روغن ماهی در جیره بر عملکرد تولیدی مرغ‌های تخم‌گذار در جدول (۳) نشان داده شده است. اثر تیمارها بر توده تخم مرغ و مصرفی خوراک معنی دار نبود. اثر بلوک بر هیچ یک از صفات عملکرد تخم گذاری معنی دار نبود. وزن تخم مرغ در مرغ‌هایی که با جیره حاوی ۱/۵ درصد روغن ماهی تغذیه شدند، بالاتر از مرغ‌های تغذیه شده با جیره حاوی ترکیب ۱/۵ درصد روغن بذر کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی بود ($P < 0.05$)، اما با سایر تیمارها تفاوتی نداشت. درصد تخم گذاری در پرندگانی که سه درصد روغن بذر کتان در جیره دریافت کردند بیش تر از پرندگان شاهد و پرندگان تغذیه شده با سه درصد روغن ماهی بود ($P < 0.05$). اثر دوره و اثر متقابل تیمار × دوره بر درصد تخم گذاری معنی دار بود ($P < 0.05$). ضریب تبدیل خوراک مرغ‌های که با جیره حاوی سه درصد روغن ماهی تغذیه شدند از مرغ‌های تغذیه شده با جیره‌های حاوی ۱/۵ درصد روغن بذر کتان و یا ۱/۵ درصد روغن ماهی بالاتر بود ($P < 0.05$). اثر دوره بر مصرف خوراک، تولید تخم مرغ، توده تخم و ضریب تبدیل معنی دار بود ($P < 0.05$).

جدول ۳. اثرات سطوح مختلف روغن بذر کتان و روغن ماهی در جیره بر عملکرد تولیدی مرغ‌های تخم‌گذار (۶۵ تا ۷۳ هفتگی)

تیمار	وزن تخم‌مرغ (گرم)	تولید تخم مرغ (درصد)	توده تخم مرغ (گرم در روز)	خوراک مصرفی (گرم در روز)	ضریب تبدیل خوراک
شاهد (۱/۶ درصد روغن سویا)	۶۱/۳۳ ^{ab}	۸۵/۶۹ ^b	۵۳/۵۶	۱۰۶/۶۶	۱/۹۹ ^{ab}
۱/۵ درصد روغن بذر کتان	۶۱/۲۳ ^{ab}	۸۸/۶۸ ^{ab}	۵۵/۰۳	۱۰۷/۳۴	۱/۹۶ ^b
۱/۵ درصد روغن ماهی	۶۱/۷۹ ^a	۸۸/۱۳ ^{ab}	۵۴/۹۰	۱۰۸/۴۴	۱/۹۷ ^b
۳ درصد روغن بذر کتان	۶۱/۳۶ ^{ab}	۹۱/۶۹ ^a	۵۵/۵۹	۱۰۸/۳۷	۲/۰۰ ^{ab}
۳ درصد روغن ماهی	۶۱/۱۸ ^{ab}	۸۵/۵۸ ^b	۵۲/۸۲	۱۰۸/۶	۲/۱۳ ^a
۱/۵ درصد روغن بذر کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی	۶۰/۰۳ ^b	۸۸/۵۶ ^{ab}	۵۴/۰۸	۱۰۷/۶۸	۲/۰۳ ^{ab}
SEM	۰/۵۹	۲/۳۵	۱/۰۴	۰/۷۹	۰/۰۴
CV (درصد)	۳/۳۷	۹/۲۵	۶/۶۰	۲/۵۵	۷/۷۹
سطح احتمال معنی‌داری					
تیمار	۰/۰۲۳	۰/۰۳۵	۰/۳۱۱	۰/۳۱۱	۰/۰۱۶
زمان	۰/۴۴۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
تیمار × زمان	۰/۱۸۶	۰/۰۱۸	۰/۳۵۷	۰/۶۱۲	۰/۶۹۶

a-b: تفاوت میانگین‌ها در هر ستون با حروف نامشابه معنی‌دار است ($P < 0.05$). SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها. CV: ضریب تغییرات.

۳.۲. صفات کیفی تخم‌مرغ

تیمارهای آزمایشی واحد هاو تخم مرغ را تحت تأثیر قرار دادند ($P < 0.05$)، اما بر سایر صفات کیفی تأثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۴). اثر دوره بر واحد هاو، ضخامت پوسته و درصد سفیده معنی‌دار بود ($P < 0.05$)، اما بر سایر صفت کیفی اثر معنی‌داری نداشت. واحد هاو در تیمارهای آزمایشی ۱/۵ و سه درصد روغن بذر کتان، بیش‌تر از تیمار سه درصد روغن ماهی بود ($P < 0.05$) اما تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد و سایر تیمارها نشان نداد.

جدول ۴. اثرات سطوح مختلف روغن بذر کتان و روغن ماهی در جیره بر صفات کیفی در مرغ‌های تخم‌گذار (۶۵ تا ۷۳ هفتگی)

نام تیمار	چگالی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	واحد هاو	شاخص زرده (میلی‌متر)	ضخامت پوسته (میلی‌متر)	درصد زرده	درصد سفیده
شاهد (۱/۶ درصد روغن سویا)	۱/۰۸۶	۷۹/۴۷ ^{ab}	۰/۳۸	۹/۷۲	۰/۳۷۸	۵۴/۵۵
۱/۵ درصد روغن بذر کتان	۱/۰۸۹	۷۹/۷۸ ^a	۰/۳۸	۹/۹۵	۰/۳۷۳	۵۳/۹۷
۱/۵ درصد روغن ماهی	۱/۰۸۸	۷۹/۵۸ ^{ab}	۰/۳۹	۹/۷۵	۰/۳۷۴	۵۴/۶۹
۳ درصد روغن بذر کتان	۱/۰۸۷	۷۹/۶۸ ^a	۰/۳۹	۱۰/۰۲	۰/۳۷۷	۵۴/۰۹
۳ درصد روغن ماهی	۱/۰۸۷	۷۸/۵۳ ^b	۰/۳۹	۱۰/۰۵	۰/۳۸۷	۵۶/۰۸
۱/۵ درصد روغن بذر کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی	۱/۰۸۹	۷۹/۱۵ ^{ab}	۰/۳۸	۹/۴۵	۰/۳۷۶	۵۴/۲۲
SEM	۰/۰۰۱	۰/۴۶۷	۰/۰۰۵	۰/۲۱۲	۰/۰۰۵	۰/۷۷۷
CV (درصد)	۰/۳۴	۲/۰۴	۴/۱۳	۷/۴۹	۴/۵۸	۴/۹۳
سطح احتمال معنی‌داری						
تیمار	۰/۰۶۰	۰/۰۱۰	۰/۲۲۰	۰/۶۱۰	۰/۶۳۰	۰/۲۴۰
زمان	۰/۳۰۰	۰/۰۱۰	۰/۱۲۰	۰/۷۷۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
تیمار × زمان	۰/۸۴۶	۰/۰۲۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۱	۰/۵۹۴	۰/۳۳۹

a-b: حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار است ($P < 0.05$). SEM: خطای استاندارد میانگین. CV: ضریب تغییرات.

۳.۳. الگوی اسیدهای چرب زرده

نتایج نشان داد (جدول ۵) که تیمارهای آزمایشی بر درصد اسیدهای چرب زرده تخم‌مرغ تأثیر داشتند ($P < 0.05$). اثر بلوک بر اسیدهای چرب لینولئیک، EPA و n_6 معنی‌دار بود، اما بر سایر اسیدهای چرب تأثیر معنی‌داری نداشت. درصد اسید چرب لینولئیک تیمار شاهد از تیمارهای ۱/۵ و سه درصد روغن ماهی و همچنین تیمار ۱/۵ درصد روغن بذر کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی بیش‌تر بود ($P < 0.05$)، اما با تیمارهای ۱/۵ و سه درصد روغن بذر کتان تفاوت معنی‌داری نداشت.

میانگین درصد اسید آلفا لینولنیک در زرده تخم‌مرغ در تیمار سه درصد روغن بذر کتان از تیمار شاهد و سایر تیمارها بیش‌تر بود ($P < 0.05$). تیمار ۱/۵ درصد روغن بذر کتان و تیمار ۱/۵ درصد روغن بذر کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی با یکدیگر تفاوت معنی‌دار نداشتند، اما با تیمارهای ۱/۵ درصد و سه درصد روغن ماهی و تیمار شاهد تفاوت داشتند ($P < 0.05$). بین تیمارهای ۱/۵ و سه درصد روغن ماهی با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. تیمار سه درصد روغن ماهی از نظر اسید چرب EPA با تیمار شاهد و سایر تیمارها به‌غیر از تیمار ۱/۵ درصد روغن بذر کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی تفاوت نشان داد ($P < 0.05$)، به‌طور درصد اسید چرب EPA در این تیمار بیش‌تر بود. تیمار سه درصد روغن بذر کتان برای اسید چرب EPA با سایر تیمارهای آزمایشی به‌غیر از تیمار ۱/۵ درصد روغن ماهی تفاوت داشت ($P < 0.05$).

تیمارهای آزمایشی مختلف تفاوت معنی‌داری با شاهد برای درصد اسید چرب DHA زرده تخم‌مرغ نشان دادند. بطوری‌که، تیمار آزمایشی سه درصد روغن ماهی و تیمار ۱/۵ درصد روغن بذر کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی از نظر اسید چرب DHA تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، اما درصد DHA آن‌ها نسبت به تیمار شاهد و سایر تیمارهای آزمایشی بیش‌تر بود ($P < 0.05$). بین تیمار ۱/۵ درصد روغن ماهی با تیمارهای ۱/۵ و سه درصد روغن بذر کتان اختلاف معنی‌داری از نظر DHA مشاهده نشد، اما نسبت به تیمارهای آزمایشی سه درصد روغن ماهی و تیمار ۱/۵ درصد روغن بذر کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی کم‌تر بود ($P < 0.05$).

جدول ۵. اثرات سطوح مختلف روغن بذر کتان و روغن ماهی در جیره بر الگوی اسیدهای چرب زرده تخم‌مرغ (درصد) در مرغ‌های تخم‌گذار (۶۵ تا ۷۳ هفته‌گی)

نام تیمار	LA (C 18:2 n:6)	ALA (C18:3 n:3)	EPA (C20:5 n:3)	DHA (C22:6 n:3)	مجموع امگا ۳	مجموع امگا ۶	نسبت امگا ۶ به امگا ۳
شاهد (۱/۶ درصد روغن سویا)	۱۸/۲۲ ^a	۰/۵۰ ^c	۰/۰۱ ^c	۰/۷۵ ^c	۱/۴۴ ^d	۲۰/۵۷ ^a	۱۳/۴۷ ^a
۱/۵ درصد روغن بذر کتان	۱۵/۵۹ ^{ab}	۱/۹۷ ^b	۰/۰۱ ^c	۱/۵۳ ^b	۳/۷۷ ^b	۱۷/۳۱ ^b	۴/۸۸ ^c
۱/۵ درصد روغن ماهی	۱۴/۹۳ ^b	۰/۳۷ ^c	۰/۰۳ ^{bc}	۱/۷۶ ^b	۲/۳ ^{cd}	۱۶/۵۶ ^b	۷/۲۸ ^b
۳ درصد روغن بذر کتان	۱۵/۳۷ ^{ab}	۳/۷۶ ^a	۰/۰۶ ^b	۱/۶۶ ^b	۵/۷۹ ^a	۱۶/۸۳ ^b	۲/۷۴ ^d
۳ درصد روغن ماهی	۱۳/۰۶ ^b	۰/۴۴ ^c	۰/۰۱ ^a	۲/۵۲ ^a	۳/۲۷ ^{bc}	۱۴/۳۹ ^b	۴/۵۷ ^{cd}
۱/۵ درصد روغن بذر کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی	۱۳/۵۸ ^b	۲/۴۶ ^b	۰/۰۱ ^a	۲/۲۷ ^a	۵/۱۱ ^a	۱۴/۹۵ ^b	۲/۸۸ ^d
SEM	۰/۳۹	۰/۱۰	۰/۰۰۱	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۳۵	۰/۱۷
CV (درصد)	۷/۷۵	۳۴/۵۴	۲۸/۲۸	۸/۸۵	۱۲/۶۳	۸/۳۶	۱۱/۵۸
سطح معنی‌داری							
تیمار	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱

a-d: حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار است ($P < 0.05$).

SEM: خطای استاندارد میانگین. CV: ضریب تغییرات.

LA: لینولنیک اسید، ALA: آلفا لینولنیک اسید، DHA: داکوزاهگزانوئیک اسید، EPA: ایکوزاپنتانوئیک اسید، n: امگا (آلفا لینولنیک، ایکوزاتریئوئیک، ایکوزاپنتانوئیک، داکوزاپنتانوئیک و داکوزاهگزانوئیک اسید). n: امگا ۶ (لینولنیک، گاما لینوئیک، دی هومو گاما لینولنیک، آراشیدونیک، آراشیدیک و داکوزاتترانوئیک اسید).

درصد اسیدهای چرب امگا ۳ (n_3) تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی نشان دادند. بطوری‌که، تیمار سه درصد روغن بذر کتان و تیمار ۱/۵ درصد روغن بذر کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی در مقایسه با تیمار شاهد و سایر تیمارهای آزمایشی درصد n_3 بیش‌تری داشتند ($P < 0.05$). تیمار ۱/۵ درصد روغن بذر کتان نیز درصد n_3 بیش‌تری در مقایسه با تیمار شاهد و تیمار ۱/۵ درصد روغن ماهی نشان داد ($P < 0.05$). تیمار سه درصد روغن بذر کتان تفاوت معنی‌داری با تیمار ۱/۵ درصد روغن بذر کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی از نظر اسیدهای چرب n_3 نداشت. در تیمار شاهد نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی درصد n_6 بیش‌تری مشاهده شد ($P < 0.05$). نسبت امگا ۶ به امگا ۳ در تیمار سه درصد روغن بذر کتان نسبت به تیمارهای ۱/۵ درصد روغن بذر کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی و سه درصد روغن ماهی، تفاوت معنی‌داری نشان نداد، اما نسبت به تیمار شاهد و تیمارهای ۱/۵ درصد روغن بذر کتان و ۱/۵ درصد روغن ماهی کم‌تر بود ($P < 0.05$). تیمار شاهد و تیمار سه درصد روغن بذر کتان به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین نسبت اسیدهای چرب امگا ۶ به امگا ۳ را داشت ($P < 0.05$).

۴.۳. غنی‌سازی تخم‌مرغ

همان‌طور که در جدول (۶) مشاهده می‌شود، بیش‌ترین غلظت اسید آلفا لینولنیک (۲۶۹/۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم محتویات تخم مرغ) در تیمار سه درصد روغن بذر کتان مشاهده شد که حدود شش برابر غلظت اسید آلفا لینولنیک در تیمار شاهد بود. غلظت اسید آلفا لینولنیک تیمار ۱/۵ درصد روغن ماهی نسبت به تیمار شاهد و تیمار سه درصد روغن ماهی تفاوت معنی‌داری نداشت ولی نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی کمتر بود ($P < 0.05$). غلظت EPA در تیمارهای سه درصد روغن ماهی و ۱/۵ درصد روغن کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد و سایر تیمارهای آزمایشی بود.

هم‌چنین غلظت DHA در تیمار سه درصد روغن ماهی نسبت به تیمار شاهد و سایر تیمارهای آزمایشی به‌جز تیمار ترکیبی ۱/۵ درصد روغن کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی بیش‌تر بود ($P < 0.05$). از طرفی بیش‌ترین غلظت EPA+DHA با تیمار سه درصد روغن ماهی (۱۸۲/۱۴ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم محتویات تخم مرغ) به‌دست آمد که حدود ۳/۵ برابر تیمار شاهد و کم‌ترین مقدار مربوط به سطح ۱/۵ درصد روغن ماهی (۱۰۷/۵۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم محتویات تخم مرغ) بود.

جدول ۶. اثرات سطوح مختلف روغن بذر کتان و روغن ماهی در جیره بر میانگین غلظت اسیدهای چرب امگا۳ (میلی‌گرم) در ۱۰۰ گرم محتویات تخم‌مرغ

نام تیمار	ALA ^۱	EPA ^۲	DHA ^۳	DHA+EPA
شاهد (۱/۶ درصد روغن سویا)	۴۴/۴۷ ^c	۰/۰۳ ^c	۵۱/۵۱ ^d	۵۱/۵۱ ^d
۱/۵ درصد روغن کتان	۱۷۷/۲۸ ^b	۱/۲۰ ^{bc}	۱۱۸/۳۹ ^{bc}	۱۱۹/۵۹ ^c
۱/۵ درصد روغن ماهی	۲۹/۵۳ ^c	۱/۶۶ ^{bc}	۱۰۵/۹۳ ^c	۱۰۷/۵۹ ^c
۳ درصد روغن کتان	۲۶۹/۷ ^a	۳/۹۵ ^{ab}	۱۲۲/۳۳ ^{bc}	۱۲۶/۲۷ ^{bc}
۳ درصد روغن ماهی	۳۹/۸۰ ^c	۷/۲۳ ^a	۱۷۵/۵۵ ^a	۱۸۲/۱۴ ^a
۱/۵ درصد روغن کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی	۱۷۴/۴۰ ^b	۶/۷۶ ^a	۱۵۷/۸۸ ^{ab}	۱۶۴/۶۴ ^{ab}
SEM ^۴	۳/۸۱	۰/۰۲	۶/۳۱	۶/۷۰
CV ^۵ (درصد)	۹/۲۳	۳۷/۲۷	۱۴/۳۷	۱۴/۸۰
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱

۱. آلفا لینولنیک اسید، ۲. داکوزاهگزانوئیک اسید، ۳. ایکوزانتئونیک اسید، ۴. SEM: خطای استاندارد میانگین، ۵. CV: ضریب تغییرات.

a-d: حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار است ($P < 0.05$).

از نظر هزینه خوراک مصرفی برای تولید یک کیلوگرم تخم مرغ، تیمار شاهد کم هزینه‌ترین (۳۲۷۴۵۱ ریال) و تیمار ۱/۵ درصد روغن بذر کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی گران‌ترین (۳۹۶۳۴۲ ریال) بود. در بین تیمارهای آزمایشی، تیمار ۱/۵ درصد روغن ماهی پس از تیمار شاهد ارزان‌ترین جیره (۳۵۲۷۰۴ ریال) بود (جدول ۷).

جدول ۷. اثرات سطوح مختلف روغن بذر کتان و روغن ماهی در جیره بر هزینه خوراک مصرفی^۱ برای تولید هر کیلوگرم تخم‌مرغ غنی‌شده^۲

نام تیمار	ضریب تبدیل خوراک	هزینه یک کیلو خوراک (ریال)	هزینه یک کیلو تخم‌مرغ با احتساب ضریب تبدیل خوراک (ریال)
شاهد (۱/۶ درصد روغن سویا)	۱/۷۴	۱۸۸۱۹	۳۲۷۴۵۱
۱/۵ درصد روغن کتان	۱/۷۶	۲۰۲۶۵	۳۵۶۶۶۴
۱/۵ درصد روغن ماهی	۱/۷۶	۲۰۰۴۰	۳۵۲۷۰۴
۳ درصد روغن کتان	۱/۷۷	۲۲۰۵۳	۳۹۰۳۴۸
۳ درصد روغن ماهی	۱/۷۸	۳۱۷۸۷	۳۸۷۸۰۹
۱/۵ درصد روغن کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی	۱/۸	۲۲۰۱۹	۳۹۶۳۴۲

۱. هزینه یک کیلوگرم تخم‌مرغ = ضریب تبدیل × هزینه یک کیلوگرم خوراک

۲. تخم‌مرغ غنی‌شده: تخم مرغی است که میزان اسیدهای چرب امگا۳ موجود در آن از افزودن یکی از منابع امگا۳ در جیره مرغ‌های تخم‌گذار به میزان مشخص شده در دستورالعمل سازمان دامپزشکی کشور یا بیش‌تر از آن می‌رسد.

۴. بحث

۴.۱. عملکرد تولیدی

یافته‌های این پژوهش نشان داد که وزن تخم‌مرغ در تیمار ۱/۵ درصد روغن ماهی بالاتر از تیمار ترکیبی ۱/۵ درصد روغن بذر کتان + ۱/۵ درصد روغن ماهی بود که دلیل توجیه‌پذیری برای آن به نظر نمی‌رسد. تولید تخم‌مرغ در تیمار سه درصد روغن بذر کتان نیز بیش‌ترین مقدار را داشت که نشان‌دهنده نقش مثبت روغن گیاهی غنی از امگا۳ در بهبود تولید تخم‌مرغ است. هرچند برخی مطالعات گزارش‌های متناقضی ارائه کرده‌اند که ممکن است ناشی از استفاده از بذر خردشده کتان با محتوای بالاتر ترکیبات ضدتغذیه‌ای باشد (Al-Nasser *et al.*, 2011).

ضریب تبدیل خوراک در تیمار سه درصد روغن ماهی بالاتر از برخی تیمارها بود که نشان می‌دهد افزایش مصرف خوراک بدون افزایش متناسب در تولید، ضریب تبدیل خوراک را افزایش داده است. هم‌چنین اثر متقابل تیمار و دوره بر صفت تولیدی درصد تخم‌گذاری معنی‌دار بود. در خصوص صفت درصد تخم‌گذاری پژوهش‌های سایر پژوهش‌گران نشان داده است که می‌تواند ناشی از سازگاری تدریجی پرنده با جیره‌های پرچرب یا اثر تجمعی اسیدهای چرب در بافت‌ها و تخمدان باشد (Celebi & Utlu, 2006) و تداوم مصرف منابع امگا۳ انتقال این اسیدهای چرب به زرده را تقویت می‌کند (Ehr *et al.*, 2017) که موجب بهبود درصد تخم‌گذاری می‌شود (Nassef *et al.*, 2017) و در پژوهش حاضر این بهبود مشاهده شد. بر این اساس بررسی ویژگی‌های کیفی تخم‌مرغ می‌تواند در تکمیل ارزیابی جامع از تأثیر تیمارهای غذایی بر عملکرد پرندگان تخم‌گذار نقش مؤثری ایفا نماید.

۴.۲. صفات کیفی تخم‌مرغ

در خصوص صفات کیفی، تیمارها بر واحد هاو اثر معنی‌دار داشتند و اثر دوره نیز بر ضخامت پوسته و درصد سفیده مشاهده شد. واحد هاو در تیمار سه درصد روغن ماهی کم‌تر از تیمار ۱/۵ درصد روغن بذر کتان بود که می‌تواند بیانگر اثر منفی مقادیر بالای روغن ماهی بر کیفیت آلبومین باشد، درحالی‌که سطوح پایین‌تر روغن بذر کتان کیفیت بهتری ایجاد کرد. از سوی دیگر، کاهش ضخامت پوسته و درصد سفیده با افزایش سن مرغ‌ها و افت جذب کلسیم مرتبط دانسته شده است (Roberts, 2004). اسیدهای چرب غیر اشباع با چند پیوند دوگانه مثل EPA و DHA که در روغن ماهی زیادند بسیار ناپایدار و مستعد اکسیداسیون هستند، بنابراین در دوز بالا در داخل بدن مرغ تجمع یافته و منجر به تولید رادیکال‌های آزاد می‌شوند و این باعث استرس اکسیداتیو در کبد و بافت‌های تولیدکننده تخم‌مرغ می‌شود و به پروتئین آلبومین آسیب وارد می‌کند و ساختار آن را تغییر می‌دهد و کیفیت آن کاهش می‌یابد. هم‌چنین مصرف بالای PUFA می‌تواند استرس اکسیداتیو را افزایش داده و به ساختار پروتئین‌های آلبومین آسیب برساند (Zhao *et al.*, 2024). این تغییرات کیفی می‌تواند در کنار نتایج صفات کمی، بر ارزش نهایی تخم‌مرغ تأثیر بگذارند. در ادامه بررسی الگوی اسیدهای چرب زرده به‌عنوان شاخص کلیدی در تعیین ارزش تغذیه‌ای محصول می‌تواند درک عمیق‌تری از نتایج حاصل از این تیمارها فراهم آورد.

۴.۳. الگوی اسیدهای چرب زرده

یافته‌ها نشان دادند که تیمار سه درصد روغن ماهی کم‌ترین غلظت اسید لینولئیک و n-6 را داشت و در نتیجه بیش‌ترین رسوب DHA در زرده مشاهده شد. این یافته مؤید نقش رقابتی اسید لینولئیک در مسیر بیوسنتز DHA است که می‌تواند با افزایش n-6، تبدیل ALA به DHA را مهار کند (Huang *et al.*, 2018; Omri *et al.*, 2019). در مقابل، تیمار سه درصد

روغن بذر کتان بیش‌ترین غلظت ALA را در زرده داشت، هرچند مرغ‌ها توانایی محدودی برای تبدیل آن به DHA دارند (Fraeye et al., 2012; Elkin et al., 2015).

تیمارهای حاوی روغن ماهی (به‌ویژه سه درصد) بیش‌ترین مقادیر EPA و DHA را فراهم کردند و مقادیر DHA در همه تیمارها بیش‌تر از EPA بود. این نتیجه با گزارش‌های پیشین همخوانی دارد که نشان داده‌اند روغن ماهی منبع اصلی DHA بوده و EPA نیز در بافت‌های دیگر تجمع بیش‌تری دارد (Kralik et al., 2021; Wu et al., 2019). در مقایسه با روغن کتان، استفاده از روغن ماهی به‌طور معنی‌داری غلظت DHA را در زرده افزایش داده است (Rizzi et al., 2011; Ebeid, 2009). در همین راستا، کاهش نسبت n-6 به n-3 در تیمارهای غنی‌شده به‌ویژه سه درصد روغن بذر کتان (از ۱۳/۴۷ به ۲/۷۴) نشان‌دهنده بهبود تعادل اسیدهای چرب بود که با یافته‌های حسینی و اشان و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت دارد. ارزیابی انطباق الگوی اسیدهای چرب زرده با شاخص‌های استاندارد غنی‌سازی می‌تواند تحلیل‌های قبلی را کامل‌تر کرده و معیاری مهم در سنجش اثر بخشی تیمارهای آزمایشی باشد.

۴.۴. غنی‌سازی تخم‌مرغ

مکانیسم انتقال امگا ۳ از جیره به زرده تخم‌مرغ شامل جذب در روده، انتقال از طریق سیستم لنفاوی و رسوب در تخمدان و زرده است. در این فرایند، ترکیب چربی جیره به‌طور مستقیم بر ترکیب چربی زرده تأثیر دارد. براساس دستورالعمل سازمان دامپزشکی کشور (۹۸/۰۳/IVO، ۱۳۹۸)، حداقل مقدار موردنیاز برای غنی‌سازی تخم‌مرغ با اسیدهای چرب امگا ۳ شامل ۶۰۰ میلی‌گرم ALA و ۸۰ میلی‌گرم مجموع EPA+DHA در هر ۱۰۰ گرم محتویات تخم‌مرغ است. نتایج این پژوهش نشان داد بیش‌ترین غلظت ALA در تیمار سه درصد روغن بذر کتان به‌دست آمد، هرچند به سطح توصیه دستورالعمل نرسید. این موضوع نشان می‌دهد که دستیابی به مقدار ALA تعیین‌شده در دستورالعمل سازمان دامپزشکی (۹۸/۰۳/IVO، ۱۳۹۸)، در شرایط تولید تجاری دشوار است و نیازمند بازنگری در معیارهای ملی است.

تیمارهای روغن ماهی و روغن بذر کتان معیار حداقل EPA+DHA را برآورده کردند. بیش‌ترین مقدار آن در تیمار سه درصد روغن ماهی بود (۱۸۲/۱۴ میلی‌گرم)، که بیش از ۳/۵ برابر تیمار شاهد بود. حتی تیمار ۱/۵ درصد روغن ماهی نیز با وجود سطح پایین‌تر، حدود ۳۵ درصد بالاتر از استاندارد قرار گرفت و در عین‌حال هزینه تولید هر کیلوگرم تخم‌مرغ غنی‌شده در این تیمار کمتر بود. این یافته نشان می‌دهد که استفاده از سطح متوسط مکمل‌سازی با روغن ماهی، می‌تواند به‌صرفه‌ترین گزینه برای غنی‌سازی تخم‌مرغ از نظر اقتصادی و تغذیه‌ای باشد.

۵. نتیجه‌گیری

براساس یافته‌های این پژوهش، اگرچه بیش‌ترین غلظت اسید آلفا-لینولیک در تیمار سه درصد روغن بذر کتان به‌دست آمد، اما این مقدار کمتر از مقدار تعیین‌شده در دستورالعمل سازمان دامپزشکی برای غنی‌سازی تخم‌مرغ بود و نشان داد که دستیابی به این معیار نیازمند سطوح بالاتری از روغن کتان است؛ امری که در شرایط تولید تجاری به‌دلیل محدودیت‌های تغذیه‌ای، اقتصادی و مدیریتی عملیاتی نیست و بازنگری در دستورالعمل موجود را ضروری می‌سازد. در مقابل، تمامی سطوح روغن ماهی توانستند حداقل معیار ۸۰ میلی‌گرم مجموع EPA و DHA در ۱۰۰ گرم تخم‌مرغ را محقق سازند و تیمار سه درصد روغن ماهی بالاترین مقدار این شاخص را (۱۸۲/۱۴ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم تخم‌مرغ) حاصل نمود. با این‌حال، از نظر اقتصادی، سطح ۱/۵ درصد روغن ماهی به‌دلیل تحقق غنی‌سازی همراه با حداقل هزینه تولید، به‌عنوان سطح بهینه برای غنی‌سازی تجاری تخم‌مرغ پیشنهاد می‌شود.

۶. ملاحظات اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌هاست.

۷. مشارکت نویسندگان

هرمز جعفری قلعه جوقی: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله؛
حسین مروج: طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله؛
مهدی حجارمنش: مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله؛
زینب برومندنیا: مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه تهران انجام شد.

۱۰. تشکر و قدردانی

از شرکت تعاونی دانش بنیان کیمیا دانش الوند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۱۱. منابع

حسینی و اشان، سید جواد؛ افضل‌ی نظر، ملکانه محمد؛ ناصری، محمدعلی و رسانی، علی‌اله (۱۳۸۸). غنی‌سازی زرده تخم‌مرغ با اسیدهای چرب امگا ۳ بلند زنجیر با استفاده از روغن ماهی کیلکا در جیره مرغ تخم‌گذار، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۳ (۴۷)، ۱۴۱-۱۳۱.

References

- Al-Nasser, A. Y., Al-Saffar, A. E., Abdullah, F. K., Al-Bahouh, M. E., Ragheb, G., & Mashaly, M. M. (2011). Effect of adding flaxseed in the diet of laying hens on both production of omega-3 enriched eggs and on production performance. *International Journal of Poultry Science*, 10(10), 825-831.
- Celebi, S., & Utlu, N. (2006). Influence of animal and vegetable oil in layer diets on performance and serum lipid profile. *International Journal of Poultry Science*, 5(4), 370-373.
- Cherian, G., & Apperson, K. D. (2017). Effect of whole flax seed and carbohydrase enzymes on gastrointestinal morphology, muscle fatty acids, and production performance in broiler chickens. *Poultry Science*, 96(5), 1228-1234. <https://doi.org/10.3382/ps/pew371>
- Ebeid, T. A. (2011). The impact of incorporation of n-3 fatty acids into eggs on ovarian follicular development, immune response, antioxidative status and tibial bone characteristics in aged laying hens. *Animal*, 5(10), 1554-1562.
- Ehr, I. J., Persia, M. E., & Bobeck, E. A. (2017). Comparative omega-3 fatty acid enrichment of egg yolks from first-cycle laying hens fed flaxseed oil or ground flaxseed. *Poultry science*, 96(6), 1791-1799.

- Elkin, R. G., Ying, Y., & Harvatine, K. J. (2015). Feeding laying hens stearidonic acid-enriched soybean oil, as compared to flaxseed oil, more efficiently enriches eggs with very long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(11), 2789-2797. <https://doi.org/10.1021/jf505384a>
- Fraeye, I., Bruneel, C., Lemahieu, C., Buyse, J., Muylaert, K., & Foubert, I. (2012). Dietary enrichment of eggs with omega-3 fatty acids: A review. *Food Research International*, 48(2), 961-969. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.06.005>
- Hosseini Vashan, S. J., Afzali, N., Malekaneh, M., Naseri, M. A., & Resani, A. A. (2009). Enrichment of egg yolk with long-chain omega-3 fatty acids through Supplementation of Kilka Fish Oil to Layer Diets. *Journal of Crop Production and Processing*, 13(47), 131-141. (In Persian)
- Huang, Y., Li, D., & Xing, J. (2018). Effects of dietary omega-3 fatty acids on the performance and immune function of laying hens. *Poultry Science*, 97(3), 1031-1038. <https://doi.org/10.3382/ps/pex432>
- Iran veterinary organization. (2019). *Guidelines for Enriching Eggs with Omega-3 Fatty Acids*. National Veterinary Regulations, IVO/ April/ 2019.
- Kralik, G., Kralik, Z., Grcevic, M., Galovic, O., Hanzek, D., & Biazik, E. (2021). Fatty acid profile of eggs produced by laying hens fed diets containing different shares of fish oil. *Poultry Science*, 100(5), 101379. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101379>
- Lee, S. H., Kim, Y. B., Kim, D.-H., Lee, D.-W., Lee, H.-G., Jha, R., & Lee, K.-W. (2021). Dietary soluble flaxseed oils as a source of omega-3 polyunsaturated fatty acids for laying hens. *Poultry Science*, 100(3), 101276. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.12.050>
- Nassef, E. E., Bakr, A. A., & Salama, A. S. (2019). Feeding a definite concentration of eicosapentaenoic and docosahexaenoic fatty acids to laying hens. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 70(1), 1393-1400.
- Mens, A., Janssen, A. W., Barbosa, M. J., & Wijffels, R. H. (2022). Microalgae for omega-3 fatty acid reduction: Opportunities and challenges. *Algal Research*, 64, 102648. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102648>
- Metcalfe, L. D., Schmitz, A. A., & Pelka, J. R. (1966). A rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. *Analytical Chemistry*, 38(3), 514-515. <https://doi.org/10.1021/ac60235a044>
- Omri, B., Chalghoumi, R., Izzo, L., Ritieni, A., Lucarini, M., Durazzo, A., Abdouli, H., & Santini, A. (2019). Effect of dietary incorporation of linseed alone or together with tomato-red pepper mix on laying hens' egg yolk fatty acids profile and health lipid indexes. *Nutrients*, 11(3), 613. <https://doi.org/10.3390/nu11030613>
- Park, Y. W., & Lee, S. H. (2021). Eggs: Healthy or risky? A review of evidence from high-quality studies on hen's eggs. *Nutrients*, 13(12), 4215. <https://doi.org/10.3390/nu1312421>
- Rizzi, L., Bochicchio, D., Bargellini, A., Parazza, P., & Simioli, M. (2009). Effects of dietary microalgae, other lipid sources, inorganic selenium and iodine on yolk n-3 fatty acid composition, selenium content and quality of eggs in laying hens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(10), 1775-1781.
- Roberts, J. R. (2004). Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens. *The Journal of Poultry Science*, 41(3), 161-177.
- Shang, X. G., Wang, F. L., & Li, D. F. (2020). Effect of dietary conjugated linoleic acid on the performance of laying hens and egg quality during refrigerated storage. *Animal*, 14(1), 1-8. <https://doi.org/10.1017/S1751731119001154>
- Simopoulos, A. P. (2016). Evolutionary aspects of the dietary omega-6/omega-3 fatty acid ratio: Medical implication. *World Review of Nutrition and Dietetics*, 100, 1-21.
- Swanson, D., Block, R., & Mousa, S. A. (2012). Omega-3 fatty acids EPA and DHA: Health benefits throughout life. *Advances in Nutrition*, 3(1), 1-7. <https://doi.org/10.3945/an.111.000893>
- Wang, X., Li, C., Contreras, M. D. M., Verardo, V., Gómez-Caravaca, A. M., & Xing, C. (2020). Integrated profiling of fatty acids, sterols and phenolic compounds in tree and herbaceous peony seed oils: Marker screening for new resources of vegetable oil. *Foods*, 9(6), 770. <https://doi.org/10.3390/foods9060770>
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S.,... & Murray, C. J. L. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393(10170), 447-492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)

- Wu, Y. B., Li, L., Wen, Z. G., Yan, H. J., Yang, P. L., Tang, J., Xie, M., & Hou, S. S. (2019). Dual functions of eicosapentaenoic acid-rich microalgae: Enrichment of yolk with n-3 polyunsaturated fatty acids and partial replacement for soybean meal in diet of laying hens. *Poultry Science*, 98(1), 350-357.
- Zhao, H., Li, Z., Sun, Y., Yan, M., Wang, Y., Li, Y., Zhang, Y., & Zhu, M. (2024). Supplementation of Chlorogenic Acid Alleviates the Effects of H₂O₂-Induced Oxidative Stress on Laying Performance, Egg Quality, Antioxidant Capacity, Hepatic Inflammation, Mitochondrial Dysfunction, and Lipid Accumulation in Laying Hens. *Antioxidants*, 13(11), 1303. <https://doi.org/10.3390/antiox13111303>