



نشریه علمی

پژوهشهای علوم دامی ایران

جلد ۱۷ شماره ۴
سال ۱۴۰۴

شماره پیاپی: ۶۴
۲۰۰۸-۳۱۰۶: شاپا

عنوان مقالات

تغذیه نشخوارکنندگان

مقایسه بازدهی اقتصادی و عملکرد رشد بره‌های پرواری بلوچی تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی سطوح بالای ذرت کامل و فرآوری‌شده با دانه کامل جو ۳۶۳
عبدالغفور شیخ جامی، رضا ولی زاده، مرضیه حاج محمدی، عباسعلی ناصریان

اثرات جایگزینی یونجه با سطوح مختلف خارشتر بر قابلیت هضم و فراسنجه‌های شکمبه‌ای بره‌های عربی ۳۷۷
محمد جواد خسروی، یداله چاشنی دل، سیداله تیموری یانسری، رادمان بختیاری

تغذیه طیور

استفاده از مدل ریاضی بردار پشتیبان غیرخطی برای ارزیابی عملکرد رشد، شاخص‌های بیوشیمیایی خون و ایمنی جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با پودر میوه کور (*Capparis spinosa* L.) و مقایسه آن با مدل خطی درجه سوم ۴۹۱
زهره سیدی، سیدجواد حسینی و اشان، محمدقاسم اکبری

بررسی مقایسه‌ای اثر اسیدهای آمینه پوشش‌دار و آزاد بر عملکرد رشد و برخی فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون و تیترا آنتی‌بادی‌های آنفولانزا و نیوکاسل در جوجه‌های گوشتی آرین ۴۱۱
سیده فاطمه حسینی دربرزی، سمیه قره‌مندی، سیدعبدالله حسینی

تأثیر نافوکسول‌های حاوی اسانس زنبار بر عملکرد و فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی گندم ۴۲۹
شکوفه غضنفری، سیروس اکبری شاداباد، امیر میمنده‌پور، سید عبدالله حسینی، شیرین هنریخش

اثرات افزودن ریزجلیک اسپیرولیبا پلاتنسیس به جیره‌های حاوی روغن کتان بر عملکرد، وضعیت آنتی‌اکسیدانی و فراسنجه‌های لیپیدی خون مرغ‌های تخم‌گذار مسن ۴۴۹
جواد قانونی پستان کار، سیدعلی میرقلنج، محسن دانشیار، علی هاشمی، سینا پیوستگان، امیر مصیب زاده

اثر عصاره‌های *Allium sativum* و *Foeniculum vulgare* بر عملکرد و ریخت‌شناسی دستگاه تولیدمثل در مرغ‌های مادر تخم‌گذار ۴۶۵
زینب باردل، علی اصغر ساکی، اصغر میرزایی اصل، زهرا غلامی محمودیان

اثرات اسیدآمینه ال-سرین و مکمل کولین بر کیفیت اسپرم خروس‌های مسن مادرگوشتی ۴۷۷
مه‌کام علیزاده، علی آقائی، صالح طباطبائی وکیلی، محمود نظری

اثر منابع و سطوح مختلف عنصر روی بر عملکرد و ابقاء عناصر روی، مس و منگنز در مرغ تخم‌گذار ۴۹۳
علی افشار بکش‌لو، بهنام احمدی پور، فریبرز خواجهلی، نصراله پیرانی

نشریه علمی پژوهشهای علوم دامی ایران

با شماره پروانه ۳۶۵۵ در تاریخ ۸۷/۸/۱۹ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی و درجه علمی-پژوهشی به شماره ۳/۳۱۴۹ در تاریخ ۸۹/۴/۳۰ از وزارت علوم تحقیقات و فناوری (از جلد ۱ سال ۱۳۸۸)

بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال ۱۳۹۸، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند.

جلد ۱۷ شماره ۴ زمستان ۱۴۰۴

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: دکتر حسن نصیری مقدم

سرمدبیر: دکتر رضا ولی زاده

اعضای هیئت تحریریه:

دکتر رضا ولی زاده	استاد تغذیه نشخوارکنندگان	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محسن دانش مسگران	استاد تغذیه نشخوارکنندگان	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر مرتضی چاجی	استاد تغذیه نشخوارکنندگان	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
دکتر حسن علی عربی	استاد تغذیه نشخوارکنندگان	دانشگاه بوعلی سینا- همدان
دکتر جمال سیف دواتی	استاد تغذیه نشخوارکنندگان	دانشگاه محقق اردبیلی
دکتر حسن نصیری مقدم	استاد تغذیه طیور	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر ابوالقاسم گلیان	استاد تغذیه طیور	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر حسین جانمحمدی	استاد تغذیه طیور	دانشگاه تبریز
دکتر فریبرز خواجهلی	استاد تغذیه طیور	دانشگاه شهرکرد
دکتر احمد حسن آبادی	استاد تغذیه طیور	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر بهروز دستار	استاد تغذیه طیور	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دکتر نصراله پیرانی	دانشیار ژنتیک و اصلاح نژاد	دانشگاه شهرکرد
دکتر محمدرضا نصیری	استاد ژنتیک و اصلاح نژاد	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر مجتبی طهمورث پور	استاد ژنتیک و اصلاح نژاد	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سعید زره داران	استاد ژنتیک و اصلاح نژاد	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر علی جوادمنش	دانشیار ژنتیک و اصلاح نژاد	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر عباس پاکدل	استاد ژنتیک و اصلاح نژاد	دانشگاه صنعتی اصفهان
دکتر حسن دوستی	استاد ریاضیات و آمار	دانشگاه مکواری، استرالیا
دکتر مهدی سرگلزایی	دانشیار ژنتیک	دانشگاه کوئلف، کانادا

نشانی: مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه نشریات علمی، دفتر نشریه پژوهشهای

علوم دامی ایران. صندوق پستی ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳

نمابر: ۰۵۱-۳۸۷۸۷۴۳۰

پست الکترونیکی: ijasr@ferdowsi.um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت <https://ijasr.um.ac.ir> به صورت مقاله کامل نمایه شده است.

این نشریه در پایگاه های زیر نمایه می شود:

DOAJ, CABI, Google Scholar, AGRIS, Internet Archive, Ebsco, Europub

پایگاه استادی جهان اسلام (ISC)، بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN)

این نشریه به صورت فصلنامه (چهار شماره در سال) منتشر می شود.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- تغذیه نشخوارکنندگان
صفحه ۳۶۳ مقایسه بازدهی اقتصادی و عملکرد رشد بره‌های پرواری بلوچی تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی سطوح بالای ذرت کامل و فرآوری شده با دانه کامل جو
عبدالغفور شیخ جامی، رضا ولی زاده، مرضیه حاج محمدی، عباسعلی ناصریان
۳۷۷ اثرات جایگزینی یونجه با سطوح مختلف خارشتر بر قابلیت هضم و فراسنجه‌های شکمبه‌ای بره‌های عربی
محمد جواد خسروی، یداله چاشنی دل، سداله تیموری یانسری، رادمان بختیاری
- تغذیه طیور
۳۹۱ استفاده از مدل ریاضی بردار پشتیبان غیرخطی برای ارزیابی عملکرد رشد، شاخص‌های بیوشیمیایی خون و ایمنی جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با پودر میوه کور (*Capparis spinosa* L.) و مقایسه آن با مدل خطی درجه سوم
زهره سیدی، سیدجواد حسینی و اشان، محمدقاسم اکبری
۴۱۱ بررسی مقایسه‌ای اثر اسیدهای آمینه پوشش‌دار و آزاد بر عملکرد رشد و برخی فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون و تیتر آنتی‌بادی‌های آنفولانزا و نیوکاسل در جوجه‌های گوشتی آرین
سیده فاطمه حسینی دربرزی، سمیه فرهمند، سیدعبدالله حسینی
۴۲۹ تأثیر نانوکیسول‌های حاوی اسانس زنیان بر عملکرد و فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی گندم
شکوفه غضنفری، سیروس اکبری شادباد، امیر میمندپور، سید عبدالله حسینی، شیرین هنربخش
۴۴۹ اثرات افزودن ریز جلبک / اسپیرولینا پلاتنسیس به جیره‌های حاوی روغن کتان بر عملکرد، وضعیت آنتی‌اکسیدانی و فراسنجه‌های لیپیدی خون مرغ‌های تخم‌گذار مسن
جواد قانونی بستان کار، سیدعلی میرقلنج، محسن دانشیار، علی هاشمی، سینا پیوستگان، امیر مصیب زاده
۴۶۵ اثر عصاره‌های *Allium sativum* و *Foeniculum vulgare* بر عملکرد و ریخت‌شناسی دستگاه تولیدمثل در مرغ‌های مادر تخم‌گذار
زینب باردل، علی اصغر ساکی، اصغر میرزایی اصل، زهرا غلامی محمودیان
۴۷۷ اثرات اسیدآمینه ال-سرین و مکمل کولین بر کیفیت اسپرم خروس‌های مسن مادر گوشتی
مه‌کام علیزاده، علی آقائی، صالح طباطبائی و کیلی، محمود نظری
۴۹۳ اثر منابع و سطوح مختلف عنصر روی بر عملکرد و ابقاء عناصر روی، مس و منگنز در مرغ تخم‌گذار
علی افشار بکش‌لو، بهنام احمدی پور، فریبرز خواجعلی، نصراله پیرانی

Research Article

Vol. 17, No.4, 2026, p. 361-373



Comparison of Economic Efficiency and Growth Performance in Baluchi Fattening Lambs Fed Diets Containing High Levels of Whole and Processed Corn versus Whole Barley Grain

Abdul Ghafour Sheikh Jami¹, Reza Valizadeh^{1*}, Marzieh Hajmohammadi¹, Abbasali Naserian¹

1- Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

*Corresponding Author's Email: valizadeh@um.ac.ir

Received: 29-09-2021
Revised: 07-04-2025
Accepted: 13-04-2025
Available Online: 03-02-2026

How to cite this article:

Abdul Ghafour Sheikh Jami, Reza Valizadeh, Marzieh Hajmohammadi & Abbasali Naserian (2026). Comparison of economic efficiency and growth performance in baluchi fattening lambs fed diets containing high levels of whole and processed corn versus whole barley grain. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 17(4), 361-373. (in Persian with English abstract).
<http://doi.org/10.22067/IJASR.2025.72772.1041>

Introduction: Barley grain is the main feed for lamb fattening in Iran; However, its rapid starch degradation in the rumen can lead to digestive problems, such as ruminal acidosis and bloat, which adversely affect livestock performance. To address this, corn grain is often used as an alternative because it has a slower degradation rate and reduces digestive problems. However, there is limited research on the effects of processing methods on the performance and degradability of corn and barley when fed at high-level diets to fattening animals. Additionally, studies comparing the performance and economic efficiency of these grains in ruminants under Iranian conditions are scarce. This study aims to assess the effects of corn processing and high-level barley grain feeding on the performance and economic outcomes for *Baluchi* lambs *in vivo*.

Materials and Methods: This study was conducted to evaluate and compare ruminal parameters, blood metabolites, and economic efficiency in fattening lambs fed high-concentrate diets based on corn and barley. A total of 20 male *Baluchi* lambs were randomly assigned to four experimental diets in a completely randomized design. The dietary groups consisted of similar forage proportions and concentrate mixtures containing: (1) whole corn, (2) wet corn, (3) ground corn, and (4) whole barley. The lambs were fed these completely mixed diets for 70 days, with a concentrate-to-forage ratio of 75:25 maintained across all groups.

Results and Discussion: The average daily weight gain did not differ significantly among the groups; however, lambs receiving the whole corn diet demonstrated the highest numerical average daily weight gain. In contrast, lambs fed the wet corn diet exhibited significantly lower feed intake, along with improved feed conversion ratio and feed efficiency, compared to the other dietary groups, especially whole barley and ground corn. The feed efficiency for the wet corn group was notably higher than that of the other groups. Furthermore, experimental diets did not significantly influence ruminal pH or ammonia nitrogen concentrations. There was also no significant effect of the diets on total volatile fatty acid concentrations, the acetate-to-propionate ratio, or individual concentrations of acetate, butyrate, isobutyrate, and isovalerate. However, the concentration of propionate was significantly elevated in the ground corn group. Blood parameters remained largely unaffected by dietary groups. The highest net income was recorded in the whole corn group, which showed no significant difference from the wet corn group.



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

 <http://doi.org/10.22067/IJASR.2025.72772.1041>

Additionally, the wet corn diet was associated with the highest economic efficiency and the lowest cost per unit of production when compared to the ground corn group.

Conclusion: These findings suggest that incorporating wet corn into the diets of *Baluchi* lamb can be an effective strategy to improve animal performance and enhance economic returns under intensive fattening systems.

Keywords: Baluchi lamb, Barley grain, Ground corn, Wet corn, Whole corn

مقایسه بازدهی اقتصادی و عملکرد رشد بره‌های پرواری بلوچی تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی سطوح بالای ذرت کامل و فرآوری‌شده با دانه کامل جو

عبدالغفور شیخ جامی^۱، رضا ولی زاده^{۱*}، مرضیه حاج محمدی^۱، عباسعلی ناصریان^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۴

چکیده

این مطالعه با هدف مقایسه فراسنجه‌های تخمیری شکمبه، متابولیت‌های خونی و بازدهی اقتصادی در بره‌های پرواری تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی کنسانتره بالا بر پایه ذرت و جو انجام گردید. در این پژوهش، تعداد ۲۰ رأس بره نر بلوچی در قالب یک طرح کاملاً تصادفی به چهار جیره آزمایشی اختصاص داده شدند. تیمارهای آزمایشی شامل جیره‌هایی با بخش علوفه‌ای مشابه و بخش کنسانتره حاوی: ۱- ذرت کامل، ۲- ذرت مرطوب‌شده، ۳- ذرت بلغور شده و ۴- دانه کامل جو بودند. جیره‌های آزمایشی به صورت کاملاً مخلوط شده به مدت ۷۰ روز به بره‌ها تغذیه شدند. نسبت کنسانتره به علوفه در تمامی جیره‌ها ۷۵ به ۲۵ بود. میانگین افزایش وزن روزانه تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت، هرچند از نظر عددی، میانگین افزایش وزن روزانه بره‌های اختصاص‌یافته به تیمار حاوی ذرت کامل، بیشترین مقدار را داشت. بره‌های تغذیه‌شده با جیره حاوی ذرت مرطوب‌شده، به طور معنی‌داری کمترین میزان مصرف خوراک و بهترین ضریب تبدیل و بازده خوراک را نسبت به سایر تیمارها، به‌ویژه جو و ذرت بلغور شده نشان دادند ($P < 0.05$). بازده مصرف خوراک در تیمار حاوی ذرت مرطوب‌شده به طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها به خصوص دانه کامل جو و ذرت بلغور شده بود ($P < 0.05$). مقدار pH و غلظت نیترژن آمونیاکی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت. جیره‌های مورد استفاده تأثیر معنی‌داری بر میزان غلظت کل اسیدهای چرب فرار، نسبت استات به پروپیونات، استات، بوتیرات، ایزوبوتیرات و ایزوالرات نداشتند، اما غلظت مولی پروپیونات به طور معنی‌داری در تیمار ذرت بلغور شده بیشتر بود ($P < 0.05$). فراسنجه‌های خونی نیز تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفتند. بیشترین میزان درآمد خالص در تیمار حاوی ذرت کامل مشاهده شد که با تیمار حاوی ذرت مرطوب‌شده تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین بازدهی اقتصادی و کمترین هزینه در هر واحد تولید مربوط به تیمار ذرت مرطوب‌شده در مقایسه با تیمار حاوی ذرت بلغور شده بود. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از ذرت مرطوب‌شده در جیره بره‌های پرواری می‌تواند راهکاری مؤثر در بهبود عملکرد دام و افزایش بازده اقتصادی در صنعت دامپروری باشد.

واژه‌های کلیدی: بره بلوچی، بلغور ذرت، دانه جو، دانه کامل ذرت، ذرت مرطوب‌شده

مقدمه

روش‌های متراکم پرورش دام، دستیابی به حداکثر اضافه وزن و استفاده بهینه از مواد کنسانتره‌ای، هدف اصلی هر دامپرور محسوب می‌شود (FAO, 2004).

دانه‌های غلات به‌ویژه جو و ذرت، دارای کربوهیدرات‌های قابل هضم بالا هستند و می‌توانند انرژی لازم برای ریزجاندانان شکمبه را به سرعت تأمین کنند و در نتیجه، تخمیر سریع و تولید زیاد اسیدهای چرب فرار را امکان‌پذیر سازند (FAO, 2004). در واحدهای پروار بندی، جو و ذرت به عنوان غلات اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما ویژگی‌های سریع‌التخمیر ناشاسته جو در شکمبه و تجزیه‌پذیری بالای آن نسبت به ذرت، می‌تواند موجب کاهش سریع pH شکمبه و بروز مشکلات گوارشی نظیر اسیدوز، نفخ، لنگش و آبسه‌های کبدی شده و در نهایت به بیماری دام و کاهش عملکرد آن منجر گردد (Nagaraja & Lechtenberg, 2007). یکی از راه‌های

پرورش گوسفند به عنوان یکی از ارکان اساسی فعالیت‌های دامپروری در ایران به شمار می‌آید. با افزایش جمعیت کشور، ارتقاء سطح درآمد و تغییر الگوهای مصرف پروتئین حیوانی، به‌ویژه گوشت قرمز، شاهد رشد جمعیت نشخوارکنندگان سبک و فشار فزاینده‌ای بر مراتع کشور هستیم. کاهش بارندگی در دهه‌های اخیر از یک سو و افزایش جمعیت دامی به همراه تخریب و فقر مراتع از سوی دیگر منجر به توسعه واحدهای متراکم و تا حدودی صنعتی و نیمه‌صنعتی در کشور شده است (Statistical Center of Iran, 2025).

۱- گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*) نویسنده مسئول: رضا ولی زاده (Email: valizadeh@um.ac.ir)
<http://doi.org/10.22067/IJASR.2025.72772.1041>

زنده 29 ± 2 کیلوگرم در قالب یک طرح کاملاً تصادفی به چهار جیره آزمایشی (تیمار) اختصاص داده شدند و در قفس‌های انفرادی زمینی تغذیه گردید. قبل از شروع دوره، تمامی قفس‌های مورد نظر سم‌پاشی و به‌طور کامل تمیز شدند. همچنین علاوه‌بر تزریق واکسن آنروتوکسمی (سه سی‌سی) و خوراندن داروهای ضدانگلی (پارانیل پنج سی‌سی) به بره‌ها، اقدامات بهداشتی لازم انجام گردید. در طول کل دوره آزمایش، بره‌ها به آب و سنگ نمک به‌صورت آزادانه دسترسی داشتند.

جیره‌های آزمایشی با استفاده از جداول استاندارد احتیاجات غذایی (NRC, 2007) تنظیم شدند. جیره‌ها حاوی ۷۵ درصد کنسانتره و ۲۵ درصد علوفه بودند و به‌صورت کاملاً مخلوط در دو نوبت صبح و عصر به بره‌ها تغذیه شدند. کنسانتره‌های آزمایشی شامل: ۱- جیره حاوی دانه ذرت کامل ۲- جیره حاوی دانه ذرت مرطوب‌شده ۳- جیره حاوی دانه ذرت بلغور‌شده و ۴- جیره پروراری سنتی حاوی دانه جو (شاهد) بود (جدول ۱).

در جیره ۱، دانه ذرت کامل بدون هیچ فرآیندی استفاده گردید. جیره ۲ به‌صورت روزانه و تازه از دانه کامل ذرت که ابتدا با اضافه کردن مقدار ۳۰۰ گرم آب به‌ازای هر ۱۰۰۰ گرم دانه ذرت مرطوب شده و به‌مدت ۱۲ ساعت خیسانده شد، تهیه گردید و سپس با بقیه اقلام جیره مخلوط و به بره‌ها تغذیه شد. در جیره ۳، دانه ذرت با آسیاب چکشی دارای توری شش میلی‌متری بلغور شد و سپس همانند دو جیره قبلی با اقلام دیگر جیره مخلوط و طبق برنامه تغذیه گردید. در جیره ۴ به‌جای دانه ذرت، از دانه کامل جو در ترکیب جیره استفاده شد.

طول دوره آزمایش ۷۰ روز بود که شامل ۱۴ روز دوره عادت-پذیری و ۵۶ روز دوره اصلی می‌شد. مقدار خوراک مصرفی، باقی‌مانده خوراک به‌صورت روزانه اندازه‌گیری گردید. وزن کشتی دام‌ها هر دو هفته یک‌بار پس از یک دوره گرسنگی ۱۲ ساعته، دو ساعت قبل از خوراک‌دهی صبحگاهی با استفاده از ترازوی دیجیتالی پند (Pand electronic scale) انجام گرفت.

در پایان دوره آزمایش و دو ساعت پس از خوراک‌دهی صبحگاهی، نمونه‌برداری از مایع شکمبه با استفاده از لوله مری و پمپ خلأ انجام شد و pH آن توسط دستگاه pH متر دیجیتالی (مدل ۶۹۱ Metrohm) اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری غلظت نیترژن آمونیاکی با استفاده از روش فنول-سدیم هیپوکلریت، مایع شکمبه از طریق پارچه متقال چهارلایه صاف شد. سپس مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از مایع برداشت شد و با ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۰/۲ نرمال مخلوط و در فریز ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایش های بعدی نگهداری شد (Witt et al., 1997).

جلوگیری از بروز این ناهنجاری‌های تغذیه‌ای، استفاده از دانه کامل ذرت به‌جای جو در تغذیه دام‌های پروراری است. دانه کامل ذرت دارای سرعت تجزیه کمتری در شکمبه است و نسبت به جو، مشکلات گوارشی کمتری از جمله اسیدوز را بروز می‌دهد (Stock et al., 1987; Harmon et al., 2009; Theurer et al., 1999). نشان می‌دهد که بین ۸۰ تا ۹۰ درصد از نشاسته دانه جو در شکمبه تجزیه می‌شود، درحالی‌که این میزان برای دانه ذرت حدود ۵۵ تا ۷۰ درصد برآورد شده و باقی‌مانده آن در روده باریک هضم می‌گردد (Waldo et al., 1973). تخمیر آهسته‌تر نشاسته ذرت در شکمبه به جلوگیری از کاهش سریع و شدید pH شکمبه کمک می‌کند. این امر احتمالاً به دلیل ایجاد توازن بهتر در جیره، به‌ویژه از نظر هم‌زمانی تأمین منابع انرژی و پروتئین است (Suber et al., 1998) و دام را از عوارض منفی کاهش شدید آن محافظت می‌کند (Stock et al., 1987). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که استفاده از ذرت کامل در جیره بره پروراری سبب بهبود افزایش وزن روزانه و افزایش وزن لاشه نسبت به دانه کامل جو گردید (Petit et al., 2008).

از طرفی دیگر، فرآوری کردن غلات، مانند آسیاب کردن، به‌طور معمول قابلیت تجزیه و هضم نشاسته غلات را در شکمبه افزایش می‌دهند (Theurer et al., 1986). با این وجود، آسیاب کردن ممکن است تأثیرات منفی بر کیفیت لاشه داشته باشد، زیرا این فرآیند منجر به تخمیر سریع‌تر نشاسته در شکمبه و افزایش تولید اسیدهای چرب زنجیره‌ای شاخه‌دار می‌شود، که در نهایت باعث کاهش کیفیت لاشه در بره‌های تغذیه‌شده با جو (Duncan et al., 1974) می‌گردد. در مقابل، تغذیه با غلات کامل نسبت به غلات بلغور‌شده، نرخ تخمیر نشاسته در شکمبه را کاهش می‌دهد. نشاسته ذرت از نظر قابلیت تجزیه در شکمبه، کمتر از نشاسته جو است و معمولاً قابلیت هضم آن پس از پردازش افزایش می‌یابد، درحالی‌که قابلیت هضم جو تغییر چندانی نمی‌کند (Theurer et al., 1986).

در ایران، پروراندی گوسفند عمدتاً به شیوه سنتی و با استفاده از دانه جو انجام می‌شود (Ghorbani et al., 2023; Afrasiabzadeh, 2013). اگرچه تحقیقات متعددی در زمینه پروراندی با استفاده از جو انجام شده، اما هنوز اطلاعات در مورد پروراندی در صورت استفاده حداکثری از دانه ذرت محدود می‌باشد. بنابراین، هدف از مطالعه حاضر، بررسی اثر استفاده از کنسانتره‌های حاوی دانه ذرت به اشکال فیزیکی مختلف شامل دانه کامل، مرطوب‌شده و بلغور‌شده، و مقایسه آن با جیره سنتی حاوی دانه جو بر فراسنجه‌های شکمبه، متابولیت‌های خونی و بازده اقتصادی در بره‌های نر بلوچی است.

مواد و روش‌ها

تعداد ۲۰ رأس بره نر نژاد بلوچی با میانگین سنی ۵/۵ ماه و وزن

جدول ۱- اقلام خوراکی مورد استفاده و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی (درصدی از ماده خشک)

Table 1- Feed ingredients and chemical compositions of the experimental diets (% of DM)

اجزای جیره Diet ingredients	جیره‌های آزمایشی Experimental diets			
	1	2	3	4
یونجه خشک Alfalfa hay	20	20	20	18
کاه گندم Wheat straw	5	5	5	6
ذرت کامل Whole corn	64	-	-	-
ذرت بلغور شده Coarsely ground corn	-	-	64	-
ذرت مرطوب Moisturized corn	-	64	-	-
دانه جو Barley grain	-	-	-	64
کنجاله سویا Soybean meal	9	9	9	10
کلسیم کربنات Calcium carbonate	0.5	0.5	0.5	0.5
مکمل معدنی و ویتامینی Mineral and vitamin premix	1	1	1	1
نمک Salt	0.25	0.25	0.25	0.25
سدیم بی کربنات Sodium bicarbonate	0.25	0.25	0.25	0.25
کسانتره: علوفه Forage: concentrate	25:75	25:75	25:75	26:74
ترکیب شیمیایی Chemical composition				
درصد ماده خشک Dry matter	92.96	80.08	93.06	92.96
ماده آلی Organic matter	94.30	94.30	94.20	94.45
پروتئین خام Crude protein	13.50	13.50	13.61	14.10
چربی Ether extract	3.60	3.60	3.50	2.80
انرژی قابل متابولیسم (مگا کالری در کیلوگرم ماده خشک) Metabolizable energy	2.74	2.74	2.74	2.63
کربوهیدرات غیر فیبری Non-fiber carbohydrates	55.70	55.80	55.69	55.95
الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber	21.50	21.40	21.40	21.60
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber	11.40	11.65	11.50	11.80
کلسیم Calcium	0.55	0.55	0.56	0.53
فسفر Phosphorus	0.31	0.31	0.30	0.34

۱: جیره حاوی دانه ذرت کامل ۲: جیره حاوی دانه ذرت مرطوب‌شده ۳: جیره حاوی دانه ذرت بلغور شده و ۴: جیره حاوی دانه جو (شاهد).

1: Diet containing whole corn grain 2: diet containing wetted whole corn grain, 3: diet containing coarsely ground corn grain 4: diet containing barley grain (the control).

اول و آخر طرح گرفته شد. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق قرار داده شدند و سپس به مدت ۱۰ دقیقه در داخل یخچال برای انعقاد

برای اندازه‌گیری فراسنجه‌های خونی، با استفاده از لوله ونجوکت از سیاهرگ وداچ گردن بره‌ها، مقدار ۱۰ میلی‌لیتر خون در روزهای

بلغور شده نسبت به تیمار حاوی ذرت مرطوب و دانه کامل جو به طور معنی داری افزایش یافت ($P < 0.05$)، اما نسبت به تیمار حاوی ذرت کامل تفاوت معنی داری نداشت ($P > 0.05$). نعمت الهی (Nematollahi, 1966) گزارش کرد که مصرف خوراک در برهه های پرواری با جیره حاوی ذرت آسیاب شده نسبت به جیره حاوی ذرت پرک ۲۴ و ۴۸ ساعت خیس خورده به طور معنی داری بیشتر بود. این محقق دلیل آن را کاهش اندازه ذرات دانه ذرت بلغور شده و افزایش نرخ عبور ذکر کرد. استوک و همکاران (Stock et al., 1987) در گزارشی بیان کردند که استفاده از ذرت بلغور شده نسبت به ذرت خیس شده در جیره گاو پرواری باعث افزایش مصرف خوراک شد، ولی تأثیری بر افزایش وزن نداشت. حداد و ناصر (Haddad & Nasser, 2007) نشان دادند که مصرف دانه ذرت آسیاب شده به جای جو، مصرف ماده خشک در برهه ها را افزایش داد. همچنین هم سو با مطالعه حاضر، نولتون و همکاران (DelCurto et al., 2020) گزارش کردند که با استفاده از ذرت آسیاب شده در مقایسه با جو در جیره گاو پرواری، مصرف خوراک افزایش پیدا کرد. بر طبق منابع مختلف، هدف از فرآوری غلات، کاهش میزان مصرف خوراک در عین حفظ افزایش وزن دامها است (Owens et al., 1997; DelCurto et al., 2020). باین حال، یکی از نکات مهم در فرآوری این است که کاهش اندازه ذرات دانه یا ژلاتینه شدن دانه های نشاسته می تواند خطر اسیدوز را افزایش دهد. این امر به دلیل افزایش هضم پذیری دانه است (Stock et al., 1987). به طور کلی بیان شده است که فرآوری بیشتر ذرت ممکن است منجر به کاهش جزئی در افزایش وزن روزانه شود که عمدتاً ناشی از کاهش قابل توجه در مصرف ماده خشک است و در نهایت به بهبود کارایی خوراک (Owens et al., 1997) منجر می شود. گلاین و همکاران (LaBrune et al., 2008) از ذرت آسیاب شده و کامل در تغذیه گوساله ها استفاده کرد و نشان داد که ذرت آسیاب شده قابلیت هضم و وزن دام را افزایش داد، ولی تأثیری بر مصرف خوراک نداشت. اوریو و همکاران (Orio et al., 1991) بیان کردند که استفاده از جیره های پرکنسانتره بر پایه ذرت و جو در تغذیه گوساله های پرواری، مصرف ماده خشک را تحت تأثیر قرار نداد. اورتون و همکاران (Tjardes et al., 1998) با بررسی نسبت های جو و ذرت و اثرات آن بر مصرف ماده خشک دریافتند که با افزایش نسبت نشاسته ذرت به جای جو، مصرف ماده خشک افزایش پیدا کرد. اما یاحقی و همکاران (Yahaghi et al., 2012) نشان دادند که مصرف ماده خشک و نشاسته هنگام استفاده از ذرت به جای جو تفاوت معنی داری نداشت. به نظر می رسد که کاهش اندازه ذرات دانه ذرت در اثر آسیاب کردن سبب افزایش نرخ عبور و متعاقب آن افزایش مصرف خوراک در مطالعه حاضر شده است. همچنین مطالعات نشان دادند که ذرت بلغور شده در بهبود اشتها حیوان مؤثر است (Balcells et al.,

مناسب نگهداری گردید. سپس نمونه های خون به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۳۰۰۰ سانتریفیوژ شد. سرم حاصله در فریزر با دمای ۲۰- درجه سانتی گراد نگهداری گردید. نمونه های خونی برای تعیین فراسنجه های گلوکز، تری گلیسیرید، اوره و کلسترول به وسیله دستگاه اتوانالایزر (Hitachi, Ltd. Tokyo, Japan) برند ROCHE مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

ضریب تبدیل، راندمان خوراک و بازدهی اقتصادی

ضریب تبدیل خوراک از تقسیم مقدار خوراک مصرف شده بر افزایش وزن روزه و راندمان خوراک مصرفی از معکوس ضریب تبدیل حاصل شد (معادله ۱).

معادله (۱)

کیلوگرم افزایش وزن روزانه/کیلوگرم خوراک مصرفی = (کیلوگرم خوراک برای هر کیلوگرم اضافه وزن) ضریب تبدیل شاخص های اقتصادی درآمد خالص، بازدهی اقتصادی و حداقل هزینه هر واحد تولید با استفاده از معادله های زیر محاسبه گردید.

معادله (۲)

کل هزینه (ریال) - کل درآمد (ریال) = درآمد خالص (ریال)

معادله (۳)

کل هزینه (ریال)/کل درآمد (ریال) = بازدهی اقتصادی (ریال)

معادله (۴)

کل درآمد (ریال)/کل هزینه (ریال) = هزینه هر واحد تولید (ریال)

طرح آماری مورد استفاده

داده های این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از رویه GLM به وسیله نرم افزار آماری SAS 9.2 آنالیز آماری شد. مقایسه های میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۹۵ درصد انجام گرفت. همچنین افزایش وزن به عنوان کواریت در معادله منظور شد. مدل مورد استفاده به شرح زیر بود.

معادله (۵) $Y_{ijk} = \mu + T_i + \varepsilon_{ijk} + \beta(BW_{ij} - X)$

که در آن، Y_{ijk} : مقدار مشاهده مورد نظر، اثر وزن اولیه، β : میانگین کل، T_i : اثر تیمار آزمایش و ε_{ijk} : خطای آزمایشی است.

نتایج و بحث

فاکتورهای عملکردی برهه های مورد آزمایش

مصرف خوراک، افزایش وزن روزانه، ضریب تبدیل و بازده خوراک مصرفی

مصرف خوراک تحت تأثیر جیره های آزمایشی قرار گرفت (جدول ۲). در کل دوره آزمایشی، مصرف خوراک در تیمار حاوی ذرت

(1995).

مرطوب و ذرت سالم نسبت به ذرت بلغور و جو از لحاظ عددی تمایل به افزایش داشت که در راستای آزمایش‌های پتیت و همکاران (Petit et al., 2008) و زین و همکاران (Zinn et al., 1995) بود که نشان دادند، افزایش وزن در جیره با ذرت کامل نسبت به جو پرک‌شده بیشتر بود و خیس‌اندن ذرت باعث افزایش وزن بدن و رشد نسبت به ذرت آسیاب‌شده و پرک‌شده گردید. یاحقی و همکاران (Yahaghi et al., 2012) نیز نشان دادند که نرخ رشد و افزایش وزن روزانه با استفاده از ذرت به‌جای جو تمایل به افزایش نشان داد و دلیل آن را به بهبود شرایط شکمبه هنگام مصرف ذرت به‌جای جو و تأثیر آن بر مصرف خوراک نسبت دادند.

افزایش وزن روزانه تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت ($P > 0.05$). این نتایج مشابه یافته‌های سیوان و همکاران (Sivan et al., 2004) بود که بیان کردند تفاوت معنی‌داری از لحاظ میانگین اضافه وزن روزانه بین جیره‌های بر پایه ذرت و جو وجود نداشت. همچنین کینکوله و همکاران (Martín-Orue et al., 2000) طی آزمایشی به بررسی استفاده از نسبت‌های دانه جو و ذرت در جیره گوساله‌های پرواری پرداختند و گزارش کردند که تفاوت معنی‌داری از نظر استفاده از جو و ذرت در جیره گوساله‌های پرواری مشاهده نشد، بعضی دیگر از محققین نیز به نتایج مشابهی دست یافتند (Martin-Orue et al., 2000). در کل، میانگین افزایش وزن روزانه بدن در تیمار دارای ذرت

جدول ۲- تأثیر جیره‌های آزمایشی بر فاکتورهای عملکردی بره‌های آزمایشی

Table 2- Effect of experimental diet on performance of the experimental lambs

عملکرد بره‌ها Lamb performance	جیره‌های آزمایشی Experimental diets				خطای استاندارد میانگین SEM	مقدار احتمال P-value
	1	2	3	4		
میانگین مصرف خوراک روزانه کل دوره (کیلوگرم) Average daily feed intake over the entire period (kg)	1.39 ^{ab}	1.25 ^b	1.49 ^a	1.35 ^b	0.050	0.036
میانگین افزایش وزن کل دوره (گرم/روز) Average weight gain over the entire period (g/day)	287	286	223	236	0.019	0.119
میانگین ضریب تبدیل کل دوره (کیلوگرم) Average conversion rate over the entire period (kg)	4.84 ^b	4.37 ^b	6.68 ^a	5.72 ^a	0.205	0.041
میانگین راندمان کل دوره (درصد) Average efficiency over the entire period (%)	0.20 ^{ab}	0.23 ^a	0.18 ^b	0.17 ^b	0.013	0.009

در هر ردیف بین میانگین‌های با حروف متفاوت، اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($P < 0.05$).

۱: جیره حاوی دانه ذرت کامل ۲: جیره حاوی دانه ذرت بلغور شده و ۳: جیره پرواری سنتی متداول منطقه بر پایه کنسانتره حاوی جو (شاهد).

In each row, there is a significant difference between the means with different letters ($P < 0.05$).

Diet containing whole corn grain, 2: Diet containing wetted whole corn grain, 3: Diet containing coarsely ground corn grain, 4: 1: Diet containing barley grain (the control).

که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی داشت. در مطالعه دیگری، کودال و همکاران (Peener et al., 2011) گزارش کردند که استفاده از دانه ذرت بلغور شده نسبت به ذرت آردی در تغذیه گوساله‌ها موجب بهبود ضریب تبدیل غذایی شد، اما مصرف خوراک در هر دو تیمار یکسان بود، در صورتی که در مطالعه حاضر بین ذرت آردی و بلغور شده مقایسه‌ای انجام نشده است. یاحقی و همکاران (Yahaghi et al., 2012) نشان دادند که استفاده از ذرت سبب بهبود ضریب تبدیل در بره‌های پرواری نسبت به جو می‌شود.

بازده خوراک مصرفی در تیمار حاوی ذرت سالم و مرطوب نسبت به تیمارهای حاوی ذرت بلغور شده و شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P < 0.05$). ذرت مرطوب راندمان بهتری نسبت به ذرت کامل

ضریب تبدیل در تیمار دارای ذرت سالم و مرطوب نسبت به تیمار دارای ذرت بلغور شده و جو به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0.05$). یافته‌های فوق با تحقیق نعمت الهی (Nematollahi, 1966) هم‌سو بود که گزارش کرد، ضریب تبدیل در بره‌های پرواری با جیره حاوی ذرت ۲۴ ساعت خیس‌خورده و ۴۸ ساعت خیس‌خورده نسبت به ذرت بلغور شده به‌طور معنی‌داری کمتر بود ($P < 0.05$). در مطالعه نعمت الهی (Nematollahi, 1966)، کمترین ضریب تبدیل در ذرت ۲۴ ساعت خیس‌خورده با مقدار ۵/۲۴ مشاهده شد که هم‌سو با ضریب تبدیل ۴/۳۷ در ذرت مرطوب در مطالعه حاضر بود. اما ریچارد و همکاران (Richard et al., 1998) نشان دادند که استفاده از ذرت بلغور شده نسبت به خیس‌شده باعث بهبود ضریب تبدیل خوراک شد

همکاران (Yang et al., 1997) گزارش کردند که ریز کردن دانه‌های غلات، تجزیه‌پذیری نشاسته را افزایش می‌دهد و در نتیجه منجر به افزایش تراکم اسیدهای چرب فرار و کاهش pH شکمبه می‌شود. در مواردی که اندازه ذرات دانه به شدت ریز و به حالت آردی باشد، ناهنجاری‌هایی مانند اسیدوز ممکن است بروز کند. در مقابل، تغذیه دانه‌های سالم به جای ذرت بلغور شده باعث کاهش سرعت تخمیر و افزایش pH شکمبه می‌شود. در ذرت بلغور شده، پوسته خارجی و بخشی از گرانول‌های نشاسته شکسته شده‌اند و بنابراین، این دانه‌ها با سرعت بیشتری توسط ریزجانداران تخمیر می‌شوند. در نتیجه، در زمان کوتاه‌تری مقدار بیشتری اسیدهای چرب فرار تولید شده و pH شکمبه کاهش می‌یابد.

نیترژن آمونیاکی

بر اساس مطالعه حاضر، غلظت نیترژن آمونیاکی شکمبه بین جیره‌های آزمایشی تفاوت معنی‌داری نشان نداد ($P > 0.05$). در مطالعه حاضر، بیشترین میانگین غلظت آمونیاک شکمبه از نظر عددی در تیمار ذرت بلغور (۱۴/۱۵ میلی گرم بر دسی لیتر) و کمترین آن متعلق به تیمار ذرت مرطوب شده (۱۲/۵۶ میلی گرم/دسی لیتر) بود (جدول ۳). هم‌سو با نتایج این مطالعه، مارتان ارو و همکاران (Martin-Orue et al., 2000) نشان دادند که تغذیه ذرت و جو آسیاب شده تأثیر معنی‌داری بر غلظت نیترژن آمونیاکی شکمبه نداشت.

اسیدهای چرب فرار

جیره‌های آزمایشی تأثیر معنی‌داری بر غلظت کل اسیدهای چرب فرار، استات، بوتیرات، ایزوبوتیرات، ایزووالرات و نسبت استات به پروپیونات نداشت ($P > 0.05$)، اما پروپیونات در ذرت بلغور شده به طور معنی‌داری بیشتر از ذرت سالم بود ($P < 0.05$). غلظت پروپیونات در جیره‌های حاوی ذرت مرطوب و جو سالم بسیار مشابه بود. افزایش سطح پروپیونات به میزان جزئی در جیره حاوی ذرت بلغور شده نسبت به جیره حاوی ذرت کامل می‌تواند دلیل کاهش نسبت استات به پروپیونات در این تیمار باشد. که این نتایج می‌تواند با آسیب فیزیکی ایجاد شده در اثر آسیاب کردن و افزایش تخمیر در شکمبه، افزایش اسیدهای چرب به خصوص پروپیونات و کاهش pH همراه باشد. این نتایج با pH پایین تر تیمار حاوی ذرت بلغور شده (۶/۱۳) هم‌خوانی داشت. یاحقی و همکاران (Yahaghi et al., 2012) نشان دادند که استفاده از ذرت و سورگوم به جای جو باعث تغییر معنی‌دار در غلظت کل اسیدهای چرب فرار و نسبت‌های استات، بوتیرات و ایزوبوتیرات نشد، اما غلظت پروپیونات به طور معنی‌داری در جیره حاوی جو نسبت به ذرت و سورگوم بالاتر بود. در حالی که در مطالعه حاضر، تیمار حاوی ذرت بلغور شده نسبت به تیمار حاوی ذرت سالم از لحاظ عددی غلظت پروپیونات بالاتری را نشان داد و در کل معنی‌دار نبود. افزایش

نشان داد، اما تفاوت معنی‌داری بین این دو تیمار مشاهده نشد. انتظار می‌رفت که بهبود در افزایش وزن روزانه و راندمان بالاتر از خوراک مصرفی در تیمارهای حاوی ذرت بلغور شده نسبت به ذرت سالم مشاهده شود، اما نتایج عکس این مورد را نشان داد. این امر ممکن است به دلیل تعداد کم تکرار حیوانات در هر تیمار آزمایشی باشد که بر مشاهدات تأثیر گذاشته است، یا به افزایش رهایی نشاسته در شکمبه و کاهش pH شکمبه مربوط باشد. بنابراین، اسیدوز شکمبه ناشی از آسیب شدن دانه ذرت ممکن است تأثیرات منفی بر راندمان تخمیر میکروبی داشته باشد (Witt et al., 1997). در این مطالعه، تنها pH نقطه‌ای اندازه‌گیری گردید و تغییرات مداوم pH و زمان افت آن به زیر ۵/۸ نشان داده نشد. لذا استدلال دوم برای این مورد قابل توجیه است. یکی از نکات مهم در روش‌های فرآوری این است که کاهش اندازه ذرات دانه یا ژلاتینه شدن دانه‌های نشاسته می‌تواند خطر اسیدوز را افزایش دهد که این امر به دلیل افزایش هضم‌پذیری دانه است (Stock et al., 1987). به طور کلی، پردازش بیشتر ذرت ممکن است منجر به کاهش جزئی در افزایش وزن روزانه شود که عمدتاً ناشی از کاهش قابل توجه در مصرف ماده خشک است و در نهایت به بهبود کارایی خوراک منجر می‌شود (Owens et al., 1997). در این مطالعه، وزن‌گیری نهایی بره‌ها تغذیه شده با ذرت کامل و ذرت مرطوب بالاتر از سایر تیمارها بود و میزان مصرف خوراک کمتر، ضریب تبدیل خوراک را نسبت به دانه کامل جو و ذرت بلغور شده بهبود بخشیده است.

فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای

pH شکمبه

در این آزمایش، pH مایع شکمبه بره‌ها تحت تأثیر جیره‌های آزمایشی قرار نگرفت ($P < 0.05$). با این حال، جیره حاوی ذرت بلغور، pH شکمبه را نسبت به سایر تیمارها کاهش داد (جدول ۳). در مطالعه‌ای دیگر، بره‌های پروراری با چهار نوع جیره شامل ذرت بلغور شده، ذرت فلیک شده، ذرت ۲۴ ساعت خیس شده و ذرت ۴۸ ساعت خیس شده تغذیه شدند. نتایج نشان داد که ذرت بلغور شده باعث کاهش pH شکمبه نسبت به سایر تیمارها شد، در حالی که ذرت ۲۴ ساعت خیس شده نسبت به سایر تیمارها pH بالاتری داشت (Gholami et al., 1983). به طور کلی، مطالعات متعددی نشان داده‌اند که آسیاب کردن دانه‌های غلات باعث کاهش pH و افزایش تخمیر نشاسته در شکمبه می‌شود (Mathison et al., 1997). در تحقیقی روی گوساله‌های پروراری با جیره‌های حاوی ۸۴ درصد ذرت کامل و یا ذرت بلغور شده مشخص شد که میانگین pH تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت. با این حال، pH تیمار حاوی ذرت بلغور شده (۵/۶۷) کمتر از pH تیمار حاوی ذرت کامل (۶/۲۲) بود، که با نتایج آزمایش حاضر هم‌خوانی دارد (Lehmann et al., 2007). یانگ و

فراسنجه‌های خونی

غلظت‌های گلوکز، کلوسترول و تری‌گلیسیرید تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت (جدول ۴). این نتایج می‌تواند به دلیل افزایش قابلیت هضم نشاسته به دلیل آسیاب شدن و مرطوب کردن ذرت باشد که باعث بالاتر بودن سطح گلوکز خون در بره‌های تغذیه‌شده با این تیمارها باشد. یاحقی و همکاران (Yahaghi et al., 2012) گزارش کردند که غلظت گلوکز خون با افزایش سهم ذرت به جای جو به طور معنی‌داری افزایش یافت که احتمالاً به دلیل جذب گلوکز و استفاده بهتر از آن باشد (Peener et al., 2011).

غلظت پروپیونات در مایع شکمبه در جیره حاوی ذرت بلغور شده نسبت به ذرت سالم می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر فراوری بر بهبود فرآیند هضم باشد. شارپ و همکاران (Sharp et al., 2014) در آزمایشی روی گوساله‌های پرواری با تغذیه جیره‌های حاوی ۸۴ درصد ذرت کامل و یا ذرت بلغور شده نشان دادند که در بین اسیدهای چرب فرار، غلظت پروپیونات در جیره حاوی ذرت بلغور شده (۴۲/۱ مول بر ۱۰۰ مول) بیشتر از جیره حاوی ذرت کامل (۳۳/۸ مول بر ۱۰۰ مول) بود و غلظت استات در جیره حاوی ذرت کامل (۴۷ مول بر ۱۰۰ مول) بیشتر از ذرت بلغور شده (۳۲/۹ مول بر ۱۰۰ مول) بود.

جدول ۳- تأثیر جیره‌های آزمایشی بر فرا

سنجه‌های تخمیری شکمبه

Table 3- Effect of experimental diets on ruminal fermentation parameters

فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای Ruminal parameters	جیره‌های آزمایشی Experimental diets				خطای استاندارد میانگین SEM	مقدار احتمال P-value
	1	2	3	4		
pH شکمبه Rumen pH	6.35	6.45	6.13	6.27	0.167	0.610
نیتروژن آمونیاکی (میلی گرم در دسی لیتر) Ammonia nitrogen (mg/dl)	13.30	12.56	14.15	14.04	1.492	0.862
کل اسیدهای چرب فرار (میلی مول در لیتر) Total volatile fatty acids (mMol/L)	83.22	85.34	86.40	83.85	0.832	0.158
استات (میلی مول در لیتر) Acetate (mmol/L)	54.04	56.02	53.07	53.95	0.746	0.174
پروپیونات (میلی مول در لیتر) Propionate (mmol/L)	23.24 ^b	25.04 ^{ab}	26.86 ^a	25.32 ^{ab}	0.781	0.134
نسبت استات به پروپیونات Acetate to propionate ration	2.31	2.24	1.97	2.13	0.083	0.177
بوتیرات (میلی مول در لیتر) Butyrate (mmol/L)	14.77	12.81	14.62	14.09	0.761	0.370
ایزو بوتیرات (میلی مول در لیتر) Isobutyrate (mmol/L)	2.09	0.93	1.74	1.59	0.459	0.439
والرات (میلی مول در لیتر) Valerate (mmol/L)	3.04	1.96	1.88	1.94	0.435	0.247
ایزو والرات (میلی مول در لیتر) Isovalerate (mmol/L)	2.81	3.47	2.28	3.59	0.803	0.659

در هر ردیف بین میانگین‌های با حروف متفاوت، اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($P < 0.05$).

۱: جیره حاوی دانه ذرت کامل، ۲: جیره حاوی دانه ذرت مرطوب‌شده، ۳: جیره حاوی دانه ذرت بلغور شده و ۴: جیره پرواری سنتی متداول منطقه بر پایه کنسانتره حاوی جو (شاهد).

In each row, there is a significant difference between the means with different letters ($P < 0.05$).

Diet containing whole corn grain, 2: Diet containing wetted whole corn grain, 3: Diet containing coarsely ground corn grain, 4: 1: Diet containing barley grain (the control).

است. در صورت عدم وجود منبع کافی گلوکز برای این ریزجانداران، غلظت نیتروژن آمونیاکی تولیدشده در شکمبه به پروتئین میکروبی تبدیل نمی‌شود و به ورید باب کبدی جذب شده و در کبد به اوره تبدیل می‌گردد (NRC, 2007). شکمبه، ظرفیت محدودی برای تولید پروتئین میکروبی از آمونیاک دارد و این مقدار اندک پروتئین

میزان نیتروژن اوره‌ای خون در تیمار حاوی ذرت مرطوب‌شده به طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارها بود ($P < 0.05$). نیتروژن اوره‌ای خون به عنوان معیاری برای ارزیابی استفاده از غلظت نیتروژن آمونیاکی در شکمبه شناخته می‌شود. نیتروژن اوره‌ای خون نتیجه کاتابولیسم پروتئین‌های موجود در جیره توسط ریزجانداران شکمبه

توسط حیوان می‌باشد (Tóthi et al., 2003).

میکروبی نیز تحت تأثیر هم‌زمانی کربوهیدرات‌های سهل‌التخمیر در شکمبه ایجاد می‌شود. مازاد نیتروژن به‌صورت نیتروژن اورهای در خون ظاهر می‌شود که نشان‌دهنده کارایی پایین استفاده از نیتروژن

جدول ۴- تأثیر جیره‌های آزمایشی بر فراسنجه‌های خونی بره‌های پرواری

Table 4- Effect of experimental diet on blood metabolites of fattening lambs

فراسنجه‌های خون Blood metabolites	جیره‌های آزمایشی Experimental diets				خطای استاندارد میانگین SEM	مقدار احتمال P-value
	1	2	3	4		
گلوکز (میلی گرم در دسی لیتر) Glucose (mg/dl)	65.60	69.20	67.80	68	1.238	0.261
کلسترول (میلی گرم در دسی لیتر) Cholesterol (mg/dl)	40	37.66	45.80	38	3.412	0.335
تری گلیسیرید (میلی گرم در دسی لیتر) Triglyceride (mg/dl)	32.20	33.80	30.20	26.40	2.801	0.308
نیتروژن اورهای (میلی گرم در دسی لیتر) Blood urea nitrogen (mg/dl)	18.40 ^{ab}	14.80 ^b	18 ^{ab}	21.80 ^a	1.461	0.030

در هر ردیف بین میانگین‌های با حروف متفاوت، اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($P < 0.05$).

۱: جیره حاوی دانه ذرت کامل، ۲: جیره حاوی دانه ذرت مرطوب‌شده، ۳: جیره حاوی دانه ذرت بلغور شده و ۴: جیره پرواری سنتی متداول منطقه بر پایه کنسانتره حاوی جو (شاهد).

In each row, there is a significant difference between the means with different letters ($P < 0.05$).

Diet containing whole corn grain, 2: Diet containing wetted whole corn grain, 3: Diet containing coarsely ground corn grain, 4: Diet 1: containing barley grain (the control).

شاخص‌های اقتصادی

هزینه‌ها، درآمد خالص، بازدهی اقتصادی و حداقل هزینه هر واحد تولید به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارها قرار گرفت ($P < 0.05$).
 باین‌حال، درآمد محاسبه‌شده برای هر رأس بره تفاوت معنی‌داری بین تیمارها نشان نداد و تنها از نظر عددی تیمار حاوی ذرت کامل و ذرت مرطوب‌شده بیشترین میزان درآمد را برای هر رأس بره نشان داد. این موضوع می‌تواند ناشی از افزایش وزن بیشتر و بهبود ضریب تبدیل در تیمارهای حاوی ذرت کامل و مرطوب‌شده باشد. همان‌طور که در **جدول ۵** نشان داده شده است، تیمارهای حاوی ذرت کامل و مرطوب‌شده نسبت به ذرت بلغور شده به‌طور معنی‌داری باعث افزایش درآمد خالص و سودآوری شدند ($P < 0.05$)، درحالی‌که تیمار ذرت بلغور شده، کمترین سودآوری را نشان داد. این امر می‌تواند به‌دلیل افزایش وزن کمتر و مصرف خوراک بیشتر بره‌های این تیمار باشد. ضریب تبدیل خوراک و اختلاف قیمت جیره‌های مصرفی از عوامل تأثیرگذار بر سودآوری دام‌های پرواری هستند (Rowe et al., 1999). پای و همکاران (Rowe et al., 1999) در مطالعه‌ای که به بررسی نسبت‌های مختلف جو و ذرت در جیره بره‌های نر پرواری پرداختند، نشان دادند که شاخص‌های اقتصادی آن‌ها تحت تأثیر تیمارها قرار نرفت ($P > 0.05$)، ولی با افزایش نسبت دانه ذرت به‌جای جو سودآوری افزایش یافت. در این آزمایش نیز تیمار حاوی ذرت مرطوب‌شده و سالم نسبت به تیمار حاوی جو، سودآوری بیشتری را نشان دادند. این محققین، سودآوری بیشتر را به‌دلیل بهبود ضریب

تبدیل خوراک، افزایش نرخ رشد و کاهش قیمت جیره هنگام استفاده از ذرت به‌جای جو نسبت دادند. هم‌سو با مطالعه پای و همکاران (Rowe et al., 1999)، در مطالعه حاضر نیز قیمت جو و ذرت در زمان اجرای پروژه مشابه بود. در شرایط قیمت مساوی، ذرت مرطوب‌شده و ذرت کامل به‌دلیل ایجاد رشد بهتر در بره‌های تحت آزمایش نسبت به ذرت بلغور شده و جو، سود خالص بالاتری داشتند. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، شاخص بازدهی اقتصادی (نسبت درآمد به هزینه) در بره‌های تغذیه‌شده با ذرت مرطوب‌شده عدد بزرگ‌تری (۴/۲۵) داشت که می‌تواند بیانگر اقتصادی بودن این جیره باشد. باین‌حال، انجام آزمایش‌های بیشتر برای دستیابی به نتایج با اطمینان بیشتر و معنی‌دار، ضروری به نظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج کلی این آزمایش نشان‌دهنده آن است که استفاده از دانه ذرت به‌صورت کامل یا مرطوب‌شده، در مقایسه با جو، تأثیر مثبتی بر شاخص‌های مرتبط با پرواربندی نظیر افزایش وزن روزانه، ضریب تبدیل و راندمان استفاده از خوراک داشته است. بنابراین، به‌کارگیری این غله با بهره‌گیری از روش‌های فرآوری مدرن و با توجه به توجیه اقتصادی و قابلیت تأمین آن، می‌تواند به‌عنوان یک گزینه مطلوب برای دامداران محسوب شود.

جدول ۵- تأثیر جیره‌های آزمایشی بر شاخص‌های اقتصادی در کل دوره (ریال)

Table 5- The effect of experimental diets on economic indicators throughout the entire period (Rial)

متغیر اقتصادی Economic variable	جیره‌های آزمایشی Experimental diets				خطای استاندارد میانگین SEM	مقدار احتمال P-value
	1	2	3	4		
درآمدها برای هر رأس (ریال) Incomes for each head (Rial)	6400000	6384000	5012000	5296000	1.413	0.119
هزینه کل دوره برای هر رأس (ریال) Total costs per head (Rials)	1619044 ^{ab}	1458031 ^b	1739850 ^a	1654009 ^{ab}	0.632	0.041
سود خالص (ریال) Net incomes (Rial)	4780956	4775969	3272150	3641991	1.354	0.052
بازدهی اقتصادی Economic return	3.96 ^{ab}	4.25 ^a	2.88 ^c	3.19 ^{bc}	0.262	0.006
حداقل هزینه هر واحد تولید Minimum cost per unit of production	0.253 ^b	0.241 ^b	0.369 ^a	0.318 ^{ab}	0.031	0.037

در هر ردیف بین میانگین‌های با حروف متفاوت، اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($P < 0.05$).

۱: جیره حاوی دانه ذرت کامل، ۲: جیره حاوی دانه ذرت مرطوب‌شده، ۳: جیره حاوی دانه ذرت بلغور شده و ۴: جیره پرواری سنتی متداول منطقه بر پایه کنسانتره حاوی جو (شاهد).

درآمد خالص (درآمد - هزینه)،

بازدهی اقتصادی (درآمد/هزینه)،

حداقل هزینه هر واحد تولید (هزینه/درآمد)

In each row, there is a significant difference between the means with different letters ($P < 0.05$).

Diet containing whole corn grain, 2: Diet containing wetted whole corn grain, 3: Diet containing coarsely ground corn grain, 4: 1:

Diet containing barley grain (the control).

Net incomes (Income -cost),

Economic return (Income/cost),

Minimum cost per unit of production (Cost/income)

References

1. Afrasiabzadeh, M. (2013). Investigation of the Effects of Different Processing Methods of Barley Grain on the Performance of Moghan Breed Fattening Lambs. National Conference on Animal and Poultry Nutrition. <http://doi.org/10.15515/abr.0976-4585.5.64-66>
2. Balcells, J., Seal, C., & Parker, D. (1995). Effect of intravenous glucose infusion on metabolism of portal-drained viscera in sheep fed a cereal/straw-based diet. *Journal of Animal Science*, 73(7), 2146-2159. <https://doi.org/10.2527/1995.7372146x>
3. DelCurto Wyffels, H.M., Dafoe, J.M., Parsons, C.T., Boss, D.L., DelCurto, T., Wyffels, S.A., Van Emon, M.L., Bowman, J.G. P. (2020) Effect of corn or barley in feedlot diets on steer performance and feeding behavior. S63-S67. <https://doi.org/10.1093/tas/txaa099>
4. Duncan, W. R., Orskov, E. R., Fraser, C., & Garton, G. A. (1974). Effect of processing of dietary barley and of supplementary cobalt and cyanocobalamin on the fatty acid composition of lamb triglycerides, with special reference to branched-chain components. *The British Journal of Nutrition*, 32(1), 71-75. <https://doi.org/10.1079/bjn19740059>
5. FAO (Food and Agricultural Organization). (2004). Ethiopia: Livestock sector brief. Livestock Information, Sector Analysis and Policy Branch, Rome, Italy, 20 p.
6. Gholami, R. A. (1983). Processing effects on the feeding value of corn. *Journal of Animal Science*, 44, 66-155.
7. Ghorbani, B., Chashnidel, Y., Teimori-Yansari, A., & Toghdory, A. (2023). Effects of processing methods of barley grain and non-protein nitrogen sources on performance, nutrient digestibility, and carcass characteristics of Afshari fattening lambs. *Journal of Ruminant Research*, 11(1), 19-36. <https://doi.org/10.22069/ejrr.2022.20178.1848>
8. Haddad, S. G., & Nasr, R. E. (2007). Partial replacement of barley grain for corn grain: associative effects on lambs growth performance. *Journal of Small Ruminant Research*, 72, 92-95. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.08.005>
9. Harmon, D. L. (2009). Understanding starch utilization in the small intestine of cattle. Asian-Australian. *Journal*

- of *Animal Science*, 22(7), 915-922. <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.r.08>
10. LaBrune, H. J., Dikmen, M. E., & Drouillard, J. S. (2008). Grain processing and dietary lipid source on performance carcass characteristics plasma fatty acids and sensory properties of steaks from finishing cattle. *Journal of Animal Science*, 86, 167-172. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0011>
11. Lehmann, M., & Meeske, R. (2007). Substituting maize grain with barley grain in concentrates fed to Jersey cows grazing kikuyu-ryegrass pasture. *Journal of Animal Science*, 36, 175-180. <https://www.scielo.org.za/scielo.php>
12. Martín-Orue, S. M., Balcells, J., Vicente, F., & Castrillo, C. (2000). Influence of dietary rumen degradable protein supply on rumen characteristics and carbohydrate fermentation in beef cattle offered high-grain diet. *Animal Feed Science and Technology*, 88, 59-77. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(00\)00191-7](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00191-7)
13. Martín-Orue, S. M., Balcells, J., Vicente, F., & Castrillo, C. (2000). Influence of dietary rumen degradable protein supply on rumen characteristics and carbohydrate fermentation in beef cattle offered high-grain diet. *Animal Feed Science and Technology*, 88, 59-77. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(00\)00191-7](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00191-7)
14. Mathison, G., Engstrom, D., Soofi-Siavash, R., & Gibb, D. (1997). Effects of tempering and degree of processing of barley grain on the performance of bulls in the feedlot. *Journal of Animal Science*, 7(3), 421-429. <https://doi.org/10.22067/ijasr.2022.77937.1091>
15. Nagaraja, T.G., & Lechtenberg, F. (2007). Liver Abscesses in Feedlot Cattle, *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 23(2), 351-369. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.05.002>
16. National Research Council (NRC). (2007). Nutrient requirements of small ruminants. National Academy of Sciences, Washington, DC.
17. Nematollahi, I. J. (1966). Rumen development in calf. The effect of diets containing a different proportion of concentrates to hay on rumen development. *British Journal of Nutrition*, 20, 171-188. <https://doi.org/10.1079/bjn19660021>
18. Orio, T. E. C. (1991). Hormonal control of glucose metabolism. p. 183 in *Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants*. T. Tsuda, Y. Sasaki, and R. Kawashima, (ed.) Academic Press, San Diego, CA., U.S.A. <https://doi.org/10.1016/S0030-666528202932771-7>
19. Owens, F.N., David, S., Secrist, W., Hill, J., Gill, R. (1997). The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review, *Journal of Animal Science*, 75 (3), 868-879. <https://doi.org/10.2527/1997.753868x>
20. Peener, G. B., Steele, M. A., Aschenbach, J. R., & McBride, B. W. (2011). Ruminant nutrition symposium: Molecular adaptation of ruminal epithelial to highly fermentable diets. *Journal of Animal Science*, 89, 1108-1119. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3378>
21. Petit, H.V. (2008). Effect of whole and rolled corn or barley on growth and carcass quality of lambs. *Small Ruminant Research*, Volume, 37(3), 293-297. [https://doi.org/10.1016/s0921-4488\(99\)00118-2](https://doi.org/10.1016/s0921-4488(99)00118-2)
22. Richard, C. J., Stock, R. A., Klopfenstein, T. J., & Shain, D. H. (1998). Effect of wet corn gluten feed supplemental protein and tallow on steer finishing performance. *Journal of Animal Science*, 74, 421-428. <https://doi.org/10.2527/1998.762421x>
23. Rowe, J. B., Choct, M., & Pethick, D. (1999). Processing cereal grains for animal feeding. *Journal of Crop Past Science*, 50(5), 721-736. <https://doi.org/10.1071/AR98163>
24. Sharp, W. M., Johnson, R. R., & Owens, F. N. (2014). Ruminant VFA production with steers fed whole or ground corn grain. Oklahoma Agricultural Experiment Station, Stillwater, 74-75. <https://doi.org/10.2527/jas1982.5561505x>
25. Sivan, N. P., Sankhyani, S. K., & Prasad, S. S. (2004). Effect of supplementary concentrate on growth and carcass characteristics in crossbred sheep of dual purpose. *Indian Journal of Animal Science*, 74(8), 878-881. <https://doi.org/10.11648/j.avs.20140202.14>
26. Statistical Center of Iran. (2025). Summary Report on the Number of Small Livestock in Nationwide Livestock Farms.
27. Stock, R. A., Brink, D. R., Brandt, R. T., Merrill, J. K., & Smith, K. K. (1987). Feeding combinations of high moisture corn and dry corn to finishing cattle. *Journal of Animal Science*, 65(1), 282-299. <https://doi.org/10.2527/jas1987.6561647x>
28. Suber, M., & Bowman, J. (1998). Monensin effects on digestion of corn or barley high-concentrate diets. *Journal of Animal Science*, 76(7), 1945-1953. <https://doi.org/10.2527/1998.7671945x>
29. Theurer, C. B. (1986). Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *Journal of Animal Science*, 63, 1649-1662. <https://doi.org/10.2527/jas1986.6351649x>
30. Theurer, C. B., Huber, J. T., Elorduy, A., & Wanderly, R. (1999). Summary of steam flaking corn of sorghum grain for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 82, 1950-1959. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(99\)75431-7](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(99)75431-7)
31. Tjardes, K. E., Faulkner, D. B., Buskirk, D. B., Parrett, D. F., Berger, L. L., Merchen, N. R., & Lerland, F. A.

- (1998). The influence of processing corn and supplemental fat of digestion of limit fed diets and performance of beef cows. *Journal of Animal Science*, 76, 8-17. <https://doi.org/10.2527/1998.7618>.
32. Tóthi, R., Lund, M. R., Weisbjerg, M. R., & Hvelplund, T. (2003). Effect of expander processing on fractional rate of maize and barley starch degradation in the rumen of dairy cows estimated using rumen evacuation and in situ techniques. *Animal Feed Science and Technology*, 104, 71-94. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(02\)00292-4](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(02)00292-4)
33. Waldo, D. (1973). Extent and partition of cereal grain starch digestion in ruminants. *Journal of Animal Science*, 37, 1062-1074. <https://doi.org/10.2527/JAS1973.3741062X>
34. Witt, M. W., Sinclair, L. A., Wilkinson, R. G., & Buttery, P. J. (1997). Effects of synchronizing the rate of energy and nitrogen supply to the rumen in diets with two rates of carbohydrates release on growth metabolism of male lambs. *Proceedings of the British Society of Animal Science, BSAS, UK*. <https://doi.org/10.1017/S1357729800051481>.
35. Yahaghi, M., Liang, J. B., Balcells, J., Valizadeh, R., Alimon, A. R., & HO, Y. W. (2012). Effect of replacing barley with corn or sorghum grain on rumen fermentation characteristics and performance of Iranian Baluchi lamb fed high concentrate rations. *Journal of Animal Science*, 52, 263-268. <https://doi.org/10.1071/AN1118>.
36. Yang, W. Z., Beauchemin, K. A., & Rode, L. M. (1997). Comparison of barley, hull-lees. Barley, and corn in the concentrate of dairy cows, *Journal of Dairy Science*, 8, 2885-2895. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(97\)76253-2](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(97)76253-2).
37. Zinn, R. A. A., dam, C. F., & Stanayo, M. (1995). Interaction of feed intake level on comparative ruminal and total tract digestion of dry rolled and steam flacked corn. *Journal of Animal Science*, 73, 1239-1245. <https://doi.org/10.2527/1995.7351239x>

Research Article

Vol. 17, No.4, 2026, p. 375-387



Effects of Replacing Alfalfa with Different Levels of Camelthorn (*Alhagi maurorum*) on Digestibility and Ruminal Parameters in Arabian Lambs

Mohammad Javad Khosravi¹, Yadollah Chashnidel^{1*}, Asdollah Teymouri Yanesari¹, Radman Bakhtiari¹

1- Department of Animal Nutrition, Faculty of Animal Sciences and Fisheries, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.

*Corresponding Author's Email: yhashnidel@sanru.ac.ir

Received: 23-06-2025
Revised: 27-09-2025
Accepted: 04-10-2025
Available Online: 03-02-2026

How to cite this article:

Khosravi, M. J., Chashnidel, Y., Teymouri Yanesari, A., & Bakhtiari, R. (2026). Effects of replacing alfalfa with different levels of camelthorn (*Alhagi maurorum*) on digestibility and ruminal parameters in Arabian lambs. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 17(4), 375-387. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ijasr.2025.94141.1251>

Introduction: The identification and utilization of regionally available feed resources are essential, particularly given the substantial influence of environmental and climatic factors on the quality and nutritional composition of forage crops. Under conditions of increasing water scarcity and the limited availability of conventional forages, the use of drought- and salinity-tolerant plant species such as camelthorn (*Alhagi maurorum*) has attracted growing interest. Camelthorn is considered a promising alternative forage owing to its relatively high concentration of digestible protein and a wide array of essential nutrients, contributing to its classification as a functional feed ingredient. Previous research has demonstrated that the partial substitution of traditional forages with camelthorn, particularly during their vegetative or flowering stages, does not adversely affect ruminal fermentation, nutrient digestibility, or overall animal performance. Although camelthorn hay is widely available in arid and semi-arid regions of Iran and has the potential to meet the nutritional demands of grazing livestock, its comprehensive nutritional profile remains insufficiently studied. Moreover, information regarding the use and nutritive value of halophytic plants in ruminant nutrition is generally scarce. Accordingly, the present study aimed to investigate the effects of replacing alfalfa hay with graded levels of camelthorn hay on apparent nutrient digestibility, ruminal fermentation characteristics, microbial protein synthesis, and ruminal papillae morphology in fattening lambs.

Materials and Methods: This experiment was conducted using 20 male Arabian lambs, aged 3-4 months, with an average initial body weight of 22.4 ± 1.5 kg. The study lasted 84 days, comprising a 14-day adaptation period followed by 70 days of experimental feeding. Lambs were individually housed and randomly assigned to one of four dietary groups in a completely randomized design, with five lambs per group. The experimental groups were as follows: 1) Control diet containing alfalfa hay without camelthorn hay; 2) diet with 33.3% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; 3) diet with 66.6% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; and 4) diet with 100% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay. All diets were formulated using the Small Ruminant Nutrition System (SRNS) software and offered as total mixed rations (TMR) with a forage-to-concentrate ratio of 30:70, designed to meet the nutritional requirements of fattening lambs. Apparent nutrient digestibility was assessed using acid-insoluble ash as an internal marker. On day 84 of the study, rumen fluid samples were collected three hours after the morning feeding to analyze protozoal populations and volatile fatty acid (VFA) profiles. During the final week of the trial, urine was collected to estimate microbial protein synthesis using the purine derivatives excretion



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

 <https://doi.org/10.22067/ijasr.2025.94141.1251>

method. At the end of the trial, after slaughter, samples were taken from the rumen wall to evaluate the morphological characteristics of the rumen epithelium.

Results and Discussion: Apparent dry matter digestibility was significantly higher in the group receiving 33.3% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay compared to the 66.6% and 100% replacement groups ($P < 0.05$). Apparent digestibility of acid detergent fiber (ADF) also differed significantly among groups ($P < 0.05$), with the highest value recorded in the control group (100% alfalfa; 45.67%) and the lowest in the 100% camelthorn group (32.63%). The apparent digestibility of non-fiber carbohydrates (NFC) was significantly higher in the group receiving 33.3% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay and control groups compared to the other experimental groups ($P < 0.05$). Total volatile fatty acid (VFA) and acetate proportion were significantly elevated in all camelthorn-containing diets relative to the control ($P < 0.05$). Conversely, the molar proportion of ruminal propionate was significantly greater in the control and 33.3% replacement groups compared to the 66.6% and 100% camelthorn groups ($P < 0.05$). Protozoal populations in the rumen fluid were significantly higher in lambs fed the diets with 66.6% and 100% camelthorn substitution ($P < 0.05$). Furthermore, urinary excretion of allantoin, total purine derivatives, and estimated microbial protein synthesis were significantly increased in all camelthorn-supplemented groups compared to the control ($P < 0.05$). With respect to rumen morphology, papillae height was significantly greater in the 66.6% and 100% camelthorn groups than in the 33.3% and control groups ($P < 0.05$). Papillae density also significantly increased in all camelthorn groups relative to the control diet ($P < 0.05$).

Conclusion: The results of this study indicate that the graded substitution of alfalfa hay with camelthorn hay significantly influenced nutrient digestibility parameters, ruminal fermentation characteristics, and microbial protein synthesis in fattening lambs. Notably, the 33.3% replacement level preserved favorable digestibility while enhancing specific fermentation indices, suggesting it may be the optimal inclusion level. Given the increasing global demand for alfalfa, camelthorn offers a viable, cost-effective alternative forage in fattening lamb diets, warranting its consideration as a sustainable feed resource.

Keywords: Camelthorn hay, Fermentation, Microbial protein, Rumen papillae, Volatile fatty acids

اثرات جایگزینی یونجه با سطوح مختلف خارشتر بر قابلیت هضم و فراسنجه‌های شکمبه‌ای بره‌های عربی

محمد جواد خسروی^۱، یداله چاشنی دل^{۱*}، سداله تیموری یانسری^۱، رادمان بختیاری^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۲

چکیده

پژوهشی به منظور بررسی اثرات جایگزینی یونجه خشک با سطوح مختلف خارشتر (*Alhagi maurorum*) بر قابلیت هضم، فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای، تولید پروتئین میکروبی و ریخت‌شناسی پرزهای شکمبه بره‌های نر پرواری نژاد عربی انجام شد. از تعداد ۲۰ رأس بره با سن سه الی چهار ماه و میانگین وزن بدن $22/4 \pm 1/5$ کیلوگرم به مدت ۸۴ روز در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تیمار آزمایشی با سطوح مختلف علوفه خشک خارشتر در مرحله دانه‌دهی (صفر، ۳۳/۳، ۶۶/۶ و ۱۰۰ درصد جایگزین علوفه یونجه) استفاده گردید. برای تعیین قابلیت هضم، از روش نشانگر داخلی خاکستر نامحلول در اسید استفاده شد. در انتهای دوره، جمع‌آوری مایع شکمبه، ادرار و نمونه‌گیری از دیواره شکمبه انجام گردید. قابلیت هضم ظاهری ماده خشک در تیمار ۳۳/۳ درصد جایگزینی خارشتر نسبت به تیمارهای ۶۶/۶ و ۱۰۰ درصد جایگزینی خارشتر به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. قابلیت هضم ظاهری الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در تمامی سطوح جایگزینی علوفه خارشتر نسبت به گروه شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. مقادیر کل اسیدهای چرب فرار، اسیداستیک، آلتوتئین ادرار، کل مشتقات پورینی دفع‌شده، تولید پروتئین میکروبی و تراکم پرزهای شکمبه در تمامی تیمارهای حاوی سطوح مختلف علوفه خارشتر نسبت به گروه شاهد به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. ارتفاع پرزهای شکمبه در تیمارهای حاوی ۶۶/۶ و ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خارشتر نسبت به تیمارهای حاوی ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خارشتر و شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. به‌طور کلی، جایگزینی بخشی از یونجه با خارشتر می‌تواند موجب بهبود برخی از شاخص‌های تخمیر شکمبه‌ای شود، هرچند سطوح بالای جایگزینی می‌تواند بر قابلیت هضم الیاف اثر منفی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: اسید چرب فرار، پرزهای شکمبه، پروتئین میکروبی، تخمیر، علوفه خارشتر

مقدمه

با توجه به روند روبه‌رشد تقاضای جهانی برای کشت گیاهان زراعی راهبردی، تصمیم به استفاده از گیاهان غیرمتمعارف در مراتع و زمین‌های کشاورزی می‌تواند در کاهش هزینه‌های تغذیه در صنعت دام مؤثر باشد (Beigh et al., 2020). با در نظر گرفتن محدودیت‌های منابع آب و کمبود منابع علوفه‌ای، استفاده از گونه‌های علوفه‌ای مقاوم به خشکی و شوری مانند خارشتر از اهمیت زیادی برخوردار است (Abbasi Soltani & Salamat Doost, 2013). تیره بقولات (Leguminosae) یکی از بزرگ‌ترین تیره‌های گیاهی بوده و شامل حدود ۵۵۰ جنس و بیش از ۱۳۰۰۰ گونه می‌باشد. گیاه خارشتر

(*Alhagi maurorum*) یکی از گونه‌های این تیره و متعلق به زیرتیره Papilionoideae است که به‌صورت بوته‌ای، چندساله و علفی رشد کرده و در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران پراکنش دارد (Asghari et al., 2016). زمان مناسب برداشت این علوفه برای حصول بالاترین کیفیت علوفه، اواسط مرحله گل‌دهی یا حدود ۵۰ درصد گل‌دهی است (Kazemi & Bezdi, 2021). اگرچه گزارش شده است که خارشتر می‌تواند به‌عنوان یک گیاه وحشی رشد کند (Pirasteh-Anosheh et al., 2020)، اما گزارش شده است که گیاه خارشتر برای بز و گوسفند خوش‌خوراک است و می‌توان آن را به‌عنوان یک علوفه ارزان در جیره نشخوارکنندگان کوچک برای کاهش هزینه‌های تولید و نگهداری استفاده کرد (El Shaer & Attia-Ismail, 2016). خارشتر به‌دلیل وجود مقادیر زیاد پروتئین قابل هضم به‌همراه انواع دیگر مواد زیستی و مواد معدنی ضروری به‌عنوان یک ماده غذایی کاربردی مورد توجه قرار گرفته است

۱- گروه علوم دامی، دانشکده دام و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
(*) نویسنده مسئول: (Email: yhashnidel@sanru.ac.ir)

داده شده است و جهت تعیین مقدار ترکیبات شیمیایی جیره‌ها از روش‌های استاندارد (AOAC, 2005; Van Soest et al., 1991) استفاده شد. ترکیبات شیمیایی علوفه‌های خارشتر و یونجه مورد استفاده در جیره‌های آزمایشی در جدول (۲) ارائه شده است.

جمع‌آوری نمونه‌ها و تجزیه آزمایشگاهی

برای تعیین قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی خوراک، از روش نشانگر داخلی خاکستر نامحلول در اسید (AIA) استفاده شد (Van Keulen & Young, 1977). نمونه‌های مدفوع و باقی‌مانده‌های خوراک دام‌های آزمایشی هر تیمار در طی پنج روز پایانی دوره آزمایش جمع‌آوری گردید. این نمونه‌ها پس از آماده‌سازی برای تعیین خاکستر نامحلول در اسید و اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی شامل ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام و چربی خام براساس روش‌های استاندارد انجمن رسمی تجزیه شیمیایی (AOAC, 2005) مورد تجزیه قرار گرفتند. همچنین مقادیر الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) به‌روش ون‌سوست و همکاران (Van Soest et al., 1991) اندازه‌گیری شد. پس از تعیین خاکستر نامحلول در اسید نمونه‌های خوراک و مدفوع، قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی بر حسب درصد با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد:

معادله (۱)

$$D = 100 - \left\{ 100 \times \left(\frac{\text{AIA feed}}{\text{AIA fecal}} \times \frac{\text{N fecal}}{\text{N feed}} \right) \right\}$$

در هفته آخر آزمایش، مایع شکمبه قبل و سه ساعت پس از مصرف خوراک صبحگاهی با استفاده از سوند مری و پمپ خلاء جمع‌آوری شد. اندازه‌گیری pH مایع شکمبه، بعد از صاف کردن مایع با پارچه چهارلایه، بلافاصله با کمک دستگاه pH متر دیجیتال (مدل ۸۲۷ مترون) انجام گردید. در این آزمایش، پس از صاف کردن مایع شکمبه به‌میزان پنج میلی‌لیتر از هر نمونه، مستقیم در دستگاه تقطیر کلدال قرار داده شد. به‌وسیله محلول ۰/۲ مولار سدیم بورات (۱۲/۴ گرم اسیدبوریک و چهار گرم سود سوزآور با آب مقطر به حجم یک لیتر برسد) که به‌جای اسیدبوریک دو درصد استفاده می‌شود، تقطیر شده و پس از تیتراسیون محلول جمع‌آوری‌شده، میزان نیتروژن آمونیاکی نمونه‌ها با استفاده از روش انجمن رسمی تجزیه شیمیایی (AOAC, 2005) محاسبه شد. برای اندازه‌گیری ترکیب اسیدهای چرب فرار نیز ۲۵ میلی‌لیتر از مایع شکمبه صاف شده، با ۱/۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک شش نرمال مخلوط گردید، سپس بلافاصله در ظرف درب‌دار ریخته شده و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایش نگهداری گردید.

(Muhammad et al., 2015). ترکیبات شیمیایی به‌ویژه میزان پروتئین خام گیاه خارشتر حتی با علوفه شبدر و یونجه قابل مقایسه است و قابلیت هضم آن برای کلیه مواد مغذی نیز در حد قابل قبولی قرار دارد (Towhidi et al., 2011; Bashtini, 2015). این علوفه با داشتن مواد مغذی و ترکیبات شیمیایی ارزشمند برای تغذیه نشخوارکنندگان به‌ویژه شتر، گوسفند و بز در مناطق خشک و نیمه‌خشک قابل استفاده بوده و جایگزینی آن با بخشی از علوفه جیره برای تأمین احتیاجات نگهداری، آبستنی و شیردهی دام‌ها امکان‌پذیر است (Ghavanpanje et al., 2022). در پژوهشی، پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و کربوهیدرات غیرالیافی خارشتر به‌ترتیب ۱۱/۵، ۴۹/۵، ۳۲/۹ و ۳۰/۲ درصد از ماده خشک گزارش شد (Towhidi et al., 2011). گیاه خارشتر که در مناطق وسیعی از کشور وجود دارد، به‌عنوان منبع علوفه می‌تواند احتیاجات دام‌های چراکننده را فراهم کند. با این حال، نتایج متفاوتی از ارزش تغذیه‌ای و تأثیر آن بر عملکرد رشد، قابلیت هضم و فراسنجه‌های شکمبه‌ای در گوسفند به دست آمده است (Karamshahi Amjazi et al., 2017; Kazemi & Bezdi, 2021; Mokhtarpour & Jahantigh, 2023). لذا در این پژوهش، تأثیر مصرف سطوح مختلف علوفه خارشتر در جایگزینی با علوفه یونجه بر قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی، فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای، تولید پروتئین میکروبی و ریخت‌شناسی پرزهای شکمبه در بره‌های عربی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات دامپروری دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. بدین منظور، از تعداد ۲۰ رأس بره نر نژاد عربی با سن سه تا چهار ماه و میانگین وزن بدن $22/4 \pm 1/5$ کیلوگرم به‌مدت ۸۴ روز (۱۴ روز عادت‌پذیری و ۷۰ روز آزمایش) استفاده گردید. بره‌ها با شروع دوره اصلی آزمایش، وزن‌کشی شده و سپس به‌طور تصادفی به چهار تیمار (هر تیمار شامل پنج بره) در قفس‌های انفرادی در قالب طرح کاملاً تصادفی تقسیم‌بندی شدند. در پژوهش حاضر، سطوح مختلف علوفه خشک خارشتر در مرحله دانه‌دهی جایگزین علوفه خشک یونجه در تیمارهای آزمایشی گردید. تیمارهای آزمایشی شامل: ۱- جیره شاهد (کنترل) حاوی علوفه خشک یونجه و بدون خارشتر؛ ۲- جیره با ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خشک خارشتر با علوفه یونجه؛ ۳- جیره با ۶۶/۶ درصد جایگزینی علوفه خشک خارشتر با علوفه یونجه؛ ۴- جیره با ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خشک خارشتر با علوفه یونجه بودند. جیره بره‌های پروراری با نرم‌افزار SRNS تنظیم شد و اقلام خوراکی مورد استفاده به‌صورت جیره کاملاً مخلوط (TMR) حاوی علوفه و کنسانتره به‌نسبت ۷۰:۳۰ در اختیار حیوانات مورد آزمایش قرار گرفت. ترکیبات جیره غذایی در جدول (۱) نمایش

جدول ۱- مواد خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی (برحسب درصد ماده خشک جیره یا واحد بیان شده)
Table 1- Ingredients and chemical composition of experimental diets (% DM or as stated)

اجزاء و ترکیب شیمیایی جیره Ingredients and chemical composition	جیره های آزمایشی Experimental diets			
	۱ 1	۲ 2	۳ 3	۴ 4
یونجه Alfalfa hay	30.00	20.00	10.00	0.00
خارشتر Camelthorn	0.00	10.00	20.00	30.00
دانه جو Barley grain	23.00	23.00	22.00	22.00
دانه ذرت Corn grain	21.00	21.00	20.50	19.25
سبوس گندم Wheat bran	12.00	10.50	10.00	10.00
کنجاله سویا Soybean meal	10.00	11.50	13.50	14.75
بی‌کربنات سدیم Sodium bicarbonate	1.00	1.00	1.00	1.00
کربنات کلسیم Calcium carbonate	1.00	1.00	1.00	1.00
نمک طعام Common salt	0.50	0.50	0.50	0.50
پرمیکس دامی ^۱ Livestock premix ¹	0.50	0.50	0.50	0.50
بتونیت Bentonite	1.00	1.00	1.00	1.00
ماده خشک Dry matter (DM)	92.51	92.49	92.44	92.65
پروتئین خام Crude protein (CP)	15.29	14.28	15.40	15.53
الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber (NDF)	42.50	44.50	45.50	45.50
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber (ADF)	34.15	33.86	35.80	36.27
عصاره اتری Ether extract (EE)	5.11	4.27	5.12	5.26
خاکستر خام Ash	8.09	8.54	8.03	7.66
کربوهیدرات غیرالیافی Non-fiber carbohydrate (NFC)	29.00	28.40	25.94	26.04
انرژی قابل متابولیسم (مگا کالری در کیلوگرم) Metabolizable energy (Mcal/kg)	2.56	2.54	2.55	2.54

* تیمارهای آزمایشی شامل: تیمار ۱- جیره شاهد حاوی علوفه خشک یونجه و بدون علوفه خارشتر؛ ۲- جیره حاوی ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه؛ ۳- جیره حاوی ۶۶/۶ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه و ۴- جیره حاوی ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه.

^۱ هر کیلوگرم از مکمل شامل ۵۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A، ۱۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D₃ و ۱/۰ گرم ویتامین E. هر کیلوگرم از مکمل شامل ۱۸۰ گرم کلسیم، ۹۰ گرم فسفر، ۲۰ گرم منیزیم، ۶۰ گرم سدیم، دو گرم منگنز، سه گرم آهن، ۰/۳ گرم مس، سه گرم روی، ۱/۰ گرم کبالت، ۱/۰ گرم سلنیوم، ۱/۰ گرم ید، سه گرم آنتی‌اکسیدانت.

* Experimental treatments: 1- control diet containing alfalfa hay without camelthorn; 2- diet with 33.3% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; 3- diet with 66.6% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; and 4- diet with 100% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay.

¹ Every kg of supplement contained 500000 IU vitamin A, 100000 IU vitamin D₃, 1.0 IU vitamin E, every Kg of supplement contained 180 g Ca, 90 g P, 20 g Mn, 60 g Na, 2 g Mg, 3 g Fe, 0.3 g Cu, 3 g Zn, 1.0 Co, 1.0 Se, 1.0 g I, 3 g Antioxidant.

جدول ۲- ترکیب شیمیایی علوفه‌های خشک خارشتر و یونجه مورد استفاده در جیره‌های آزمایشی (درصد ماده خشک)

Table 2- Chemical composition of camelthorn and alfalfa hay used in the experimental diets (% DM basis)

اقلام خوراکی Feed ingredients	ترکیب شیمیایی Chemical Composition						
	ماده خشک DM	پروتئین خام CP	الیاف نامحلول در شوینده خنثی NDF	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF	عصاره اتری EE	خاکستر خام Ash	کربوهیدرات غیرالیافی NFC
یونجه خشک Alfalfa hay	88.48±0.50	16.98±0.20	51.08±1.28	28.97±0.52	2.68±0.52	12.10±1.30	17.16±1.69
خارشتر Camelthorn	93.29±0.17	9.39±0.21	48.50±1.50	42.00±1.00	4.75±0.25	10.10±0.06	27.27±1.47

DM: Dry matter; CP: Crude protein; NDF: Neutral detergent fiber; ADF: Acid detergent fiber; EE: Ether extract; NFC: Non-fiber carbohydrate.

درصد قرار گرفت و در چهار درجه سانتی‌گراد تا زمان برش نمونه‌ها نگهداری شدند. نمونه‌ها بعد از چند مرحله آبگیری با استفاده از اتانول، در پارافین قرار داده شدند و با استفاده از دستگاه میکروتوم برش‌هایی به عرض شش میکرومتر روی دیواره شکمبه ایجاد شد. سپس نمونه‌ها با استفاده از هماتوکسیلین و اتوزین بلافاصله رنگ‌آمیزی شدند و خصوصیات ریخت‌شناسی شکمبه اندازه‌گیری گردید (Górka et al., 2011).

داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ با مدل آماری زیر (معادله ۲) آنالیز شدند.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، Y_{ij} : مقدار هر مشاهده، μ : میانگین جامعه، T_i : اثر تیمارها و e_{ij} : خطای آزمایشی هستند. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام شد. نرمال بودن داده‌ها با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لوین ارزیابی گردید. توان آزمون جهت ارزیابی کفایت تعداد تکرارها محاسبه و داده‌ها پیش از تحلیل نهایی به وسیله نرم‌افزار Fit Curve استانداردسازی شدند.

نتایج و بحث

قابلیت هضم ظاهری

با توجه به نتایج جدول (۳)، قابلیت هضم ظاهری ماده خشک در تیمار ۳۳/۳ درصد جایگزینی خارشتر نسبت به تیمارهای ۶۶/۶ و ۱۰۰ درصد جایگزینی خارشتر به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P=0/02$). قابلیت هضم ظاهری ماده آلی، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی تفاوت آماری معنی‌داری در بین تیمارهای آزمایشی نداشت. قابلیت هضم ظاهری الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در تمامی سطوح جایگزینی علوفه خارشتر نسبت به گروه شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($P=0/02$). قابلیت هضم ظاهری کربوهیدرات غیرالیافی در تیمارهای ۳۳/۳ درصد جایگزینی

تعیین الگوی اسیده‌های چرب فرار مایع شکمبه (استیک، پروپیونیک، بوتیریک، والریک و ایزوالریک) با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی (GC-2014-Shimadzu، ساخت ژاپن) انجام شد. به‌منظور بررسی جمعیت پروتوزوآهای مایع شکمبه، پس از اخذ مایع شکمبه از دام‌ها در پایان دوره آزمایش، پس از تثبیت با حجم مساوی از فرم‌آلدهید (فرمالین ۱۸ درصد) و رنگ‌آمیزی با رنگ متیلن‌بلو، شمارش به‌صورت غلظت (تعداد پروتوزوآ در هر میلی‌لیتر از مایع شکمبه) با استفاده از رابطه دهورتی (Dehority, 2003) انجام شد. برای برآورد ساخت پروتئین میکروبی از روش پیشنهادشده توسط چن و گومز (Chen & Gomes, 1992) استفاده شد. اساس این روش، اندازه‌گیری دفع مشتقات پورینی (گزانترین، هیپوگزانتین، آلانتوئین و اسیداوریک) از ادرار است. لذا جمع‌آوری ادرار دام‌های آزمایشی برای پنج روز متوالی صورت گرفت تا اثر تغییرات روزانه حذف شود. حجم ادرار تولیدشده توسط هر حیوان به‌طور روزانه ثبت شده و سپس نمونه‌ای به‌حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر تهیه و پس از رقیق‌سازی به‌میزان سه برابر، با اسیدسولفوریک ۱۰ درصد، pH آن زیر سه حفظ گردید. میزان گزانترین، هیپوگزانتین و آلانتوئین به‌روش رنگ‌سنجی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، مقدار اسیداوریک به‌روش آنزیمی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد. لذا برای برآورد کل مشتقات پورینی، ابتدا دفع هرکدام از این مشتقات براساس میلی‌مول در روز محاسبه شد. سپس از کل مشتقات پورینی دفع‌شده در روز برای برآورد پروتئین میکروبی ساخته‌شده در شکمبه استفاده شد.

در پایان آزمایش، تعداد ۱۶ رأس بره (چهار تکرار از هر تیمار) بعد از محرومیت ۱۲ ساعت از مصرف خوراک، به‌طور کاملاً تصادفی انتخاب شدند و پس از کشتار و ذبح، نمونه‌گیری از دیواره شکمبه به‌منظور بررسی خصوصیات ریخت‌شناسی دیواره شکمبه شامل ارتفاع، عرض و تراکم پرزهای شکمبه با استفاده از روش لسمیستر و هینریچس (Lesmeister & Heinrichs, 2004) انجام شد. بعد از شست‌وشوی نمونه‌ها در سرم فیزیولوژیک، نمونه‌ها در فرمالین ۱۰

همکاران (Zaki et al., 2024) بیان کردند که ضرایب هضم تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند گونه‌های جانوری، فعالیت میکروب‌های شکمبه، اجزای خوراک و اثرات مرتبط با آن قرار دارند. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که گیاه خارشتر به دلیل دارا بودن ترکیبات لیگنوسلولزی تحت شرایط محیطی سخت نظیر شوری و خشکی بالا، از قابلیت هضم مطلوب و ظرفیت تولید قابل قبولی برخوردار است و می‌تواند به عنوان یک منبع علوفه‌ای مناسب در تغذیه دام مورد استفاده قرار گیرد (El Shaer, 2010). در پژوهشی گزارش شد که جایگزینی نسبی علوفه جیره با خارشتر در مراحل رویشی یا گل‌دهی به اندازه ۲۵۰ گرم در روز هیچ اثر نامطلوبی بر قابلیت هضم برخی از مواد مغذی (ماده خشک و ماده آلی) نداشت (Kazemi & Bezdi, 2021). در پژوهشی گزارش شد که استفاده از علوفه سیلوشده خارشتر تا ۲۱۰ گرم در کیلوگرم در جیره گوسفندان نر کرمانی، تأثیر سوئی بر عملکرد رشد ایجاد نکرد، با این حال قابلیت هضم ظاهری ماده خشک و پروتئین خام با گنجاندن سیلاژ خارشتر در جیره غذایی گوسفند کاهش یافت (Karamshahi Amjazi et al., 2017). همچنین در پژوهش قوی‌یونجه و همکاران (Ghavipanje et al., 2022)، قابلیت هضم ماده آلی گیاه خارشتر کمتر از علوفه خشک یونجه برآورد شد.

خارشتر و شاهد نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی به‌طور معنی‌داری بیشتر بود ($P=0.02$). اکثر مطالعات کیفیت علوفه بر قابلیت هضم، ارزش تغذیه‌ای، مصرف داوطلبانه و اثرات عوامل ضدتغذیه‌ای متمرکز شده‌اند (Cheng et al., 2022). علوفه‌هایی با قابلیت هضم بالاتر، انرژی بیشتری را به‌ازای هر واحد ماده خشک مصرفی تأمین می‌کنند (Collins et al., 2017). در پژوهشی گزارش شد که قابلیت هضم کمتر خارشتر در مقایسه با یونجه ممکن است به محتوای بالاتر الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی و لیگنین آن مربوط باشد (Karamshahi Amjazi et al., 2017). در همین راستا، در پژوهشی گزارش شد که تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای علوفه خارشتر در مقایسه با علوفه یونجه کم‌تر بود (Jayanegara et al., 2015). همچنین مشاهده شده است که میزان تجزیه‌پذیری ماده خشک با کربوهیدرات‌های دیواره سلولی همبستگی منفی دارد (Getachew et al., 2011). در پژوهش حاضر، پروتئین محلول بیشتر موجود در علوفه یونجه ممکن است هضم مواد مغذی را بهبود بخشد. در پژوهشی با بررسی اثر جایگزینی سطوح ۱۵ و ۳۰ درصد خارشتر با یونجه و کاه گندم در جیره بره‌های بلوچی گزارش شد که قابلیت هضم مواد مغذی تحت تأثیر جیره‌ها قرار نگرفت، اما با افزایش سطح خارشتر، قابلیت هضم NDF به‌صورت خطی کاهش یافت (Mokhtarpour & Jahantigh, 2023). زکی و

جدول ۳- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی خوراک

Table 3- Effect of experimental treatments on apparent digestibility of dietary nutrients

صفات (درصد) Parameter (%)	تیمارهای آزمایشی ^۱ Experimental treatments ¹				خطای استاندارد میانگین SEM	اثرات معنی‌داری P-value
	۱ 1	۲ 2	۳ 3	۴ 4		
ماده خشک Dry matter	72.46 ^{ab}	74.91 ^a	69.10 ^b	70.90 ^b	0.602	0.0279
ماده آلی Organic matter	74.16	72.13	70.52	71.42	0.881	0.1533
پروتئین خام Crude protein	53.66	52.77	51.83	51.52	1.007	0.1019
الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber	39.16	38.61	36.79	36.90	0.876	0.1552
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber	45.67 ^a	36.89 ^b	38.53 ^b	32.63 ^c	0.886	0.0278
کربوهیدرات غیرالیافی Non-fiber carbohydrate	77.46 ^a	79.31 ^a	74.10 ^b	75.90 ^b	0.805	0.0279

^۱ تیمارها به ترتیب: ۱- جیره شاهد حاوی علوفه خشک یونجه و بدون علوفه خارشتر؛ ۲- جیره حاوی ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه؛ ۳- جیره حاوی ۶۶/۶ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه و ۴- جیره حاوی ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه.

* میانگین‌هایی که در هر ردیف با حروف لاتین متفاوت نشان داده شده است دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($P<0.05$).

¹ Experimental treatments: 1- control diet containing alfalfa hay without camelthorn; 2- diet with 33.3% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; 3- diet with 66.6% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; and 4- diet with 100% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay.

* The averages shown in different Latin letters in each row indicate statistically significant differences ($P<0.05$).

فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای

با توجه به نتایج جدول (۴)، مقادیر نیتروژن آمونیاکی، pH مایع شکمبه و غلظت اسیدهای چرب بوتیریک، والریک و ایزووالریک در بین تیمارهای آزمایشی تفاوت آماری معنی‌داری نداشتند. کل اسیدهای چرب فرار ($P=0/03$) و اسیداستیک ($P=0/01$) در تمامی تیمارهای حاوی سطوح مختلف علوفه خارشتر نسبت به گروه شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بالاترین غلظت کل اسیدهای چرب فرار و اسیداستیک مایع شکمبه در تیمار ۴ حاوی ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه و پایین‌ترین مقدار آن در

گروه شاهد مشاهده شد. درصد اسیدپروپیونیک مایع شکمبه در تیمار حاوی ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خارشتر و گروه شاهد نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی به‌طور معنی‌داری بالاتر بود ($P=0/02$). بالاترین و پایین‌ترین غلظت اسیدپروپیونیک به‌ترتیب در تیمار ۲ حاوی ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه و تیمار ۴ حاوی ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه وجود داشت. جمعیت پروتوزوای مایع شکمبه در تیمارهای حاوی ۶۶/۶ و ۱۰۰ درصد جایگزینی خارشتر نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی به‌طور معنی‌داری بیشتر بود ($P=0/01$).

جدول ۴- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای مایع شکمبه

Table 4- Effect of experimental treatments on fermentation characteristics of rumen fluid

متغیر Variable	تیمارهای آزمایشی ^۱ Experimental treatments ¹				خطای استاندارد میانگین SEM	اثرات معنی‌داری P-value
	۱ 1	۲ 2	۳ 3	۴ 4		
pH مایع شکمبه قبل از تغذیه pH (before feeding)	6.48	6.43	6.51	6.46	0.021	0.6978
pH مایع شکمبه سه ساعت پس از تغذیه pH (3 h post-feeding)	5.58	5.60	5.61	5.60	0.018	0.9358
نیتروژن آمونیاکی قبل از تغذیه (میلی گرم/دسی لیتر) NH ₃ -N before feeding (mg/dl)	3.52	3.41	3.50	3.29	0.032	0.1963
نیتروژن آمونیاکی سه ساعت پس از تغذیه NH ₃ -N (3 h post-feeding, mg/dl)	3.61	3.65	3.54	3.60	0.064	0.9416
جمعیت پروتوزوا ($10^4 \times$ تعداد در هر میلی لیتر) Protozoa ($\times 10^4$ ml ⁻¹ rumen fluid)	5.56 ^b	5.88 ^b	6.24 ^a	6.43 ^a	0.11	0.010
کل اسیدهای چرب فرار سه ساعت پس از تغذیه T-VFA (3 h post-feeding, mMol/L)	83.13 ^b	92.02 ^a	90.03 ^a	92.08 ^a	2.58	0.031
اسیدهای چرب فرار (درصد) Volatile fatty acids (%)						
اسیداستیک Acetic acid	56.01 ^b	63.85 ^a	64.57 ^a	66.51 ^a	2.06	0.010
اسیدپروپیونیک Propionic acid	18.78 ^a	19.50 ^a	16.10 ^b	15.94 ^b	0.72	0.023
اسیدبوتیریک Butyric acid	6.39	6.68	7.22	7.38	0.35	0.246
اسیدوالریک Valeric acid	1.32	1.35	1.48	1.52	0.07	0.659
اسیدایزوالریک Isovaleric acid	0.62	0.63	0.66	0.73	0.04	0.830

^۱ تیمارها به‌ترتیب: ۱- جیره شاهد حاوی علوفه خشک یونجه و بدون علوفه خارشتر؛ ۲- جیره حاوی ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه؛ ۳- جیره حاوی ۶۶/۶ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه و ۴) جیره حاوی ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه.

* میانگین‌هایی که در هر ردیف با حروف لاتین متفاوت نشان داده شده است دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($P<0/05$).

¹ Experimental treatments: 1- control diet containing alfalfa hay without camelthorn; 2- diet with 33.3% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; 3- diet with 66.6% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; and 4- diet with 100% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay.

* The averages shown in different Latin letters in each row indicate statistically significant differences ($P<0.05$).

میکروبیوم شکمبه تأثیر می‌گذارد (Vahidi et al., 2021). خوراک

پژوهش‌های قبلی نشان دادند که ماهیت علوفه بر ترکیب

علوفه یونجه در جیره تفاوت معنی داری در مقادیر اسیداوریک، گزانتین و هیپوگزانتین ادرار نسبت به گروه شاهد مشاهده نشد. مقادیر آلانتوئین دفعی ادرار ($P=0/03$)، کل مشتقات پورینی دفع شده ($P=0/02$) و تولید پروتئین میکروبی ($P=0/01$) در تمامی تیمارهای حاوی سطوح مختلف علوفه خارشتر نسبت به گروه شاهد به طور معنی داری افزایش یافت.

با افزایش مصرف کربوهیدرات‌های محلول، انرژی مورد نیاز ریزجاندانان شکمبه تأمین شده و در نتیجه کارایی استفاده از پروتئین جیره بهبود می‌یابد. در این شرایط، آمونیاک تولیدی به طور مؤثرتری توسط باکتری‌ها مصرف و سنتز پروتئین میکروبی افزایش می‌یابد (*Castillo et al., 2001*). افزایش مصرف علوفه خشبی مثل خارشتر در مقایسه با یونجه موجب افزایش ماندگاری خوراک در شکمبه، افزایش نشخوار و کاهش نرخ عبور می‌شود؛ این کاهش نرخ عبور می‌تواند در تولید پروتئین میکروبی مؤثر باشد (*Guo et al., 2022*). مطالعات نشان داده‌اند که خارشتر دارای درصد بالایی از کربوهیدرات‌های غیرالیافی است که به عنوان منبع انرژی قابل تخمیر برای ریزجاندانان شکمبه عمل می‌کنند؛ این ترکیبات به تولید اسیدهای چرب فرار و در نتیجه تولید پروتئین میکروبی کمک می‌کنند (*Ghaviapanje et al., 2022*). در مطالعه‌ای روی بره‌های بلوچی، افزایش سطح خارشتر در جیره منجر به افزایش خطی تولید اسیداستیک شد؛ اسیداستیک یکی از اسیدهای چرب فرار اصلی است که انرژی مورد نیاز برای رشد ریزجاندانان را تأمین می‌کند و به تولید پروتئین میکروبی کمک می‌کند (*Mokhtarpour & Jahantigh, 2023*). در پژوهش حاضر، هرچند بین تیمارها از نظر مقادیر نیتروژن آمونیاکی و pH تفاوتی مشاهده نشد، اما افزایش معنی دار غلظت کل اسیدهای چرب فرار، اسیداستیک و جمعیت پروتوزوآها در جیره‌های حاوی خارشتر نسبت به شاهد بیانگر بهبود تخمیر شکمبه‌ای و کارایی استفاده از نیتروژن و انرژی می‌باشد. با وجود اینکه سطح پروتئین خام در همه تیمارهای آزمایشی مشابه است، ممکن است نسبت پروتئین عبوری و پروتئین قابل هضم در تیمارهای آزمایشی متفاوت باشد که می‌تواند بر تولید پروتئین میکروبی مؤثر باشد. همزمان سازی فراهمی انرژی و پروتئین سبب افزایش کارایی فرآیندهای متابولیکی نشخوارکنندگان مانند ساخت پروتئین میکروبی می‌شود (*Haj Mohammadi et al., 2019*). در پژوهشی گزارش شد که افزودن کربوهیدرات خالص مانند نشاسته و ساکاروز به جیره سبب افزایش ابقاء نیتروژن و تولید پروتئین میکروبی در شکمبه شد (*Guo et al., 2024*).

خشبی مانند علوفه خارشتر با تأمین فیبر مؤثر فیزیکی باعث تحریک نشخوار و ترشح بزاق می‌شود که ضمن تثبیت pH شکمبه و تقویت رشد باکتری‌های شکمبه، نسبت استات به پروپیونات را ارتقاء داده و درصد چربی شیر را بهبود می‌بخشد (*Zhou et al., 2022*). مطابق با نتایج این پژوهش، در پژوهشی با بررسی اثر جایگزینی سطوح ۱۵ و ۳۰ درصد خارشتر با یونجه و کاه گندم در جیره بره‌های بلوچی گزارش کردند که افزودن خارشتر موجب افزایش خطی غلظت استات شد، بدون آنکه تغییری در غلظت کل اسیدهای چرب فرار مشاهده شود. همچنین با افزایش سطح خارشتر، غلظت پروپیونات به صورت خطی کاهش یافت (*Mokhtarpour & Jahantigh, 2023*). در پژوهش حاضر، با وجود کاهش در قابلیت هضم ظاهری ماده خشک و ADF، غلظت کل اسیدهای چرب فرار و استات با افزایش سطح خارشتر در جیره نسبت به شاهد به طور معنی داری افزایش یافتند. این موضوع می‌تواند ناشی از هیدرولیز گلیکوزیدها و تجزیه حلقه‌های هتروسیکلیک ترکیبات فنلی توسط ریزجاندانان شکمبه به استات و بوتیرات باشد (*Patra & Saxena, 2011*). همچنین در پژوهشی دیگر گزارش شد که متابولیت‌های اسیدگالیک تولیدشده در شکمبه شامل پایروگالول، رزورسینول و فلوروگلوکوسینول هیدرولیز شده و به استات و بوتیرات تبدیل می‌شوند (*Aboagye et al., 2019*). در پژوهشی مشاهده شد که تفاوت در غلظت نیتروژن آمونیاکی شکمبه در بین تیمارها با تفاوت در محتوای پروتئین خام در علوفه‌های مختلف همبستگی داشت (*Zhang et al., 2022*). همچنین این پژوهشگران گزارش کردند که سطح تولید آمونیاک به طور مستقیم با حلالیت نیتروژن منابع خوراک و نسبت پروتئین کل جیره مرتبط است. از آنجایی که گیاه خارشتر پروتئین مناسب‌تری در مقایسه با علوفه‌های خشبی دیگر دارد و سطح پروتئین خام در تمام تیمارهای آزمایشی نزدیک به هم تنظیم شد، لذا انتظار می‌رود که استفاده از گیاه خارشتر باعث حفظ غلظت نیتروژن آمونیاکی در محیط شکمبه شود. مرده‌کتانی و همکاران (*Mordeh Katani et al., 2019*) با بررسی قابلیت هضم چند گیاه از جمله خارشتر در شرایط آزمایشگاهی نشان دادند که کل اسیدهای چرب فرار و نیتروژن آمونیاکی در گیاه خارشتر نسبت به علوفه یونجه اختلاف معنی داری نداشت. با وجود کاهش در قابلیت هضم ظاهری ماده خشک در سطوح بالای جایگزینی خارشتر نسبت به شاهد، افزایش جمعیت پروتوزوآهای شکمبه در این تیمار می‌تواند ناشی از ترکیبات خاص خارشتر و الگوی تخمیر آن باشد؛ گیاه خارشتر حاوی الیاف قابل تخمیر و ترکیبات فنلی است که ممکن است باعث تحریک رشد برخی از گونه‌های پروتوزوآها شود، حتی در شرایطی که قابلیت هضم کلی ماده خشک پایین تر است (*Makkar, 2003*).

تولید پروتئین میکروبی

نتایج دفع مشتقات پورینی ادرار و تولید پروتئین میکروبی در جدول (۵) نشان داد که با افزایش سطح جایگزینی علوفه خارشتر با

جدول ۵- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر دفع مشتقات پورینی ادرار و تولید پروتئین میکروبی

Table 5- Effect of experimental treatments on the excretion of purine derivatives and Microbial Protein Production

موارد Parameters	تیمارهای آزمایشی ^۱ Experimental treatments ¹				خطای استاندارد میانگین SEM	اثرات معنی‌داری P-value
	۱	۲	۳	۴		
	1	2	3	4		
آلانتوئین (میلی مول/روز) Allantoin (mMol/d)	8.12 ^b	11.10 ^a	11.24 ^a	11.45 ^a	0.98	0.032
اسیداوریک (میلی مول/روز) Uric acid (mMol/d)	0.43	0.55	0.58	0.56	0.06	0.236
گزانتین + هیپوگزانتین (میلی مول/روز) Xanthine+Hypoxanthine (mMol/d)	2.10	2.11	2.38	2.43	0.74	0.530
کل مشتقات پورینی دفع شده (میلی مول/روز) Excreted purine derivatives (mMol/d)	10.66 ^b	13.75 ^a	14.20 ^a	14.45 ^a	0.80	0.022
تولید پروتئین میکروبی (گرم/روز) Microbial protein (g/d)	60.59 ^b	67.41 ^a	69.44 ^a	71.45 ^a	2.19	0.010

^۱ تیمارها به ترتیب: ۱- جیره شاهد حاوی علوفه خشک یونجه و بدون علوفه خارشتر؛ ۲- جیره حاوی ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه؛ ۳- جیره حاوی ۶۶/۶ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه و ۴- جیره حاوی ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه.

* میانگین‌هایی که در هر ردیف با حروف لاتین متفاوت نشان داده شده است دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($P < 0.05$).

¹ Experimental treatments: 1- control diet containing alfalfa hay without camelthorn; 2- diet with 33.3% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; 3- diet with 66.6% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; and 4- diet with 100% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay.

*The averages shown in different Latin letters in each row indicate statistically significant differences ($P < 0.05$).

خصوصیات ریخت‌شناسی بافت شکمبه

گروه شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود ($P = 0.02$). تراکم پرزهای شکمبه در تمامی سطوح جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه نسبت به گروه شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P = 0.01$). همچنین بیشترین و کمترین تراکم پرزهای شکمبه به ترتیب در تیمار ۳ حاوی ۶۶/۶ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه (۸۸/۱۲ سانتی‌مترمربع) و گروه شاهد (۷۶/۱۰ سانتی‌مترمربع) وجود داشت.

نتایج خصوصیات ریخت‌شناسی پرزهای شکمبه در جدول (۶) نشان داد که تفاوت معنی‌داری از نظر ارتفاع و تراکم پرزهای شکمبه بین تیمارهای آزمایشی وجود داشت ($P < 0.05$). ارتفاع پرزهای شکمبه در تیمارهای حاوی ۶۶/۶ و ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خارشتر نسبت به تیمار حاوی ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خارشتر و

جدول ۶- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر خصوصیات ریخت‌شناسی پرزهای شکمبه

Table 6- Effect of experimental treatments on the morphological features of rumen papillae

موارد Parameters	تیمارهای آزمایشی ^۱ Experimental treatments ¹				خطای استاندارد میانگین SEM	اثرات معنی‌داری P-value
	۱	۲	۳	۴		
	1	2	3	4		
ارتفاع پرزهای شکمبه (میلی‌متر) Papillae height (mm)	4.02 ^b	4.66 ^b	5.58 ^a	5.79 ^a	0.26	0.025
قطر پرزهای شکمبه (میلی‌متر) Papillae diameter (mm)	2.42	2.55	2.75	2.72	0.15	0.123
تراکم پرزها (تعداد/سانتی‌مترمربع) Papillae density (number/cm ²)	76.10 ^b	85.23 ^a	88.12 ^a	86.66 ^a	2.89	0.013

^۱ تیمارها به ترتیب: ۱- جیره شاهد حاوی علوفه خشک یونجه و بدون علوفه خارشتر؛ ۲- جیره حاوی ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه؛ ۳- جیره حاوی ۶۶/۶ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه و ۴- جیره حاوی ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه.

* میانگین‌هایی که در هر ردیف با حروف لاتین متفاوت نشان داده شده است دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($P < 0.05$).

¹ Experimental treatments: 1- control diet containing alfalfa hay without camelthorn; 2- diet with 33.3% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; 3- diet with 66.6% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; and 4- diet with 100% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay.

*The averages shown in different Latin letters in each row indicate statistically significant differences ($P < 0.05$).

دادند که زیاد بودن چربی و قند ساکارز در گیاه خارشتر سبب افزایش خوش خوراکی آن در دام‌های نشخوارکننده می‌شود که به دنبال آن توسعه بافت‌های شکمبه در اثر تولید اسیدهای چرب فرار بالاتر رخ می‌دهد (Ziaei, 2010). بافت پوششی شکمبه نقش مهمی در جذب مواد مغذی و سلامت شکمبه دارد، با این حال اینکه آیا نوع علوفه بر ریخت‌شناسی اپیتلیال شکمبه تأثیر می‌گذارد، نامشخص است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که جایگزینی تدریجی علوفه خارشتر با علوفه یونجه تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های هضمی، تخمیر شکمبه‌ای و تولید پروتئین میکروبی در بره‌های پروراری نژاد عربی دارد. به‌ویژه سطح ۳۳/۳ درصد جایگزینی با حفظ قابلیت هضم مطلوب و بهبود برخی شاخص‌های تخمیر، احتمالاً می‌تواند به عنوان سطح بهینه استفاده از خارشتر در جیره مطرح شود و با توجه به روند روبه‌رشد تقاضای جهانی برای علوفه یونجه، استفاده از علوفه خارشتر به عنوان یک علوفه ارزان در جیره بره‌های پروراری توصیه می‌شود.

افزایش ارتفاع و تراکم پرزهای شکمبه می‌تواند به بهبود توانایی جذب مواد مغذی و افزایش کارایی هضمی کمک کند. طبق گزارش‌ها، توسعه ریخت‌شناسی شکمبه مانند افزایش ارتفاع پرزها و عمق کریپت‌ها به‌طور مستقیم با سطح تماس بیشتر مواد غذایی با اپیتلیوم و جذب بهتر مواد مغذی در ارتباط است (Francis, 2023). در همین راستا، در پژوهشی گزارش شد که تغییر در ترکیب علوفه‌ای جیره می‌تواند از طریق اثر بر تخمیر شکمبه‌ای، تولید اسیدهای چرب فرار (VFAs) و تحریک تکثیر سلول‌های اپیتلیالی بر رشد ساختاری شکمبه مؤثر باشد (Liu et al., 2022). در این مطالعه، تیمارهای حاوی سطوح بالای خارشتر موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع و تراکم پرزهای شکمبه شدند که نشان‌دهنده اثرگذاری مؤثر این گیاه در توسعه و تکامل پرزهای شکمبه در بره‌های پروراری بود. یکی از دلایل این اثر می‌تواند ویژگی‌های خاص گیاه خارشتر مانند محتوای بالای ترکیبات فنلی، آنتی‌اکسیدانی و الیاف قابل تخمیر باشد که باعث تحریک رشد میکروبی شکمبه و در نتیجه افزایش تولید اسیدهای چرب فرار به‌ویژه اسیدبوتیریک می‌شود (Wei et al., 2021) که این اسید چرب فرار نقش کلیدی در رشد و تمایز سلول‌های اپیتلیالی شکمبه ایفا می‌کند (Muhammad et al., 2015). پژوهش‌ها نشان

References

- Abbasi Soltani, V., & Salamat Doost, R. (2013). Evaluation of the nutritional value of *Alhagi maurorum* and its role in ruminant nutrition phase I: Feasibility of ensiling *Alhagi maurorum* and comparison of its nutritional value with dried *Alhagi* and Dried alfalfa. National Congress of New Technologies in Animal Sciences, pp. 3-1. <https://civilica.com/doc/1061865>
- Aboagye, I. A., Oba, M., Koenig, K. M., Zhao, G. Y., & Beauchemin, K. A. (2019). Use of gallic acid and hydrolyzable tannins to reduce methane emission and nitrogen excretion in beef cattle fed a diet containing alfalfa silage. *Journal of Animal Science*, 97(5), 2230-2244. <https://doi.org/10.1093/jas/skz101>
- AOAC. (2005). Official Methods of Analysis. 18th Ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
- Asghari, M. H., Fallah, M., Moloudizargari, M., Mehdikhani, F., Sepehrnia, P., & Moradi, B. (2016). A systematic and mechanistic review on the phytopharmacological properties of *Alhagi* species. *Ancient Science of Life*, 36(2), 65-71. https://doi.org/10.4103/asl.ASL_37_16
- Bashtini, J. (2015). Effect of camelthorn forage feeding on the performance of Baluchi sheep. *Research Journal of Livestock Science*, 28(106), 169-178. <https://doi.org/10.22092/asj.2015.101358>
- Beigh, Y. A., Ganai, A. M., Ahmad, H. A., Khan, H. M., & Mir, M. S. (2020). Chemical composition and nutritional evaluation of Elm (*Ulmus wallichiana*) as browse for Bakerwal goats (*Capra hircus*). *Agroforestry Systems*, 94, 1367-1379. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0314-7>
- Castillo, A. R., Kebreab, E., Beever, D. E., Barbi, J. H., Sutton, J. D., Kirby, H. C., & France, J. (2001). The effect of protein supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. *Journal of Animal Science*, 79(1), 247-253. <https://doi.org/10.2527/2001.791247x>
- Chen, X. B., & Gomes, M. J. (1992). Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives: An overview of the technical details. International Feed Resources Unit, Rowett Research Institute.
- Cheng, M., McCarl, B., & Fei, C. (2022). Climate change and livestock production: A literature review. *Atmosphere*, 13(1), 140. <https://doi.org/10.3390/atmos13010140>
- Collins, M., Nelson, C. J., Moore, K. J., & Barnes, R. F. (Eds.). (2017). Forages (Vol. 1): An Introduction to Grassland Agriculture. 7th ed. Wiley-Blackwell.
- Dehority, B. A. (2003). Rumen microbiology. Nottingham, UK: Nottingham University Press, 372 pp.
- El Shaer, H. M. (2010). Halophytes and salt-tolerant plants as potential forage for ruminants in the Near East

- region. *Small Ruminant Research*, 91(1), 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.01.010>
13. El Shaer, H. M., & Attia-Ismail, S. A. (2016). Halophytic and salt-tolerant feedstuffs in the Mediterranean Basin and Arab region: An overview. In H. M. El Shaer & V. R. Squires (Eds.), *Halophytic and salt-tolerant feedstuffs: Impacts on nutrition, physiology and reproduction of livestock* (pp. 21-36). Boca Raton, FL, USA: CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1201/b19862-4>
 14. Francis, F. L. (2023). *Feeding strategies to improve gastrointestinal health and growth performance of confinement-fed ruminants* (PhD dissertation). Brookings, SD, USA: Department of Animal Science, South Dakota State University.
 15. Getachew, G., Ibáñez, A. M., Pittroff, W., Dandekar, A. M., McCaslin, M., Goyal, S., & Putnam, D. H. (2011). A comparative study between lignin down regulated alfalfa lines and their respective unmodified controls on the nutritional characteristics of hay. *Animal Feed Science and Technology*, 170(3-4), 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.09.009>
 16. Ghavipanje, N., Hosseini, S. A., aghashahi, A., & Afshin, M. (2022). Comparison of chemical composition, gas production parameters and digestibility of *Alhagi camelorum* plant and alfalfa hay using nylon bag and gas production techniques. *Journal of Animal Production*, 24(3), 329-339. <https://doi.org/10.22059/jap.2022.336134.623665>
 17. Górka, P., Kowalski, Z. M., Pietrzak, P., Kotunia, A., Jagusiak, W., Holst, J. J., & Zabielski, R. (2011). Effect of method of delivery of sodium butyrate on rumen development in newborn calves. *Journal of Dairy Science*, 94(11), 5578-5588. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4166>
 18. Guo, C., Wu, Y., Li, S., Cao, Z., Wang, Y., Mao, J., & Xu, X. (2022). Effects of different forage types on rumen fermentation, microflora, and production performance in peak-lactation dairy cows. *Fermentation*, 8(10), 507. <https://doi.org/10.3390/fermentation8100507>
 19. Guo, W., Na, M., Liu, S., Li, K., Du, H., Zhang, J., & Na, R. (2024). Rumen-degradable starch improves rumen fermentation, function, and growth performance by altering bacteria and its metabolome in sheep fed alfalfa hay or silage. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 15(1), 34. <https://doi.org/10.3390/ani15010034>
 20. Haj Mohammadi, M., Tahmasbi, R., Dayani, O., & Khezri, A. (2019). Effect of feeding different levels of *Ferula ovina* on microbial protein and rumen parameters in Kermani sheep. *Research Journal of Livestock Science*, 32(123), 17-30. <https://doi.org/10.22092/asj.2018.120791.1643>
 21. Jayanegara, A., Goel, G., Makkar, H. P., & Becker, K. (2015). Divergence between purified hydrolysable and condensed tannin effects on methane emission, rumen fermentation and microbial population *in vitro*. *Animal Feed Science and Technology*, 209, 60-68. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.002>
 22. Karamshahi Amjazi, K., Dayani, O., Tahmasbi, R., & Khezri, A. (2017). The effect of feeding *Alhagi* with waste date palm silage on dry matter intake, nutrients digestibility and blood parameters of sheep. *Research in Animal Production*, 8, 103-10. <https://doi.org/10.29252/rap.8.16.103>
 23. Kazemi, M., & Bezdi, K. G. (2021). An investigation of the nutritional value of camelthorn (*Alhagi maurorum*) at three growth stages and its substitution with part of the forage in Afshari ewes' diets. *Animal Feed Science and Technology*, 271, 114762. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114762>
 24. Lesmeister, K. E., & Heinrichs, A. J. (2004). Effects of corn processing on growth characteristics, rumen development, and rumen parameters in neonatal dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 87(10), 3439-3450. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73479-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73479-7)
 25. Liu, T., Li, F., Wang, W., Wang, X., Ma, Z., Li, C., & Zheng, C. (2022). Early feeding strategies in lambs affect rumen development and growth performance, with advantages persisting for two weeks after the transition to fattening diets. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 925649. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.925649>
 26. Makkar, H. P. (2003). Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. *Small Ruminant Research*, 49(3), 241-256. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(03\)00142-1](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(03)00142-1)
 27. Mokhtarpour, A., & Jahantigh, M. (2023). Feed intake, ruminal fermentation, blood metabolites and growth performance of lambs fed on camelthorn (*Alhagi Camelorum* Fisch.) based diets. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 88(2), 157-164. <https://orcid.org/0000-0002-5706-9063>
 28. Mordeh Katani, A., Safari, R., Sheikhlloo, M. R., & Nemati, Z. (2019). Gas production and biodegradability of four salinity plant species, Cobra, Halkennum, Salsula, and Kharshter under laboratory conditions. In Proceedings of the Fifth National Conference on Livestock, Poultry and Aquaculture Management. Tehran, Iran. (in Persian)
 29. Muhammad, G., Hussain, M. A., Anwar, F., Ashraf, M., & Gilani, A. H. (2015). *Alhagi*: A plant genus rich in bioactives for pharmaceuticals. *Phytotherapy Research*, 29(1), 1-13. <https://doi.org/10.1002/ptr.5222>
 30. Patra, A. K., & Saxena, J. (2011). Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(1), 24-37. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4152>
 31. Pirasteh-Anosheh, H., Ranjbar, G. H., & Parnian, A. (2020). Forage resources in arid and saline environments of central Iran: Production potential and phenology of *Alhagi maurorum*. *Journal of Natural Resource Conservation and Management*, 1(2), 125-130. <https://doi.org/10.51396/ANRCM.1.2.2020.125-130>

32. Towhidi, A., Saberifar, T., & Dirandeh, E. (2011). Nutritive value of some herbage for dromedary camels in the central arid zone of Iran. *Tropical Animal Health and Production*, 43, 617-622. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9741-9>
33. Vahidi, M. F., Gharechahi, J., Behmanesh, M., Ding, X. Z., Han, J. L., & Salekdeh, G. H. (2021). Diversity of microbes colonizing forages of varying lignocellulose properties in the sheep rumen. *PeerJ*, 9, e10463. <https://doi.org/10.7717/peerj.10463>
34. Van Keulen, J. Y. B. A., & Young, B. A. (1977). Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*, 44(2), 282-287. <https://doi.org/10.2527/jas1977.442282x>
35. Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
36. Wei, F., Yang, X., Pang, K., & Tang, H. (2021). Traditional uses, chemistry, pharmacology, toxicology and quality control of *Alhagi sparsifolia* Shap: A review. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 761811. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.761811>
37. Zaki, M. G., Baraka, T. A., Elkhayat, M. A., Younis, M. R., & Tayeb, F. A. E. F. (2024). The influence of season and sex on rumen fluid and hematobiochemical constituents of alpacas (*Vicugna pacos*) in Egypt. *Comparative Clinical Pathology*, 33(2), 309-316. <https://doi.org/10.1007/s00580-024-03552-y>
38. Zhang, Z., Wei, W., Yang, S., Huang, Z., Li, C., Yu, X., & Zhang, X. (2022). Regulation of dietary protein solubility improves ruminal nitrogen metabolism *in vitro*: Role of bacteria–protozoa interactions. *Nutrients*, 14(14), 2972. <https://doi.org/10.3390/nu14142972>
39. Zhou, J., Xue, B., Hu, A., Yue, S., Wu, M., Hong, Q., & Xue, B. (2022). Effect of dietary peNDF levels on digestibility and rumen fermentation, and microbial community in growing goats. *Frontiers in Microbiology*, 13, 950587. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.950587>
40. Ziaei, N. (2010). The effect of dietary *Alhagi* (camel grass) ensiled with different levels of low-quality date palm on apparent nutrient digestion coefficients in Kermani sheep. *Research Journal Biological Science*, 5, 314-3. <http://dx.doi.org/10.3923/rjbsci.2010.314.317>

Research Article

Vol. 17, No.4, 2026, p. 389-408



Comparison Two Models of Nonlinear Support Vector Mathematical and Cubic Linear Model to Evaluate the Growth Performance, Blood Biochemical Indexes, and Immunity of Broilers Fed with *Capparis spinosa* L. Fruit Powder

Zohreh Seyedi¹, Seyyed Javad Hosseini-Vashan^{1*}, Mohammad Ghasem Akbari²

1- Department of Animal Science, College of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

2- Department of Statistic, College of Mathematic and Statistic, University of Birjand, Birjand, Iran

*Corresponding Author's Email: jhosseiniv@birjand.ac.ir

Received: 26-01-2025
Revised: 16-06-2025
Accepted: 29-06-2025
Available Online: 03-02-2026

How to cite this article:

Seyedi, Z., Hosseini-Vashan, S. J., & Akbari, M. G. (2026). Comparison two models of nonlinear support vector mathematical and cubic linear model to evaluate the growth performance, blood biochemical indexes, and immunity of broilers fed with *Capparis spinosa* L. fruit powder. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 17(4), 389-408. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.91876.1234>

Introduction: The widespread use of growth-promoting antibiotic compounds (antibiotics) in the past two decades has caused antibiotic resistance in different bacterial strains in poultry and humans, resulting in reduced response rates to group. Non-antibiotic compounds such as organic acids, enzymes, and phytobiotics are considered effective alternatives to antibiotics. Phytobiotics are incorporated into livestock diets to enhance growth and reproductive performance by improving nutrient utilization and thereby increasing the quality of animal-derived product. *Capparis Spinosa* L. is a drought-resistant plant from the *Capparis* genus of the *Capparidaceae* family. Flower buds, roots, fresh leaves, and mature fruits are used for medicinal purposes. Dietary inclusion of dried leaf powder of *Capparis Spinosa* L. at a level of 15 g/kg in the diet without any adverse effects on performance in laying hens. Predicting broiler performance using mathematical growth models and resulting curves is essential in breeding fast-growing broiler chickens. The purpose of this study was to compare two statistical models: nonlinear support vector regression and cubic linear regression model in evaluating growth performance, carcass traits, and blood biochemical indices of broiler chickens fed diets containing different levels of *Capparis Spinosa* L. fruit powder.

Materials and Methods: In this study, 300 one-day-old Ross broiler chicks (Ross 308) were used with six experimental groups including different levels of 0, 3, 6, 9, 12, and 15% *Capparis Spinosa* L. fruit powder in five replications (each replication consisted of 10 chicks) in a completely randomized design. During the rearing period, the chicks had ad libitum access to feed and water. Body weight of the chicks and feed residues were recorded at the starter, grower, and finisher periods. Then the average daily weight gain, daily feed consumption, and feed conversion ratio were calculated. Two birds from each replicate were weighed and slaughtered on day 42 for carcass traits evaluation. The yield and ratio of carcass components to live weight were calculated. Blood biochemical parameters (glucose, cholesterol, and triglycerides) were determined using a spectrophotometric autoanalyzer (Biosystem 15A autoanalyzer, Biosystem Company) and commercial biochemical kits (Zistchemi Co., Iran). The



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

 <https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.91876.1234>

growth performance, carcass traits, and blood biochemical indices were fitted with a nonlinear support vector regression (SVR) model and linear cubic regression. The coefficient of determination (R^2) and mean square error (MSE) were used to select the most appropriate model.

Results and Discussion: The results showed that with increasing levels of *Capparis Spinosa L.* fruit powder, no significant changes were observed in growth performance, carcass traits and blood biochemical parameters of broiler chickens. Feed intake was highest during the grower, finisher, and total periods in broilers fed diets containing 6% *Capparis spinosa L.* fruit powder, whereas during the starter period, the highest feed intake was observed at the 9% inclusion level. The body weight of broilers decreased during the initial and growth periods. During the starter and overall growth periods, body weight increased up to inclusion levels of 6% and 3% *Capparis spinosa L.* fruit powder, respectively, and then declined at higher inclusion rates. The weight gain of broilers was observed in the early periods at a level of 6 and in the growth and final periods at 3% *Capparis Spinosa L.* fruit powder. Feed conversion ratio in the final period and total broilers fed diets containing *Capparis Spinosa L.* fruit powder at levels of 3 and 9% had the lowest feed conversion ratio. Among carcass components, the highest coefficient of determination was observed for breast yield using the nonlinear support vector regression (SVR) model ($R^2 = 0.94$). In biochemical indices of broiler chicken blood, the highest coefficient of determination between the two studied models related to cholesterol and LDL variables was obtained with ($R^2 = 0.98$). The results of comparing the goodness-of-fit indices of the models showed that the nonlinear support vector regression model, with a higher coefficient of determination, lower mean square error, and lower sum of squares of the nonlinear support vector regression model, had a better estimate of growth performance, carcass percentage, and blood biochemical indices of broiler chickens compared to the cubic linear model. In a study, linear and nonlinear models (Gompertz, three-parameter logistic, and Richards) were compared to describe the growth patterns of broiler chickens, and it was reported that the Richards model had higher efficiency in predicting and fitting the growth performance of broiler chickens. Stated that machine learning (SVR) models effectively predict carcass characteristics based on body weight measurements. Using a regression model to predict breast muscle relative weight and abdominal fat is non-destructive and inexpensive, so this method has the potential for generalization.

Conclusion: The results of the present study indicate that nonlinear support vector regression models are effective approaches for predicting growth performance, carcass traits, and blood biochemical parameters of broiler chickens.

Keywords: Carcass quality, Cholesterol, Feed conversion ratio, Glucose, Regression model

استفاده از مدل ریاضی بردار پشتیبان غیرخطی برای ارزیابی عملکرد رشد، شاخص‌های بیوشیمیایی خون و ایمنی جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با پودر میوه کور (*Capparis spinosa* L.) و مقایسه آن با مدل خطی درجه سوم

زهره سیدی^۱، سیدجواد حسینی واشان^{۱*}، محمدقاسم اکبری^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۸

چکیده

این آزمایش به منظور بررسی اثر مصرف سطوح پودر میوه کور (*Capparis spinosa* L.) بر عملکرد رشد، لاشه و شاخص‌های بیوشیمیایی خون جوجه‌های گوشتی برارزش‌شده توسط مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی و مدل خطی درجه سوم انجام گرفت. در این پژوهش از ۳۰۰ قطعه جوجه گوشتی راس ۳۰۸ یک‌روزه با شش تیمار آزمایشی شامل سطوح مختلف ۰، ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ درصد پودر میوه کور در پنج تکرار (هر تکرار شامل ۱۰ قطعه جوجه) در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. در طول دوره پرورش، جوجه‌ها به آب و خوراک دسترسی آزاد داشتند. صفات عملکرد رشد، لاشه و شاخص‌های بیوشیمیایی خون با مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی (SVR) و مدل خطی درجه سوم برازش شدند. نتایج نشان داد که بیشترین مصرف خوراک جوجه‌های گوشتی مرتبط با دوره‌های رشد، پایداری و کل دوره در سطح شش درصد و در دوره آغازین در سطح نه درصد پودر میوه کور بود. وزن بدن جوجه‌های گوشتی در دوره آغازین و رشد روند کاهشی داشت. در دوره آغازین و کل دوره پرورش به ترتیب تا سطوح شش و سه درصد پودر میوه کور افزایشی و بعد از آن کاهشی گردید. افزایش وزن بدن جوجه‌های گوشتی در دوره‌های آغازین در سطح شش و در دوره‌های رشد و پایداری در سطح سه درصد پودر میوه کور مشاهده شد. ضریب تبدیل خوراک در دوره‌های پایداری و کل دوره جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با پودر میوه کور در سطوح سه و نه درصد کمترین بودند. بالاترین مقدار ضریب تعیین در اجزاء لاشه جوجه‌های گوشتی بین دو مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی و مدل درجه سوم خطی مرتبط به متغیر سینه ($R^2 = 0.94\%$) مدل رگرسیون بردار پشتیبان بود. در شاخص‌های بیوشیمیایی خون جوجه‌های گوشتی بالاترین ضریب تعیین بین دو مدل، مربوط به متغیرهای کلسترول و LDL با $R^2 = 0.98\%$ به دست آمد. نتایج مقایسه شاخص‌های نکوتی مدل‌ها نشان داد که مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی با داشتن ضریب تعیین بالاتر، میانگین مربعات خطا و مجموع مربعات مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی کمتر در مقایسه با مدل خطی درجه سوم برآورد بهتری از عملکرد رشد، درصد لاشه و شاخص‌های بیوشیمیایی خون جوجه‌های گوشتی دارد. از طرفی، نتایج این تحقیق حاکی از این بود که مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی در کل دوره پرورش برای عملکرد، لاشه و شاخص‌های بیوشیمیایی خون با دقت بیشتری در مقایسه با مدل خطی درجه سوم ارائه کرد.

واژه‌های کلیدی: کلسترول، کیفیت لاشه، گلکز، ضریب تبدیل خوراک، مدل رگرسیونی

مقدمه

مختلف وضع و استفاده از ترکیبات آنتی‌بیوتیکی را در جیره دام و طیور به عنوان محرک رشد و بعضاً درمانی ممنوع نموده است (Rahimi et al., 2012; Gholami-Ahangaran et al., 2021). ترکیبات غیرآنتی‌بیوتیکی مانند مواد آلی، آنزیم‌ها و فیتوبیوتیک‌های بالقوه (Deminicis et al., 2021)، جایگزین‌های مؤثری برای آنتی‌بیوتیک‌ها در نظر گرفته می‌شوند (Ghasemian et al., 2022). مواد زیست فعال فیتوبیوتیک شامل ترکیبات فنلی (فلاونوئیدها، تانن‌ها و ساپونین‌ها) و اسانس‌های گیاهی در زیرمجموعه وسیعی از گیاهان وجود دارند (Yadav et al., 2016). مکمل فیتوبیوتیک‌ها به جیره‌های دام برای

در دو دهه گذشته، استفاده مستمر و بی‌رویه از ترکیبات پادزیست‌های محرک رشد (آنتی‌بیوتیک‌ها) باعث بروز مقاومت آنتی‌بیوتیکی به سویه‌های مختلف باکتریایی در طیور و انسان شده که میزان پاسخ به درمان را کاهش داده است. لذا قوانینی در کشورهای

۱- گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- گروه آمار دانشکده علوم ریاضی و آمار، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

(*) نویسنده مسئول: (Email: jhosseiniv@birjand.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.91876.1234>

دیابتی منجر به کاهش غلظت تری‌گلیسریدهای پلاسما در هر دو گروه شد، همچنین در موش‌های دیابتی چهار روز بعد از مصرف عصاره آبی، وزن بدن کاهش یافت (Eddouks et al., 2004). مصرف پودر برگ خشک کور به‌عنوان یک افزودنی در سطح ۱۵ گرم در کیلوگرم در جیره، بدون هیچ‌گونه اثر نامطلوبی بر عملکرد در مرغ‌های تخم‌گذار استفاده شد و از سوی دیگر، همبستگی مثبتی بین مصرف خوراک با بازده خوراک و سطح کور مورد استفاده، گزارش شد (Sterling et al., 2003). مناسب‌ترین سطح استفاده از میوه کور در جیره جوجه‌های گوشتی، بدون اثر منفی بر عملکرد رشد تا سطح ۲۰ درصد گزارش شده است (Choudhary et al., 2005).

پیش‌بینی عملکرد جوجه‌های گوشتی با استفاده از مدل‌های رشد ریاضی و منحنی‌های حاصل از آن، نقش مهمی در پرورش جوجه‌های گوشتی با رشد سریع دارد. این مدل‌ها می‌توانند تخمین‌های دقیقی از عملکرد رشد ارائه نمایند که در انتخاب پرندگان جوان و پرتولید مفید است (Feitas, 2005). مدل‌های ریاضی در توصیف الگوهای رشد در طیور بسیار مهم هستند (Akinsola et al., Aggrey, 2002; Pinzon et al., 2021). داده‌هایی مانند وزن بدن، سرعت رشد و وزن لاشه، داده‌های سری زمانی هستند. یکی از مدل‌های مورد مطالعه در تحقیقات اخیر، مطالعه مروری سیستمی به روش فراتحلیل است که در مطالعات پیشین در جوجه گوشتی مورد بررسی قرار گرفته است (Sahragard et al., 2025). رگرسیون، نوعی از مدل‌سازی پیش‌بینی برای بررسی رابطه بین متغیر وابسته و مستقل است، به عبارت دیگر، رگرسیون عبارت از مطالعه رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته جهت یافتن بهترین رابطه یا معادله رگرسیونی برای پیش‌بینی است. تاکنون مدل‌های رگرسیونی از جنبه‌های مختلفی بررسی شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به مدل‌های رگرسیونی خطی چندگانه، ناپارامتری، نیمه‌پارامتری، اسپلاین، شبکه عصبی و اشاره نمود. در این مقاله به اختصار، روش‌های رگرسیون خطی درجه ۳، روش بردار پشتیبان مبتنی بر قیدها و استفاده از ضرایب لاگرانژ جهت محاسبه ضرایب و روش استفاده از بردار پشتیبان براساس تابع زیان اسلامی و همکاران (Islami et al., 2021) اشاره خواهد شد.

وقتی پیچیدگی داده‌ها افزایش می‌یابد، می‌تواند رگرسیون درجه سوم، رابطه کامل‌تری در مقایسه با رگرسیون خطی یا درجه دوم ارائه دهد. از رگرسیون درجه سوم برای پیش‌بینی داده‌هایی که رابطه غیرخطی دارند، استفاده می‌شود و رگرسیون درجه سوم، خود نوعی از رگرسیون چندگانه (پلی‌نومیل) است. در مطالعات پیشین نیز از مدل‌های رگرسیونی برای برازش و پیش‌بینی عملکرد پرنده یا شناسایی ژن‌های مؤثر در بهبود عملکرد رشد استفاده شده است که مدل‌های رگرسیونی غیرخطی، درجه دوم و سوم در بعضی از موارد کارایی بالاتری داشته‌اند (Bani Saadat et al., Emraei et al., 2017).

افزایش عملکرد تولیدی و تولیدمثلی از طریق بهبود ارزش‌های تغذیه برای ارتقاء تولید دام و افزایش کیفیت محصولات دامی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Gholami-Ahangaran et al., 2021).

وجود خواص آنتی‌اکسیدانی در بعضی از ترکیبات زیست‌فعال گیاهی با بهبود فعالیت آنزیم‌های گوارشی و توانایی جذب در افزایش کیفیت نگهداری محصولات حیوانی مفید می‌باشد (Yadav et al., 2016; Mohammadi & Kim, 2018). کور یا کبر با نام علمی *Capparis spinosa* L. گیاهی مقاوم به خشکی و متعلق به جنس *Capparis* از خانواده *Capparidaceae* است، گیاهی بوته‌ای و چندساله که در مناطق خشک و نیمه‌خشک و اقلیم‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری انتشار دارند (Isagaliyev et al., 2022). اهمیت تولید کور در استفاده از آن در صنایع غذایی، پزشکی و آرایشی-بهداشتی مرتبط است (Gianguzzi et al., 2019). کور یکی از رایج‌ترین گیاهان معطر است که در حوضه مدیترانه یافت می‌شود (Abdel-Razek et al., 2023). اگرچه بومی مدیترانه است، اما در ایتالیا، شمال آفریقا، یونان، آسیای مرکزی، ایران و سایر نقاط جهان به‌خوبی رشد می‌کند و *Capparis Spinosa* L. غالب‌ترین و مهم‌ترین گونه تجاری آن است (Zarei et al., 2021). جوانه‌های گل، ریشه، برگ‌های تازه و میوه کور به‌عنوان ترکیب دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Sun et al., 2023).

میوه کور به‌عنوان یک گیاه دارویی، حاوی دامنه وسیعی از گروه‌های شیمیایی فعال زیستی از جمله آلکالوئیدها، گلیکوزیدها، تانن‌ها، فلاونوئید، تری‌ترپنوئید، استروئید، کربوهیدرات‌ها، ساپونین‌ها و طیف وسیعی از مواد معدنی و عناصر کمیاب است (Benzidane et al., 2020). فعالیت پاداکسندگی برای قسمت‌های مختلف گیاه کور گزارش شده است (Bonina et al., 2002; Cao et al., 2010; Aliyazicioglu et al., 2013; Mazandarani et al., 2014; Kalantari et al., 2018). دانه‌های کور منبع مهمی از مولکول‌های پاداکسند برای صنایع غذایی و داروسازی می‌باشند، زیرا سرشار از ترکیبات فنلی هستند و فعالیت پاداکسندگی بالایی نشان می‌دهند (Tlili et al., 2015). از جهت دیگر، مصارف دارویی بسیار متعددی (حدود ۴۳ مورد) برای گیاه کور بیان شده است. کمک به کنترل دیابت (Cronquist, 1981)، کاهش غلظت کلسترول و تری‌گلیسرید خون (Matthäus & Özcan, 2002)، کاهش بروز سرطان (Eddouks et al., 2005; Petanidou et al., 1996)، تقویت‌کننده سامانه ایمنی بدن (Castro Ramos & Nosti Vega, 1987)، کاهنده فشار خون، درمان بیماری‌های قلبی و عروقی، درمان بیماری‌های غضروف و مفاصل (Moufid et al., 2015) و موارد دیگر از جمله خواص درمانی و دارویی این گیاه است.

پژوهشگران گزارش کردند که مصرف خوراکی عصاره آبی گیاه کور به‌مقدار ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن بدن در موش سالم و

(2024).

آزمایشی، ترکیبات شیمیایی میوه کور مطابق با روش‌های استاندارد (AOAC, 2005) اندازه‌گیری و نتایج مربوطه در جدول ۱ نشان داده شده است. در طی اجرای آزمایش، در پایان دوره‌های آغازین، رشد و پایانی وزن‌کشی جوجه‌ها و باقی‌مانده خوراک انجام شد و سپس میانگین افزایش وزن روزانه، مصرف خوراک روزانه و ضریب تبدیل خوراک محاسبه گردید. تعداد دو قطعه پرند از هر تکرار در روز ۴۲ پرورش کشتار و مورد تجزیه لاشه قرار گرفتند، سپس اجزای لاشه شامل سینه، ران، طحال، بورس فابریوس، کبد و ران توزین شدند و بازده لاشه و نسبت اجزاء لاشه به وزن زنده تعیین گردید.

اندازه‌گیری شاخص‌های خونی

برای اندازه‌گیری غلظت پروتئین سرم، آلبومین، گلوبولین، گلوکز، تری‌گلیسرید، کلسترول، HDL و LDL خون، در پایان دوره (۴۲ روزگی) پرورش جوجه‌های گوشتی، دو قطعه پرند از هر واحد آزمایشی و در مجموع هشت قطعه از هر تیمار به‌طور تصادفی انتخاب شدند و خون‌گیری از طریق قطع رگ گردن، در هنگام کشتار انجام شد. نمونه‌های خون به‌مدت چهار تا شش ساعت در دمای اتاق برای جدا شدن سرم از لخته، نگهداری گردید و بعد از گذشت این زمان پس از سانتریفیوژ در دور ۳۵۰۰ و به‌مدت ۱۰ دقیقه، پلاسما جدا و در داخل میکروتیوب ریخته شد. سپس در آزمایشگاه برای اطمینان از عدم باقی ماندن لخته خون در پلاسما سانتریفیوژ شد. سپس غلظت پروتئین سرم، آلبومین، گلوبولین، گلوکز، تری‌گلیسرید، کلسترول، HDL و LDL سرم خون به کمک دستگاه اتوآنالیزر اسپکتروفتومتر (اتوآنالیزر بیوسیستم 15A، شرکت بیوسیستم) و کیت‌های بیوشیمیایی شرکت زیست شیمی تعیین گردید (Yaghobfar et al., 2011).

به‌منظور برازش مدل مناسب برای صفات مورد مطالعه، ارزیابی دو مدل رگرسیونی بردار پشتیبان و مدل خطی درجه سوم انجام شد. در این مدل‌ها، متغیرهای (X_i, Y_i) که در آن متغیر $i = 1, 2, \dots, n$ ؛ متغیرهای تصادفی خروجی (وابسته مانند عملکرد، لاشه، شاخص‌های خونی و...) و متغیر X_i ؛ متغیرهای ورودی (مستقل) سطوح ۱ تا ۶ کور هستند. برای مدل رگرسیون خطی درجه سوم و مدل رگرسیون بردار پشتیبان از ضرایب مدل رگرسیون به‌صورت معادله ۱ و ۲ استفاده شد.

در سال‌های اخیر، ماشین بردار پشتیبان (SVM)^۱ که به‌عنوان تکنیک مدل‌سازی هسته مناسب شناخته می‌شود، در حوزه یادگیری ماشینی^۲ محبوبیت پیدا کرده است و از آن به‌عنوان راهکاری پیشرفته برای طبقه‌بندی و کاربردهای رگرسیون یاد می‌شود (Faridi et al., 2012). رگرسیون بردار پشتیبان (SVR)^۳، یک نسخه رگرسیونی از SVM، برای تخمین توابع رگرسیون توسعه‌یافته می‌باشد و مشابه SVM و SVR قادر به حل مسائل غیرخطی است (Nandi et al., 2004). این الگوریتم که برای اولین بار توسط وپنیک^۴ در سال ۱۹۹۷، به‌عنوان یک روش جدید داده‌کاوی براساس اصل کمینه‌سازی ریسک ساختاری پیشنهاد شد (Vapnik et al., 1996)، که به‌طور گسترده در یادگیری کامپیوتر، تشخیص الگو، برازش پیش‌بینی و سایر زمینه‌ها استفاده می‌شود. SVM می‌تواند رابطه غیرخطی بین متغیرهای ورودی و خروجی را در محدوده دقت خاصی پیدا کند، راه حل بهینه جهانی و قابلیت تعمیم قوی را به دست آورد، که قابلیت استفاده گسترده از SVM را در مهندسی، علوم، اقتصاد و بسیاری از زمینه‌های دیگر فراهم می‌نماید (Chen et al., 2023). با توجه به عدم وجود اطلاعات کافی در زمینه تأثیر گیاه دارویی کور و کاربردهای مدل‌های SVR در علوم طیور، هدف از اجرای این مطالعه، مقایسه دو مدل ریاضی رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی و مدل رگرسیون درجه سوم خطی (کوئیک) در ارزیابی عملکرد رشد، لاشه و شاخص‌های بیوشیمیایی خون جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با سطوح مختلف جیره‌ای پودر میوه کور مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش، ۳۰۰ قطعه جوجه خروس یک‌روزه سویه راس در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش تیمار، پنج تکرار و ۱۰ قطعه جوجه در هر تکرار توزیع شدند و آزمایش به‌مدت ۴۲ روز اجرا شد. برای تغذیه جوجه‌ها از برنامه سه مرحله‌ای تغذیه‌ای آغازین (۱ تا ۱۰ روزگی)، رشد (۱۱ تا ۲۴ روزگی) و پایانی (۲۵ تا ۴۲ روزگی) استفاده شد. جیره‌ها براساس احتیاجات توصیه‌شده توسط شرکت راس و با استفاده از نرم‌افزار UFFDA تنظیم شدند. میوه کور بعد از جمع‌آوری در سایه خشک و پودر آن تهیه شد. جوجه‌ها در سن یک‌روزگی براساس میانگین وزن گروهی مشابه، به‌طور تصادفی در واحدهای آزمایشی قرار گرفتند. جیره‌های آزمایشی شامل سطوح صفر، ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ درصد پودر میوه کور بودند. قبل از تنظیم جیره‌های

1- Support Vector Machine
2- Machine Learning
3- Support Vector Regression
4- Vapnik

جدول ۱- ترکیب شیمیایی (درصد)، و مواد معدنی (میلی گرم) پودر میوه کور

Table 2- the chemical composition (%) and mineral (mg/kg) in *Capparis Spinosa* L. fruit powder

ترکیب شیمیایی (درصد)، و مواد معدنی (میلی گرم)								
Chemical composition (%) and mineral (mg/kg)								
میوه کور <i>Capparis Spinosa L. fruit</i>	ماده خشک Dry matter	پروتئین خام Crude protein	فیبر خام Crude fiber	انرژی خام Gross energy	چربی خام Ether extract	خاکستر Ash	فسفر Phosphorus	کلسیم Calcium
	56.88	31.29	18.5	3669.65	16	12.1	856.23	5000

معادله (۵):

$$\begin{cases} w_i = w_0 - w_i x_i \leq e + \epsilon_i \\ w_0 + w_i x_i - y_i \leq e + \epsilon_i^* \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

که در آن، C: مقدار تنظیم کننده ای است که بین بهینه سازی حاشیه و کمینه سازی خطای مدل تعادل ایجاد می کند. برای حل مسأله بهینه سازی مقید فوق، دو روش وجود دارد: ۱- برنامه نویسی با استفاده از نرم افزار، ۲- استفاده از تابع لاگرانژ و دوگان لاگرانژ، مشتق گیری و استفاده از الگوریتم تکرار. با توجه به آنچه گذشت از تابع کرنل به کاررفته در معادله های دوگانه و خطاهای حداقل مربعات، با استفاده از SVM، یک روش جدید برای تخمین پارامترها مطابق معادله ۳ توصیف می شود. معادله (۶):

$$y_i = w_0 + \sum_{j=1}^n w_j K_h(x_j, x_i) \begin{cases} x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}) \\ x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

که در آن، $K_h(X_j, X_i)$: تابع کرنل گوسی و h : ثابت هموارساز بوده که با استفاده از روش ارزیابی متقابل محاسبه می گردد. برای به دست آوردن پارامترها از مسئله بهینه سازی با استفاده از معادله ۷ استفاده می کنیم. معادله (۷)

$$m \left\{ \|w\|^2 + c \sum_{j=1}^n \rho_{\epsilon, \gamma}(y_i - \sum_{i=1}^n w_i K_h(x_i, x_j)) \right\}$$

که در آن، ρ : تابع زیان هوپر تعمیم یافته به صورت معادله ۸ است. معادله (۸)

$$\rho_{\epsilon, \gamma}(e) = \begin{cases} 0 & 0 < |e| < \epsilon \\ \frac{(|e| - \epsilon)^2}{\gamma(2(|e| - \epsilon) - \gamma)} & \epsilon < |e| < \epsilon + \gamma \\ \gamma & |e| > \epsilon + \gamma \end{cases}$$

این مدل براساس معیارهای نیکویی برازش مختلف در مقایسه با پارامترهای (چندجمله ای)، ناپارامتری، نیمه پارامتری و تجمعی از عملکرد بهتری برخوردار است (Asadolahi et al., 2021). استفاده از تابع زیان چندکی باعث شده است تا مدل در مقابل نقاط پرت استوار بماند. اندازه ثابت هموارساز در مدل، حالت غیرخطی مدل را هم در نظر می گیرد و روند مدل به هر صورتی که باشد باعث کاهش

معادله (۱):

$$y_i = w_0 + w^T X_i \begin{cases} X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip}) \\ W = (w_1, w_2, \dots, w_n) \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

مدل خطی درجه سوم: در این مدل خطی، رابطه بین

متغیرهای X_i , Y_i به صورت زیر در نظر گرفته شده است.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \beta_3 X_i^3 + e_i \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، e_i : خطاهای تصادفی و β_i : ضرایب مورد نظر بود که e_i با استفاده از روش کمترین مربعات خطا یعنی با کمینه کردن براساس β_i ها محاسبه می شود.

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i - \beta_2 X_i^2 - \beta_3 X_i^3)^2 \quad \text{معادله (۳)}$$

مدل بردار پشتیبان مبتنی بر ضرایب لاگرانژ: در این

مدل، $y_i = w_0 + w_1 X_i$ را در نظر می گیریم، که w_0 و w_1 : مقادیر حقیقی هستند که به دنبال برآورد آن ها براساس بردار پشتیبان خواهد بود. رگرسیون بردار پشتیبان به عنوان روشی برای حل مسائل برآورد پارامترهای یک مدل رگرسیونی با استفاده از ماشین بردار پشتیبان است. در این روش به جای کمینه سازی مجموع مربعات خطا، به دنبال برازش داده در ابر صفحه حاشیه ای است که حداکثر و یا تمام داده های حاشیه ای را در برگیرد. در مدل رگرسیون بردار پشتیبان، مادامی که داده ها در دامنه مشخص شده توسط $e > 0$ هستند، این مدل برای داده ها پذیرفته است، اما اگر داده ای در خارج از این دامنه قرار گیرد یا اصطلاحاً داده دورافتاده باشد، جریمه ای برای آن در نظر گرفته می شود.

در رگرسیون مدل بردار پشتیبان، تخمین پارامترهای بردار W با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان مطابق نمودار (۱) هستیم. با توجه به نمودار فوق و بخش قبل، معادله هدف به صورت معادله های ۴ و ۵ تعریف می شود (Suykens et al., 2002; Izenman, 2008). به طور خلاصه، معادله هدف مرتب برآورد پارامترهای به صورت زیر در نظر گرفته می شود. معادله (۴):

$$\min_{\epsilon_i \epsilon_i^*} w_i w_{i^*} \left(\frac{w_0^2 + w_1^2}{2} + c \sum_{i=1}^n (\epsilon_i + \epsilon_i^*) s, t \right)$$

افزایش مصرف خوراک، در جیره حاوی سطح شش درصد پودر میوه کور بود. تا سطح شش درصد روند به‌صورت افزایشی و از سطح شش درصد به بعد روند کاهشی و گاهی ثابت نشان داد. باین‌حال در بین چهار دوره ارزیابی میزان مصرف خوراک جوجه گوشتی (آغازین، رشد، پایانی، و کل دوره)، بالاترین ضریب تعیین در شاخص مصرف خوراک کل دوره ($R^2 = 0.98\%$) مشاهده گردید. ضریب تعیین شاخص مصرف خوراک کل دوره در هر دو مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی و خطی درجه سوم ($FI = 0-42$)، از مقدار بالایی برخوردار بود.

شاخص‌های وزن بدن و افزایش وزن بدن جوجه‌های گوشتی نیز مشابه مصرف خوراک تا سطح شش درصد پودر میوه کور روند افزایشی و سپس کاهشی را نشان می‌دهد (شکل ۱). باین‌حال در میان شاخص‌های وزن بدن، بالاترین ضریب تعیین متعلق به شاخص وزن بدن ۴۲ روزگی ($R^2 = 94\%$) و در شاخص‌های افزایش وزن بدن، دو شاخص افزایش وزن بدن ۲۴ روزگی و ۴۲ روزگی، دارای ضریب تعیین بالا ($R^2 = 0.97\%$) بودند (جدول ۲). لازم به ذکر است که در شاخص وزن بدن جوجه‌های گوشتی، مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی ضریب تعیین بالاتری نسبت به مدل خطی درجه سوم در تمام شاخص‌های وزن بدن را نشان داد، به‌طور مشابه در شاخص افزایش وزن بدن نیز مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی، ضریب تعیین بالاتری داشت، ولی در مدل خطی درجه سوم، ضریب تعیین مقدار پایین‌تری به‌ویژه در دوره آغازین (0.89 vs 0.84) و رشد (0.97 vs 0.95) را نشان داد. این نشان می‌دهد که بیشترین وزن بدن و افزایش وزن بدن جوجه‌های گوشتی در بین تیمارها مربوط به سطوح سه و شش درصد پودر میوه کور می‌باشد. با توجه به مقدار ضریب تعیین در شاخص افزایش وزن بدن جوجه‌های گوشتی، مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی بر مدل خطی درجه سوم ارجحیت دارد.

شاخص ضریب تبدیل خوراک در دوره‌های مختلف آزمایشی در پرندگان تغذیه‌شده با سطوح مختلف پودر میوه کور، روند کاهشی داشت (شکل ۱). تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که شاخص ضریب تبدیل خوراک در دوره پایانی (۴۲-۲۵ روزگی) و کل دوره (۴۲-۰ روزگی) در جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با پودر میوه کور در سطوح سه و نه درصد کمترین مقدار را دارا بودند. مقدار ضریب تعیین در مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی برای شاخص‌های ضریب تبدیل خوراک در دوره‌های مختلف مورد مطالعه (جدول ۲)، در مقایسه با مدل خطی درجه سوم بالاتر بود (0.98 vs 0.95). بنابراین، براساس معیار ضریب تعیین برای شاخص ضریب تبدیل خوراک نیز مدل بردار پشتیبان غیرخطی، برازش مناسب‌تری در مقایسه با مدل درجه سوم ارائه می‌نماید.

اعتبار برازش مدل نمی‌شود. مشکل هم‌خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل که باعث افزایش واریانس ضرایب رگرسیونی و کاهش اعتبار مدل می‌شود، در این مدل موضوعیت ندارد. همچنین این مدل با داده‌های با حجم کم نیز سازگار است و خللی در برازش مدل ندارد. در نهایت برای تعیین بهترین برآورد از ضریب تعیین معادله ۹ استفاده شد.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{y}_i - y_i)^2}{n} \quad \text{معادله (۹)}$$

همچنین خطای رگرسیون استاندارد که دقت میانگین پیش‌بینی صفات بود برای بررسی دقت روابط رگرسیونی است، مورد برازش قرار گرفت. برای بهینه‌سازی مدل‌های رگرسیونی از نرم‌افزای متماثیکا (Matemtica 13) استفاده شد و برای برازش مدل رگرسیون خطی درجه سوم و رسم گراف‌ها از نرم‌افزار مینی‌تب ۱۳ (Minitab 13) استفاده گردید. برای بررسی نکویی، برازش مقادیر ضریب تعیین و میانگین مربعات خطا مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

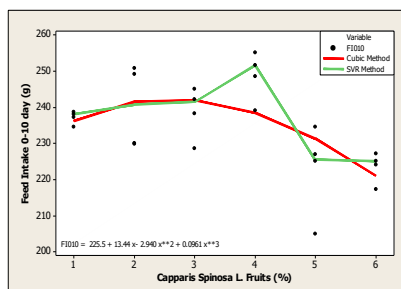
عملکرد رشد: در این آزمایش از مدل بردار پشتیبان غیرخطی (SVR) و مدل خطی درجه سوم (CRM) برای برازش داده‌های عملکرد رشد، اجزاء لاشه و شاخص‌های بیوشیمیایی خون استفاده شد. با توسعه مداوم یادگیری ماشینی در سال‌های اخیر، روش‌هایی مانند ماشین‌های بردار پشتیبان و مدل خطی درجه سوم به‌طور گسترده در زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند که ممکن است دقت پیش‌بینی عملکرد رشد، اجزاء لاشه و شاخص‌های بیوشیمیایی خون را بهبود بخشد. روش‌های رگرسیونی براساس هسته هستند، به‌عنوان مثال رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) این روش براساس شباهت (یا عدم تشابه) متغیرهای پیش‌بینی‌کننده آن‌ها، بر توابع هسته برای ایجاد ساختار کوواریانس در میان مشاهدات هدف تکیه می‌کنند (Gianola & van Kaam, 2008; De los et al., 2006; Campos et al., 2010). متغیرهای عملکرد رشد برای دوره‌های آغازین (۱-۱۰ روزگی)، رشد (۱۱-۲۴ روزگی)، پایانی (۲۵-۴۲ روزگی) و کل دوره (۴۲ روزگی) توسط مدل بردار پشتیبان غیرخطی و مدل خطی درجه سوم در شکل ۱ و جدول ۲ ارائه شده‌اند. در تمام دوره‌های آزمایشی (مصرف خوراک، وزن بدن، افزایش وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک) در هر دو مدل بردار پشتیبان غیرخطی و مدل خطی درجه سوم، پاسخ مشابهی داشتند و همچنین تحت تأثیر افزایش سطوح پودر میوه کور در طی دوره آزمایشی قرار نگرفتند. شاخص مصرف خوراک جوجه‌های گوشتی تحت تأثیر سطوح میوه کور قرار نگرفت. در دوره‌های رشد، پایانی و کل دوره، بیشترین

جدول ۲- برآورد اثر پودر میوه کور بر شاخص‌های عملکرد رشد

Table 2- Estimating the effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder on growth performance indicators

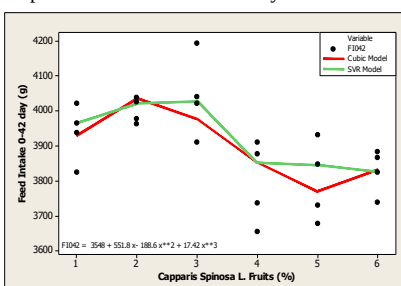
متغیرها Variables	مدل‌ها Models	مدل خطی درجه سوم Cubic method			مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی SVR method			سطح معنی‌داری P-value
		مجموع کل مربعات MSE ^۱	ضریب تعیین R ^{۲۶}	مجموع کل مربعات TSS ^۷	میانگین مربعات خطا MSE ₂	ضریب تعیین R ^۲	مجموع کل مربعات TSS	
مصرف خوراک ۰-۱۰ روزگی FI 0-10 day (g) ^۱	225.5 + 13.44 x - 2.940 x ^{**2} + 0.0961 x ^{**3}	356.58	0.89	3260.0	176.05	0.94	3260.0	0.0138
مصرف خوراک ۱۱-۲۴ روزگی FI 11-24 day (g)	756.5 + 227.2 x - 77.77 x ^{**2} + 7.180 x ^{**3}	1934.69	0.97	67470	1542.10	0.97	67470	0.0001
مصرف خوراک ۲۵-۴۲ روزگی FI 25-42 day (g)	2566 + 311.1 x - 107.9 x ^{**2} + 10.15 x ^{**3}	23498.28	0.88	196121	13001.56	0.93	196121	0.0256
وزن بدن ۰-۱۰ روزگی BW 0-10 day (g) ^۲	3548 + 551.8 x - 188.6 x ^{**2} + 17.42 x ^{**3}	8812.85	0.97	396449	7883.69	0.98	396449	0.0011
وزن بدن ۱۱-۲۴ روزگی BW 11-24 day (g)	182.3 + 77.62 x - 23.37 x ^{**2} + 2.026 x ^{**3}	459.37	0.86	3495.1	268.25	0.92	3495.1	0.0022
وزن بدن ۲۵-۴۲ روزگی BW 25-42 day (g)	700.1 + 301.2 x - 94.27 x ^{**2} + 8.327 x ^{**3}	10501.39	0.88	90085	6367.97	0.92	90085	0.1832
افزایش وزن بدن ۰-۱۰ روزگی BWG 0-10 day (g) ^۳	1722 + 879.9 x - 268.1 x ^{**2} + 23.93 x ^{**3}	23460.75	0.92	291101	15390.28	0.94	291101	0.0148
افزایش وزن بدن ۱۱-۲۴ روزگی BWG 11-24 day (g)	142.7 + 73.35 x - 21.97 x ^{**2} + 1.892 x ^{**3}	546.28	0.84	3455.0	347.28	0.89	3455.0	0.0022
افزایش وزن بدن ۲۵-۴۲ روزگی BWG 25-42 day (g)	557.4 + 227.9 x - 72.29 x ^{**2} + 6.435 x ^{**3}	2192.34	0.95	67934	2061.48	0.97	67934	0.4291
ضریب تبدیل خوراک ۰-۱۰ روزگی FCR 0-10 day (g) ^۴	1022 + 578.6 x - 173.8 x ^{**2} + 15.60 x ^{**3}	4826.89	0.97	181693	4500.72	0.97	181693	0.6351
ضریب تبدیل خوراک ۱۱-۲۴ روزگی FCR 11- 24 day	1.445 - 0.3391 x + 0.1076 x ^{**2} - 0.01009 x ^{**3}	0.01472	0.87	0.11	0.0292	0.75	0.11	0.0154
ضریب تبدیل خوراک ۲۵-۴۲ روزگی FCR 25-42 day	1.309 - 0.0434 x + 0.00578 x ^{**2} - 0.000139 x ^{**3}	0.006	0.95	0.14	0.016	0.98	0.14	0.8610
ضریب تبدیل خوراک ۰-۴۲ روزگی FCR 0- 42 day	1.919 - 0.3373 x + 0.09382 x ^{**2} - 0.008104 x ^{**3}	0.015	0.87	0.12	0.002	0.97	0.12	0.9688
	2.289 - 0.4826 x + 0.1345 x ^{**2} - 0.01170 x ^{**3}	0.025	0.91	0.30	0.007	0.97	0.30	0.6846

^۱ Feed intake (FI), ^۲ Body weight (BW), ^۳ Body weight gain (BWG), ^۴ Feed conversion ratio (FCR), ^۵ Mean squared error (MSE), ^۶ R-squared, ^۷ Total sum of squares (TSS)



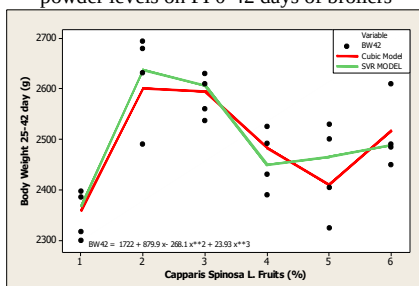
(الف) - اثر سطوح پودر میوه کور بر مصرف خوراک ۰-۱۰ روزگی جوجه گوشتی

(A)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on FI 0-10 days of broilers



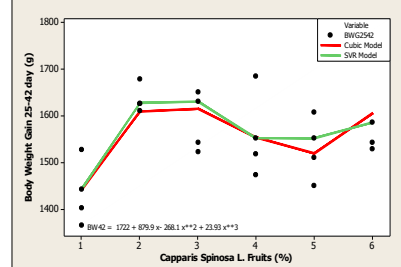
(ت) - اثر سطوح پودر میوه کور بر مصرف خوراک ۰-۴۲ روزگی جوجه گوشتی

(D)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on FI 0-42 days of broilers



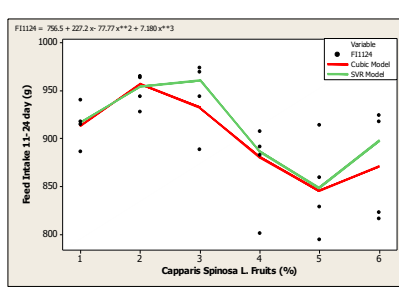
(ج) - اثر سطوح پودر میوه کور بر وزن بدن ۲۵-۴۲ روزگی جوجه گوشتی

(G)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on BW 25-42 days of broilers



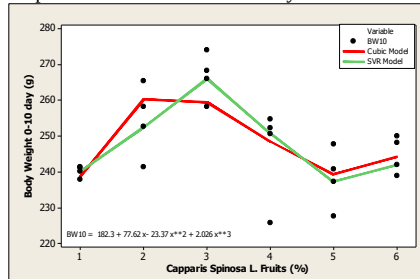
(د) - اثر سطوح پودر میوه کور بر افزایش وزن بدن ۲۵-۴۲ روزگی جوجه گوشتی

(J)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on GBW 25-42 days of broilers



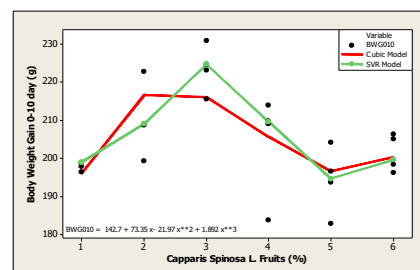
(ب) - اثر سطوح پودر میوه کور بر مصرف خوراک ۱۱-۲۴ روزگی جوجه گوشتی

(B)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on FI 11-24 days of broilers



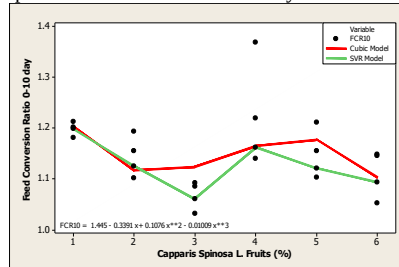
(ث) - اثر سطوح پودر میوه کور بر وزن بدن ۰-۱۰ روزگی جوجه گوشتی

(E)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on BW 0-10 days of broilers



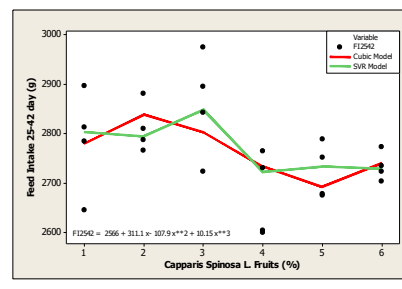
(ح) - اثر سطوح پودر میوه کور بر افزایش وزن بدن ۰-۱۰ روزگی جوجه گوشتی

(H)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on GBW 0-10 days of broilers



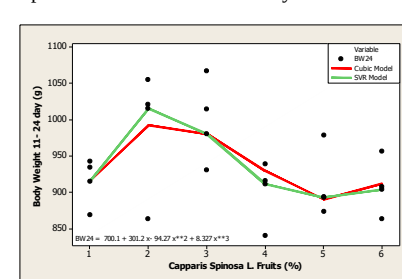
(ذ) - اثر سطوح پودر میوه کور بر ضریب تبدیل خوراک ۰-۱۰ روزگی جوجه گوشتی

(K)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on FCR 0-10 days of broilers



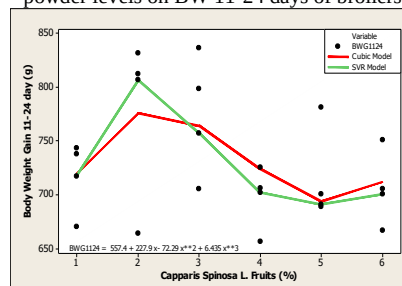
(پ) - اثر سطوح پودر میوه کور بر مصرف خوراک ۲۵-۴۲ روزگی جوجه گوشتی

(C)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on FI 25-42 days of broilers



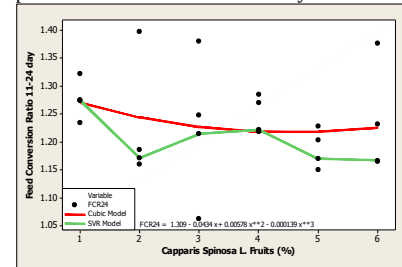
(ج) - اثر سطوح پودر میوه کور بر وزن بدن ۱۱-۲۴ روزگی جوجه گوشتی

(F)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on BW 11-24 days of broilers



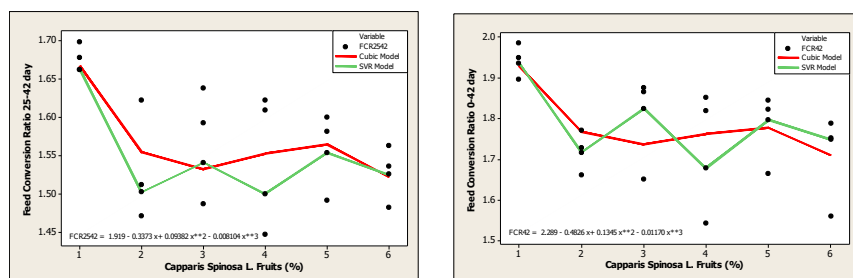
(خ) - اثر سطوح پودر میوه کور بر افزایش وزن بدن ۱۱-۲۴ روزگی جوجه گوشتی

(I)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on GBW 11-24 days of broilers



(ر) - اثر سطوح پودر میوه کور بر ضریب تبدیل خوراک ۱۱-۲۴ روزگی جوجه گوشتی

(L)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on FCR 11-24 days of broilers

ادامه شکل ۱
Figure1(Continue)

(م)- اثر سطوح پودر میوه کور بر ضریب تبدیل خوراک ۲۵-۴۲ روزگی جوجه گوشتی

(M)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on FCR 25-42 days of broilers

(ن)- اثر سطوح پودر میوه کور بر ضریب تبدیل خوراک ۰-۴۲ روزگی جوجه گوشتی

(N)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on FCR 0-42 days of broilers

شکل ۱- اثر سطوح پودر کور بر مصرف خوراک، وزن بدن و ضریب تبدیل خوراک در سنین مختلف براساس مدل کوپیک و بردار پشتیبان
Figure 1- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder level on feed intake, body weight and feed conversion ratio at different ages based on cubic method and support vector method (SVR Method)

پیش‌بینی وزن نسبی سینه، طحال و بورس از مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی و برای پیش‌بینی وزن نسبی کبد و ران از مدل‌های خطی درجه سوم (کوپیک) استفاده شود، برازش مناسب‌تری ارائه خواهد نمود.

شاخص‌های بیوشیمیایی خون: عملکرد مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی و خطی درجه سوم در ارزیابی شاخص‌های بیوشیمیایی خون در جدول ۴ خلاصه شده است. مقادیر R^2 محاسبه‌شده در مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی تقریباً برای کل شاخص‌های بیوشیمیایی خون مقادیر بالاتری را نشان داد. در مجموع، مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی، پیش‌بینی دقیق‌تری نسبت به مدل خطی درجه سوم در جوجه‌های گوشتی ارائه می‌دهد. باین‌حال از بین پنج متغیر شاخص‌های بیوشیمیایی خون مورد بررسی در این آزمایش (کلسترول، تری‌گلیسرید، آسپاراتات آمینوترانسفراز، HDL و LDL) بالاترین مقدار R^2 در شاخص‌های بیوشیمیایی خون به غلظت کلسترول و LDL خون در مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی ($R^2 = 0.98\%$) اختصاص داشت. هر چند ضریب تعیین پارامترهای مدل برازش خطی درجه سوم (کوپیک) برای غلظت کلسترول و LDL به ترتیب ۹۶ و ۹۲ درصد تخمین زده شد، در جدول ۴ پارامترهای مدل و مقادیر ضریب تعیین آن‌ها (R^2) ارائه شده است. منحنی شاخص‌های بیوشیمیایی خون جوجه‌های گوشتی برآوردشده با مدل بردار پشتیبان غیرخطی و مدل خطی درجه سوم در شکل ۳ نشان داده شده است. براساس منحنی‌های مدل بردار پشتیبان غیرخطی و مدل خطی درجه سوم از شاخص بیوشیمیایی خون و مدل‌های مربوطه در جدول ۵ تبعیت می‌کند. همه مدل‌ها دارای مقادیر قابل توجهی R^2 هستند. مدل‌ها ممکن است براساس مقادیر R^2 خود به عنوان MSE، R^2 و SST مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان و خطی درجه سوم رتبه‌بندی شوند. این مطالعه دارای مقادیر بالاتری از R^2 برای مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی بود.

وزن نسبی اجزاء لاشه: تأثیر استفاده از سطوح مختلف پودر

میوه کور در جیره جوجه گوشتی در شکل ۲ ارائه شده است، همچنین مدل‌های برازش رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی و خطی درجه سوم در ارزیابی اجزاء لاشه درصد گوشت سینه، ران، کبد، بورس و طحال با ضریب تعیین در جدول ۳ ارائه شده است. مقادیر R^2 محاسبه‌شده در مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی تقریباً برای کل اجزاء لاشه مقادیر بالاتری را نشان داد. در مجموع، مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی، پیش‌بینی دقیق‌تری نسبت به مدل خطی درجه سوم در جوجه‌های گوشتی ارائه نمود. باین‌حال از بین پنج متغیر اجزاء لاشه مورد بررسی در این آزمایش (سینه، ران، کبد، بورس فابریسیوس و طحال)، بالاترین مقدار R^2 در لاشه بین دو مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی و خطی درجه سوم مرتبط به شاخص وزن نسبی سینه ($R^2 = 0.94\%$) مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی به دست آمد. ضریب تعیین برای وزن نسبی ران و کبد در مدل خطی درجه سوم (کوپیک) به ترتیب برابر ۰/۹۳ و ۰/۹۱ درصد برازش شد که در مقایسه با مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی بالاتر بود. در مورد وزن نسبی بورس و طحال، مقدار ضریب تعیین در مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی برابر ۰/۹۱ درصد و بسیار بالاتر از مقادیر ضریب تعیین مدل‌های خطی درجه سوم (کوپیک) بود. براساس منحنی برازش، سطح پودر میوه کور بر وزن نسبی ران و کبد در جوجه گوشتی، اثر مثبتی دارد، به‌طوری‌که با افزایش سطح کور، وزن نسبی ران و کبد افزایش یافت، درحالی‌که در مورد وزن نسبی سینه، تا سطح سه درصد میوه کور وزن نسبی سینه افزایش و پس از آن وزن نسبی سینه با افزایش سطح کور کاهش یافت. در مورد وزن نسبی بورس و طحال نیز افزایش سطح پودر میوه کور تا سطح شش درصد باعث افزایش وزن نسبی طحال و بورس فابریسیوس گردید، ولی در سطح بالاتر، تغییر در وزن نسبی طحال و بورس فابریسیوس مشاهده نشد. بنابراین براساس این یافته‌ها، پیشنهاد می‌شود که برای

مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش به‌طور کلی رابطه معنی‌داری بین پارامترهای مورد آزمایش را توضیح می‌دهند. از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که پیش‌بینی به‌دست‌آمده از مدل رگرسیون

بردار پشتیبان غیرخطی با کمترین میانگین مربعات خطا مورد انتظار، بهتر از مدل دیگر است.

جدول ۳- برآورد اثر پودر میوه کور بر اجزاء لاشه

Table 3- Estimating the effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder on carcass components

متغیرها Variables	مدل‌ها Models	مدل خطی درجه سوم Cubic method			مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی SVR method			P-value سطح معنی‌داری
		میانگین مربعات خطا	ضریب تعیین	مجموع کل مربعات ³	میانگین مربعات خطا	ضریب تعیین	مجموع کل مربعات ³	
		MSE ₁ ¹	R ²	TSS ³	MSE ₂	R ²	TSS	
کبد liver	3.209 - 1.120 x + 0.3608 x**2 - 0.03006 x**3	0.52	0.91	5.60	0.86	0.85	5.60	0.0564
سینه Breast	19.43 + 3.253 x - 0.9930 x**2 + 0.08260 x**3	6.65	0.85	45.24	2.54	0.94	45.24	0.2783
ران Thigh	22.78 - 5.556 x + 1.713 x**2 - 0.1516 x**3	1.83	0.93	28.35	2.42	0.91	28.35	0.1205
بورس فابرسیوس Bursa	- 0.01321 + 0.1565 x- 0.03970 x**2 + 0.003108 x**3	0.04	0.88	0.38	0.03	0.91	0.38	0.0615
طحال Spleen	0.03039 + 0.09890 x- 0.02129 x**2 + 0.001418 x**3	0.04	0.87	0.37	0.03	0.91	0.37	0.0010

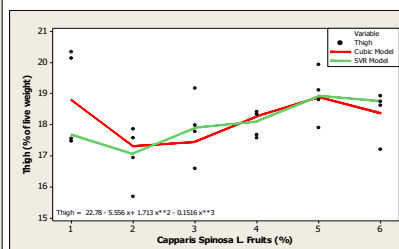
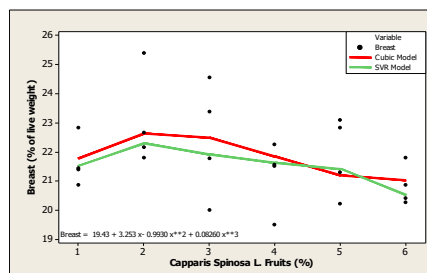
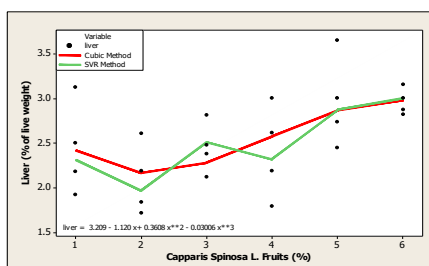
¹ Mean squared error (MSE), ² R-squared, ³ Total sum of squares (TSS)

جدول ۴- برآورد اثر پودر میوه کور بر شاخص‌های بیوشیمیایی خون

Table 4- Estimating the effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder on blood biochemical indices

متغیرها Variables	مدل‌ها Models	مدل خطی درجه سوم Cubic method			مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی SVR method			سطح معنی‌داری P-value
		میانگین مربعات خطا MSE ₁ ⁵	ضریب تعیین R ²⁶	مجموع کل مربعات ⁷ TSS	میانگین مربعات خطا ² MSE ₂	ضریب تعیین R ²	مجموع کل مربعات ⁷ TSS	
کلسترول Cholesterol (UI)	193.4 + 25.44 x- 15.11 x**2 + 1.780 x**3	270.19	96.18	11479.3	236.83	0.98	11479.3	0.0070
تری‌گلیسرید TG (UI) ¹	125.8 + 46.99 x- 22.29 x**2 + 2.479 x**3	3025.99	0.86	21795.8	1561.58	0.92	21795.8	0.0634
آسپاراتات آمینوترانسفراز AST (UI) ²	245.5 + 8.00 x- 12.89 x**2 + 1.611 x**3	4355.30	0.86	32512	1942.46	0.94	32512	0.0009
لیوپروتئین با دانسیته پایین LDL (UI) ³	31.42 + 116.4 x- 36.68 x**2 + 3.447 x**3	529.25	0.96	16715.8	529.25	0.96	16715.8	0.1104
لیوپروتئین با دانسیته بالا HDL (UI) ⁴	198.8 - 59.90 x+ 9.03 x**2 - 0.345 x**3	1850.11	0.92	26414.5	465.91	0.98	26414.5	0.0014

¹ Triglyceride (TG), ² Aspartate aminotransferase (AST), ³ Low density Lipoprotein (LDL), ⁴ High density Lipoprotein (HDL), ⁵ Mean squared error (MSE), ⁶ R-squared, ⁷ Total sum of squares (TSS)



(الف) - اثر سطوح پودر میوه کور بر کبد در ۴۲ روزگی جوجه گوشتی

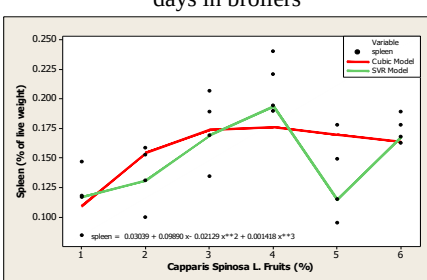
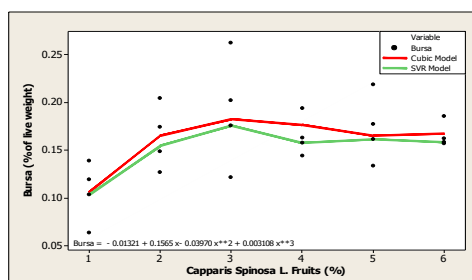
(A)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on Liver at 42 days in broilers

(ب) - اثر سطوح پودر میوه کور بر بافت سینه در ۴۲ روزگی جوجه گوشتی

(B)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on Breast tissue at 42 days in broilers

(پ) - اثر سطوح پودر میوه کور بر بافت ران در ۴۲ روزگی جوجه گوشتی

(C)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on Thigh tissue at 42 days in broilers



(ت) - اثر سطوح پودر میوه کور بر بورس فابریوس در ۴۲ روزگی جوجه گوشتی

(D)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on Bursa at 42 days in broilers

(ث) - اثر سطوح پودر میوه کور بر طحال در ۴۲ روزگی جوجه گوشتی

(E)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on Spleen at 42 days in broilers

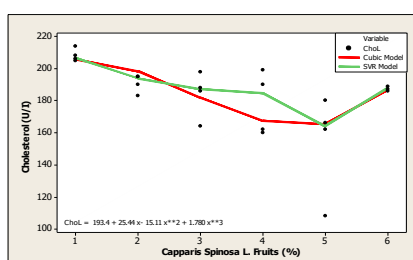
شکل ۲- ارتباط بین سطوح مختلف پودر میوه کور و اجزاء لاشه برای روش مدل کوبیک (Cubic Method) و بردار پشتیبان (SVR Method)

Figure 2- Relationship between different levels of *Capparis Spinosa L.* fruit powder and carcass components for the cubic method and the support vector method (SVR Method)

1825) مدل‌های مناسب‌تری برای داده‌های رشد جوجه گوشتی هستند (Tompic *et al.*, 2011; Mazucheli *et Freitas*, 2005; *al.*, 2011; Drumond *et al.*, 2013; Mohammed, 2015; Mota *et al.*, 2015). برخی از مدل‌های غیرخطی (NLMS) مانند برودی، فون‌برتالانفی، گومپرتز، لجستیک و ریچاردز برای توصیف رشد حیوانات متأثر از عوامل تغذیه‌ای و محیطی استفاده می‌شوند (Kum *et al.*, 2010) و مقایسه مدل NLMS معمولاً برای استفاده از معیارهای ارزیابی مختلف برای گونه‌ها و سویه‌های مختلف انتخاب مناسب‌تری می‌باشد (Narinc *et al.*, 2010).

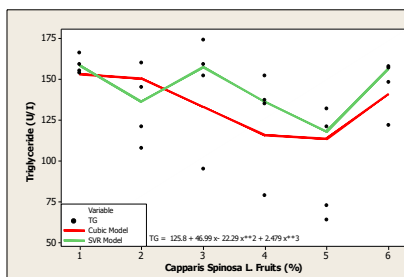
بحث

بر مبنای جستجوی انجام‌شده در پژوهش‌های پیشین، مطالعات کمی تفاوت در سطوح پودر میوه کور بر عملکرد رشد، اجزاء لاشه و شاخص‌های بیوشیمیایی خون در جوجه‌های گوشتی به مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی و خطی درجه سوم در گونه‌های حیوانی را گزارش کرده‌اند. رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی مدل بهتری برای توضیح جوجه‌های گوشتی در رابطه با معیارهای انتخاب مدل بود. علاوه بر این مدل خطی درجه سوم در این مطالعه عملکرد خوبی داشت. معمولاً مدل‌های برپایه رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی عملکرد قابل مقایسه با مدل خطی درجه سوم را در داده‌های آزمایش نشان می‌دهند. در سال‌های اخیر، مدل‌های سیگموئید و چند جمله‌ای (در میان مدل‌های دیگر) برای داده‌های رشد جوجه‌های گوشتی برآزش داده شده‌اند (Narushin & Takma, 2003; Michalczuk *et al.*, 2016; Narinc *et al.*, 2017) متعدد نشان دادند که مدل‌های گومپرتز یا شکل اصلی (Gompertz,



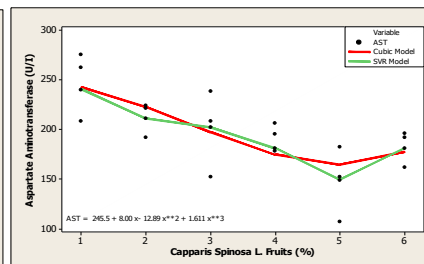
(الف) - اثر سطوح پودر میوه کور بر کلسترول در ۴۲ روزگی جوجه گوشتی

(A)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on Chol at 42 days in broilers



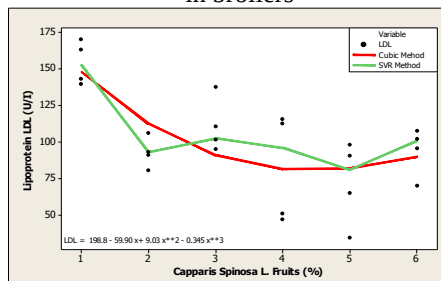
(ب) - اثر سطوح پودر میوه کور بر تری گلیسرید در ۴۲ روزگی جوجه گوشتی

(B)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on TG at 42 days in broilers



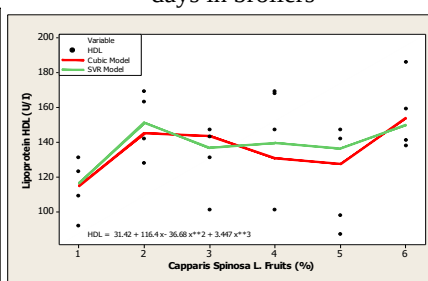
(پ) - اثر سطوح پودر میوه کور بر آسپاراتات آمینوترانسفراز در ۴۲ روزگی جوجه گوشتی

(C)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on AST at 42 days in broilers



(ت) - اثر سطوح پودر میوه کور بر LDL در ۴۲ روزگی جوجه گوشتی

(D)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on LDL at 42 days in broilers



(ث) - اثر سطوح پودر میوه کور بر HDL در ۴۲ روزگی جوجه گوشتی

(E)- The effect of *Capparis Spinosa L.* fruit powder levels on HDL at 42 days in broilers

شکل ۳- ارتباط بین سطوح مختلف پودر میوه کور و شاخص‌های بیوشیمیایی خون برای روش مدل کوپیک (Cubic Method) و بردار پشتیبان (SVR Method)
Figure 3- Relationship between different levels of *Capparis Spinosa L.* fruit powder and blood biochemical indices for the Cubic Method and support vector (SVR Method)

مدل‌های گومپرتز، لجستیک سه پارامتری، لویز، ریچاردز، فرانس و فون برتالانی برای مدل‌سازی داده‌های رشد جوجه‌های گوشتی و سویه‌های مرغ تخم‌گذار استفاده کردند و گزارش دادند که مدل ریچاردز برازش بهتر و دقیق‌تری نسبت به سایر مدل‌ها دارد (Kuhi et al., 2003). مدل غیرخطی گومپرتز در جهت برآورد شاخص‌های رشد مانند وزن بدن در یک سن مشخص، حداکثر پاسخ رشد و سرعت رشد جوجه‌های گوشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Roush et al., 2006). گزارش شده است که برای تخمین شاخص‌های رشد جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف دانه خلراخام، از مدل ریاضی گومپرتز استفاده شد، جوجه‌های تغذیه‌شده با خلراخام در سنین بالاتر منحنی رشدشان تغییر کرده و در این زمان وزن بالاتری نسبت به جیره حاوی خلراخام حرارت داده‌شده به دست آمد (Amirabadi et al., 2011). گومپرتز مناسب‌ترین مدل برای توصیف تغییر وزن بدن در طول زمان گزارش شد (Topal & Bolukbasi, 2008). همچنین گزارش شده است که شبکه عصبی

محققان زیادی از NLMها برای مطالعه و توصیف منحنی رشد در گونه‌های مختلف طیور از جمله بلدرچین (Narinc et al., 2010)، قرقاول خاکستری (Nahashon et al., 2006)، جوجه گوشتی (Aggrey, 2002; Kuhi et al., 2003; Yang et al., 2006; Ahmadi & Mottaghtalab, 2007; Norris et al., 2007)، اردک (Ahmadi & Golian, 2008; Vitezica et al., 2010)، بوقلمون‌ها (Sengul & Kiraz, 2005; Porter et al., 2010) و شترمرغ (Sabbioni et al., 1999) استفاده کرده‌اند. مهم‌ترین مزیت NLMها، استفاده از نرم‌افزارهای آماری در طراحی توابع ریاضی خاص برای تخمین منحنی رشد و اثرات احتیاجات‌های تغذیه‌ای بر آن است (Sengul & Kiraz, 2005). محققان داده‌های رشد جوجه‌های نر را با استفاده از توابع گومپرتز، لجستیک و فون برتالانی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و گزارش کردند که گومپرتز مناسب‌ترین مدل گزارش شد (Tzeng & Becker, 1981). از

برای تحلیل رگرسیون برای پیش‌بینی عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی معرفی شده‌اند (Ahmad, 2009; Roush et al., 2006). مطالعه‌ای نشان داد که هر دو مدل ^{2}NN و SVR قادر به تخمین مؤثر متغیرهای وابسته در هر دو سویه Cobb و Ross هستند. دقت در پیش‌بینی و همچنین انعطاف‌پذیری مدل‌های ساخته‌شده، نشان‌دهنده تأثیر مواد مغذی بر عملکرد و اجزای مختلف لاشه جوجه‌های گوشتی است (Kamran et al., 2003; Yang et al., 2008). مدل ون‌برتلفی به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برای برازش داده‌های مرغ زرد Jinghai با اشاره به R^2 گزارش شده است (Yang et al., 2006). علاوه بر این مدل گومپرتز به‌عنوان مناسب‌ترین مدل مناسب توسط یاکاپوگلو و اتیل (Yakupoglu & Atil, 2001) معرفی شده بود. مدل‌های ریچاردز، لجستیک، وایبول و برودی نیز با موفقیت برای داده‌های رشد بلدرچین ژاپنی برازش داده شده‌اند (Karaman et al., 2013; Raji et al., 2014; Abdallah, 2017). مطالعه‌ای روی بلدرچین نشان دادند که مدل شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با مدل‌های غیرخطی همچون (کلاسیک ریچاردز، گمپرتز و لجستیک) وزن بدن را با دقت بیشتری تخمین خواهند زد (Mirderikvandi et al., 2015). مشاهده شده است که هر دو مدل رگرسیون لجستیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی اغلب در یک سطح عمل می‌کنند و شبکه‌های عصبی انعطاف‌پذیرتر معمولاً در موارد باقی‌مانده از رگرسیون لجستیک بهتر عمل می‌کنند. از سوی دیگر، ماشین‌های بردار پشتیبان، عملکرد قابل مقایسه‌ای را در چند مطالعه روی مجموعه داده‌های پزشکی نشان داده‌اند (Faraji et al., 2020). در آزمایشی جهت مقایسه مدل خطی و شبکه عصبی مصنوعی در جوجه‌های گوشتی گزارش شد که مدل خطی برای پیش‌بینی عملکرد در جوجه‌های گوشتی در مقایسه با مدل شبکه عصبی مصنوعی کارآمدتر بود (Ghazanfari, 2012). محققان دیگری در مقایسه دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و گومپرتز در طی آزمایشی روی جوجه‌های گوشتی گزارش دادند که مدل گومپرتز، وزن بدن را در مقایسه با مدل شبکه عصبی کمتر تخمین می‌زند (Roush et al., 2006). بیان شده است که مدل‌های یادگیری ماشین (SVR) در پیش‌بینی ویژگی‌های لاشه براساس اندازه‌گیری‌های وزن بدن مؤثر هستند. استفاده از مدل ریاضی برای پیش‌بینی وزن ماهیچه سینه و چربی شکم غیرمخرب و کم‌هزینه هستند، بنابراین این روش پتانسیل عمومی‌سازی را دارد (Chen et al., 2023). ماهیچه سینه بیش از نیمی از ماهیچه‌های لاشه طیور و حدود یک چهارم وزن لاشه پرنده را تشکیل می‌دهد و رشد ماهیچه سینه متناسب با افزایش وزن در جوجه‌های گوشتی است (Zuidhof, 2005) که می‌تواند این همبستگی‌های قابل توجه در پیش‌بینی و برازش منحنی رشد پرنده

مصنوعی طراحی شده قادر به یادگیری مناسب روابط بین پارامترهای ورودی و خروجی، پیش‌بینی‌کننده افزایش وزن، مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک در جوجه‌های گوشتی است و همچنین مقایسه R^2 و RMSE مدل‌ها نشان داد که پیش‌بینی عملکرد با استفاده از ANN¹ بهتر از رگرسیون خطی در جوجه‌های گوشتی است (Ghazanfari, 2014). مدل ANN یک فناوری بسیار پیشرفته و مفید در آزمایش‌های کشاورزی نشان داده شده است. پژوهشگران نشان دادند که محاسبات ANN یک جایگزین موفق برای تحلیل رگرسیون آماری برای پیش‌بینی سطوح اسید آمینه در مواد تشکیل دهنده خوراک است (Cravener & Roush, 1999). سرعت رشد جوجه‌های گوشتی را با مدل‌های گومپرتز و لجستیک ارزیابی و گزارش شد که هر دو مدل نتایج خوبی را نشان دادند، اما مدل گومپرتز بهتر از لجستیک بود، براساس مدل گومپرتز مقادیر R^2 و MSE آماری به‌ترتیب بیشتر و کمتر از مدل دیگر بود (Eleroğlu et al., 2016). به‌طور مشابه در مطالعه دیگری، مدل‌های خطی و غیرخطی (گومپرتز، لجستیک سه پارامتری و ریچاردز) برای توصیف الگوهای رشد جوجه‌های گوشتی مقایسه شد و گزارش گردید که مدل ریچاردز کارایی بالاتری در پیش‌بینی و برازش الگوی رشد جوجه‌های گوشتی داشت (Rizzi et al., 2013). پژوهشگران از مدل گمپرتز برای ارزیابی الگوی رشد وزن بدن، اجزاء لاشه و مصرف خوراک پرندگان استفاده کردند و نتایج نشان داد که مدل گمپرتز در پیش‌بینی وزن بدن جوجه‌های گوشتی صحت و دقت بالایی ($R^2=0.99$) داشت (Wiseman & Lewis, 1998). در پژوهش دیگری رو منحنی رشد جوجه‌های گوشتی، از مدل‌های گومپرتز، فون‌برتالانفی و لجستیک سه پارامتری استفاده شد و کارایی این مدل‌ها مورد مقایسه قرار گرفت، یافته‌ها نشان داد که برای تخمین منحنی رشد جوجه‌های گوشتی راس، مدل گومپرتز مناسب‌تر بود (Mohammed, 2015). اخیراً از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در پیش‌بینی عملکرد حیوانات علاوه بر مدل‌های ریاضی رایج شده است. طراحی و برنامه نویسی ANN مانند مغز انسان عمل می‌کند و توانایی پاسخگویی به ورودی‌های مختلف را از طریق چندین لایه از جمله میلیون‌ها نورون دارد که در نهایت منجر به حل بخش کوچکی از یک مشکل بزرگ می‌شود. یکی از مزیت‌های اصلی استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با مدل‌سازی آماری کلاسیک این است که مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی تنها براساس یک متغیر وابسته قابل انجام است و طراحی انواع مختلف متغیر نیز امکان‌پذیر است. این واقعیت باعث کاهش اتلاف زمان، منابع، برآورد بهتر خطا و تنوع در جمع‌آوری داده‌ها در شرایط مختلف می‌شود (Ahmad, 2009). از سوی دیگر، مدل‌های ANN در بسیاری از سیستم‌های اصلاحی به‌عنوان جایگزینی

این مدل‌ها عمدتاً به سه عامل کیفیت مجموعه داده‌های مورد استفاده در مدل‌سازی، دقت انتخاب پارامترهای مدل قابل تنظیم، معیارهای ارزیابی مورد استفاده برای گزارش نتایج و فرآیند مدل‌سازی بستگی دارد (Dreiseitl & Ohno-Machado, 2002). با این حال، طبق دانش ما اطلاعات کمی در مورد مناسب بودن یا نبود مدل‌های SVR در تغذیه و پرورش حیوانات (به‌ویژه طیور) وجود دارد. پژوهشی در زمینه توانایی مدل‌های SVR برای تخمین ویژگی‌های لاشه جوجه‌های گوشتی تحت تأثیر دریافت مواد مغذی انجام دادند، در آن مطالعه مدل‌های SVR تنها با استفاده از تابع هسته RBF توسعه یافت و نشان داده شد که بردارهای پشتیبانی به‌عنوان جایگزینی ممکن برای مدل‌های NN می‌تواند در نظر گرفته شود (Faridi et al., 2011).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که هر دو مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی و مدل خطی درجه سوم گزینه‌های مفیدی برای پیش‌بینی عملکرد رشد، اجزاء لاشه و شاخص‌های بیوشیمیایی خون جوجه‌های گوشتی هستند. با این حال، ممکن است که پیش‌بینی رضایت‌بخش‌تری از طریق مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی در مقایسه با مدل خطی درجه سوم حاصل شود. نتایج نشان داد که ابزارهای یادگیری ماشین (مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی SVR) می‌توانند برای ساخت مدل‌های پیش‌بینی بسیار مؤثرتر مورد استفاده قرار گیرند و ممکن است به‌عنوان یک گزینه جایگزین برای مدل خطی درجه سوم عمل کنند. استفاده از مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی یک راه بالقوه برای نمایش سیستم‌های غیرخطی و پشتمانه تحلیل‌های پیشرفته را در اختیار قرار می‌دهد. علاوه بر این، در این تحقیق مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی که هنوز به‌طور رسمی برای پیش‌بینی صفات طیور استفاده نشده است مورد بررسی قرار گرفت. همچنین براساس نتایج این تحقیق، این مدل توانایی استفاده در سایر زمینه‌های پرورش طیور به‌دلیل صرفه‌جویی در زمان و هزینه را می‌تواند داشته باشد، اگرچه ارزیابی مجدد این رویکرد پیشرفته در در مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود.

مؤثر باشد. وزن بدن و ماهیچه سینه می‌تواند پیش‌بینی‌کننده‌های عالی برای وزن ماهیچه سینه در طی پرورش انتخابی باشند. علاوه بر این همبستگی ژنتیکی قابل توجهی بین ضخامت ماهیچه سینه و وزن ماهیچه سینه وجود داشت (Scheuermann et al., 2003; Case et al., 2012). با این حال، مشاهده شده است که رشد ماهیچه سینه‌ای ماژور و مینور متناسب با وزن زنده پرندگان افزایش یافت (Zuidhof, 2005). از طرفی تقاضای فزاینده بازار برای گوشت سفید، تولیدکنندگان و پرورش‌دهندگان جوجه گوشتی را ناگزیر نموده است تا بر انتخاب در جهت افزایش درصد گوشت ماهیچه سینه تمرکز بیشتری کنند (Brake et al., 1993; Pollock, 1997) که در نتیجه جوجه‌هایی با ماهیچه سینه سنگین‌تر نسبت به چند سال پیش تولید می‌شوند. یکی از دلایل وزن سنگین‌تر جوجه‌های گوشتی امروزی، عملکرد رشد بالاتر عضله سینه است و پرندگان سنگین‌تر، دارای عضله سینه بزرگتر و سنگین‌تری هستند (Frischnecht & Jull, 1946; Marks, 1995; Hunton, 1995). از نظر ماهیچه سینه، می‌توان از جدول ۴ مشاهده کرد که مدل رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی (SVR) R^2 بالاتر و MAE_2 کمتری نسبت به مدل خطی درجه سوم (CRM) داشت. این نشان می‌دهد که نتایج پیش‌بینی مدل SVR دقیق و قابل اعتماد است، مشکل بیش از حد برازش وجود ندارد و پتانسیل کاربردی دارد. دلیل پایین بودن مدل ANN نسبت به SVR ممکن است این باشد که مجموعه داده‌ها کوچک است و تقسیم مجموعه داده به مجموعه آزمایشی باعث کاهش بیشتر داده‌ها می‌شود که ممکن است محدودیت‌هایی برای تجزیه و تحلیل مدل ANN ایجاد کند که با این مطالعه هم‌خوانی داشت (Ekiz et al., 2020). معمولاً مدل‌های مبتنی بر ANN عملکرد قابل مقایسه با مدل‌های SVR در داده‌های آزمایشی را نشان می‌دهند. با این حال، به دلیل قابلیت تعمیم کمتر مدل‌های ANN، خطای پیش‌بینی آن در داده‌های جدید افزایش می‌یابد (Kim, 2003). به این دلیل است که در طول آزمایش، مدل‌های ANN ممکن است در حداقل‌های موضعی به کار گرفته شود (Javed et al., 2007). از سوی دیگر، قابلیت تعمیم بالاتر مدل‌های SVR آن‌ها را قادر می‌سازد تا در مجموعه‌های آزمایشی به‌خوبی عمل کنند (Vapnik, 1995). به نظر می‌رسد که مدل‌های SVR برای غلبه بر برخی از اشکالات مدل‌های NN توسعه یافته‌اند. با این حال، کیفیت نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از

References

1. Abdel-Razek, N., El-Sabbagh, N., Khalil, R. H., & Abdel-Tawwab, M. (2023). Prophylactic effects of dietary caper (*Capparis spinosa*) extracts on the control of *Streptococcus agalactiae* infection, growth, immune-antioxidant, and inflammation cytokine responses of Nile tilapia fingerlings. *Fish & Shellfish Immunology*, 142, 109126. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2023.109126>

2. Asadolahi, M., Akbari, M. G., Hesamian, G., & Arefi, M. (2021). A robust support vector regression with exact predictors and fuzzy responses. *International Journal of Approximate Reasoning*, 132, 206-225. <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2021.02.006>
3. AOAC. (2005). Association Official Methods of Analysis. 18th Ed. AOAC International, Gaithersburg, MD.
4. Amirabadi, Z., Farhangfar, H., Riasi, A., & Janmohammadi, H. (2011). Evaluation of growth parameters of Ross broiler chickens fed with different levels of raw or heated grass pea using gompertz model. *Journal of Animal Science Research*, 21(1), 105-115.
5. Akinsola, O. M., Sonaiya, E. B., Bamidele, O., Hassan, W. A., Yakubu, A., Ajayi, F. O., & Adebambo, O. A. (2021). Comparison of five mathematical models that describe growth in tropically adapted dual-purpose breeds of chicken. *Journal of Applied Animal Research*, 49(1), 158-166. <https://doi.org/10.1080/09712119.2021.1915792>
6. Aliyazicioglu, R., Eyupoglu, O. E., Sahin, H., Yildiz, O., & Baltas, N. (2013). Phenolic components, antioxidant activity, and mineral analysis of *Capparis spinosa* L. *African Journal of Biotechnology*, 12(47), 6643-6649. <https://doi.org/10.5897/AJB2013.13241>
7. Ahmadi, H., & Golian, A. (2008). Non-linear hyperbolic growth models for describing growth curve in classical strain of broiler chicken. *Research Journal of Biological Sciences*, 3, 1300-1304.
8. Ahmadi, H., & Mottaghtalab, M. (2007). Hyperbolic models as a new powerful tool to describe broiler growth kinetics. *Poultry Science*, 86(11), 2461-2465. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00086>
9. Ahmad, H. A. (2009). Poultry growth modeling using neural networks and simulated data. *Journal of Applied Poultry Research*, 18(3), 440-446. <https://doi.org/10.3382/japr.2008-00064>
10. Aggrey, S. E. (2002). Comparison of three nonlinear and spline regression models for describing chicken growth curves. *Poultry Science*, 81(12), 1782-1788. <https://doi.org/10.1093/ps/81.12.1782>
11. Aggrey, S. E. (2009). Logistic nonlinear mixed effects model for estimating growth parameters. *Poultry Science*, 88(2), 276-280. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00317>
12. Abdallah, F. D. (2017). Using nonlinear models to describe body weight growth curves in three different lines of Japanese quail. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*, 52(1):81. <https://doi.org/10.5455/ajvs.248866>
13. Bani Saadat, H., Vaez Torshizi, R., Masoudi, A. A., Ehsani, A., & Shahinfar, S. (2024). Identificación of genes affecting growth traits in broiler chickens using linear regression and machine learning methods. *Iranian Journal of animal Science*, 55(3), 583-602. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijas.2023.363825.653963>
14. Emraei, Abdanan, M., & Salari. (2017). A system for estimating the weight of broiler chickens individually using image processing and multiple regression analysis. *Iranian Biosystems Engineering*, 47(4), 623-615. (In Persian).
15. Benzidane, N., Aichour, R., Guettaf, S., Laadel, N., Khennouf, S., Baghiani, A., & Arrar, L. (2020). Chemical investigation, the antibacterial and antifungal activity of different parts of *Capparis spinosa* extracts. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 10(5), 118-125. <https://doi.org/10.22270/jddt.v10i5.4388>
16. Bonina, F., Puglia, C., Ventura, D., Aquino, R., Tortora, S., Sacchi, A., Saija, A., Tomaino, A., Pellegrino, M. L., & de Capariis, P. (2002). *In vitro* antioxidant and *in vivo* photoprotective effects of a lyophilized extract of *Capparis spinosa* L. buds. *Journal of Cosmetic Science*, 53(6), 321-336.
17. Brake, J., Havenstein, G. B., Scheideler, S. E., Ferket, P. R., & Rives, D. V. (1993). Relationship of sex, age, and body weight to broiler carcass yield and offal production. *Poultry Science*, 72(6), 1137-1145. <https://doi.org/10.3382/ps.0721137>
18. Cronquist, A. (1981). An integrated system of classification of flowering plants (Vol. 1262). Columbia University Press, New York. 1262 pp.
19. Castro Ramos, R. D., & Nosti Vega, M. (1987). The caper (*Capparis spinosa* L.). *Grasas y Aceites (Spain)*, 38(3), 173- 175.
20. Choudhary, R. S., Vaishnav, J. K., & Nehra, R. (2005). Effect of replacing maize by mesquite pods (*Prosopis juliflora*) on the performance of broilers. *Indian Journal of Poultry Science*, 40(2), 124-127.
21. Chen, J. T., He, P. G., Jiang, J. S., Yang, Y. F., Wang, S. Y., Pan, C. H., Zeng, L., He, Y. F., Chen, Z. H., Lin, H. J., & Pan, J. M. (2023). In vivo prediction of abdominal fat and breast muscle in broiler chicken using live body measurements based on machine learning. *Poultry Science*, 102(1), 102239. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102239>
22. Case, L. A., Wood, B. J., & Miller, S. P. (2012). The investigation of ultrasound technology to measure breast muscle depth as a correlated trait to breast meat yield in turkey (*Meleagris gallopavo*). *Journal of Animal Science*, 90(10), 3410-3417. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4822>
23. Cao, Y. L., Li, X., & Zheng, M. (2010). *Capparis spinosa* protects against oxidative stress in systemic sclerosis dermal fibroblasts. *Archives of Dermatological Research*, 302, 349-355. <https://doi.org/10.1007/s00403-009-0998-7>
24. Cravener, T. L., & Roush, W. B. (1999). Improving neural network prediction of amino acid levels in feed ingredients. *Poultry Science*, 78(7), 983-991. <https://doi.org/10.1093/ps/78.7.983>

25. Deminici, R. G. D. S., Meneghetti, C., de Oliveira, E. B., Garcia Júnior, A. A. P., Farias Filho, R. V., & Deminici, B. B. (2021). Systematic review of the use of phytobiotics in broiler nutrition. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 20(1), 098-106. <https://doi.org/10.5965/223811712012021098>
26. De Los Campos, G. U. S. T. A. V. O., Gianola, D., Rosa, G. J., Weigel, K. A., & Crossa, J. (2010). Semi-parametric genomic-enabled prediction of genetic values using reproducing kernel Hilbert spaces methods. *Genetics Research*, 92(4), 295-308. <https://doi.org/10.1017/S0016672310000285>
27. Dreiseitl, S., & Ohno-Machado, L. (2002). Logistic regression and artificial neural network classification models: A methodology review. *Journal of Biomedical Informatics*, 35(5-6), 352-359. [https://doi.org/10.1016/S1532-0464\(03\)00034-0](https://doi.org/10.1016/S1532-0464(03)00034-0)
28. Drumond, E. S. C., Gonçalves, F. M., Veloso, R. D. C., Amaral, J. M., Balotin, L. V., Pires, A. V., & Moreira, J. (2013). Curvas de crescimento para codornas de corte. *Ciência Rural*, 43, 1872-1877. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013001000023>
29. Eleroğlu, H., Bircan, H., Yıldırım, A., & Kılıç, F. (2016). Comparison of growth curve using some nonlinear models in broiler production. *Journal of Poultry Research*, 13(2), 12-16.
30. Eddouks, M., Lemhadri, A., & Michel, J. B. (2004). Caraway and caper: Potential anti-hyperglycaemic plants in diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 94(1), 143-148. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.05.006>
31. Eddouks, M., Lemhadri, A., & Michel, J. B. (2005). Hypolipidemic activity of aqueous extract of *Capparis spinosa* L. in normal and diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 98(3), 345-350. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.01.053>
32. Ekiz, B., Baygul, O., Yalcintan, H., & Ozcan, M. (2020). Comparison of the decision tree, artificial neural network and multiple regression methods for prediction of carcass tissues composition of goat kids. *Meat Science*, 161, 108011. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108011>
33. Faridi, A., Sakomura, N. K., Golian, A., & Marcato, S. M. (2012). Predicting body and carcass characteristics of 2 broiler chicken strains using support vector regression and neural network models. *Poultry Science*, 91(12), 3286-3294. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02491>
34. Faridi, A., Mottaghitab, M., Darmani-Kuhi, H., France, J., & Ahmadi, H. (2011). Predicting carcass energy content and composition in broilers using the group method of data handling-type neural networks. *The Journal of Agricultural Science*, 149(2), 249-254. <https://doi.org/10.1017/S002185961000105>
35. Frischknecht, C. O., & Jull, M. A. (1946). Amount of breast meat and live and dressed grades in relation to body measurements in 12-week old purebred and crossbred chickens. *Poultry Science*, 25(4), 330-345. <https://doi.org/10.3382/ps.0250330>
36. Freitas, A. R. D. (2005). Curvas de crescimento na produção animal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34, 786-795. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000300010>
37. Faraji Gavgani, L., Sarbakhsh, P., Asghari Jafarabadi, M., Shamshirgaran, S. M., & Jahangiry, L. (2020). Using support vector machine in diagnosing functional limitation in diabetic patients in northwest Iran in 2017: A descriptive study. *Scientific Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, 18(12), 1270-1286. (In Persian).
38. Gholami-Ahangaran, M., Moravvej, A. H., Safizadeh, Z., Nogoorani, V. S., Zokaei, M., & Ghasemian, S. O. (2021). The evaluation of ESBL genes and antibiotic resistance rate in *Escherichia coli* strains isolated from meat and intestinal contents of turkey in Isfahan, Iran. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 22(4), 318-325. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22099/ijvr.2021.39493.5737>
39. Ghasemian, S. O., Gholami-Ahangaran, M., Pourmahdi, O., & Ahmadi-Dastgerdi, A. (2022). Dietary supplementation of protexin and artichoke extract for modulating growth performance and oxidative stress in broilers. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 69(3), 281-288. <https://doi.org/10.33988/auvfd.833094>
40. Gianguzzi, V., Inglese, P., Barone, E., & Sottile, F. (2019). In vitro regeneration of *Capparis spinosa* L. by using a temporary immersion system. *Plants*, 8(6), 177. <https://doi.org/10.3390/plants8060177>
41. Gianola, D., Fernando, R. L., & Stella, A. (2006). Genomic-assisted prediction of genetic value with semiparametric procedures. *Genetics*, 173(3), 1761-1776. <https://doi.org/10.1534/genetics.105.049510>
42. Gianola, D., & Van Kaam, J. B. (2008). Reproducing kernel Hilbert spaces regression methods for genomic assisted prediction of quantitative traits. *Genetics*, 178(4), 2289-2303. <https://doi.org/10.1534/genetics.107.084285>
43. Gompertz, B. (1825). XXIV. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. In a letter to Francis Bailey, Esq. FRS &c. *Philosophical*

- Transactions of the Royal Society of London*, 115, 513-583. <https://doi.org/10.1098/rstl.1825.0026>
44. Ghazanfari, S. (2012). Application of linear model and artificial neural network to predict growth performance in broilers. *Fifth Iranian Congress of Animal Sciences, Isfahan University of Technology*, 1417–1421. (In Persian).
45. Ghazanfari, S. (2014). Application of linear regression and artificial neural network for broiler chicken growth performance prediction. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 4(3), 411–416.
46. Hunton, P. (Ed.). (1995). *Poultry production: Production system approach*. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Science Publishers. ISBN: 0444889655, 9780444889652.
47. Isagaliyev, M., Abakumov, E., Turdaliev, A., Obidov, M., Khaydarov, M., Abdukhakimova, K., Shermatov, T., & Musaev, I. (2022). *Capparis spinosa* L. cenopopulation and biogeochemistry in South Uzbekistan. *Plants*, 11(13), Article 1628. <https://doi.org/10.3390/plants11131628> [conversation_history].
48. Izenman, A. J. (2008). *Modern multivariate statistical techniques* (Vol. 1, pp. xxv + 733). New York, NY, USA: Springer.
49. Javed, S. G., Khan, A., Majid, A., Mirza, A. M., & Bashir, J. (2007). Lattice constant prediction of orthorhombic ABO₃ perovskites using support vector machines. *Computational Materials Science*, 39(3), 627-634. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2006.08.015>
50. Kalantari, H., Forouzandeh, H., Khodayar, M. J., Siahpoosh, A., Saki, N., & Kheradmand, P. (2018). Antioxidant and hepatoprotective effects of *Capparis spinosa* L. fractions and Quercetin on tert-butyl hydroperoxide-induced acute liver damage in mice. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 8(1), 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2017.04.010>
51. Kalinowski, A., Moran Jr, E. T., & Wyatt, C. L. (2003). Methionine and cystine requirements of slow-and fast-feathering broiler males from three to six weeks of age. *Poultry Science*, 82(9), 1428-1437. <https://doi.org/10.1093/ps/82.9.1428>
52. Kuhi, H. D., Kebreab, E., Lopez, S., & France, J. (2003). An evaluation of different growth functions for describing the profile of live weight with time (age) in meat and egg strains of chicken. *Poultry Science*, 82(10), 1536-1543. <https://doi.org/10.1093/ps/82.10.1536>
53. Kim, K. J. (2003). Financial time series forecasting using support vector machines. *Neurocomputing*, 55(1-2), 307-319. [https://doi.org/10.1016/S0925-2312\(03\)00372-2](https://doi.org/10.1016/S0925-2312(03)00372-2)
54. Karaman, E., Narinc, D., Firat, M. Z., & Aksoy, T. (2013). Nonlinear mixed effects modeling of growth in Japanese quail. *Poultry Science*, 92(7), 1942-1948. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02896>
55. Kheirabadi, K., & Rashidi, A. (2019). Modelling and genetic evaluation of Markhoz goat growth curve parameters. *Small Ruminant Research*, 170, 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.11.017>
56. Kamran, Z., Sarwar, M., Nisa, M., Nadeem, M. A., Mahmood, S., Babar, M. E., & Ahmed, S. (2008). Effect of low-protein diets having constant energy-to-protein ratio on performance and carcass characteristics of broiler chickens from one to thirty-five days of age. *Poultry Science*, 87(3), 468-474. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00180>
57. Kum, D., Karakus, K., & Ozdemir, T. (2010). The best non-linear function for body weight at early phase of Norduz female lambs. *Trakia Journal of Sciences*, 8(2), 62–67.
58. Mohammadi Gheisar, M., & Kim, I. H. (2018). Phytobiotics in poultry and swine nutrition—a review. *Italian Journal of Animal Science*, 17(1), 92-99. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1350120>
59. Mazandarani, M., Borhani, G., & Fathiazad, F. (2014) Phytochemical analysis, antioxidant activity and ecological requirements of *Capparis spinosa* L. in Golestan and Semnan province (North of Iran). *Journal Medicinal Plant by Products*, 1, 21–26. <https://doi.org/10.3390/mu10020116>
60. Matthäus, B., & Özcan, M. (2002). Glucosinolate composition of young shoots and flower buds of capers (*Capparis* species) growing wild in Turkey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(25), 7323-7325. <https://doi.org/10.1021/jf020530>
61. Moufid, A., Farid, O., & Eddouks M. (2015) Pharmacological properties of *Capparis spinosa* Linn. *International Journal of Diabetology & Vascular Disease Research*, 3(5), 99-104. <https://doi.org/10.19070/2328-353X-1500020>
62. Michalczuk, M., Damaziak, K., & Goryl, A. (2016). Sigmoid models for the growth curves in medium-growing meat type chickens, raised under semi-confined conditions. *Annals of Animal Science*, 16(1), 65-77. <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-006>
63. Mohammed, F. A. (2015). Comparison of three nonlinear functions for describing chicken growth curves. *Scientia Agriculturae*, 9(3), 120-123.

64. Mota, L. F. M., Alcântara, D. C., Abreu, L. R. A., Costa, L. S., Pires, A. V., Bonafé, C. M., Silva, T. R. F., & Pinheiro, S. R. F. (2015). Crescimento de codornas de diferentes grupos genéticos por meio de modelos não lineares. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 67(5), 1372-1380. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-7534>
65. Mirderikvandi, M., Masoudi, A., Azarfar, A., & Kiani, A. (2015). Comparison of Gompertz and artificial neural network models of broiler growth received Artichoke extract in their drinking water. *Iranian Journal of Animal Science*, 46(1), 9-16. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijas.2015.54586>
66. Mazucheli, J., Souza, R. D., & Philippsen, A. S. (2011). Modelo de crescimento de Gompertz Na presença de erros normais heterocedásticos: um estudo de caso. *Revista Brasileira de Biometria*, 29(1), 91-101.
67. Marks, H. L. (1995). Genetics of growth and development. *World Animal Science, Poultry Production, Amsterdam, Elsevier*, p. 170-182.
68. Nandi, S., Badhe, Y., Lonari, J., Sridevi, U., Rao, B. S., Tambe, S. S., & Kulkarni, B. D. (2004). Hybrid process modeling and optimization strategies integrating neural networks/support vector regression and genetic algorithms: Study of benzene isopropylation on Hbeta catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 97(2-3), 115-129. [https://doi.org/10.1016/S1385-8947\(03\)00150-5](https://doi.org/10.1016/S1385-8947(03)00150-5)
69. Nariņ, D., Nariņ, N. Ō., & Aygün, A. (2017). Growth curve analyses in poultry science. *World's Poultry Science Journal*, 73(2), 395-408. <https://doi.org/10.1017/S0043933916001082>
70. Nahashon, S. N., Aggrey, S. E., Adefope, N. A., Amenyen, A., & Wright, D. (2006). Growth characteristics of pearl gray guinea fowl as predicted by the Richards, Gompertz, and logistic models. *Poultry Science*, 85(2), 359-363. <https://doi.org/10.1093/ps/85.2.359>
71. Norris, D., Ngambi, J. W., Benyi, K., Makgahlele, M. L., Shimelis, H. A., & Nesamvuni, E. A. (2007). Analysis of growth curves of indigenous male Venda and Naked Neck chickens. *South African Journal of Animal Science*, 37(1), 21-26. <https://doi.org/10.4314/sajas.v37i1.4021>
72. Narushin, V. G., & Takma, C. (2003). Sigmoid model for the evaluation of growth and production curves in laying hens. *Biosystems Engineering*, 84(3), 343-348. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00286-6](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00286-6)
73. Narinc, D., Karaman, E., Firat, M. Z., & Aksoy, T. (2010). Comparison of non-linear growth models to describe the growth in Japanese quail. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9(14), 1961-1966.
74. Petanidou, T., Van Laere, A. J., & Smets, E. (1996). Change in floral nectar components from fresh to senescent flowers of *Capparis spinosa* (Capparidaceae), a nocturnally flowering Mediterranean shrub. *Plant Systematics and Evolution*, 199, 79-92.
75. Pollock, D. L. (1997). Maximizing yield. *Poultry Science*, 76(8), 1131-1133. <https://doi.org/10.1093/ps/76.8.1131>
76. Pinzón, L. J. C., Betancourt, L. L. L., & Afanador, T. G. (2022). Use of mathematical models in the analysis of growth and commercial performance of brown layers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 24(01), eRBCA-2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2021-1478>
77. Porter, T., Kebreab, E., Kuhl, H. D., López, S., Strathe, A. B., & France, J. (2010). Flexible alternatives to the Gompertz equation for describing growth with age in Turkey hens. *Poultry Science*, 89(2), 371-378. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00141>
78. Rahimi, E., Hormozipoor, H., Ahangaran, M. G., & Yazdi, F. (2012). Prevalence of *Arcobacter* species on chicken carcasses during processing in Iran. *Journal of Applied Poultry Research*, 21(2), 407-412. <https://doi.org/10.3382/japr.2011-00494>
79. Raji, A. O., Alade, N. K., & Duwa, H. (2014). Estimation of model parameters of the Japanese quail growth curve using Gompertz model. *Archivos de Zootecnia*, 63(243), 429-435.
80. Roush, W. B., Dozier 3rd, W. A., & Branton, S. L. (2006). Comparison of Gompertz and neural network models of broiler growth. *Poultry Science*, 85(4), 794-797. <https://doi.org/10.1093/ps/85.4.794>
81. Rizzi, C., Contiero, B., & Cassandro, M. (2013). Growth patterns of Italian local chicken populations. *Poultry Science*, 92(8), 2226-2235. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02825>
82. Sabbioni, A., Superchi, P., Bonomi, A., Summer, A., & Boidi, G. (1999). Growth curves of intensively reared ostriches (*Struthio camelus*) in Northern Italy. In *Proceedings of the Annual Meeting of the European Association for Animal Production* (Vol. 5, p. 143).
83. Sahragard, Z., Hosseini-Vashan, S. J., Naimipour-Younesi, H., & Farhangfar, S. H. (2025). Investigating the effect of tomato pomace on growth performance and some blood indices of broiler chickens by meta-analysis method. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 16(4), 487-499. (in Persian with English abstract).

- <http://doi.org/10.22067/ijasr.2024.86068.1187>
84. Scheuermann, G. N., Bilgili, S. F., Hess, J. B., & Mulvaney, D. R. (2003). Breast muscle development in commercial broiler chickens. *Poultry Science*, 82(10), 1648-1658. <https://doi.org/10.1093/ps/82.10.1648>
 85. Sengul T & Kiraz S. (2005). Non-linear models of growth curves in large white Turkeys. *Journal of Veterinary and Animal Science*, 29, 331-337.
 86. Sterling, K. G., Bell, D. D., Pesti, G. M., & Aggrey, S. E. (2003). Relationships among strain, performance, and environmental temperature in commercial laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*, 12(1), 85-91. <https://doi.org/10.1093/japr/12.1.85>
 87. Sun, Y., Yang, T., & Wang, C. (2023). *Capparis spinosa* L. as a potential source of nutrition and its health benefits in foods: A comprehensive review of its phytochemistry, bioactivities, safety, and application. *Food Chemistry*, 409, 135258. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135258>
 88. Suykens, J. A., De Brabanter, J., Lukas, L., & Vandewalle, J. (2002). Weighted least squares support vector machines: robustness and sparse approximation. *Neurocomputing*, 48(1-4), 85-105. [https://doi.org/10.1016/S0925-2312\(01\)00644-0](https://doi.org/10.1016/S0925-2312(01)00644-0)
 89. Tlili, N., Mejri, H., Anouer, F., Saadaoui, E., Khaldi, A., & Nasri, N. (2015). Phenolic profile and antioxidant activity of *Capparis spinosa* seeds harvested from different wild habitats. *Industrial Crops and Products*, 76, 930-935. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.040>
 90. Tompić, T., Dobša, J., Legen, S., Tompić, N., & Medić, H. (2011). Modeling the growth pattern of in-season and off-season Ross 308 broiler breeder flocks. *Poultry Science*, 90(12), 2879-2887. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-01301>
 91. Topal, M., & Bolukbasi, Ş. C. (2008). Comparison of nonlinear growth curve models in broiler chickens. *Journal of Applied Animal Research*, 34(2), 149-152. <https://doi.org/10.1080/09712119.2008.9706960>
 92. Tzeng, R. Y., & Becker, W. A. (1981). Growth patterns of body and abdominal fat weights in male broiler chickens. *Poultry Science*, 60(6), 1101-1106. <https://doi.org/10.3382/ps.0601101>
 93. Vapnik, V. (2013). The nature of statistical learning theory (2nd Ed.). New York, NY: Springer Science & Business Media.
 94. Vitezica, Z. G., Marie-Etancelin, C., Bernadet, M. D., Fernandez, X., & Robert-Granié, C. (2010). Comparison of nonlinear and spline regression models for describing mule duck growth curves. *Poultry Science*, 89(8), 1778-1784. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00581>
 95. Vapnik, V., Golowich, S. E., & Smola, A. J. (1996). Support vector method for function approximation, regression estimation and signal processing. In M. C. Mozer, M. I. Jordan & T. Petsche (Eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems* (Vol. 9, pp. 281-287). Cambridge, MA: MIT Press.
 96. Wiseman, J., & Lewis, C. E. (1998). Influence of dietary energy and nutrient concentration on the growth of body weight and of carcass components of broiler chickens. *The Journal of Agricultural Science*, 131(3), 361-371. <https://doi.org/10.1017/S0021859698005851>
 97. Yadav, A. S., Gautham Kolluri, G. K., Marappan Gopi, M. G., Kumaragurubaran Karthik, K. K., Malik, Y. S., & Kuldeep Dhama, K. D. (2016). Exploring alternatives to antibiotics as health promoting agents in poultry-a review. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 4(3S), 368-383. <https://doi.org/10.1017/S0021859698005851>
 98. Yakupoglu, Ç. & Atil, H. (2001). Comparison of growth curve models on broilers II. Comparison of models. *Journal of Biological Sciences*, 1(7), 682-684. <https://doi.org/10.3923/jbs.2001.682.684>
 99. Yang, Y., Mekki, D. M., Lv, S. J., Wang, L. Y., Yu, J. H., & Wang, J. Y. (2006). Analysis of fitting growth models in Jinghai mixed-sex yellow chicken. *International Journal of Poultry Science*, 5(6), 517-521. <https://doi.org/10.3923/ijps.2006.517.521>
 100. Yaghobfar, A., Hosseini-Vashan, S.J., Golian, A. Nassiri, M.R. & Raji, R. (2011). Evaluation of turmeric powder in diets-based soybean oil on performance, energy and protein efficiency ratio and immune system of broiler chicks. Researches of the first International Conference, Babylon and Razi Universities, Babylon, Iraq.
 101. Zarei, M., Seyedi, N., Maghsoudi, S., Nejad, M. S., & Sheibani, H. (2021). Green synthesis of Ag nanoparticles on the modified graphene oxide using *Capparis Spinosa* fruit extract for catalytic reduction of organic dyes. *Inorganic Chemistry Communications*, 123, 108327. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2020.108327>
 102. Zuidhof, M. J. (2005). Mathematical characterization of broiler carcass yield dynamics. *Poultry Science*, 84(7), 1108-1122. <https://doi.org/10.1093/ps/84.7.1108>

Research Article

Vol. 17, No.4, 2026, p. 409-425



Comparative Effects of Encapsulated and Free Amino Acids on Growth Performance, Blood Biochemical Parameters, and Antibody Titers against Avian Influenza and Newcastle Disease in Arian Broiler Chickens

Seyed Fatemeh Hosseini Darbarzi¹, Somayeh Farahmand^{1*}, Seyed Abdollah Hosseini²

1- Department of Biology, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran

2- Animal Science Research Institute, Karaj, Alborz, IR

*Corresponding Author's Email: s.farahmand@pnu.ac.ir**How to cite this article:**

Received: 04-02-2025

Revised: 12-08-2025

Accepted: 25-08-2025

Available Online: 03-02-2026

Hosseini Darbarzi, S. F., Farahmand, S., & Hosseini, S. A. (2026). Comparative effects of encapsulated and free amino acids on growth performance, blood biochemical parameters, and antibody titers against avian influenza and Newcastle disease in Arian broiler chickens. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 17(4), 409-425. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.91973.1235>

Introduction: Poultry meat is one of the most widely consumed sources of animal protein worldwide and plays a key role in meeting human dietary protein requirements. The consumption of poultry meat is essential in providing the body with the necessary amino acids and protein for its various functions, particularly in growth and tissue repair. In poultry farming, the growth and development of broiler chickens are significantly influenced by the quality of their diet, especially the availability of essential amino acids such as lysine, methionine, and threonine. These amino acids play vital roles in protein synthesis, enzymatic activity, and overall metabolic functions in chickens. Supplementing poultry diets with amino acids can substantially enhance their growth rate and feed conversion efficiency. However, during passage through the upper gastrointestinal tract, the absorption of free amino acids can be affected by factors such as pH, thereby reducing their bioavailability. Encapsulation involves enclosing amino acids within a protective coating that minimizes their degradation in the acidic gastric environment and facilitates their controlled release and absorption in the intestine. This process significantly enhances the health and performance of broiler chickens by improving their nutrient uptake. In broiler nutrition, encapsulated amino acids have been shown to improve feed quality, optimize nutrient absorption, and increase overall animal health.

Furthermore, encapsulated amino acids are particularly beneficial when high-quality protein sources are limited or expensive, as they improve the gastrointestinal absorption of amino acids, thereby enhancing the quality of the ingested protein. Their use in poultry diets can also improve liver function, enhance enzymatic activity, increase blood protein levels, and support healthy metabolic processes. Additionally, encapsulated amino acids have been associated with reduced metabolic stress and improved immune function in chickens, which are critical factors for overall health, disease resistance, and performance. Considering these benefits, encapsulating amino acids presents a promising strategy for enhancing the efficiency of poultry production systems. Therefore, the present study aimed to evaluate the effects of encapsulated amino acids on growth performance, blood biochemical parameters, liver function, and immune-related indices of broiler chickens, and to compare these effects with those of free amino acids.



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

 <https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.91973.1235>

Materials and Methods: In this study, a total of 1440 Arian broiler chickens were randomly assigned to six dietary group groups: AR (free amino acids), AP (a combination of four encapsulated amino acids), TP (encapsulated threonine), LP (encapsulated lysine), MP (encapsulated methionine), and CP (encapsulated choline chloride). All birds were vaccinated according to a standard vaccination program, which included vaccines for Newcastle disease and avian influenza. After a 42-day feeding trial, blood samples were collected from all groups to measure biochemical parameters such as total protein, glucose, lipid profile, and liver enzyme activities. These parameters were analyzed using an autoanalyzer to assess the effects of the different groups on the health and metabolic functions of the broiler chickens.

Results and Discussion: The results demonstrated that different dietary groups had varying effects on antibody titers, growth indices, biochemical blood parameters, and feed efficiency in broiler chickens. The influenza antibody titer was significantly higher in the TP group compared to other groups ($P<0.05$), suggesting enhanced immunity in this group. In contrast, no significant differences were observed in Newcastle disease antibody titers among the groups ($P>0.05$).

Weight gain did not differ significantly among the TP, CP, LP, and AR groups; however, the MP and AP groups exhibited the lowest weight gain ($P<0.0001$) in some periods, indicating the limited effectiveness of these diets in supporting growth. The reduced growth performance in the AP group was likely due to an imbalanced amino acid composition or reduced bioavailability of certain amino acids. Feed intake was generally similar across groups ($P>0.05$); however, during certain periods, the MP, AP, and LP groups consumed significantly less feed, while the CP group had the highest intake. Regarding feed conversion ratio (FCR), the LP group demonstrated the most efficient feed utilization in most periods ($P<0.05$), whereas the AP group had the highest FCR and the lowest feed efficiency in certain periods. Blood biochemical analyses revealed that the AR group had the highest levels of glucose, triglycerides, cholesterol, and LDL, while these parameters were significantly lower in the TP, CP, and LP groups ($P<0.05$). Additionally, total protein levels were higher in the LP group compared to AR group, and the TP and LP groups exhibited the highest globulin concentrations. Moreover, HDL levels were higher in all groups compared to AR, with the TP group showing the highest values. Overall, the TP and LP groups demonstrated superior performance in terms of blood parameters and immune response. The LP group exhibited better efficiency, whereas the TP group not only improved blood indices but also provided the highest immune response. Conversely, the MP and AP groups, due to reduced weight gain and lower feed efficiency, require reformulation to enhance their nutritional adequacy. These findings highlight the importance of precise dietary formulation to optimize broiler growth performance and health.

Conclusion: Based on the findings of this study, the use of encapsulated amino acids had positive effects on improving nutritional performance, blood parameters, and immune response in broiler chickens. The results indicated that encapsulating amino acids such as lysine and methionine enhanced nutrient utilization, increased absorption and stability of nutrients, and consequently improved feed conversion ratio in broilers. Notably, the LP and TP groups, which benefited from this technology, exhibited the best results in blood parameters, including total protein, triglycerides, cholesterol, and immune response. These findings suggest that amino acid encapsulation can serve as an effective strategy to enhance feed efficiency, broiler health, and productivity under various economic and nutritional conditions. Given these results, further research is warranted to confirm the beneficial effects of these amino acids and to gain a deeper understanding of their mechanisms of action.

Keywords : Feed efficiency, Humoral immunity, Lipid metabolism, Liver enzymes (ALT, AST), Nutrient bioavailability

بررسی مقایسه‌ای اثر اسیدهای آمینه پوشش‌دار و آزاد بر عملکرد رشد و برخی فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون و تیر آنتی‌بادی‌های آنفولانزا و نیوکاسل در جوجه‌های گوشتی آراین

سیده فاطمه حسینی دربرزی^۱، سمیه فرهمند^{۱*}، سیدعبدالله حسینی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۳

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر انکپسوله‌سازی (پوشش‌دار کردن) اسیدهای آمینه بر وضعیت بیوشیمیایی خون شامل آنزیم‌های کبدی (ALT و AST)، پروفایل لیپیدی (LDL، HDL، کلسترول، تری‌گلیسرید) و سایر فراسنجه‌های متابولیک جوجه‌های گوشتی و مقایسه آن‌ها با اسیدهای آمینه آزاد بود. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش تیمار، هشت تکرار و در هر تکرار ۳۰ قطعه جوجه گوشتی آراین (در مجموع ۱۴۴۰ قطعه) به مدت ۴۲ روز انجام شد. تیمارها شامل اسیدهای آمینه آزاد (AR: Free amino acids)، مخلوط سه اسید آمینه (لیزین، ترئونین و متیونین) پوشش‌دار همراه با کولین کلراید پوشش‌دار (AP: All LP: Encapsulated lysine)، ترئونین (TP: Encapsulated threonine)، متیونین (MP: Encapsulated methionine) و کولین کلراید پوشش‌دار (CP: Encapsulated choline chloride) بودند. سپس وزن کشتی و آنالیز بیوشیمیایی خون با اتوانالایزر انجام شد. نتایج نشان داد که در کل دوره رشد، تیمار LP بیشترین ($P < 0.05$) و تیمارهای MP و AP کمترین میزان افزایش وزن را داشتند که این تفاوت‌ها معنی‌دار بودند ($P < 0.001$). تیمار LP بالاترین ضریب تبدیل غذایی را داشت ($P < 0.05$). میزان پروتئین کل در تیمار AR نسبت به تیمار LP به‌طور معنی‌داری کمتر بود ($P < 0.05$). همچنین میزان گلوکز در تیمار AR به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای LP و TP بود ($P < 0.05$). در سطح آلبومین خون، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای AR و LP مشاهده نشد ($P < 0.05$). میزان گلوبولین سرم خون در تیمار TP به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار AR بود ($P < 0.001$). در سطح تری‌گلیسرید، تیمار AR بیشترین مقدار را نسبت به تیمارهای TP و LP داشت ($P < 0.05$). همچنین سطح کلسترول اختلاف معنی‌داری را بین تیمارها نشان نداد ($P > 0.05$). بین تیمارها از نظر میزان آنزیم‌های کبدی آلانین آمینوترانسفراز (ALT) و آسپارات آمینوترانسفراز (AST) تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0.05$). در نهایت، تیمار AR کمترین سطح HDL را نسبت به تیمارهای LP و TP نشان داد ($P < 0.05$)، و تیمارهای TP و CP کمترین مقدار LDL را نسبت به تیمار AR داشتند ($P < 0.002$). این نتایج نشان می‌دهد که اسیدهای آمینه پوشش‌دار ممکن است در بهبود برخی شاخص‌های عملکرد تغذیه‌ای، مشخصه‌های بیوشیمیایی خون و پاسخ ایمنی جوجه‌های گوشتی مؤثر باشند، اما این تأثیرات بسته به شاخص مورد بررسی متفاوت است و نیازمند تحقیقات بیشتری است.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های کبدی (ALT, AST)، ایمنی هومورال، زیست‌فراهمی مواد مغذی، کارایی خوراک، متابولیسم لیپید

مقدمه

پروتئین‌ها نقش مهمی در رشد و توسعه پرنده دارند و استفاده از مکمل‌های اسیدهای آمینه ضروری مانند لیزین، متیونین و ترئونین می‌تواند به‌طور مؤثری عملکرد و رشد جوجه‌های گوشتی را بهبود دهد (Moosavi et al., 2011). با این حال، در سال‌های اخیر، صنعت طیور با چالش‌های جدی مواجه است؛ یکی از این چالش‌ها، افزایش هزینه‌های جیره غذایی به دلیل نوسانات قیمت مواد اولیه، تغییرات اقلیمی و افزایش تقاضا برای پروتئین‌های حیوانی است. این افزایش هزینه‌ها تأثیرات منفی بر تولید و سودآوری مرغداران داشته و می‌تواند به عدم دستیابی به اهداف تولیدی و بهداشتی منجر شود. تأمین

در سال‌های اخیر، گوشت طیور به‌عنوان منبع اصلی پروتئین حیوانی به‌طور گسترده‌ای در تغذیه انسان مورد استفاده قرار گرفته است. هدف اصلی استفاده از گوشت در جیره‌های غذایی، تأمین پروتئین مورد نیاز بدن است (Shekarforosh et al., 2013).

۱- گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- مؤسسه تحقیقات علوم دامی کشور، کرج، البرز، ایران

(*)- نویسنده مسئول: Email: s.farahmand@pnu.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.91973.1235>

آزمایش قرار گرفتند. برای آغاز آزمایش بر روی جوجه‌های گوشتی، کد اخلاق با شناسه 300.1401.REC.PNU.IR از کمیته اخلاق دانشگاه پیام نور دریافت شد.

مشخصات جیره‌های آزمایشی

در طول دوره پرورش، از شش نوع جیره استفاده شد. تیمار ۱: AR (اسیدهای آمینه رایج در بازار)، تیمار ۲: AP (شامل سه اسید آمینه و مکمل پوشش‌دار)، تیمار ۳: TP (فقط ترئونین پوشش‌دار)، تیمار ۴: LP (فقط لیزین پوشش‌دار)، تیمار ۵: MP (فقط متیونین پوشش‌دار)، تیمار ۶: CP (مکمل کولین کلراید پوشش‌دار) بود که از شرکت فارمد تجهیز اکسیر آریا تهیه شدند. خوراک مورد استفاده برای تمامی تیمارها از نظر انرژی، پروتئین، مواد معدنی و سایر مواد مغذی یکنواخت بود (جدول ۱).

شرایط نگهداری و پرورش

جوجه‌های گوشتی بر روی بستر با برنامه نوری ۲۳ ساعت روشنایی در روز به آب و غذا دسترسی آزاد داشتند. جیره‌ها با استفاده از نرم‌افزار جیره‌نویسی (UFFDA, 1992) تهیه شدند. در طول دوره آزمایش، همه گروه‌های آزمایشی از شرایط محیطی یکسانی برخوردار بودند. دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد برای روزهای اول نگهداری جوجه‌های گوشتی تنظیم‌گردید و به تدریج تا ۴۲ روزگی به ۲۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت (Howlader & Rose, 1987). رطوبت محیط به صورت کنترل‌شده و در محدوده ۵۰ تا ۷۰ درصد حفظ شد تا به رشد و سلامت جوجه‌های گوشتی کمک کند. در طول پرورش، از دو نوع دانخوری و آبخوری استفاده شد. در هفته اول پرورش، از آبخوری زنگوله‌ای و سینی‌های دانخوری جوجه یک‌روزه استفاده گردید. پس از آن، از دانخوری‌ها و آبخوری‌های آویز تا پایان دوره استفاده شده و متناسب با افزایش سن جوجه‌های گوشتی، ارتفاع آن‌ها با سطح پشت پرند تنظیم می‌گردید. هر واحد آزمایشی دارای سطل مخصوص به خود بود که جیره‌های آزمایشی در آن قرار داشت.

برنامه واکسیناسیون

جوجه‌های گوشتی مورد آزمایش تحت برنامه واکسیناسیون مشخصی قرار گرفتند و در برابر آنفولانزا، نیوکاسل و گامبورو واکسینه شدند. در این دوره، هیچ برنامه دارویی اجرا نشد. قبل از انجام واکسیناسیون به طریق آشامیدنی، جوجه‌های گوشتی به مدت یک و نیم تا دو ساعت تشنگی داده می‌شدند تا واکسن را سریع و به طور کامل مصرف نمایند.

نیازهای تغذیه‌ای جوجه‌های گوشتی در شرایطی که هزینه‌ها بالا می‌رود، چالشی بزرگ است. طراحی مناسب جیره‌ها با بهینه‌سازی ترکیب مواد مغذی، می‌تواند با افزایش بهره‌وری خوراک، کاهش تلفات و بهبود سلامت و کیفیت لاشه، به کاهش هزینه‌های تولید و بهبود عملکرد پرورشی منجر شود (Sedghi et al., 2018). اسیدهای آمینه آزاد ممکن است به دلیل شرایط گوارشی نامناسب، از دست رفته یا به خوبی جذب نشوند. فناوری پوشش‌دار کردن این امکان را فراهم می‌آورد که مواد غذایی مفید بدون از دست رفتن در فرایندهای گوارشی، به طور مستقیم وارد جریان خون شده و جذب بدن شوند. همچنین این روش امکان افزودن مواد مغذی با طعم‌های ناخوشایند را بدون تأثیر بر طعم غذا فراهم می‌کند (Lollo et al., 2017). استفاده از اسیدهای آمینه پوشش‌دار، روشی مؤثر برای افزایش حفاظت، پایداری و رهایش کنترل‌شده آن‌ها در دستگاه گوارش محسوب می‌شود (Shakoori et al., 2020). فناوری نانوکپسوله‌سازی (پوشش‌دهی در مقیاس نانو) یکی از راه‌حل‌های نوین است که به منظور بهبود قابلیت دسترسی زیستی مواد مغذی و کاهش اتلاف آن‌ها در فرایند گوارش به کار می‌رود (Lollo et al., 2017). پوشش‌دهی در مقیاس نانو اسیدهای آمینه می‌تواند باعث افزایش پایداری آن‌ها در دستگاه گوارش و بهبود جذب در روده شود. این فناوری اجازه می‌دهد که اسیدهای آمینه به طور تدریجی و کنترل‌شده آزاد شوند، که به بهبود عملکرد تولیدی و کاهش هزینه‌های تغذیه کمک می‌کند (Siddiqui et al., 2022).

با توجه به اینکه اسیدهای آمینه پوشش‌دار می‌توانند از تخریب آنزیم‌های گوارشی محافظت شوند، این روش به بهبود جذب و افزایش کارایی جیره غذایی کمک می‌کند. همچنین این روش می‌تواند منجر به کاهش نیاز به پروتئین کلی جیره شده و در نتیجه هزینه‌های تغذیه را کاهش دهد، ضمن اینکه اتلاف نیتروژن در محیط کاهش یافته و سلامت محیط زیست حفظ می‌شود (Shakoori et al., 2020). با توجه به این چالش‌ها و نیاز به راهکارهای نوین در صنعت طیور، پژوهش‌های بیشتری در زمینه مقایسه اثرات اسیدهای آمینه آزاد و پوشش‌دار ضرورت دارد. هدف از این پژوهش، مقایسه تأثیر اسیدهای آمینه پوشش‌دار و آزاد بر فراسنجه‌های خونی و صفات تولیدی جوجه‌های گوشتی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی ۱۴۴۰ جوجه گوشتی سویه آرین انجام شد که به صورت کاملاً تصادفی در قالب هشت تکرار و ۴۸ واحد آزمایشی طراحی گردید. هر تکرار شامل ۳۰ قطعه جوجه بود. در شروع آزمایش، جوجه‌های یک‌روزه توزین شده و از سن یک تا ۴۲ روزگی تحت

جدول ۱- اجزای تشکیل‌دهنده و ترکیب شیمیایی جیره‌های غذایی پایه
Table 1- Ingredients and chemical composition of basae diets

اجزای جیره (در ۱۰۰ کیلو گرم) Ingredients (per 100 kg)	جیره ۰-۲۱ روزگی (گرم در ۱۰۰ کیلوگرم) (0-21 days) Diet (g/100Kg)	جیره ۲۱-۴۲ روزگی (گرم در ۱۰۰ کیلوگرم) (21-42 days) Diet (g/100Kg)
ذرت Corn	3.589	5.642
گندم Wheat	353	303
روغن Oil	16	16
کلسیم کربنات Calcium carbonate	9.6	6.6
دی کلسیم فسفات Dicalcium phosphate	5.20	4.18
متیونین Methionine	3	8.2
ترئونین Threonine	9.0	7.0
لیزین Lysine	-	1.7
مکمل ویتامین غلیظ* Vitamin premix	5.1	5.1
مکمل معدنی غلیظ** Mineral premix	5.1	5.1
کولین کلراید Choline chloride	1	7.0
نمک Salt	5.2	1.2
جوش شیرین Sodium bicarbonate	1.2	5.2
انرژی قابل متابولیسم (کیلو کالری)*** Metabolizable energyAMEn ¹ (kcal)	2904	2996
پروتئین خام (%) (%)Crude protein	34.20	52.18
لیزین قابل هضم (%) (%)Digestible lysine	11.1	1
ترئونین قابل هضم (%) (%)Digestible threonine	743.0	666.0
تریپتوفان قابل هضم (%) (%)Digestible tryptophan	21.0	19.0
متیونین قابل هضم (%) (%)Digestible methionine	56.0	53.0
متیونین + سیستئین قابل هضم (%) (%) cysteine +Digestible methionine	839.0	784.0
آرژنین قابل هضم (%) (%)Digestible arginine	25.1	11.1
والین قابل هضم (%) (%)Digestible valine	839.0	764.0

1- Apparent Metabolizable Energy corrected for Nitrogen

ایزو لوسین قابل هضم (%)	886.0	69.0
Digestible isoleucine (%)		
کلسیم (%)	88.0	8.0
Calcium (%)		
فسفر قابل دسترس (%)	44.0	4.0
Available phosphorus (%)		
سدیم (%)	13.0	165.0
Sodium (%)		
پتاسیم (%)	82.0	74.0
Potassium (%)		
کلر (%)	23.0	21.0
Chloride (%)		
اسید پنتوتنیک یا امگا ۶ (%)	28.1	34.1
6 Pantothenic acid or omega (%)		

* هر کیلوگرم از مکمل ویتامینی دارای ۸۵۰۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین A، ۲۵۰۰۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین D₃، ۱۱۰۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین E، ۲۲۰۰ میلی گرم ویتامین K₃، ۱۴۷۷ میلی گرم ویتامین B₁، ۴۰۰۰ میلی گرم ویتامین B₂، ۷۸۴۰ میلی گرم ویتامین B₃، ۳۴۶۵۰ میلی گرم ویتامین B₅، ۲۴۶۴ میلی گرم ویتامین B₆، ۱۱۰ میلی گرم ویتامین B₉، ۱۰ میلی گرم ویتامین B₁₂، ۴۰۰۰۰۰ میلی گرم مکمل کلین کلراید می باشد.

** هر کیلوگرم از مکمل معدنی دارای ۷۴۴۰۰ میلی گرم منگنز، ۷۵۰۰۰ میلی گرم آهن، ۵۶۴۶۷۵ میلی گرم روی، ۶۰۰۰ میلی گرم مس، ۸۶۷ میلی گرم ید و ۲۰۰ میلی گرم سلنیوم می باشد.

*** AMEn: انرژی متابولیسمی ظاهری تصحیح شده براساس نیتروژن (تصحیح نیتروژن باعث می شود تأثیر دفع نیتروژن بر میزان انرژی اندازه گیری شده اصلاح شود).

* Each kilogram of the vitamin premix contained: 850000 IU vitamin A, 25000000 IU vitamin D₃, 110000 IU vitamin E, 2200 mg vitamin K₃, 1477 mg vitamin B₁, 4000 mg vitamin B₂, 7840 mg vitamin B₃, 34650 mg vitamin B₅, 2464 mg vitamin B₆, 110 mg vitamin B₉, 10 mg vitamin B₁₂, and 400000 mg choline chloride.

** Each kilogram of the mineral premix contained: 74400 mg manganese, 75000 mg iron, 564675 mg zinc, 6000 mg copper, 867 mg iodine, and 200 mg selenium.

*** AMEn: nitrogen-corrected apparent metabolizable energy; nitrogen correction was applied to eliminate the effect of nitrogen excretion on measured energy values.

زنده در همان سن محاسبه گردید. برای اندازه گیری درصد ماندگاری، مقدار خوراک مصرفی و ضریب تبدیل غذایی، تمامی هشت تکرار هر تیمار مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین برای آنالیزهای بیوشیمیایی خون (شامل: پروتئین کل، گلوکز، آلبومین خون، گلوبولین سرم، تری گلیسیرید، ALT، AST، HDL و LDL) در روز ۴۲، از هر تیمار به صورت تصادفی چهار جوجه انتخاب شدند (Liu et al., 2024). خون گیری با استفاده از سرنگ های آغشته به اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) (به منظور جلوگیری از لخته شدن خون)، انجام گردید و تمامی مشخصه ها با استفاده از دستگاه اتوآنالایزر (Mindray BS-200، چین)، اندازه گیری گردید.

محاسبه تلفات و درصد ماندگاری

در طول دوره آزمایشی، تلفات و درصد ماندگاری جوجه های گوشتی به طور روزانه پایش و ثبت شد. تلفات برای هر واحد آزمایشی جمع آوری، شمارش و توزین شده و در چاه تلفات دفع می شدند. این مقادیر برای هر واحد آزمایشی ثبت و در تحلیل های آماری لحاظ گردید. محاسبه درصد تلفات با استفاده از معادله ۱ انجام گرفت.

معادله (۱)

دمای سالن قبل و بعد از واکسیناسیون به میزان یک الی دو درجه سانتی گراد افزایش می یافت تا تأثیرپذیری واکسن افزایش یابد (Santin et al., 2003). پس از هر برنامه واکسیناسیون، آب خالص به مدت هشت ساعت در اختیار جوجه های گوشتی قرار می گرفت.

برنامه واکسیناسیون به شرح زیر انجام شد: سن یک روز: واکسن برونشیت با سویه H120 به صورت محلول پاشی، سن ۷-۱۰ روز: دوگانه نیوکاسل - آنفولانزا با سویه H9N2 Ulster. 2c به صورت قطره چشمی و تزریق زیرجلدی در ناحیه پشت گردن، سن ۱۲ روز: واکسن نیوکاسل با سویه B1 به صورت آشامیدنی، سن ۱۹ روز: واکسن نیوکاسل با سویه Lasota به صورت آشامیدنی، سن ۲۶ روز: واکسن نیوکاسل با سویه Lasota به صورت آشامیدنی. این برنامه واکسیناسیون به منظور جلوگیری از ابتلا به بیماری های ویروسی و حفظ سلامت گله طراحی شده است.

روش های اندازه گیری و جمع آوری داده ها

در پایان هر دوره هفت روزه، وزن کشی گروهی جوجه های گوشتی هر تکرار، دو ساعت پس از قطع دان، با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ± 10 گرم انجام و ثبت شد. متوسط وزن بدن هر جوجه در هر سن با تقسیم مجموع وزن جوجه های هر تکرار بر تعداد جوجه های

براساس فراسنجه‌های خونی (جدول ۷) به تفصیل بیان شده است.

اثر سطوح مختلف اسیدهای آمینه پوشش‌دار بر عملکرد جوجه‌های گوشتی
تأثیر تیمارهای مختلف بر تیترا آنتی‌بادی‌های آنفولانزا و نیوکاسل

مقادیر تیترا آنتی‌بادی‌های نیوکاسل و آنفولانزا (جدول ۲)
نشان‌دهنده سطح آنتی‌بادی‌های موجود در سرم جوجه‌های گوشتی برای هر یک از تیمارهای آزمایشی هستند. نتایج نشان داد که در تیترا آنتی‌بادی آنفولانزا، تفاوت معنی‌داری بین تیمارها وجود داشت ($P < 0.05$) به‌طور خاص، تیمار TP بالاترین تیترا آنتی‌بادی آنفولانزا را نشان داد و نسبت به تیمار AR و سایر تیمارها بیشترین ایمنی را ایجاد کرد. در مقابل، برای تیترا آنتی‌بادی نیوکاسل تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد ($P > 0.05$).

تأثیر تیمارها بر افزایش وزن در دوره‌های مختلف

نتایج نشان داد که در تمامی دوره‌ها، بین تیمارهای CP، TP و LP و AR از نظر افزایش وزن تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0.05$). در مقابل، تیمارهای MP و AP کمترین میزان افزایش وزن را نشان دادند، این اختلاف به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارها بود. به‌طوری‌که در دوره‌های ۷-۱، ۱۴-۷، ۲۱-۱۴، ۲۸-۲۱ و ۳۵-۲۸ روزگی اختلاف معنی‌داری ($P < 0.001$) و در دوره ۳۵-۴۲ روزگی اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) بین MP و AP با سایر تیمارها مشاهده شد (جدول ۳).

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که استفاده از اسیدهای آمینه متیونین و مخلوط سه اسید آمینه همراه کولین کلراید پوشش‌دار (MP و AP) می‌تواند موجب کاهش معنی‌دار رشد در مقایسه با سایر تیمارها شود، درحالی‌که سایر تیمارها الگوی رشد مشابهی داشتند.

مقدار خوراک مصرفی در دوره‌های مختلف

مقدار خوراک مصرفی جوجه‌های گوشتی در دوره‌های مختلف رشد (از روز ۱ تا ۴۲ روزگی) برای هر یک از تیمارهای آزمایشی در جدول ۴ آورده شده است. براساس این داده‌ها، در اغلب دوره‌ها، تفاوت معنی‌داری بین میزان مصرف خوراک در تیمارهای مختلف مشاهده نشد ($P > 0.05$). باین‌حال، در دوره ۲۱-۱۴ روزگی، تیمارهای LP، MP و AP به‌ترتیب با مقادیر ۱۰۰۹/۸، ۹۵۴/۹ و ۹۳۳/۱ گرم کمترین مقدار خوراک مصرفی را در مقایسه با تیمار AR (۱۰۲۷/۲ گرم) نشان دادند. همچنین تیمارهای AP و LP تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشتند ($P < 0.05$).

$$100 \times \frac{\text{تعداد جوجه‌های تلف‌شده در هر واحد آزمایشی}}{\text{تعداد جوجه‌های موجود در ابتدای هر مرحله}} = \text{درصد تلفات}$$

با این معادله، درصد تلفات در هر مرحله از آزمایش محاسبه شد و درصد ماندگاری نیز به‌صورت ۱۰۰ منهای درصد تلفات محاسبه گردید. شاخص تولید در این مطالعه به‌عنوان معیاری برای ارزیابی کارایی تولید در نظر گرفته شد، که به‌طور مستقیم با تعداد جوجه‌های زنده یا وزن کل تولیدی ارتباط دارد. واحد این شاخص، عدد بدون بعد بوده و مقادیر بالاتر آن نشان‌دهنده کارایی بالاتر در استفاده از منابع و تولید بهینه است. شاخص تولید (Production Index, PI) طبق معادله ۲ محاسبه گردید:

معادله (۲)

$$PI = \frac{100 \times \text{درصد ماندگاری} \times \text{میانگین وزن زنده (کیلوگرم)}}{\text{میانگین سن (روز)} \times \text{ضریب تبدیل غذایی}}$$

تحلیل آماری

افزایش وزن هر جوجه در دوره‌های مختلف و کل دوره رشد، با استفاده از مدل آماری طرح کاملاً تصادفی (CRD) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و تحلیل داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. آنالیز آماری برای ضریب تبدیل غذایی، خوراک مصرفی و ماندگاری با استفاده از مدل تصمیم‌گیری TOPSIS و مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در بین واحدهای آزمایشی، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ($P < 0.05$) انجام شد. درصد ماندگاری و تلفات نیز مطابق با معادله‌های ذکرشده محاسبه و تحلیل شدند.

نتایج

در این بخش، نتایج مربوط به اثر تیمارهای مختلف بر مشخصه‌های گوناگون جوجه‌های گوشتی ارائه شده است. ابتدا تأثیر تیمارها بر تیترا آنتی‌بادی‌های آنفولانزا و نیوکاسل (جدول ۲) و سپس تأثیر تیمارها بر افزایش وزن در دوره‌های مختلف، در جدول ۳ (مقایسه اثرات اسیدهای آمینه و مکمل بر وزن بدن در سنین مختلف) شرح داده شد. سپس مقدار خوراک مصرفی در دوره‌های مختلف (جدول ۴)، ضریب تبدیل غذایی جوجه‌های گوشتی در دوره‌های مختلف رشد (جدول ۵)، تأثیر تیمارهای مختلف بر درصد ماندگاری و شاخص تولید (جدول ۶)، ارزیابی ضریب نزدیکی گزینه‌ها به راه ایده‌آل با استفاده از روش ماتریس تصمیم‌گیری (TOPSIS)، و مقایسه بین اسیدهای آمینه و مکمل پوشش‌دار و اسیدهای آمینه آزاد

جدول ۲- تیتراژ آنتی‌بادی‌های نیوکاسل و آنفولانزا (مقادیر برحسب $\log_2$)

Table 2– Antibody titers against Newcastle disease virus (NDV) and avian influenza virus (AIV) (Units: $\log_2$)

تیمار Treatment	نیوکاسل Newcastle	آنفولانزا Influenza
AR ¹	75.6	5 ^{ab} .7
AP ²	75.6	5 ^c .5
TP ³	7	67 ^a .8
LP ⁴	5.7	33 ^b .7
MP ⁵	5.7	75 ^{bc} .6
CP ⁶	75.6	7 ^{abc}
SEM	789.0	709.0
value-P	839.0	019.0

میانگین‌هایی که دارای حروف غیرمشترک هستند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند ($P < 0.05$)

SEM = خطای استاندارد میانگین‌ها

^۱ اسید آمینه های آزاد

^۲ مخلوط سه اسید آمینه (لیزین، ترونین و متیونین) پوشش‌دار همراه با کولین کلراید پوشش‌دار

^۳ اسیدهای آمینه پوشش‌دار ترونین

^۴ اسیدهای آمینه پوشش‌دار لیزین

^۵ اسیدهای آمینه پوشش‌دار متیونین

^۶ کولین کلراید پوشش‌دار

Different letters in each row indicate significant difference between groups ($P < 0.05$).

SEM = Standard Error of Means

¹ Free amino acids

² All three encapsulated amino acids & encapsulated choline chloride

³ Encapsulated threonine

⁴ Only encapsulated lysine

⁵ Only encapsulated methionine

⁶ Encapsulated choline chloride

ضریب تبدیل غذایی جوجه‌های گوشتی در دوره‌های مختلف رشد براساس داده‌های جدول ۵، ضریب تبدیل غذایی (FCR^1) جوجه‌های گوشتی در دوره‌های مختلف رشد تفاوت‌هایی را بین تیمارهای آزمایشی نشان داد. در دوره‌های ۷-۱، ۷-۱۴، ۱۴-۲۱، ۲۱-۳۵ و ۳۵-۴۲ روزگی، تیمار LP کمترین مقدار FCR را داشت که نشان‌دهنده بهترین کارایی تغذیه‌ای در این تیمار است. این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار بود ($P < 0.05$). در مقابل، تیمار AP در دوره‌های ۷-۱۴، ۱۴-۲۱ و ۲۱-۳۵ روزگی بالاترین ضریب تبدیل غذایی را داشت که حاکی از کارایی تغذیه‌ای پایین‌تر در این تیمار است. این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار بود ($P < 0.05$). همچنین در دوره ۳۵-۴۲ روزگی، تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد ($P > 0.05$).

در دوره ۲۸-۳۱ روزگی، تیمارهای MP، AP و LP به‌ترتیب با مقادیر ۱۶۳۶/۴، ۱۶۸۵/۳ و ۱۷۵۹ گرم کمترین میزان خوراک مصرفی را داشتند که این مقادیر نیز نسبت به تیمار AR (۱۷۷۰/۶ گرم) کمتر بود. در همین دوره، تیمار CP با مصرف ۱۸۸۷/۱ گرم خوراک، بیشترین مقدار مصرفی را داشت و تفاوت‌های آماری به‌ویژه بین CP و MP مشخص بود ($P < 0.05$).

به‌طور کلی، در این دو دوره، تیمار CP بیشترین میزان خوراک مصرفی را نشان داد و تیمارهای MP و AP کمترین مقدار خوراک مصرفی را داشتند.

مقدار خوراک مصرفی در هر دوره با تغییرات وزن بدن جوجه‌ها ارتباط نزدیکی دارد. تیمار LP که در اغلب دوره‌ها بیشترین وزن را نشان داد، مصرف خوراک مشابهی با تیمار AR داشت، اما با کارایی بهتری در تبدیل خوراک به وزن بدن، رشد بیشتری را تجربه کرد. در مقابل، تیمارهای AP و MP که در برخی دوره‌ها کمترین میزان خوراک مصرفی را داشتند، رشد کمتری نسبت به تیمارهای دیگر نشان دادند.

جدول ۳- مقایسه اثرات اسیدهای آمینه و مکمل بر وزن بدن در سنین مختلف (مقادیر برحسب گرم)

Table 3- Comparison of the effects of amino acids on body weight at different ages (Units: gram)

تیمار Treatment	۷-۱ روزگی (1-7 days)	۷-۱۴ روزگی (7-14 days)	۱۴-۲۱ روزگی (14-21 days)	۲۱-۲۸ روزگی (21-28 days)	۲۸-۳۵ روزگی (28-35 days)	۳۵-۴۲ روزگی (35-42 days)
AR ¹	7 ^{ab} .149	9 ^a .345	6 ^a .672	1123 ^a	8 ^a .1486	9 ^a .2151
AP ²	4 ^{bc} .142	1 ^b .317	5 ^b .603	2 ^b .1010	4 ^b .1372	4 ^{bc} .2050
TP ³	2 ^a .150	3 ^a .345	3 ^a .673	7 ^a .1121	14942 ^a	9 ^{ab} .2136
LP ⁴	1 ^{ab} .149	1 ^a .356	9 ^a .698	6 ^a .1157	7 ^a .1547	8 ^a .2198
MP ⁵	5 ^c .137	2 ^b .305	1 ^b .593	2 ^b .1019	6 ^b .1391	2 ^c .2035
CP ⁶	7 ^a .151	355 ^a	2 ^a .701	5 ^a .1158	1530 ^a	2149 ^a
SEM	61.2	92.6	18.11	94.18	35.21	22.31
value-P	001.0	0001.0	0001.0	0001.0	0001.0	005.0

میانگین‌هایی که دارای حروف غیرمشترک هستند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند ($P < 0.05$)

SEM = خطای استاندارد میانگین‌ها

^۱ اسید آمینه های آزاد

^۲ مخلوط سه اسید آمینه (لیزین، ترئونین و متیونین) پوشش‌دار همراه با کولین کلراید پوشش‌دار

^۳ اسیدهای آمینه پوشش‌دار ترئونین

^۴ اسیدهای آمینه پوشش‌دار لیزین

^۵ اسیدهای آمینه پوشش‌دار متیونین

^۶ کولین کلراید پوشش‌دار

Different letters in each row indicate significant difference between groups ($P < 0.05$).

SEM = Standard Error of Means

¹ Amino acids reference

² All three encapsulated amino acids & encapsulated choline chloride

³ Encapsulated threonine

⁴ Only encapsulated lysine

⁵ Only encapsulated methionine

⁶ Encapsulated choline chloride

تأثیر تیمارهای مختلف بر درصد ماندگاری و شاخص تولید

جوجه‌های گوشتی

نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که در تیمارهای مختلف، درصد ماندگاری و شاخص تولید به‌طور متفاوتی تغییر کردند. به‌طور خاص، تیمار MP بالاترین درصد ماندگاری را نشان داد، درحالی‌که تیمار AR در شاخص تولید عملکرد بهتری داشت، هرچند که تفاوت‌های مشاهده‌شده در شاخص تولید از نظر آماری معنی‌دار نبودند ($P > 0.05$). همچنین، تیمار LP با درصد ماندگاری ۹۲/۹۲ درصد عملکرد نسبتاً خوبی در حفظ جوجه‌ها داشت، ولی از نظر شاخص تولید، به‌طور معنی‌داری از تیمار AR یا MP پایین‌تر بود ($P < 0.05$). در مورد وزن‌گیری، تیمار LP بیشترین وزن را نشان داد (جدول ۳)، درحالی‌که تیمار MP با وجود درصد ماندگاری بالاتر، در مقایسه با LP از نظر وزن‌گیری عملکرد کمتری داشت. با توجه به این نتایج، می‌توان نتیجه گرفت که درصد ماندگاری و شاخص تولید لزوماً هم‌راستا با یکدیگر نیستند.

ارزیابی ضریب نزدیکی گزینه‌ها به راه ایده‌آل با استفاده از

روش ماتریس تصمیم‌گیری (TOPSIS)

در این مطالعه، از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه TOPSIS برای ارزیابی تیمارهای مختلف استفاده شد. این روش با وزن‌دهی به شاخص‌های کلیدی و تعیین ایده‌آل‌های مثبت و منفی، امکان مقایسه نسبی تیمارها را فراهم کرده است. در نهایت، ضریب نزدیکی (Closeness Coefficient) به‌عنوان یک معیار نسبی برای سنجش میزان مطلوبیت هر تیمار نسبت به سایر تیمارها محاسبه شد. مطابق نتایج، تیمار TP با ضریب نزدیکی ۰/۷۴۳۳ بالاترین نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل مثبت را داشت و در رتبه اول قرار گرفت، درحالی‌که تیمار MP با ضریب ۰/۴۵۸۶ کمترین نزدیکی را نشان داد. ضریب نزدیکی برای تیمارهای دیگر نیز به‌صورت AR برابر با ۰/۶۷۶۲، LP برابر با ۰/۶۹، CP برابر با ۰/۵۴۵۸ و AP برابر با ۰/۰۷۱۷ است. لازم به ذکر است که این روش صرفاً برای تحلیل و مقایسه تیمارها

استفاده شده و انتخاب نهایی تیمار برتر براساس آن انجام نشده است. اهداف مورد نظر نزدیک‌ترند را شناسایی و انتخاب کنند. این نتایج به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا گزینه‌هایی که به

جدول ۴- مقدار خوراک مصرفی در دوره‌های مختلف (مقادیر برحسب گرم)

Table 4- Feed intake in different periods (units: gram)

تیمار Treatment	۷-۱ روزگی (1-7 days)	۷-۱۴ روزگی (7-14 days)	۱۴-۲۱ روزگی (14-21 days)	۲۱-۲۸ روزگی (21-28 days)	۲۸-۳۵ روزگی (28-35 days)	۳۵-۴۲ روزگی (35-42 days)
AR ¹	9.148	2.467	2 ^{ab} .1027	6 ^{bc} .1770	9.2564	8.3752
AP ²	5.150	6.467	1 ^{bc} .933	3 ^{cd} .1685	2567	7.3718
TP ³	9.144	4.465	2 ^{ab} .1031	8 ^{ab} .1798	7.2581	8.3790
LP ⁴	5.142	9.461	8 ^{bc} .1009	1759 ^{bc}	9.2592	9.3819
MP ⁵	3.143	2.450	9 ^a .954	4 ^d .1636	4.2484	1.3636
CP ⁶	9.145	5.487	3 ^a .1085	1 ^a .1887	8.2625	4.3776
SEM	77.13	59.8	87.20	05.34	73.48	1.47
value-P	553.0	114.0	003.0	0001.0	461.0	153.0

میانگین‌هایی که دارای حروف غیرمشترک هستند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند ($P < 0.05$)

SEM = خطای استاندارد میانگین‌ها

^۱ اسید آمینه‌های آزاد

^۲ مخلوط سه اسید آمینه (لیزین، ترئونین و متیونین) پوشش‌دار همراه با کولین کلراید پوشش‌دار

^۳ اسیدهای آمینه پوشش‌دار ترئونین

^۴ اسیدهای آمینه پوشش‌دار لیزین

^۵ اسیدهای آمینه پوشش‌دار متیونین

^۶ کولین کلراید پوشش‌دار

Different letters in each row indicate significant difference between groups ($P < 0.05$).

SEM = Standard Error of Means

¹ Free amino acids

² All Three encapsulated amino acids & encapsulated choline chloride

³ Encapsulated threonine

⁴ Only encapsulated lysine

⁵ Only encapsulated methionine

⁶ Encapsulated choline chloride

LP ($233/75 \pm 19/21$ میلی گرم بر دسی لیتر)، AR ($227/5 \pm 19/21$ میلی گرم بر دسی لیتر) و TP ($193/5 \pm 19/21$ میلی گرم بر دسی لیتر) مقادیر کمتری از گلوکز را نسبت به تیمار AR داشتند ($P < 0.003$). این نتایج نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین تیمار AR و سایر تیمارها از نظر میزان گلوکز است.

آلبومین: تیمار AR با عدد $1/625 \pm 0/121$ گرم بر دسی لیتر و تیمار LP با عدد $1/55 \pm 0/121$ گرم بر دسی لیتر بالاترین میزان آلبومین خون را نشان دادند. نتایج اختلاف معنی‌داری بین تیمار AR و LP نشان نمی‌دهد ($P > 0/05$), درحالی‌که سایر تیمارها مقادیر کمتری از آلبومین را نسبت به تیمار AR و LP نشان دادند و این اختلاف معنی‌دار است ($P < 0/05$).

گلوبولین: تیمار AR با عدد $1/35 \pm 0/302$ گرم بر دسی لیتر

مقایسه بین اسیدهای آمینه و مکمل پوشش‌دار و اسیدهای آمینه

آزاد براساس فراسنجه‌های خونی

براساس داده‌های ارائه‌شده در جدول ۷، می‌توان به تحلیل تأثیر اسیدهای آمینه پوشش‌دار بر فراسنجه‌های خونی جوجه‌های گوشتی پرداخت.

پروتئین کل: تیمار AR با عدد $3 \pm 0/264$ میلی گرم بر دسی لیتر

پایین‌ترین میزان پروتئین کل را نشان داد، درحالی‌که تمام تیمارها مقدار پروتئین کل بیشتری را نسبت به AR نشان دادند. در این بین، تیمار LP با $5 \pm 0/264$ میلی گرم بر دسی لیتر بالاترین سطح را داشت ($P < 0/05$). این نتایج نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین تیمار AR و سایر تیمارها از نظر میزان پروتئین کل است.

گلوکز: تیمار AR با عدد $236 \pm 19/21$ میلی گرم بر دسی لیتر

بالاترین میزان گلوکز را نشان داد، درحالی‌که تیمارهای CP ($19/21$)

دسی لیتر بالاترین میزان را نشان می‌دهد، درحالی‌که تیمارهای TP (۱۸۷/۲۵ ± ۱۶/۷۴) LP، (۱۶۱ ± ۱۶/۷۴) میلی گرم بر دسی لیتر، CP (۲۰۱ ± ۱۶/۷۴) میلی گرم بر دسی لیتر) کمترین مقادیر را نسبت به تیمار AR داشتند. این نتایج نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمار AR و سایر تیمارها از نظر مقدار تری گلیسیرید است ($P < 0.05$).

کمترین مقدار گلوبولین را داشت، درحالی‌که تمام تیمارها مقدار گلوبولین بیشتری را نسبت به AR نشان دادند. همچنین تیمارهای TP با $3/55 \pm 0/302$ گرم بر دسی لیتر و LP با $3/45 \pm 0/302$ گرم بر دسی لیتر بیشترین مقادیر را نشان دادند. این نتایج نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمار AR و سایر تیمارها از نظر مقدار گلوبولین سرم خون است ($P < 0.001$).

تری گلیسیرید: تیمار AR با عدد $16/74 \pm 209/5$ میلی گرم بر

جدول ۵- ضریب تبدیل غذایی

Table 5- Feed conversion ratio

تیمار Treatment	۱-۷ روزگی (1-7 days)	۷-۱۴ روزگی (7-14 days)	۱۴-۲۱ روزگی (14-21 days)	۲۱-۲۸ روزگی (21-28 days)	۲۸-۳۵ روزگی (28-35 days)	۳۵-۴۲ روزگی (35-42 days)
AR ¹	995 ^{ab} .0	35 ^b .1	528 ^{bc} .1	577 ^{ab} .1	726 ^{bc} .1	754.1
AP ²	057 ^a .1	476 ^a .1	649 ^a .1	669 ^a .1	869 ^a .1	815.1
TP ³	966 ^b .0	439 ^b .1	533 ^{bc} .1	605 ^{ab} .1	729 ^{bc} .1	775.1
LP ⁴	956 ^b .0	299 ^b .1	446 ^c .1	521 ^b .1	676 ^c .1	738.1
MP ⁵	046 ^b .1	48 ^a .1	594 ^{ab} .1	609 ^{ab} .1	788 ^b .1	791.1
CP ⁶	691 ^b .0	375 ^b .1	548 ^b .1	628 ^a .1	715 ^{bc} .1	758.1
SEM	023.0	026.0	0191.0	0298.0	0256.0	0238.0
value-P	014.0	0001.0	002.0	045.0	0001.0	308.0

میانگین‌هایی که دارای حروف غیرمشترک هستند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند ($P < 0.05$)

SEM = خطای استاندارد میانگین‌ها

^۱ اسید آمینه های آزاد

^۲ مخلوط سه اسید آمینه (لیزین، ترئونین و متیونین) پوشش‌دار همراه با کولین کلراید پوشش‌دار

^۳ اسیدهای آمینه پوشش‌دار ترئونین

^۴ اسیدهای آمینه پوشش‌دار لیزین

^۵ اسیدهای آمینه پوشش‌دار متیونین

^۶ کولین کلراید پوشش‌دار

Different letters in each row indicate significant difference between groups ($P < 0.05$).

SEM = Standard Error of Means

¹ Free amino acids

² All Three encapsulated amino acids & Encapsulated choline chloride

³ Encapsulated threonine

⁴ Only encapsulated lysine

⁵ Only encapsulated methionine

⁶ Encapsulated choline chloride

AST در بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$)
(جدول ۷).

HDL و LDL: تیمار AR کمترین مقدار HDL را ($9/11 \pm 54/5$ میلی گرم بر دسی لیتر) در مقایسه با تیمار LP ($73/5 \pm 9/11$ میلی گرم بر دسی لیتر) نشان داد. لازم به ذکر است که تمام تیمارها مقدار HDL بیشتری را نسبت به AR نشان دادند، اما این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). همچنین تیمارهای TP

کلسترول: تیمارهای TP ($131/5 \pm 1/98$ میلی گرم بر دسی لیتر) و CP ($134/5 \pm 1/98$ میلی گرم بر دسی لیتر)، هر دو نشان‌دهنده سطوح کمتری از کلسترول نسبت به تیمار AR ($1/98 \pm 138/25$ میلی گرم بر دسی لیتر) بودند. نتایج اختلاف معنی‌داری را در سطح کلسترول بین تیمارهای AR، TP و CP نشان نمی‌دهد ($P > 0.05$).

ALT و AST: نتایج نشان داد که سطح آنزیم‌های ALT و

نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمار AR و سایر تیمارها از نظر مقدار LDL است ($P < 0.002$).
 میلی گرم بر دسی لیتر) کمترین مقدار LDL را در مقایسه با تیمار AR ($67/75 \pm 14/05$ میلی گرم بر دسی لیتر) و CP ($79/25 \pm 14/05$ میلی گرم بر دسی لیتر) نشان دادند. این نتایج

جدول ۶- درصد ماندگاری و شاخص تولید

Table 6- Survival rate percentage and production index

تیمار Treatment	درصد ماندگاری (%) Survival rate	شاخص تولید Production index
AR ¹	95 ^{ab}	64.24
AP ²	71 ^{ab} .95	16.21
TP ³	75 ^b .93	77.21
LP ⁴	92 ^b .92	47.22
MP ⁵	33 ^a .98	64.23
CP ⁶	33 ^b .93	47.21
SEM	273.1	57.7
value-P	053.0	43.0

میانگین‌هایی که دارای حروف غیرمشترک هستند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند ($P < 0.05$)
 SEM = خطای استاندارد میانگین‌ها

^۱ اسید آمینه های آزاد

^۲ مخلوط سه اسید آمینه (لیزین، ترئونین و متیونین) پوشش دار همراه با کولین کلراید پوشش دار

^۳ اسیدهای آمینه پوشش دار ترئونین

^۴ اسیدهای آمینه پوشش دار لیزین

^۵ اسیدهای آمینه پوشش دار متیونین

^۶ کولین کلراید پوشش دار

Different letters in each row indicate significant difference between groups ($P < 0.05$).

SEM = Standard Error of Means

¹ Free amino acids

² All Three encapsulated amino acids & Encapsulated choline chloride

³ Encapsulated threonine

⁴ Only encapsulated lysine

⁵ Only encapsulated methionine

⁶ Encapsulated choline chloride.

تیمارهای TP و LP عملکرد بهتری در بهبود فراسنجه‌های خونی فوق نسبت به تیمار AR نشان دادند.

بحث

بهبود شاخص‌های تولیدی در جوجه‌های گوشتی یکی از اهداف اساسی صنعت پرورش طیور است. با افزایش تقاضا برای تولید پروتئین و ضرورت ارتقای بهره‌وری در این حوزه، استفاده از راهکارهای تغذیه‌ای مؤثر، اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. در این راستا، فرمول‌بندی جیره‌های غذایی براساس نیازهای فیزیولوژیکی طیور، نقش مهمی در بهینه‌سازی رشد، تنظیم فراسنجه‌های خونی و بهبود کیفیت گوشت ایفا می‌کند (Noruzi & Hassanabadi, 2022).

براساس داده‌های جدول ۷، در مجموع مقدار گلوکز، تری‌گلیسرید، کلسترول و LDL در تیمار AR بیشتر از سایر تیمارها بود، به‌طوری‌که مقدار گلوکز و تری‌گلیسرید در تیمارهای LP، CP و TP کمتر از تیمار AR بود. همچنین مقدار کلسترول و LDL در تیمارهای CP و TP کمتر از تیمار AR مشاهده شد که نشان‌دهنده اثرات مثبت بر این فراسنجه‌ها است.

از سوی دیگر، مقدار پروتئین کل در تیمار LP بیشتر از تیمار AR بود. در مورد گلوبولین، تیمارهای LP و TP مقادیر بالاتری نسبت به تیمار AR داشتند. همچنین سطح HDL در تمامی تیمارها، به‌ویژه در تیمار TP، بیشتر از تیمار AR بود. این نتایج نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین تیمار AR و سایر تیمارها در برخی از فراسنجه‌های خونی شامل پروتئین کل، گلوکز، گلوبولین، تری‌گلیسرید و LDL ($P < 0.05$) بود، درحالی‌که در مشخصه‌هایی مانند ALT، AST، کلسترول و HDL اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. به‌طور کلی،

جدول ۷- مقایسه بین اسید آمینه‌ها و مکمل پوشش‌دار و آزاد بر فراست‌های خونی
Table 7- Comparison between encapsulated amino acids and free amino acids on blood parameters by treatment

تیمار Treatment	پروتئین کل (میلی گرم بر دسی لیتر) Total protein dl)/(mg	گلوکز (میلی گرم بر دسی لیتر) Glucose (mg dl)/(mg	آلبومین (گرم بر دسی لیتر) Albumin dl)/(g	گلوبولین (گرم بر دسی لیتر) Globulin dl)/(g	تری گلیسرید (میلی گرم بر دسی لیتر) Triglycerides dl)/(mg	کلسترول (میلی گرم بر دسی لیتر) Cholesterol dl)/(mg	آنزیم آلانین آمینوترانسفراز (میلی گرم بر دسی لیتر) ALT ⁷ (mg dl)/(mg AST ⁸	لیپوپروتئین با چگالی بالا (میلی گرم بر دسی لیتر) HDL ⁹ (mg dl)	لیپوپروتئین با چگالی کم (میلی گرم بر دسی لیتر) LDL ¹⁰ (mg dl)
AR ¹	3 ^d	236 ^{abc}	625 ^{a,1}	35 ^{d,1}	5 ^{ab} 209	25 ^c 138	25.25	5.54	75 ^b 83
AP ²	5 ^{b,4}	75 ^a 277	275 ^{b,1}	22 ^{ab,3}	25 ^a 231	5 ^{ab} 180	75.29	25.55	2 ^a 125
TP ³	75 ^{c,3}	5 ^c 193	2 ^{b,1}	55 ^{c,3}	161 ^c	5 ^c 131	7.27	75.66	75 ^b 67
LP ⁴	5 ^a	5 ^c 227	55 ^{a,1}	45 ^{c,3}	25 ^{ab} 187	5 ^a 197	5.22	5.73	25 ^b 124
MP ⁵	4 ^{bc}	75 ^{ab} 275	25 ^{b,1}	75 ^{bc,2}	75 ^a 226	1566 ^c	75.25	25.62	75 ^b 93
CP ⁶	75 ^{c,3}	75 ^{bc} 233	225 ^{b,1}	53 ^{c,2}	201 ^{bc}	25 ^c 134	35	55	25 ^b 79
SEM	264.0	21.19	121.0	302.0	74.16	98.1	02.4	11.9	05.14
value-P	0001.0	003.0	005.0	001.0	005.0	0001.0	08.0	25.0	002.0

میانگین‌هایی که دارای حروف غیر مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند (P < 0.05)

SEM = خطای استاندارد میانگین‌ها

¹ اسید آمینه‌های آزاد

² مخلوط سه اسید آمینه (الیزین، ترئونین و متیونین) پوشش‌دار همراه با کولین کلراید پوشش‌دار

³ اسیدهای آمینه پوشش‌دار ترئونین

⁴ اسیدهای آمینه پوشش‌دار الیزین

⁵ اسیدهای آمینه پوشش‌دار متیونین

⁶ کولین کلراید پوشش‌دار

⁷ آلانین آمینوترانسفراز

⁸ اسپارتات آمینوترانسفراز

⁹ لیپوپروتئین با چگالی بالا

¹⁰ لیپوپروتئین با چگالی پایین

Different letters in each row indicate significant difference between groups (P<0.05).

SEM = Standard Error of Means

¹ Free amino acids

² All Three encapsulated amino acids & encapsulated choline chloride

³ Encapsulated threonine

⁴ Only encapsulated lysine

⁵ Only encapsulated methionine

⁶ Encapsulated choline chloride

⁷ Alanine Aminotransferase

⁸ Aspartate Aminotransferase

⁹ High density lipoprotein

¹⁰ Low density lipoprotein

در تأمین نیازهای اسیدآمینه‌ای و پایداری پاسخ‌های فیزیولوژیکی جوجه‌ها در برابر تغییرات جیره باشد (Wu, 2013).

در مقابل، تیمارهای MP و AP با کاهش معنی‌دار در افزایش وزن همراه بودند که احتمالاً ناشی از عدم کفایت تأمین اسیدهای آمینه محدودکننده به‌ویژه لیزین و متیونین در این جیره‌ها بوده است. در تیمار AP، از ترکیبی از اسیدهای آمینه پوشش‌دار با نسبت‌های مساوی استفاده شد. این رویکرد ممکن است به دلیل عدم تعادل نسبی یا سطح ناکافی برخی اسیدهای آمینه ضروری، کارایی لازم را نداشته باشد. علاوه بر این، آزادسازی تدریجی اسیدهای آمینه ناشی از پوشش‌دهی احتمالاً نتوانسته نیازهای فوری رشد را به‌طور کامل تأمین کند.

کاهش بیش از حد سطح تأمین لیزین و DL-متیونین پوشش‌دار، به‌ویژه در دوره آغازین، می‌تواند ظرفیت رشد جوجه‌ها را محدود کرده و باعث کاهش معنی‌دار وزن بدن و وزن عضله سینه شود. اگرچه استفاده از اسیدهای آمینه پوشش‌دار پتانسیل بهبود کارایی مصرف و تعادل اسیدهای آمینه را دارد، اما زمانی که میزان تأمین آن‌ها به کمتر از حد نیاز می‌رسد، رشد تحت تأثیر منفی قرار می‌گیرد. گزارش شده است که کاهش سطح این اسیدهای آمینه تا ۸۰ درصد سطح شاهد بدون اثر منفی بوده، اما کاهش بیشتر به ۶۰ درصد باعث افت معنی‌دار عملکرد رشد شده است (Sun et al., 2020).

یافته‌ها نشان می‌دهد که در برخی از دوره‌های رشد جوجه‌ها، ارتباط معناداری بین ضریب تبدیل غذایی و میزان مصرف خوراک وجود دارد. به‌طور کلی، مصرف کمتر خوراک در برخی دوره‌ها با ضریب تبدیل غذایی بهتری همراه بود که نشان‌دهنده استفاده بهینه‌تر از منابع غذایی برای رشد است. در این میان، تیمارهایی که ضریب تبدیل غذایی کمتری نشان دادند، مانند LP، ممکن است به دلیل مصرف متعادل‌تر خوراک، عملکرد بهتری در استفاده از منابع غذایی داشته باشند. در مقابل، تیمارهایی که ضریب تبدیل غذایی بالاتری داشتند، مانند AP، نشان‌دهنده کاهش کارایی در تبدیل خوراک به رشد بودند، که این امر ممکن است به دلیل عدم تعادل در ترکیب مواد مغذی یا مصرف بیش از حد خوراک باشد. این نتایج به‌طور کلی بر اهمیت تنظیم دقیق جیره و مدیریت مصرف خوراک در دستیابی به عملکرد بهینه و بهبود بهره‌وری در پرورش طیور تأکید دارند. تأثیر مثبت اسیدهای آمینه‌ی لیزین بر رشد و کارایی تغذیه‌ای طیور قبلاً گزارش شده است (Nasr & Kheiri, 2011; Sun et al., 2020). همچنین اثر اسیدآمینه‌های لیزین و ترئونین، روی قابلیت هضم روده‌ای جوجه‌های گوشتی بررسی و نشان داده شده است که قابلیت هضم این اسیدهای آمینه تأثیر مستقیمی بر ضریب تبدیل غذایی دارد. از بین این اسیدآمینه‌ها، لیزین به‌عنوان یکی از مؤثرترین اسیدهای

عوامل محیطی مانند اکسیژن، آب، pH و برهم‌کنش با سایر مواد می‌توانند بر پایداری ترکیبات فعال تأثیر بگذارند. به‌ویژه در مورد افزودنی‌های خوراکی در تغذیه طیور، این عوامل ممکن است موجب کاهش کارایی و اثربخشی ترکیبات مغذی شوند. مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از پوشش‌دار کردن افزودنی‌های خوراکی می‌تواند به بهبود کارایی و پایداری این ترکیبات در تغذیه دام و طیور کمک کند (Contreras-López et al., 2024). همچنین استفاده از اسیدآمینه‌های پوشش‌دار شده، به‌عنوان یکی از فناوری‌های نوین تغذیه‌ای، می‌تواند از طریق بهبود جذب و بهینه‌سازی متابولیسم، تأثیر مثبتی بر عملکرد رشد و کارایی تبدیل غذایی داشته باشد. این رویکرد می‌تواند به ارتقای سلامت و بهره‌وری در پرورش طیور کمک کند (Noruzi & Hassanabadi, 2022). این فرآیند به ارائه رهایش کنترل‌شده، کاهش چسبندگی در حین ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل، و جلوگیری از تغییرات در خواص فیزیوشیمیایی مواد کمک می‌کند. استفاده از این تکنولوژی به بهبود کارایی جذب اسیدهای آمینه و دیگر افزودنی‌های خوراکی در طول دستگاه گوارش طیور منجر می‌شود و در نتیجه، تأثیر مثبتی بر رشد و بهره‌وری آن‌ها خواهد داشت (Contreras-López et al., 2024).

این پژوهش به بررسی تأثیر استفاده از اسیدهای آمینه و مکمل پوشش‌دار بر عملکرد تغذیه‌ای و سلامت جوجه‌های گوشتی می‌پردازد، تا بتوان به بهبود عملکرد رشد و توسعه این حیوانات در شرایط اقتصادی و تغذیه‌ای متنوع دست یافت.

طبق نتایج مطالعه حاضر، تیمار TP (۸/۶۷) بیشترین تیترا آنتی‌بادی آنفولانزا را نشان داد. تیترا آنتی‌بادی نیوکاسل برای تیمارهای LP و MP نسبت به AR بیشتر بود، اما تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. این تفاوت در تیترا آنتی‌بادی آنفولانزا ممکن است به ترکیب جیره‌ها و تأثیر آن‌ها بر سیستم‌ایمنی جوجه‌های گوشتی مرتبط باشد، درحالی‌که جیره‌های مختلف تأثیر قابل‌توجهی بر تیترا آنتی‌بادی نیوکاسل نداشتند. ترئونین باعث بهبود تیترا آنتی‌بادی علیه SRBC (گلوبول‌های قرمز خون گوسفند) به‌عنوان یک آنتی‌ژن مدل در مطالعات ایمنی‌شناسی می‌شود (Saadatmand et al., 2019). پوشش‌دار کردن می‌تواند جذب و پایداری اسیدهای آمینه را افزایش دهد و احتمالاً به بهبود پاسخ‌های ایمنی منجر شود (Sun et al., 2020). لذا اسیدهای آمینه لیزین و متیونین که به‌طور مستقیم در ساخت پروتئین‌های ایمنی شرکت می‌کنند، می‌توانند با زیست‌فراهمی بهتر پس از پوشش‌دار شدن، بر تولید آنتی‌بادی‌ها اثر بگذارند (Wang et al., 2009). نتایج این مطالعات با مطالعه حاضر مطابقت دارد.

نتایج این مطالعه نشان داد که تیمارهای TP، CP، LP و AR در تمام دوره‌ها الگوی رشد نسبتاً ثابتی داشتند و تفاوت معنی‌داری در افزایش وزن آن‌ها مشاهده نشد. این امر می‌تواند بیانگر کفایت جیره‌ها

LDL و همچنین افزایش HDL و اسید اوریک خون جوجه‌های گوشتی در اثر مصرف بیشتر ترئونین گزارش شده است. در واقع، بهبود پروفایل لیپیدی سرم در اثر مصرف ترئونین در این تحقیق گزارش شده است (Sigolo et al., 2017). نتایج تحقیق حاضر با نتایج این مطالعات مطابقت دارد. در مقایسه با مطالعات انجام‌شده که تأثیرات مشابهی را در مصرف اسیدهای آمینه آزاد گزارش کردند، تحقیق حاضر نشان می‌دهد که استفاده از اسیدهای آمینه و مکمل پوشش‌دار می‌تواند نتایج بهتری را به‌ویژه در بهبود پروفایل لیپیدی و سلامت کلی جوجه‌ها به ارمغان آورد.

نتیجه‌گیری کلی

مطالعه حاضر نشان داد که استفاده از اسیدهای آمینه آزاد و پوشش‌دار اثرات متفاوتی بر شاخص‌های رشد، سلامت ایمنی، مشخصه‌های خونی، مصرف خوراک، ضریب تبدیل غذایی، درصد ماندگاری و شاخص تولید جوجه‌های گوشتی دارد. تیمارهای LP و TP حاوی اسیدهای آمینه پوشش‌دار بودند، در وزن بدن، ضریب تبدیل غذایی و برخی مشخصه‌های خونی از جمله پروتئین کل، HDL و گلوبولین نسبت به تیمار AR و سایر تیمارها عملکرد بهتری از خود نشان دادند. همچنین در تیتراژ آنتی‌بادی‌ها، به‌ویژه علیه آنفولانزا، تیمار TP نسبت به AR برتری داشت، هرچند تفاوتی در تیتراژ آنتی‌بادی نیوکاسل مشاهده نشد. تیمار MP بیشترین درصد ماندگاری را داشت، اما این افزایش بقاء با شاخص تولید یا عملکرد تغذیه‌ای همراه نبود و ضریب تبدیل غذایی آن در مقایسه با تیمارهای LP و TP عملکرد پایین‌تری داشت. از سوی دیگر، تیمار AR شاخص تولید عددی بالاتری داشت، اما در برخی شاخص‌های متابولیکی مانند تری‌گلیسیرید و کلسترول سطوح بالاتری را نشان داد که ممکن است نشان‌دهنده تنش متابولیکی باشد. با توجه به نتایج کلی، استفاده از اسیدهای آمینه پوشش‌دار، به‌ویژه در قالب تیمارهای LP و TP، تعادل مناسبی بین رشد، سلامت ایمنی و بهره‌وری تولید ایجاد می‌کند. این یافته‌ها اهمیت ارزیابی جامع چندجانبه شاخص‌های عملکرد و سلامت را در برنامه‌های تغذیه‌ای جوجه‌های گوشتی تأکید کرده و استفاده از این اسیدهای آمینه را به‌عنوان راهبرد مؤثر در بهبود کیفیت و بهره‌وری پرورش تأیید می‌کند.

آمینو شناخته شده است (Ravindran et al., 2017). پوشش‌دار کردن اسیدهای آمینه می‌تواند به بهبود کارایی تغذیه‌ای و افزایش وزن جوجه‌های گوشتی منجر شود (Collins, 2021). این مشاهدات با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد، زیرا پوشش‌دار کردن اسیدهای آمینه باعث بهبود استفاده از مواد مغذی و در نتیجه بهبود ضریب تبدیل غذایی شده است.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که ترکیب‌های مختلف تغذیه‌ای تأثیر متفاوتی بر درصد ماندگاری و شاخص تولید جوجه‌های گوشتی داشتند. تیمار MP توانست درصد ماندگاری بالایی حفظ کند، اما این امر به بهبود شاخص تولید یا افزایش وزن معادل منجر نشد و تفاوت شاخص تولید بین تیمارها از نظر آماری معنی‌دار نبود. در مقابل، تیمار AR به‌لحاظ عددی شاخص تولید بهتری نشان داد، هرچند تفاوت آماری نداشت. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که ماندگاری بالا لزوماً به معنای رشد بهتر یا بهره‌وری بالاتر نیست و هرکدام باید به‌صورت مستقل ارزیابی شوند.

بررسی‌های میدانی و اقتصادی نشان می‌دهد که شاخص‌های تولید و بهره‌وری اقتصادی جوجه‌های گوشتی تحت تأثیر عوامل مختلف تغذیه‌ای و مدیریتی قرار دارد و افزایش ماندگاری لزوماً با افزایش شاخص تولید هم‌راستا نیست. این موضوع اهمیت ارزیابی جامع و چندجانبه شاخص‌های تولید را در بهینه‌سازی برنامه‌های تغذیه‌ای گوشتی برجسته می‌کند (Adaszynska-Skwirzynska et al., 2025).

نتایج نشان داد که تیمارهای LP و TP باعث افزایش معنی‌دار سطح پروتئین کل، گلوبولین و HDL شدند که نشان‌دهنده بهبود وضعیت ایمنی و سلامت عمومی پرندگان است. در مقابل، تیمار AR با مقادیر پایین‌تر این مشخصه‌ها، عملکرد ضعیف‌تری در بهبود این فراسنجه‌ها داشت. همچنین سطح تری‌گلیسیرید در تیمار AR کمتر از MP بود؛ اما نسبت به LP و TP در حد متوسط قرار داشت. به‌طور کلی، استفاده از اسیدهای آمینه پوشش‌دار در تیمارهای LP و TP توانسته است که تأثیر مثبتی بر مشخصه‌های خونی و سلامت جوجه‌ها داشته باشد و نسبت به اسیدآمینه‌های آزاد در تیمار AR برتری نشان دهد.

در مطالعه‌ای نتایج نشان داد که افزایش میزان متیونین منجر به افزایش غلظت HDL سرم خون جوجه‌های گوشتی می‌شود (Sigolo et al., 2019). در ضمن کاهش غلظت تری‌گلیسیرید، کلسترول و

References

- Adaszynska-Skwirzynska, M., Konieczka, P., Buclaw, M., Majewska, D., Pietruszka, A., Zych, S., & Szczerbinska, D. (2025). Analysis of the production and economic indicators of broiler chicken rearing in 2020–2023. A case study of a Polish farm. *Agriculture*, 15(1), 139. <https://doi.org/10.3390/agriculture15020139>.
- Collins, E. A. (2021). Influence of encapsulation of supplemental amino acids on their utilization in broilers.

- (Undergraduate honors thesis). University of Arkansas, Fayetteville, AR, USA. Retrieved from <https://scholarworks.uark.edu/poscuh>.
3. Contreras-López, G., Carrillo-López, L. M., Vargas-Bello-Pérez, E., & García-Galicia, I. A. (2024). Microencapsulation of feed additives with potential in livestock and poultry production: A systematic review. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 40(1), 229-249. <https://doi.org/10.29393/CHJAAS40-21>
 4. Howlider, M., & Rose, S. (1987). Temperature and the growth of broilers. *World's Poultry Science Journal*, 43(3), 228-237. <https://doi.org/doi.org/10.1079/WPS19870015>.
 5. Liu, H., Xu, K., Wang, H., Lin, H., Yang, X., Wang, X., Zhao, J., Ma, B., Shu, Q., & Lu, Y. (2024). Effects of different forms of amino acid supplementation on the performance and intestinal barrier function of laying hens fed a low-protein diet. *Poultry Science*, 103(12), 104375. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104375>
 6. Lollo, G., Gonzalez-Paredes, A., Garcia-Fuentes, M., Calvo, P., Torres, D., & Alonso, M. J. (2017). Polyarginine nanocapsules as a potential oral peptide delivery carrier. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 106(2), 611-618. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2016.09.029>.
 7. Moosavi, M., Eslami, M., Chaji, M., & Boujarpour, M. (2011). Economic value of diets with different levels of energy and protein with constant ratio on broiler chickens. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 10(6), 709-711. <http://docsdrive.com/pdfs/medwelljournals/javaa/2011/709-711.pdf>.
 8. Nasr, J., & Kheiri, F. (2011). Effect of different lysine levels on Arian broiler performances. *Italian Journal of Animal Science*, 10(3), 170-175. <https://doi.org/10.4081/ijas.2011.e32>.
 9. Noruzi, H., & Hassanabadi, A. (2022). Effect of different levels of dietary calcium butyrate and butyric acid glyceride on growth performance, carcass traits and small intestine morphology of male broiler chickens. *Journal of Animal Science*, 32(4), 1-13. <https://doi.org/10.22034/AS.2022.19201.1362>
 10. Ravindran, V., Adeola, O., Rodehutsord, M., Kluth, H., Van der Klis, J., Van Eerden, E., & Helmbrecht, A. (2017). Determination of ileal digestibility of amino acids in raw materials for broiler chickens—results of collaborative studies and assay recommendations. *Animal Feed Science and Technology*, 225, 62-72. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.01.006>.
 11. Saadatmand, N., Toghyani, M., & Gheisari, A. (2019). Effects of dietary fiber and threonine on performance, intestinal morphology and immune responses in broiler chickens. *Animal Nutrition*, 5(3), 248-255. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.06.001>.
 12. Santin, E., Maiorka, A., Polveiro, W., Paulillo, A., Laurentiz, A., Borges, S., & da Silva, A. F. (2003). Effect of environmental temperature on immune response of broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 12(3), 247-25. <https://doi.org/10.1093/japr/12.3.247>.
 13. Sedghi, M., Tayebipour, A., Poursina, B., & Soleimain, P. (2018). Economic performance of diets formulated with different levels of energy and digestible amino acids in broiler chickens. *Animal Science Research*, 28(1), 1-12. https://animalscience.tabrizu.ac.ir/article_7554_f1040e6d48966b7d4dba573f5c4f186d.pdf.
 14. Shakoori, M., Rezaei, M., Chashnidel, Y., Safari, R., & Gholipour, H. (2020). Effect of microencapsulated and non-encapsulated of spirulina (*Spirulina platensis*) algae powder on the antioxidant enzymes activity and nutrient digestibility of broiler chicks (Ross 308). *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 29(2), 139-146. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/isfj.2020.121802>.
 15. Shekarforosh, S., Kiaei, S. M. M., & Karim, G. (2013). Review of studies conducted on food contamination from animal sources by pathogenic bacteria in Iran :Part four chicken and eggs. *Food Hygiene. Journal of Food Science and Nutrition*, 3(1), 45-64. (In Persian). <https://www.sid.ir/paper/223016/fa>.
 16. Siddiqui, S. A., Bahmid, N. A., Taha, A., Abdel-Moneim, A. M. E., Shehata, A. M., Tan, C., Kharazmi, M. S., Li, Y., Assadpou, E., Castro-Muñoz, R., & Jafari, S. M. (2022). Bioactive-loaded nanodelivery systems for the feed and drugs of livestock; purposes, techniques and applications. *Advances in Colloid and Interface Science*, 308, 102772. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.cis.2022.102772>.
 17. Sigolo, S., Deldar, E., Seidavi, A., Bouyeh, M., Gallo, A., & Prandini, A. (2019). Effects of dietary surpluses of methionine and lysine on growth performance, blood serum parameters, immune responses, and carcass traits of broilers. *Journal of Applied Animal Research*. 47(1), 146-153. <https://doi.org/10.1080/09712119.2019.1583571>.

18. Sigolo, S., Zohrabi, Z., Gallo, A., Seidavi, A., & Prandini, A. (2017). Effect of a low crude protein diet supplemented with different levels of threonine on growth performance, carcass traits, blood parameters, and immune responses of growing broilers. *Poultry Science*, 96(8), 2751-2760. <https://doi.org/10.3382/ps/pex086>.
19. Sun, M., Jiao, H., Wang, X., Uyanga, V. A., Zhao, J., & Lin, H. (2020). Encapsulated crystalline lysine and DL-methionine have higher efficiency than the crystalline form in broilers. *Poultry Science*, 99(12), 6914-6924. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.023>.
20. Wang, W., Qiao, S., & Li, D. (2009). Amino acids and gut function. *Amino Acids*, 37, 105-110. <https://doi.org/10.1007/s00726-008-0152-4>.
21. Wu, G. (2013). Functional amino acids in nutrition and health. *Amino Acids*, 45(3), 407-411. <https://doi.org/10.1007/s00726-013-1500-6>.

Research Article

Vol. 17, No.4, 2026, p. 427-446



Effect of Nano-Encapsulated *Trachyspermum ammi* Essential Oil on Performance and Blood Biochemical Parameters of Broiler Chickens Fed Wheat Based Diets

Shokoufe Ghazanfari^{1*}, Cyrus Akbari Shadbad¹, Amir Meimandipour², Seyed Abdollah Hosseini³, Shirin Honarbakhsh¹

1- Department of Livestock and Poultry Sciences, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University of Tehran, Pakdasht, Iran

2- Department of Animal Biotechnology, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology, Tehran, Iran

3- Department of Animal and Poultry Nutrition Research, Animal Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

*Corresponding Author's Email: shghazanfari@ut.ac.ir

How to cite this article:

Received: 27-07-2025
Revised: 28-10-2025
Accepted: 04-11-2025
Available Online: 03-02-2026

Ghazanfari, S., Akbari Shadbad, C., Meimandipour, A., Hosseini, S. A., & Honarbakhsh, S. (2026). Effect of nano-encapsulated *Trachyspermum ammi* essential oil on performance and blood biochemical parameters of broiler chickens fed wheat based diets. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 17(4), 427-446. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/ijasr.2025.94628.1261>

Introduction: Compared to corn, wheat offers less energy but provides more nutrients. Non-starch polysaccharides in wheat can be challenging for broiler chickens to digest. These complex carbohydrates can increase the viscosity of the intestinal contents, slowing down the digestive process and nutrient absorption. This can lead to reduced growth performance in broilers fed wheat-based diets compared to those fed corn-based diets. Ajwain (*Trachyspermum ammi*), a member of the *Apiaceae* family, produces an essential oil that is rich in thymol (35-60%), known for its antibacterial properties. Other significant compounds include para-cymene, γ -terpinene, and carvacrol. These components inhibit both pathogenic and non-pathogenic intestinal species. This antibacterial action helps in maintaining gut health, reducing the load of harmful bacteria, and potentially improving nutrient absorption and growth performance in broilers. While essential oils present a promising alternative to antibiotics, their direct inclusion in animal diets faces limitations due to their hydrophobic, reactive, and volatile nature. Encapsulation techniques, especially those involving nanotechnology, can protect these oils from degradation, improve their stability, and enhance their bioavailability, thereby improving feed consumption and antimicrobial efficacy. Nanotechnology enhances essential oil availability in livestock by increasing surface area. Encapsulated plant essential oils in polymers protect them and improve their antimicrobial properties. Despite the potential benefits, there is a lack of comprehensive research on the effects of encapsulated ajwain essential oil on broiler performance. Therefore, the present study aimed to evaluate growth performance and selected blood biochemical parameters in broiler chickens fed wheat-based diets supplemented with different forms and concentrations of ajwain essential oil.

Materials and Methods: A total of 1500 one-day-old male broiler chickens were randomly allocated to 12 experimental groups, with five replicates per group and 25 broiler chickens per replicate, following a 2×3×2 factorial arrangement. The factors considered were diet types (corn and corn-wheat), levels of ajwain essential oil



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

 <https://doi.org/10.22067/ijasr.2025.94628.1261>

(0, 150, and 300 mg/kg of diet), and forms of ajwain essential oil (conventional and encapsulated). Various parameters were measured and recorded, including growth performance, carcass characteristics, and blood biochemical indicators (such as triglyceride, cholesterol, low-density lipoprotein, aspartate aminotransferase, alkaline phosphatase, and alanine aminotransferase) in broiler chickens. Data analysis was performed using the General Linear Model (GLM) procedure of SAS software. Mean separation among treatments was performed using Tukey's multiple range test.

Results and Discussion: This study investigated the effects of dietary formulation and supplementation with ajwain essential oil (AEO) both free and encapsulated on broiler performance, carcass traits, and metabolic health. The results demonstrate that dietary composition and the method and level of AEO supplementation significantly influenced growth performance, feed efficiency, carcass yield, and health markers in broiler chickens. Broilers fed a corn-wheat-based diet consistently exhibited higher feed intake than those on a corn-only diet throughout all production phases, suggesting improved palatability and enhanced nutrient utilization associated with the mixed-grain formulation. Supplementation of the corn-wheat diet with 300 ppm AEO further increased feed intake during the finisher period, implying a stimulatory effect of higher AEO concentrations on older birds. Body weight gain (BWG) was significantly enhanced by both AEO supplementation and mixed grain feeding, particularly during the starter phase. Notably, AEO at either 150 or 300 ppm improved early BWG, and encapsulated AEO appeared to outperform free oil, likely due to improved stability and targeted release in the gastrointestinal tract. However, during the finisher period, unsupplemented corn-wheat diets resulted in lower BWG compared to any AEO-supplemented or corn-based diet, indicating the necessity of AEO inclusion in late-stage growth for optimal performance. Over the entire trial, AEO supplementation significantly improved overall BWG in corn-wheat fed birds. Feed conversion ratio (FCR) was affected by both diet and AEO level, with the poorest FCR observed in broilers fed the unsupplemented corn-wheat diet during the finisher phase. Optimal FCR was achieved in groups receiving corn plus 300 ppm AEO and corn-wheat plus 150 ppm AEO, highlighting the importance of synergy between base diet and AEO dose. Mortality was, however, higher in the corn-wheat diet supplemented with 300 ppm AEO, suggesting a potential adverse effect associated with this higher inclusion level. The European Production Efficiency Factor (EPEF) was highest in the corn-wheat + 150 ppm AEO group, indicating 150 ppm as the optimal dose in the corn-wheat matrix. Carcass analysis revealed that the corn-wheat diet improved relative carcass and breast weights, while corn diets increased relative weights of the liver, spleen, and gizzard, possibly reflecting metabolic strain. Thigh weight was higher in unsupplemented diets at day 42. Biochemical analysis indicated that encapsulated AEO was more effective than free oil in reducing serum low density lipoprotein (LDL) cholesterol and mitigating elevations in liver enzymes (aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase), suggesting improved lipid metabolism and hepatoprotection. Serum triglycerides were lowest in broilers fed corn-wheat + 300 ppm encapsulated AEO. In summary, encapsulation of AEO provided metabolic and hepatic health benefits, and 150 ppm was identified as an optimal supplementation level for performance and health when included in a corn-wheat diet.

Conclusion: This study demonstrates that supplementing corn-wheat-based diets with AEO, particularly in encapsulated form, significantly enhances broiler performance and metabolic health. The corn-wheat combination itself promoted higher feed intake and weight gain compared to corn-based diets. Crucially, AEO supplementation at 150 ppm emerged as the optimal level, synergistically improving weight gain, optimizing the FCR, elevating the European Production Efficiency Factor, and reducing serum LDL cholesterol and key liver enzymes (aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase), indicative of better hepatic health. While encapsulated AEO further improved lipid profiles and reduced liver enzyme markers compared to free oil, higher supplementation (300 ppm) increased mortality and elevated liver enzymes. Significant interactions between diet type and AEO levels were evident, particularly for FCR and organ weights. Overall, the integration of corn-wheat diets with 150 ppm encapsulated AEO offers a promising strategy to enhance growth efficiency, carcass yield, and metabolic status in broilers, though higher doses warrant caution due to potential negative impacts on mortality and liver stress markers.

Key words: Ajwain essential oil, Broiler chickens, Encapsulated form, Performance, Physiological response

تأثیر نانوکپسول‌های حاوی اسانس زنیان بر عملکرد و فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی گندم

شکوفه غضنفری^{۱*}، سیروس اکبری شادباد^۱، امیر میمندپور^۲، سید عبدالله حسینی^۳، شیرین هنربخش^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۳

چکیده

این مطالعه به منظور بررسی تأثیر افزودن اسانس زنیان در دو فرم معمولی و نانوکپسوله‌شده و به سه میزان مختلف (صفر، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) خوراک بر عملکرد تولیدی، خصوصیات لاشه و شاخص‌های بیوشیمیایی خون جوجه‌های گوشتی اجرا گردید. جوجه‌ها با خوراک‌های حاوی ذرت (*Zea mays L*) یا ترکیب ذرت و گندم (*Triticum aestivum*) تغذیه شدند. طرح آزمایشی به صورت فاکتوریل $2 \times 3 \times 2$ با ۱۵۰۰ جوجه و پنج تکرار اجرا شد تا اثر ترکیبی فرم، غلظت و نوع جیره به دقت ارزیابی شود. نتایج این مطالعه نشان داد که جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره حاوی ذرت و گندم در دوره‌های آغازین، رشد و کل دوره، مصرف خوراک بالاتری نسبت به جوجه‌های تغذیه‌شده با جیره ذرت داشتند ($P < 0.05$). افزودن اسانس زنیان در سطوح ۱۵۰ و ۳۰۰ پی‌پی‌ام باعث افزایش معنی‌دار وزن بدن در مرحله آغازین (روزهای ۱۰-۲۰) شد، که فرم کپسوله‌شده آن تمایل به افزایش وزن بیشتر نشان داد ($P = 0.09$). همچنین، جیره ذرت و گندم همراه با اسانس، به‌ویژه در دوره پایانی، افزایش وزن و ضریب تبدیل خوراک را بهبود بخشید ($P < 0.01$). افزودن ۱۵۰ پی‌پی‌ام اسانس سبب کاهش کلسترول-لیپوپروتئین با چگالی کم خون شد. جوجه‌های دریافت‌کننده اسانس کپسوله‌شده، سطح آنزیم‌های کبدی اسپاراتات آمینوترانسفراز و آلانین آمینوترانسفراز سرمی پایین‌تری داشتند که نشان‌دهنده سلامت بهتر کبد است ($P < 0.05$). جیره ذرت-گندم با ۳۰۰ پی‌پی‌ام اسانس تلفات را افزایش داد؛ ذرت-گندم با ۱۵۰ پی‌پی‌ام، بیشترین شاخص اروپایی را داشت ($P < 0.05$). در نهایت، افزودن اسانس زنیان به صورت کپسوله به جیره ترکیبی ذرت-گندم با فراهم‌کردن مزایای متابولیکی و کبدی، عملکرد رشد و ضریب تبدیل خوراک جوجه‌های گوشتی را بهبود داد و سطح ۱۵۰ پی‌پی‌ام به عنوان مقدار بهینه برای دستیابی هم‌زمان به کارایی تولید و سلامت تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: اسانس زنیان، پاسخ فیزیولوژیکی، جوجه‌های گوشتی، عملکرد، فرم کپسوله‌شده

مقدمه

در مقایسه با ذرت، گندم انرژی کمتری دارد، اما از نظر محتویات مواد مغذی دیگر، از جمله پروتئین و آمینواسیدهای متنوعی همچون لیزین، متیونین، آرژنین، تربیتوفان و فنیل‌آلانین، غنی‌تر است. استفاده از گندم در جیره غذایی به دلیل حضور پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای

محدودیت دارد. این ترکیب در گندم باعث افزایش ویسکوزیته محتویات روده کوچک می‌شود و در نتیجه سرعت عبور غذا در دستگاه گوارش جوجه‌های گوشتی را کاهش می‌دهد، که محیط مناسبی را برای رشد گونه‌های باکتری‌های بیماری‌زا از جمله *شریشیاکلی* فراهم می‌آورد (Collier et al., 2003). گزارش‌ها نشان می‌دهند که فعالیت بسیاری از آنزیم‌های روده‌ای به دلیل اتصال آنزیم با پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای محلول کاهش می‌یابد که در نهایت به کاهش عملکرد جوجه‌های گوشتی منجر می‌شود. همچنین این مسئله به طور منفی بر ارتفاع، عرض، سطح و شکل پرزهای روده‌ای تأثیر گذاشته و رشد جوجه‌های گوشتی را کاهش می‌دهد (Masouri et al., 2017).

فعالیت‌های مفید میکروبیوتای دستگاه گوارش و نگرانی از باقی مانده‌های آنتی‌بیوتیک در محصولات دامی، پژوهشگران را به جست‌وجوی جایگزین‌هایی برای محرک‌های رشد آنتی‌بیوتیکی مانند پری‌بیوتیک‌ها، پروبیوتیک‌ها، افزودنی‌های گیاهی و سایر افزودنی‌های

۱- گروه علوم دام و طیور، دانشکده فناوری کشاورزی (ابوریحان)، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

۲- گروه زیست فناوری دامی، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری، تهران، ایران

۳- بخش تحقیقات تغذیه دام و طیور، مؤسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(*) نویسنده مسئول: (Email: shghazanfari@ut.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/ijasr.2025.94628.1261>

شده‌اند؛ هرچند افزودن مستقیم اسانس‌ها به جیره به دلیل طبیعت هیدروفوبیک، واکنش‌پذیری و فرار بودن آن‌ها، و نیز تغییر نامطلوب ویژگی‌های حسی خوراک و کاهش خوش‌خوراکی در سطوح بالای مصرف، محدودیت دارد (Cross et al., 2003). برای رفع این محدودیت‌های فناورانه، کپسوله‌سازی در ماتریس‌های پایدار پیشنهاد شده است تا پایداری، کنترل رهایش و پذیرش حسی بهبود یابد (Bustos et al., 2003). مطالعات متعدد، استفاده از پوشش‌های پلیمری را برای حفاظت ترکیبات و تقویت فعالیت ضد میکروبی گزارش کرده‌اند (Hosseini & Meimandipour, 2018)؛ (Meimandipour et al., 2017).

در بین پوشش‌ها، آلزینات به سبب غیرسمی بودن، زیست‌تخریب‌پذیری و چسبندگی به مخاط گوارشی در تهیه میکروکپسول‌ها رایج است (Zarua et al., 2009) و با ایجاد سد نفوذ اکسیژن، رشد باکتری‌های هوازی و اکسیداسیون لیپیدها را محدود می‌کند (Song et al., 2011). لایه‌گذاری با کیتوزان باردار مثبت بر روی کپسول‌های آلزیناتی باردار منفی، غشایی نیمه‌تراوا و پایدار از نظر فیزیکی-شیمیایی فراهم می‌آورد (Krasaekoopt & Bhandari, 2012). افزودن بر نقش پوششی، خود کیتوزان نیز به واسطه ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی، ضدباکتریایی و ارتقاء قابلیت هضم ایلمومی، بهبود رشد و شاخص‌های بیوشیمیایی خون جوجه‌های گوشتی را نشان داده است (Huang et al., 2005). حسینی و میمندپور (Hosseini & Meimandipour, 2018) گزارش دادند که به دام انداختن اسانس آویشن در نانوذرات کیتوزان و آزادسازی تدریجی آن، عملکرد جوجه‌های گوشتی را از طریق بهبود وضعیت فیزیولوژیکی و تنظیم میکروبیوتای روده ارتقاء می‌دهد؛ بنابراین می‌تواند به عنوان جایگزینی برای محرک رشد آنتی‌بیوتیکی در جیره‌های غذایی جوجه‌های گوشتی مورد استفاده قرار گیرد. اندازه بسیار کوچک نانوذرات کیتوزان می‌تواند در افزایش اثر ضدباکتریایی آن‌ها مؤثر باشد. گزارش شده است که کیتوزان عملکرد و شاخص‌های ایمنی در اردک‌ها را بهبود بخشد (Shi-Bin & Hong, 2012). اگرچه برخی تحقیقات اثرات ضدباکتریایی درون‌کشتگاهی نانوذرات کیتوزان حاوی اسانس‌های گیاهی را علیه باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت بررسی کرده‌اند (Raphael & Esmaeili & Rafiee, 2014)؛ (Meimandipour, 2017)، اما مطالعات تجربی کمی در خصوص اثرات کپسوله‌سازی اسانس زنیان در جوجه‌های گوشتی انجام شده است. اسانس زنیان کپسوله‌شده ممکن است به دلیل ساختار بنیادینش در شرایط محیطی مختلف پایدارتر باشد؛ بنابراین می‌تواند به راحتی توسط برخی حیوانات جذب و استفاده شود و ممکن است شکل مؤثرتری نسبت به سایر اشکال داشته باشد. بنابراین، هدف این مطالعه بررسی اثرات سطوح مختلف اسانس زنیان کپسوله‌شده در نانوذرات کیتوزان و اسانس زنیان آزاد بر عملکرد رشدی، خصوصیات

خوراک سوق داده است. در سال‌های اخیر، توجه بسیاری از پژوهشگران به افزودنی‌های غذایی با منشأ گیاهی جلب شده است (Mahmoodi Bardzardi et al., Mohammadi et al., 2014)؛ (2014a,b). زنیان (*Trachyspermum ammi*) گیاهی یک‌ساله از خانواده چتریان است که با نام علمی *Carum copticum* نیز شناخته می‌شود. اسانس این گیاه غنی از مونوترپن‌هایی مانند تیمول است و به طور گسترده‌ای به عنوان عامل ضدباکتریایی استفاده می‌شود. مهم‌ترین ترکیبات آن شامل تیمول، سیمین، آلفا-پینن، دی‌پنتن، گاما-ترپینن، بتا-پینن، میرکن و کارواکرول می‌باشد. سایر ترکیبات شیمیایی آن شامل پروتئین، چربی و کاتیون‌هایی مانند سدیم، پتاسیم، آهن، کلسیم، منیزیم، روی، مس و کبالت است. به طور معمول، تیمول جزء اصلی اسانس زنیان است و می‌تواند ۳۵ تا ۶۰ درصد از آن را تشکیل دهد (Zarshenas et al., 2014). در یک مطالعه، تیمول (۳۶/۷ درصد)، گاما-ترپینن (۳۶/۵ درصد) و پارا-سیمین (۲۱/۱ درصد) به عنوان مهم‌ترین ترکیبات اسانس زنیان معرفی شدند (Goudarzi et al., 2011). نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهند که استفاده از گیاهان دارویی و مشتقات آن‌ها به بهبود کارایی تولید جوجه‌های گوشتی از جمله افزایش عمر مفید، بهبود وضعیت سلامتی و عملکرد سیستم گوارش منجر می‌شود که قابل مقایسه با آنتی‌بیوتیک‌ها است (Mahmoodi Bardzardi et al., 2014a). مطالعات نشان داده‌اند که ترکیب کارواکرول و تیمول می‌تواند به طور مؤثر عملکرد، جمعیت میکروبی روده و ریخت‌شناسی جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره غذایی مبتنی بر گندم را بهبود بخشد (Hashemipour et al., 2016). ساعی و همکاران (Saei et al., 2021) سطوح مختلف عصاره الکلی زنیان را در آب آشامیدنی جوجه‌های گوشتی (۰، ۱۵۰، ۳۵۰ و ۴۵۰ پی‌پی‌ام)، به همراه شاهد حاوی آنتی‌بیوتیک ویرجینیامایسین مورد ارزیابی قرار دادند. افزودن زنیان به طور معنی‌داری عملکرد تولیدی، شاخص‌های خونی، شاخص‌های ایمنی و میکروبیوتای روده را تحت تأثیر قرار داد و نقش بالقوه آن را به عنوان جایگزینی برای آنتی‌بیوتیک‌ها در پرورش پایدار نشان داد. در سطح حدود ۳۰۰ پی‌پی‌ام، وزن زنده نهایی، لاشه با شکم خالی و وزن سینه به طور معنی‌داری افزایش یافت؛ بنابراین با توجه به اهمیت اقتصادی وزن سینه در صنعت طیور، این نتیجه حائز اهمیت است. از نظر پارامترهای خونی، افزودن عصاره الکلی زنیان اثری بر کلسترول تام و گلوکز نداشت.

اسانس زنیان به واسطه ترکیبات زیست‌فعال غالب مانند تیمول و کارواکرول دارای خواص ضدباکتریایی، ضدقارچی و آنتی‌اکسیدانی است که می‌تواند با تعدیل میکروبیوتای روده، کاهش تنش اکسیداتیو و بهبود هضم، عملکرد رشد و ضریب تبدیل خوراک جوجه‌های گوشتی را ارتقاء دهد. این اثرات در تحقیقات مربوط به افزودنی‌های گیاهی به عنوان جایگزین‌های بالقوه آنتی‌بیوتیک‌ها به خوبی توصیف

اسانس زنیان به جیره‌های غذایی، ترکیب آن با استفاده از کروماتوگرافی گازی (Agilent Technologies, Agilent 6890 N)، پاریس، فرانسه) همراه با طیف‌سنجی جرمی (Agilent 5973 N) تحلیل شد. نتایج تحلیل GC-MS اسانس زنیان در جدول ۱ ارائه شده است. کپسوله‌سازی اسانس زنیان در نانوذرات توسط مؤسسه ملی مهندسی ژنتیک و بیوتکنولوژی (تهران، ایران) طبق روش حسینی و میمن‌دی پور (Hosseini & Meimandipour, 2018) انجام شد. به‌طوری‌که میانگین اندازه نانو کپسول‌های کیتوزان-آلژینات حاوی اسانس ۳۲۳ نانومتر گزارش شد (شکل ۱).

لاشه و شاخص‌های بیوشیمیایی خون جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره‌های مبتنی بر ذرت و گندم بود.

مواد و روش

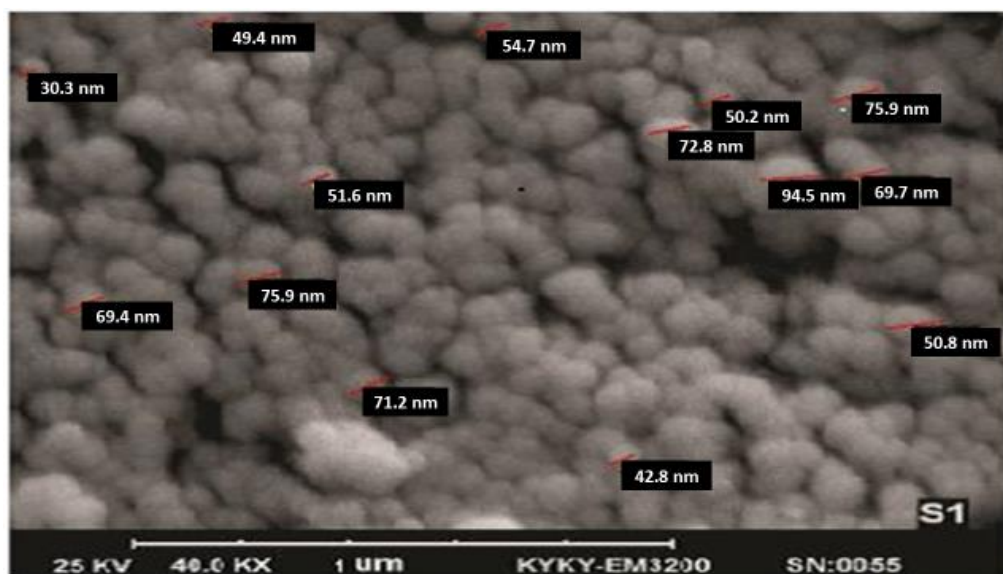
ترکیب اسانس زنیان

تمام روش‌های آزمایشی مورد استفاده در این مطالعه توسط کمیته اخلاق حیوانات مؤسسه تحقیقات علوم دامی ایران و کمیته مراقبت از حیوانات دانشکده علوم دامی دانشگاه تهران تأیید شدند. اسانس زنیان مورد استفاده در این مطالعه از بخش طب سنتی شرکت داروسازی باریج اسانس (کاشان، ایران) تهیه شد. پیش از افزودن

جدول ۱- ترکیب شیمیایی اسانس زنیان (کروماتوگرافی گازی با طیف‌سنج جرمی) (GC-MS)

Table 1- Chemical composition of Ajwain essential oil (Mass Spectrometry Gas chromatography) (GC-MS)

نام شیمیایی	درصد
Chemical name	Percentage
تیمول	41
Thymol	
گاما-ترپنین	30
γ -Terpinene	
پارا-سیمین	16
Para-cymene	
میرسن	5
Myrcene	
بتا-فلاندرن	5
β -Phellandrene	
بتا-پینین	1
β -pinene	



شکل ۱- اسکن الکترونی تصویر میکروسکوپ نانوذرات کیتوزان

Figure 1- Scanning electron microscope image of chitosan nanoparticles

جدول ۲- ترکیب جیره‌های آزمایشی در دوره‌های مختلف آغازین (۰ تا ۱۰ روزگی)، رشد (۱۱ تا ۲۴ روزگی) و پایانی (۲۵ تا ۴۲ روزگی) برای جوجه‌های گوشتی
Table 2- Composition of the experimental diets at different periods including starter (1 to 10 days), grower (11 to 24 days) and finisher (25 to 42 days) for broiler chickens

اجزای جیره (درصد) Ingredients (%)	نوع جیره Type of Diet					
	آغازین Starter		رشد Grower		پایانی Finisher	
	ذرت-گندم Wheat-corn	ذرت Corn	ذرت-گندم Wheat-corn	ذرت Corn	ذرت-گندم Wheat-corn	ذرت Corn
ذرت Corn	51.5	55.7	43.1	57.2	40.1	63.3
گندم Wheat	5.00	0.00	15.0	0.00	25.0	0.00
کنجاله سویا (۴۴ درصد پروتئین) Soybean meal (44 % CP)	38.1	38.9	35.8	37.0	28.6	31.0
روغن سویا Soybean oil	1.30	1.30	2.30	2.00	2.40	1.80
کربنات کلسیم Calcium carbonate	1.10	1.10	1.20	1.20	1.15	1.15
دی کلسیم فسفات Dicalcium phosphate	1.90	1.90	1.68	1.68	1.83	1.83
نمک Salt	0.25	0.25	0.20	0.20	0.20	0.20
ال-لیزین L-lysine	0.08	0.08	0.06	0.06	0.05	0.05
دی-ال-متیونین DL- methionine	0.27	0.27	0.19	0.19	0.17	0.17
مکمل ویتامینه ^۱ Vitamin premix	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
مکمل معدنی ^۱ Mineral premix	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
غلظت مواد مغذی محاسبه شده Calculated nutrient concentration						
انرژی قابل متابولیسم (مگاژول بر کیلوگرم) Metabolizable energy (MJ/kg)	12.14	12.14	12.39	12.39	12.56	12.56
پروتئین خام (درصد) Crude protein (%)	22.0	22.0	21.3	21.3	19.1	19.1
کلسیم (درصد) Calcium (%)	0.90	0.90	0.87	0.87	0.85	0.85
فسفر قابل دسترس (درصد) Available phosphorus (%)	0.45	0.45	0.43	0.43	0.40	0.40
سدیم (درصد) Sodium (%)	0.19	0.19	0.16	0.16	0.16	0.16
کلر (درصد) Chlorine (%)	0.28	0.28	0.24	0.24	0.23	0.23
متیونین (درصد) Methionine (%)	0.60	0.60	0.54	0.54	0.47	0.47
لیزین (درصد) Lysine (%)	1.27	1.27	1.19	1.19	1.00	1.00
متیونین+سیستئین (درصد) Methionine + cysteine (%)	0.91	0.91	0.84	0.84	0.75	0.75
ترئونین (درصد) Threonine (%)	0.81	0.81	0.77	0.77	0.68	0.68
آرژنین (درصد) Arginine (%)	1.45	1.45	1.40	1.40	1.23	1.23
تبادل آنیون-کاتیون (میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم) Anion-cation balance (mEq/kg)	245	245	235	235	214	214

^۱ در هر کیلوگرم جیره مقادیر زیر تأمین می‌شود: ویتامین A: ۹۰۰ IU، ویتامین D₃: ۲۰۰۰ IU، ویتامین E: ۱۸ IU، ویتامین K₃: دو میلی‌گرم، ویتامین B_۱: ۸/۱ میلی‌گرم، ویتامین B_۲: ۶/۶ میلی‌گرم، ویتامین B_۶: سه میلی‌گرم، ویتامین B_{۱۲}: ۱۵ میکروگرم، نیاسین: ۳۰ میلی‌گرم، اسید پانتوتنیک: ۱۰ میلی‌گرم، بیوتین: یک میلی‌گرم، آنتی‌اکسیدانت: ۱۰۰ میلی‌گرم، منگنز: ۱۰۰ میلی‌گرم، آهن: ۵۰ میلی‌گرم، روی: ۸۵ میلی‌گرم، مس: ۱۰ میلی‌گرم، ید: ۵/۱ میلی‌گرم، سلنیوم: ۲ میلی‌گرم.

^۲ The following values are provided per kg of diet: vitamin A: 900 IU, vitamin D₃: 2000 IU, vitamin E: 18 IU, vitamin K₃: 2 mg, vitamin B₁: 8.1 mg, vitamin B₂: 6.6 mg, vitamin B₆: 3 mg, vitamin B₁₂: 15 µg, niacin: 30 mg, pantothenic acid: 10 mg, biotin: 1 mg, antioxidants: 100 mg, manganese: 100 mg, iron: 50 mg, zinc: 85 mg, copper: 10 mg, iodine: 5.1 mg, selenium: 2 mg

کشتار و پرکنی، محتویات شکم به‌دقت خارج شد. سپس وزن لاشه، کبد، قلب، سنگدان، سکوم، طحال، سینه و ران اندازه‌گیری شد و وزن نسبی آن‌ها به‌صورت درصدی از وزن زنده محاسبه شد.

فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون

به‌منظور بررسی فراسنجه‌های بیوشیمیایی خون، در پایان آزمایش (۴۲ روزگی) از هر تکرار دو پرند با وزن نزدیک به میانگین تکرار انتخاب و مقدار چهار میلی‌لیتر خون از طریق سیاهرگ بال از هر پرند گرفته شد. سرم نمونه‌ها به‌کمک سانتریفیوژ با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه و به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد جدا شد. غلظت‌های لیپوپروتئین با چگالی کم (LDL)، کلسترول کل، تری‌گلیسرید، فعالیت‌های آلکالین فسفاتاز (ALP)، آسپارات آمینوترانسفراز (AST)، آلانین آمینوترانسفراز (ALT) و آلبومین سرم با استفاده از روش‌های رنگ‌سنجی آنزیمی و کیت‌های تجاری (شرکت پارس آزمون، تهران، ایران) به‌وسیله یک اتوآنالایزر (Autolab PM 4000؛ سیستم پزشکی، رم، ایتالیا) اندازه‌گیری شدند (Benzie & Strain, 1996).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های فنوتیپی به‌دست‌آمده از این مطالعه با استفاده از روش مدل خطی عمومی (GLM) و مقایسه میانگین توکی توسط نرم‌افزار SAS (SAS, 2005) نسخه ۹ مطابق مدل آماری آنالیز شدند (معادله ۲). مدل شامل اثرات اصلی [دو نوع جیره غذایی (ذرت، ذرت-گندم)، سه سطح اسانس (۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره) و دو شکل اسانس زنیان (معمولی و کپسوله)] و تعاملات آن‌ها بود. طرح آزمایشی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل ۲×۳×۲ دنبال شد.

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

معادله (۲)

که در آن، Y_{ijkl} : مقدار مشاهده‌شده، μ : میانگین جمعیت، α_i : اثر نوع جیره غذایی، β_j : اثر سطح اسانس، γ_k : اثر شکل اسانس زنیان، $(\alpha\beta)_{ij}$: اثر متقابل نوع جیره غذایی و سطح اسانس، $(\alpha\gamma)_{ik}$: اثر متقابل نوع جیره غذایی و شکل اسانس زنیان، $(\beta\gamma)_{jk}$: اثر متقابل سطح اسانس و شکل اسانس زنیان، $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$: اثر متقابل نوع جیره غذایی، سطح اسانس و شکل اسانس زنیان و ε_{ijkl} : اثر خطای آزمایش است.

نتایج و بحث

عملکرد رشد

همان‌طور که در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است، اثرات متقابل نوع جیره، سطح و شکل اسانس زنیان، اثرات متقابل نوع جیره

طراحی آزمایش، جوجه‌های گوشتی و جیره‌های غذایی

تعداد ۱۵۰۰ قطعه جوجه گوشتی نر سویه راس ۳۰۸ با میانگین وزنی ۴۲ گرم از جوجه‌کشی محلی تهیه شدند. جوجه‌های گوشتی براساس طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل ۲×۳×۲ به ۱۲ تیمار، پنج تکرار و ۲۵ مشاهده در هر تکرار اختصاص داده شدند. عامل‌های آزمایشی شامل دو نوع جیره غذایی (ذرت، ذرت-گندم)، سه سطح اسانس (۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره) و دو شکل اسانس زنیان (معمولی و کپسوله) بودند. اسانس‌ها با یک حامل (روغن سویا) مخلوط و به جیره پایه اضافه شد. نیازمندی‌های توصیه‌شده طبق راهنمای مدیریت جوجه گوشتی راس ۳۰۸ برای دوره‌های مختلف آغازین (۰-۱۰ روزگی)، رشد (۱۱-۲۴ روزگی) و پایانی (۲۵-۴۲ روزگی) تأمین شدند (جدول ۲). جوجه‌ها در طول آزمایش به سالی دارای ۶۰ پن (سه مترمربع) منتقل شدند و به‌صورت آزاد به آب و غذا دسترسی داشتند. برنامه‌های مدیریت پرورش جوجه‌ها شامل دما، نور، واکسیناسیون، تراکم و بستر به‌طور یکسان و مطابق با شرایط استاندارد توصیه‌شده انجام گردید.

صفات عملکردی

مصرف خوراک در هر واحد آزمایشی در دوره آغازین (روز ۰ تا ۱۰)، دوره رشد (روز ۱۱ تا ۲۴)، دوره پایانی (روز ۲۵ تا ۴۲) و کل دوره آزمایش (روز ۰ تا ۴۲) اندازه‌گیری شد. مصرف خوراک واحدی آزمایشی از کسر خوراک مصرف‌شده در ابتدای دوره از خوراک اختصاص داده‌شده در شروع دوره، بر مبنای روز جوجه محاسبه شد. در طول دوره آزمایش، تعداد تلفات و وزن آن‌ها ثبت شد تا در محاسبه افزایش وزن و خوراک مصرفی جوجه‌های تلف‌شده در طی آزمایش منظور شود. میانگین افزایش وزن بدن جوجه‌های هر تکرار با توزین وزن جوجه‌های هر پن در ابتدا و انتهای دوره به دست آمد. قبل از توزین پرندگان، به جوجه‌ها به‌مدت چهار ساعت محرومیت مصرف آب و دان تحمیل گردید تا از لحاظ خالی بودن محتویات دستگاه گوارش همسان باشند. ضریب تبدیل خوراک با تقسیم خوراک مصرفی هر جوجه در هر دوره بر میزان افزایش وزن محاسبه شد. به‌منظور تعیین شاخص تولید اروپایی (EPI)^۱ از معادله ۱ استفاده شد (Yin et al., 2017).

معادله (۱)

$$[FCR \times \text{سن (روز)}] / [\text{وزن بدن (گرم)} \times \text{زنده‌مانی (\%)}] \times ۱۰$$

خصوصیات لاشه

در پایان دوره آزمایشی (۴۲ روزگی)، از هر تکرار دو قطعه جوجه با وزن نزدیک به میانگین انتخاب، توزین و کشتار شدند. پس از

فعالیت لیپاز و آمیلاز پانکراس را افزایش دادند. عملکرد بهبودیافته اسانس‌های گیاهی کپسوله‌شده را می‌توان به افزایش پایداری و طول عمر نگهداری این ترکیبات نسبت داد، چرا که این روش فرآوری، ترکیبات را در برابر اکسیداسیون، تیخیر و واکنش با دیگر اجزای محصول نهایی محافظت می‌کند (Gortzi et al., 2006; Ghazanfari et al., 2023).

اثر متقابل نوع جیره و سطح اسانس‌ها بر ضریب تبدیل خوراک در دوره پایانی و کل دوره در جوجه‌های گوشتی معنی‌دار بود ($P < 0.01$). به‌طوری‌که در دوره پایانی، ضریب تبدیل خوراک در جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره ذرت-گندم بدون اسانس نامناسب‌تر از سایر تیمارها بود ($P < 0.05$) (جدول ۳). جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره حاوی ذرت + ۳۰۰ پی‌پی‌ام اسانس و ذرت-گندم + ۱۵۰ پی‌پی‌ام اسانس نسبت به جوجه‌های دریافت‌کننده جیره ذرت-گندم و بدون اسانس در کل دوره (۰ تا ۴۲ روز)، ضریب تبدیل خوراک بهتری داشتند ($P < 0.01$) (جدول ۴). مطابق با نتایج حاضر، محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2019) نشان دادند که جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی اسانس رزماری (۳۰۰ پی‌پی‌ام)، بهترین ضریب تبدیل خوراک را نسبت به جوجه‌های گوشتی دریافت‌کننده جیره‌های فاقد اسانس گیاهی داشتند. همچنین محمودی بردزردی و همکاران (Mahmoodi Bardzardi et al., 2014a) گزارش کردند که جیره‌های تکمیل‌شده با اسانس مورد^۲ موجب افزایش مصرف خوراک، افزایش وزن بدن و بهبود ضریب تبدیل خوراک نسبت به شاهد شد. غضنفری و همکاران (Ghazanfari et al., 2015) بیان کردند که افزایش وزن بدن، مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک با افزودن اسانس گشنیز به جیره به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد بهبود یافت. در مطالعه حاضر، تغذیه جیره حاوی ذرت-گندم + ۳۰۰ پی‌پی‌ام اسانس، درصد تلفات جوجه‌های گوشتی را نسبت به جیره حاوی ذرت-گندم به همراه ۱۵۰ پی‌پی‌ام اسانس و جیره حاوی ذرت بدون اسانس افزایش داد ($P < 0.05$). همچنین جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره ذرت-گندم به همراه ۱۵۰ پی‌پی‌ام اسانس، شاخص تولید اروپایی بالاتری (۳۱۹) نسبت به جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره ذرت-گندم بدون اسانس (۲۴۹) و با ۳۰۰ پی‌پی‌ام اسانس (۲۷۲) داشت ($P < 0.05$) (جدول ۴). شاخص تولید اروپایی، پارامتر مناسبی برای ارزیابی عملکرد رشد جوجه‌های گوشتی است و از عوامل درصد زنده‌مانی، وزن متوسط در پایان دوره، ضریب تبدیل خوراک و تعداد روزهای پرورش محاسبه می‌شود. به‌طور واضح، هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد، عملکرد بهتر و سودآوری تولید بیشتر خواهد بود (Yin et

و شکل اسانس زنیان و اثرات متقابل سطح و شکل اسانس زنیان بر عملکرد رشد (افزایش وزن، مصرف خوراک، ضریب تبدیل خوراک، درصد مرگ‌ومیر و شاخص تولید اروپایی) تأثیری نگذاشت. جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره حاوی ذرت-گندم، مصرف خوراک بالاتری در دوره‌های رشد، پایانی و کل دوره نسبت به جوجه‌های گوشتی دریافت‌کننده جیره حاوی ذرت داشتند ($P < 0.05$). جوجه‌های گوشتی دریافت‌کننده جیره ذرت-گندم به‌همراه ۳۰۰ پی‌پی‌ام اسانس، مصرف خوراک بیشتری نسبت به جوجه‌های گوشتی دریافت‌کننده جیره ذرت بدون اسانس در روزهای ۲۵ تا ۴۲ داشتند ($P < 0.05$) (جدول ۳). در یک آزمایش، افزودن یک درصد پودر زنیان (*Carum copticum*) به جیره جوجه‌های گوشتی، مصرف خوراک را نسبت به گروه شاهد افزایش داد (Alitaneh et al., 2016). در مطالعه دیگری، افزودن اسانس زنیان به جیره جوجه‌های گوشتی موجب تفاوت معنی‌داری در مصرف خوراک نشد (Falaki et al., 2016). جیره حاوی اسانس زنیان کپسوله‌شده در مقایسه با اسانس زنیان تمایل به افزایش وزن در جوجه‌های گوشتی در روزهای ۰ تا ۱۰ نشان داد ($P = 0.09$). همچنین افزودن اسانس با سطوح ۱۵۰ و ۳۰۰ پی‌پی‌ام به جیره‌ها، افزایش وزن جوجه‌های گوشتی را در روزهای ۰ تا ۱۰ به‌طور معنی‌داری افزایش داد ($P < 0.05$). حفیظ و همکاران (Hafeez et al., 2015) نشان دادند که مکمل پودری فیتوژنیک با دوز ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، تمایل به بهبود عملکرد و جذب ظاهری ایلئومی فسفر را نشان داد؛ درحالی‌که افزودن اسانس‌های گیاهی به‌صورت کپسوله‌شده با ترکیبات غالب کاراواکرول، تیمول و لیمونن با دوز ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم موجب بهبود عملکرد و همچنین قابلیت هضم ظاهری ایلئومی مواد مغذی در جوجه‌های گوشتی شد که احتمالاً ناشی از افزایش ترشح آنزیم‌های گوارشی است. در مطالعه حاضر، جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره ذرت-گندم، افزایش وزن بیشتری در دوره رشد نسبت به جوجه‌های گوشتی دریافت‌کننده جیره حاوی ذرت داشتند ($P < 0.05$). جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره ذرت-گندم بدون اسانس، در دوره پایانی نسبت به جوجه‌های تغذیه‌شده با جیره‌های ذرت یا ذرت-گندم + ۱۵۰ و ۳۰۰ پی‌پی‌ام اسانس، افزایش وزن کمتری داشتند ($P < 0.01$). باین‌حال، در کل دوره، اثر افزودن اسانس در بهبود افزایش وزن جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره ذرت-گندم نسبت به جیره ذرت-گندم بدون اسانس بیشتر بود ($P < 0.05$) (جدول ۳). راماکریشنا و همکاران (Ramakrishna et al., 2003) گزارش کردند که اکثر ادویه‌ها شامل کورکومین، کپسایسین، پپرین، سیر، پیاز، زنجبیل، نعناع، گشنیز، زیره، زنیان، رازیانه، شنبلیله، خردل و آنغوزه^۱، هنگام تماس مستقیم با آنزیم‌ها،

¹- *Trachyspermum ammi*, *Foeniculum vulgare*, *Trigonella foenum-graecum*, *Brassica spp.*, *Ferula assa-foetida*
²- *Myrtus communis*

1- Curcumin, Capsaicin, Piperine, *Allium sativum*, *Allium cepa*, *Zingiber officinale*, *Mentha spp*, *Coriandrum sativum*, *Cuminum cyminum*

جدول ۳- اثرات نوع جیره، سطح و شکل‌های اسانس زنیان بر عملکرد رشد (دوره‌های آغازین، رشد و پایانی) جوجه‌های گوشتی
Table 3- Effects of diet type, contents and forms of Ajwain essential oil on growth performance (starter, grower and finisher periods) of broiler chickens

شاخص‌ها Parameters	دوره آغازین (d 0 to 10) Starter period				دوره رشد (d 11 to 24) Grower period				دوره پایانی (d 25 to 42) Finisher period			
	افزایش وزن (گرم در دوره) Weight gain (g/period)	مصرف خوراک (گرم در دوره) Feed intake (g/period)	ضریب تبدیل خوراک Food conversion ratio	ضریب تبدیل خوراک Food conversion ratio	افزایش وزن (گرم در دوره) Weight gain (g/period)	مصرف خوراک (گرم در دوره) Feed intake (g/period)	ضریب تبدیل خوراک Food conversion ratio	ضریب تبدیل خوراک Food conversion ratio	افزایش وزن (گرم در دوره) Weight gain (g/period)	مصرف خوراک (گرم در دوره) Feed intake (g/period)	ضریب تبدیل خوراک Food conversion ratio	ضریب تبدیل خوراک Food conversion ratio
نوع جیره × سطح اسانس زنیان (میلی گرم بر کیلوگرم) Diet type × AEO ¹ content (mg/kg)												
• × ذرت Corn × 0	227	266	1.17	1.32	788	1038	1.32	2.44 ^b	1358 ^{ab}	3309 ^b	2.44 ^b	2.44 ^b
• × ذرت Corn × 150	223	257	1.10	1.30	784	1019	1.30	2.48 ^b	1361 ^a	3374 ^{ab}	2.48 ^b	2.48 ^b
• × ذرت Corn × 300	237	248	1.04	1.24	809	1000	1.24	2.39 ^b	1397 ^a	3344 ^{ab}	2.39 ^b	2.39 ^b
• × ذرت-گندم Corn -wheat × 0	224	261	1.16	1.26	840	1059	1.26	2.89 ^a	1237 ^b	3504 ^{ab}	2.89 ^a	2.89 ^a
• × ذرت-گندم Corn -wheat × 150	241	270	1.12	1.28	833	1065	1.28	2.33 ^b	1434 ^a	3337 ^{ab}	2.33 ^b	2.33 ^b
• × ذرت-گندم Corn -wheat × 300	239	262	1.09	1.31	812	1066	1.31	2.55 ^b	1405 ^a	3575 ^a	2.55 ^b	2.55 ^b
میانگین خطای استاندارد Standard error of the mean	4.3	12.6	0.05	0.02	17.3	23.2	0.02	0.08	30.1	59.7	0.08	0.08
نوع جیره Diet type												
ذرت Corn	232	257	1.10	1.29	794 ^b	1019 ^b	1.29	2.44 ^b	1372	3342 ^b	2.44 ^b	2.44 ^b
ذرت-گندم Corn - wheat	235	264	1.13	1.28	828 ^a	1063 ^a	1.28	2.59 ^a	1358	3472 ^a	2.59 ^a	2.59 ^a
میانگین خطای استاندارد Standard error of the mean	2.5	7.3	0.02	0.01	10.0	13.4	0.01	0.05	17.4	34.5	0.05	0.05
سطح اسانس زنیان (میلی گرم بر کیلوگرم) AEO content (mg/kg)												
0	226 ^b	264	1.17	1.29	814	1048	1.29	2.66 ^a	1297 ^b	3406	2.66 ^a	2.66 ^a
150	237 ^a	264	1.11	1.29	809	1042	1.29	2.41 ^b	1397 ^a	3356	2.41 ^b	2.41 ^b

300	238 ^a	255	1.07	810	1033	1.28	1401 ^a	3459	2.47 ^{ab}
میانگین خطای استاندارد	3.1	8.9	0.03	12.2	16.4	0.01	21.3	42.2	0.05
Standard error of the mean									
شکل اسانس زیتان									
AEO form									
اسانس زیتان	231	253	1.10	816	1048	1.29	1368	3398	2.50
AEO									
اسانس زیتان کپسوله	237	268	1.13	806	1035	1.29	1363	3416	2.52
E-AEO ²									
میانگین خطای استاندارد	2.5	7.3	0.02	10.0	13.4	0.01	17.4	34.5	0.05
Standard error of the mean									
سطح احتمال معنی داری									
P-value									
نوع جیره	0.50	0.47	0.60	0.01	0.02	0.91	0.58	0.01	0.02
Diet type									
سطح اسانس زیتان	0.01	0.71	0.15	0.95	0.81	0.82	0.001	0.23	0.008
AEO content									
شکل اسانس زیتان	0.09	0.16	0.41	0.49	0.49	0.97	0.84	0.70	0.71
AEO form									
نوع جیره × سطح اسانس زیتان	0.47	0.72	0.84	0.30	0.62	0.06	0.009	0.05	0.003
Diet type × AEO content									
نوع جیره × شکل اسانس زیتان	0.28	0.75	0.93	0.42	0.86	0.25	0.69	0.19	0.67
Diet type × AEO form									
سطح اسانس زیتان × شکل اسانس زیتان	0.10	0.52	0.83	0.36	0.88	0.24	0.40	0.89	0.77
AEO content × AEO form									
نوع جیره × سطح اسانس زیتان × شکل اسانس زیتان									
اسانس زیتان	0.41	0.33	0.52	0.65	0.92	0.33	0.90	0.62	0.88
Diet type × AEO content × AEO form									

^{a,b,c} Means in each column with different superscripts are different ($P < 0.05$).
¹AEO: Ajiwain essential oil, and ²E-AEO: Encapsulated Ajiwain essential oil.

^{a,b,c} میانگین‌های هر ستون یا حروف متفاوت دارای اختلاف معنی دار هستند ($P < 0.05$).
¹اسانس زیتان، و ²E-AEO: اسانس زیتان کپسوله

جدول ۴- اثرات نوع جیره، سطح و شکل‌های اسانس زنیان بر عملکرد رشد (کل دوره، شاخص تولید اروپایی و مرگ‌ومیر (درصد)) جوجه‌های گوشتی
Table 4- Effects of diet type, contents and forms of Ajwain essential oil on growth performance (total of period, European production index and mortality (%)) of broiler chickens

شاخص‌ها Parameters	کل دوره (۰-۴۲ روزگی) Total period (d 0 to 42)				شاخص تولید اروپایی European production index
	افزایش وزن (گرم در دوره) Weight gain (g/period)	مصرف خوراک (گرم در دوره) Feed intake (g/period)	ضریب تبدیل خوراک Food conversion ratio	مرگ‌ومیر (درصد) Mortality (%)	
نوع جیره × سطح اسانس زنیان (میلی گرم بر کیلوگرم)					
Diet type × AEO ¹ content (mg/kg)					
ذرت × ۰ Corn × 0	2372 ^{ab}	4612	1.95 ^{ab}	1.85 ^b	289 ^{abc}
ذرت × ۱۵۰ Corn × 150	2378 ^{ab}	4650	1.96 ^{ab}	4.63 ^{ab}	281 ^{abc}
ذرت × ۳۰۰ Corn × 300	2443 ^{ab}	4592	1.88 ^b	4.17 ^{ab}	301 ^{ab}
ذرت-گندم × ۰ Corn -wheat × 0	2302 ^b	4824	2.10 ^a	7.41 ^{ab}	249 ^c
ذرت-گندم × ۱۵۰ Corn -wheat × 150	2508 ^a	4671	1.86 ^b	2.31 ^b	319 ^a
ذرت-گندم × ۳۰۰ Corn -wheat × 300	2456 ^a	4902	2.00 ^{ab}	9.26 ^a	272 ^{bc}
میانگین خطای استاندارد Standard error of the mean	35.9	75.2	0.03	1.55	10.4
نوع جیره					
Diet type					
ذرت Corn	2398	4618 ^b	1.93	3.55 ^b	290
ذرت-گندم Corn - wheat	2422	4799 ^a	1.99	6.33 ^a	280
میانگین خطای استاندارد Standard error of the mean	20.8	43.4	0.02	0.89	6.01
سطح اسانس زنیان (میلی گرم بر کیلوگرم)					
AEO content (mg/kg)					
۰	2337 ^b	4718	2.02 ^a	4.63	269 ^b
۱۵۰	2443 ^a	4661	1.91 ^b	3.47	300 ^a
۳۰۰	2449 ^a	4747	1.94 ^{ab}	6.71	287 ^{ab}
میانگین خطای استاندارد	25.4	53.2	0.02	1.09	7.36

Standard error of the mean					
شکل اسانس زیتان					
AEO form					
اسانس زیتان	2414	4699	1.95	4.63	287
AEO					
اسانس زیتان کیسوله	2405	4719	1.97	5.24	283
E-AEO ²					
میانگین خطای استاندارد	20.8	43.4	0.02	0.89	6.01
Standard error of the mean					
سطح احتمال معنی داری					
P-value					
نوع جیره	0.42	0.005	0.06	0.03	0.21
Diet type					
سطح اسانس زیتان	0.005	0.51	0.01	0.12	0.02
AEO content					
شکل اسانس زیتان	0.77	0.74	0.60	0.62	0.57
AEO form					
نوع جیره × سطح اسانس زیتان	0.02	0.16	0.005	0.02	0.001
Diet type x AEO content					
نوع جیره × شکل اسانس زیتان	0.55	0.35	0.77	0.23	0.62
Diet type x AEO form					
سطح اسانس زیتان × شکل اسانس زیتان	0.14	0.91	0.46	0.90	0.36
AEO content x AEO form					
نوع جیره × سطح اسانس زیتان × شکل اسانس زیتان	0.81	0.67	0.67	0.69	0.75
Diet type x AEO content x AEO form					

^{a,b,c} میانگین‌های هر ستون با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی دار هستند ($P < 0.05$).
¹AEO: اسانس زیتان، و ²E-AEO: اسانس زیتان کیسوله

^{a,b,c} Means in each column with different superscripts are different ($P < 0.05$).

¹AEO: Ajwain essential oil, and ²E-AEO: Encapsulated Ajwain essential oil.

افزایش داد (Alitaneh et al., 2016)، درحالی‌که لی و همکاران (Lee et al., 2003) گزارش کردند که ترکیبات اصلی زنیان (تیمول و کارواکرول) در سطح ۲۰۰ پی‌پی‌ام تأثیری بر وزن نسبی کبد نداشتند.

متابولیت‌های بیوشیمیایی خون

اثر متقابل نوع جیره، سطح و شکل اسانس زنیان، غلظت تری گلیسرید، آلفالین فسفاتاز و آسپارات آمینوترانسفراز در خون جوجه‌های گوشتی را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۶). جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره حاوی ذرت-گندم به همراه ۳۰۰ پی‌پی‌ام اسانس زنیان کپسوله‌شده، غلظت تری گلیسرید خون کمتری نسبت به جوجه‌های دریافت‌کننده جیره‌های ذرت-گندم به همراه ۳۰۰ پی‌پی‌ام اسانس زنیان یا بدون اسانس و جیره حاوی ذرت به همراه ۱۵۰ پی‌پی‌ام اسانس زنیان داشتند ($P < 0.05$). افزایش میزان اسانس از صفر به ۱۵۰ پی‌پی‌ام، غلظت LDL خون جوجه‌های گوشتی را کاهش داد ($P < 0.05$). جوجه‌های گوشتی دریافت‌کننده جیره حاوی اسانس زنیان کپسوله‌شده، غلظت LDL خون کمتری نسبت به جوجه‌های دریافت‌کننده اسانس زنیان داشتند ($P < 0.01$). تری گلیسرید به‌عنوان شاخصی برای تشخیص هموستازی بدن و متابولیسم انرژی ارزیابی می‌شود که می‌تواند اطلاعات مفیدی برای بررسی وضعیت فیزیولوژیک فراهم کند. غلظت تری گلیسرید خون بیانگر میزان چربی بدن است و تحت تأثیر میزان انرژی قابل متابولیسم قرار می‌گیرد (Mahmoodi Bardzardi et al., 2014b). گزارش شده است که اسانس‌های گیاهی می‌توانند با مهار آنزیم هیدروکسی متیل گلوکوزیل کوآنزیم A ردوکتاز و نیز باند شدن با کلسترول و اسیدهای صفراوی در لومن روده، جذب کلسترول را کاهش دهند (Akbari & Torki, 2014). به‌طور ویژه در زنیان، تیمول/کارواکرول با تعدیل مسیرهای کبدی سنتز و برداشت لیپوپروتئین‌ها، افزایش کاتابولیسم LDL و تقویت تبدیل کلسترول به اسیدهای صفراوی، به کاهش کلسترول پلاسما کمک می‌کنند (Lee et al., 2003). افزون بر این، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی این ترکیبات موجب مهار پراکسیداسیون لیپیدی و بهبود وضعیت اکسیداتیو-التهابی کبد شده و به نرمال‌سازی آنزیم‌های کلیدی متابولیسم لیپید می‌انجامد؛ در سطح روده نیز با تعدیل میکروبیوتا و کاهش باکتری‌های کلسترول‌از مثبت و بهبود هضم از طریق تحریک ترشحات گوارشی، بر سرنوشت لیپیدها اثر می‌گذارند (Zarshenas et al., 2014; Hashemipour et al., 2016; Goudarzi et al., 2011). بنابراین، شواهد موجود نشان می‌دهد که اثرات زنیان بر کاهش کلسترول و بهبود پروفایل لیپیدی عمدتاً ناشی از غلظت بالای تیمول/کارواکرول و برهم‌کنش‌های چندمسیره کبدی-روده‌ای است.

در نهایت می‌توان بیان کرد که اسانس‌های گیاهی با دارا بودن ترکیبات زیست‌فعال (مانند فنول‌ها و ترپنوئیدها) موجب تعدیل جمعیت میکروبی روده، کاهش التهاب و بهبود هضم و جذب مواد مغذی می‌شوند که در نهایت ضریب تبدیل خوراک و عملکرد رشد را بهبود می‌دهد. بااین‌حال، غلظت بهینه (مانند ۱۵۰ پی‌پی‌ام) با متعادل‌سازی خواص ضد میکروبی و محرک گوارشی، بهترین نتیجه را در شاخص تولید ایجاد می‌کند، درحالی‌که غلظت‌های بالاتر (۳۰۰ پی‌پی‌ام) ممکن است اثرات سمی یا تنش‌زایی داشته باشد.

خصوصیات لاشه

همان‌طور که در جدول ۵ نشان داده شده است، اثر متقابل نوع جیره، سطح و شکل اسانس زنیان بر خصوصیات لاشه جوجه‌های گوشتی معنی‌دار نبود. بااین‌حال، ساعی و همکاران (Saei et al., 2021) نشان دادند که جوجه‌های تغذیه‌شده با جیره حاوی ۳۰۰ پی‌پی‌ام اسانس زنیان (*Trachyspermum copticum*) به‌طور معنی‌داری دارای مقادیر بالاتری وزن لاشه، سینه، ران، چربی شکمی، قلب و کبد در مقایسه با سایر گروه‌ها بودند. گروه دریافت‌کننده ۱۵۰ پی‌پی‌ام اسانس زنیان نیز بالاترین وزن سنگدان را داشت. در مقابل، جوجه‌های تغذیه‌شده با بالاترین سطح اسانس زنیان (۴۵۰ پی‌پی‌ام)، کاهش معنی‌داری در وزن زنده بدن، وزن لاشه تخلیه‌شده، وزن لاشه، سینه، ران و چربی شکمی نشان دادند. گروه ۱۵۰ پی‌پی‌ام نیز کمترین وزن قلب را داشت. سایر گروه‌ها مقادیر میانی را نشان دادند (Saei et al., 2021). در پژوهش حاضر نیز جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره حاوی ذرت-گندم نسبت به جیره حاوی ذرت به‌تنهایی، وزن نسبی لاشه و سینه بالاتری داشتند ($P < 0.05$). جوجه‌های دریافت‌کننده جیره فاقد اسانس، وزن نسبی ران بیشتری نسبت به جوجه‌های دریافت‌کننده جیره حاوی ۱۵۰ پی‌پی‌ام اسانس در روز ۴۲ داشتند ($P < 0.05$). از سوی دیگر، جوجه‌های تغذیه‌شده با جیره ذرت نسبت به جیره ذرت-گندم، وزن نسبی کبد، طحال و سنگدان بالاتری داشتند ($P < 0.05$). این یافته‌ها با نتایج برخی از پژوهش‌های پیشین هم‌خوانی دارد. به‌عنوان مثال، محمدامینی و همکاران (Mohammadamini et al., 2015) و علیتانه و همکاران (Alitaneh et al., 2016) به‌ترتیب گزارش کردند که گیاهان دارویی و دانه زنیان تأثیر معنی‌داری بر بازده لاشه و وزن کبد نداشتند. همچنین هرناندز و همکاران (Hernandez et al., 2004) و دمیر و همکاران (Demir et al., 2005) اعلام کردند که پودر و اسانس گیاهی تأثیری بر وزن نسبی اندام‌های داخلی نداشتند. با این وجود، تناقضاتی در پژوهش‌ها مشاهده می‌شود؛ به‌عنوان مثال، یک پژوهش نشان داد که استفاده از دو درصد دانه زنیان، وزن نسبی پیش‌معه را

جدول ۵- اثرات نوع جیره، سطح و شکل‌های اسانس زنیان بر خصوصیات لاشه (درصد از وزن بدن زنده) جوجه‌های گوشتی در ۴۲ روزگی

Table 5- Effects of diet type, contents and forms of Ajwain essential oil on carcass characteristics (% live body weight) of broiler chickens at 42 days of age

شاخص‌ها Parameters	بازده لاشه (%) Carcass yield (%)	سینه (%) Breast (%)	ران (%) Thigh (%)	قلب (%) Heart (%)	کبد (%) Liver (%)	طحال (%) Spleen (%)	سنگدان (%) Gizzard (%)	سکوم (%) Cecum (%)
نوع جیره Diet type								
ذرت Corn	73.8 ^b	25.9 ^b	19.5	0.42	2.60 ^a	0.17 ^a	3.56 ^a	0.51
ذرت-گندم Corn – wheat	74.9 ^a	26.7 ^a	19.3	0.41	2.40 ^b	0.14 ^b	3.25 ^b	0.53
میانگین خطای استاندارد Standard error of the mean	0.37	0.27	0.14	0.01	0.06	0.009	0.07	0.02
سطح اسانس زنیان (میلی گرم بر کیلوگرم) AEO ¹ content (mg/kg)								
0	74.2	26.1	19.8 ^a	0.42	2.49	0.15	3.44	0.54
150	74.2	26.3	19.1 ^b	0.41	2.44	0.15	3.49	0.53
300	74.7	26.5	19.2 ^{ab}	0.41	2.57	0.17	3.29	0.49
میانگین خطای استاندارد Standard error of the mean	0.45	0.33	0.17	0.01	0.07	0.01	0.08	0.03
شکل اسانس زنیان AEO form								
اسانس زنیان AEO	74.3	26.1	19.4	0.42	2.50	0.16	3.37	0.53
اسانس زنیان کپسوله E-AEO ²	74.4	26.5	19.3	0.41	2.50	0.16	3.44	0.51
میانگین خطای استاندارد Standard error of the mean	0.37	0.27	0.14	0.01	0.06	0.009	0.07	0.03
سطح احتمال معنی‌داری P-value								
نوع جیره Diet type	0.03	0.04	0.37	0.60	0.03	0.02	0.005	0.46
سطح اسانس زنیان AEO content	0.66	0.62	0.02	0.64	0.49	0.32	0.26	0.51
شکل اسانس زنیان AEO form	0.88	0.26	0.61	0.44	0.96	0.95	0.49	0.71
نوع جیره × سطح اسانس زنیان Diet type × AEO content	0.68	0.33	0.83	0.26	0.81	0.49	0.31	0.15
نوع جیره × شکل اسانس زنیان Diet type × AEO form	0.47	0.39	0.18	0.09	0.84	0.22	0.98	0.60
سطح اسانس زنیان × شکل اسانس زنیان AEO content × AEO form	0.56	0.21	0.25	0.85	0.70	0.95	0.84	0.96
نوع جیره × سطح اسانس زنیان × شکل اسانس زنیان Diet type × AEO content × AEO form	0.87	0.43	0.05	0.20	0.78	0.51	0.99	0.84

^{a,b,c} میانگین‌های هر ستون با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند ($P < 0.05$).

¹AEO: اسانس زنیان، و ²E-AEO: اسانس زنیان کپسوله

^{a,b,c} Means in each column with different superscripts are different ($P < 0.05$).

¹AEO: Ajwain essential oil, and ²E-AEO: Encapsulated Ajwain essential oil.

جدول ۶- اثرات نوع جیره، سطح و شکل‌های اسانس زنیان بر متابولیت‌های بیوشیمیایی خون جوجه‌های گوشتی در ۴۲ روزگی
Table 6- Effects of diet type, contents and forms of Ajwain essential oil on blood biochemistry metabolites of broiler chickens at 42 days of age

شاخص‌ها Parameters	متابولیت‌های خون Blood metabolite						
	آلبومین (میلی گرم در دسی لیتر) Albumin (mg/dl)	کلسترول -LDL (میلی - گرم در دسی - لیتر) LDL- cholesterol (mg/dl) ¹	تری گلیسرید (میلی گرم در دسی لیتر) Triglyceride (mg/dl)	کلسترول (میلی - گرم در دسی لیتر) Cholesterol (mg/dl)	آسپاراتات آمینوترانسفراز (واحد بر لیتر) AST (U/L) ²	آلانین آمینوترانسفراز (واحد بر لیتر) ALT (U/L) ³	آلکالین فسفاتاز (واحد بر لیتر) ALP (U/L) ⁴
نوع جیره × سطح اسانس زنیان × شکل اسانس زنیان Diet type × AEO ⁵ content × AEO form							
ذرت × ۰ × اسانس زنیان Corn × 0 × AEO	3.38	124.3	127.7 ^{ab}	165.0	221.3 ^b	71.7	2847 ^a
ذرت × ۰ × اسانس زنیان کپسوله Corn × 0 × E-AEO ⁶	3.38	123.3	126.7 ^{ab}	164.7	220.3 ^b	71.8	2846 ^a
ذرت × ۱۵۰ × اسانس زنیان Corn × 150 × AEO	3.43	119.7	142.3 ^a	164.3	210.0 ^b	83.3	2695 ^{ab}
ذرت × ۱۵۰ × اسانس زنیان کپسوله Corn × 150 × E-AEO	3.43	119.0	125.7 ^{ab}	160.3	200.7 ^b	75.3	1761 ^b
ذرت × ۳۰۰ × اسانس زنیان Corn × 300 × AEO	3.40	125.7	128.0 ^{ab}	166.7	211.3 ^b	64.0	2983 ^a
ذرت × ۳۰۰ × اسانس زنیان کپسوله Corn × 300 × E-AEO	3.43	120.0	125.0 ^{ab}	164.0	211.3 ^b	67.7	3108 ^a
ذرت-گندم × ۰ × اسانس زنیان Corn-wheat × 0 × AEO	3.47	126.0	147.7 ^a	161.7	229.3 ^b	74.0	2243 ^{ab}
ذرت-گندم × ۰ × اسانس زنیان کپسوله Corn-wheat × 0 × E-AEO	3.47	125.8	146.7 ^a	161.7	229.3 ^b	74.0	2244 ^{ab}
ذرت-گندم × ۱۵۰ × اسانس زنیان Corn-wheat × 150 × AEO	3.43	123.3	131.7 ^{ab}	164.7	224.7 ^b	80.3	2466 ^{ab}
ذرت-گندم × ۱۵۰ × اسانس زنیان کپسوله Corn-wheat × 150 × E-AEO	3.50	114.3	125.0 ^{ab}	162.7	202.3 ^b	71.3	3106 ^a
ذرت-گندم × ۳۰۰ × اسانس زنیان Corn-wheat × 300 × AEO	3.50	125.0	143.7 ^a	161.3	295.3 ^a	84.0	3111 ^a
ذرت-گندم × ۳۰۰ × اسانس زنیان کپسوله Corn-wheat × 300 × E-AEO	3.40	118.0	118.0 ^b	163.0	193.0 ^b	76.7	3175 ^a
میانگین خطای استاندارد Standard error of the mean	0.04	2.31	4.48	2.44	7.70	2.43	201
سطح اسانس زنیان × شکل اسانس زنیان AEO content × AEO form							
۰ × اسانس زنیان 0 × AEO	3.42	125.2	137.7	163.3	225.3 ^{ab}	72.8 ^b	2545
۱۵۰ × اسانس زنیان 150 × AEO	3.45	125.3	135.8	164.0	253.3 ^a	74.0 ^b	3047
۳۰۰ × اسانس زنیان 300 × AEO	3.43	121.5	137.0	164.5	217.3 ^{ab}	81.8 ^a	2580

300 × AEO							
• × اسانس زنیان کپسوله 0 × E-AEO	3.47	116.7	125.3	161.5	201.5 ^b	73.3 ^b	2434
۱۵۰ × اسانس زنیان کپسوله 150 × E-AEO	3.42	125.0	136.0	162.3	225.3 ^{ab}	72.0 ^b	2544
۳۰۰ × اسانس زنیان کپسوله 300 × E-AEO	3.42	119.0	125.5	163.5	202.2 ^b	72.2 ^b	3142
میانگین خطای استاندارد Standard error of the mean	0.03	1.63	3.17	1.73	5.44	1.72	142
نوع جیره × شکل اسانس زنیان Diet type × AEO form							
ذرت × اسانس زنیان Corn × AEO	3.40	123.2	132.7	165.3	214.2 ^b	73.0	2842 ^a
ذرت × اسانس زنیان کپسوله Corn × E-AEO	3.42	121.1	126.1	163.1	211.1 ^b	71.6	2572 ^b
ذرت-گندم × اسانس زنیان Corn – wheat × AEO	3.47	124.8	141.0	162.6	249.8 ^a	79.4	2607 ^b
ذرت-گندم × اسانس زنیان کپسوله Corn – wheat × E-AEO	3.45	119.4	130.2	162.4	208.2 ^b	74.0	2842 ^a
میانگین خطای استاندارد Standard error of the mean	0.02	1.33	2.59	1.41	4.44	1.40	116
نوع جیره × سطح اسانس زنیان Diet type × AEO content							
ذرت × ۰ Corn × 0	3.38	124.3	127.7 ^b	165.0	221.3 ^{ab}	71.7 ^{ab}	2847 ^{ab}
ذرت × ۱۵۰ Corn × 150	3.43	119.3	134.0 ^{ab}	162.3	205.3 ^b	79.3 ^a	2228 ^b
ذرت × ۳۰۰ Corn × 300	3.42	122.8	126.5 ^b	165.3	211.3 ^b	65.8 ^b	3046 ^a
ذرت-گندم × ۰ Corn – wheat × 0	3.47	126.0	147.7 ^a	161.7	229.3 ^{ab}	74.0 ^{ab}	2243 ^b
ذرت-گندم × ۱۵۰ Corn – wheat × 150	3.47	118.8	128.3 ^b	163.7	213.5 ^b	75.8 ^a	2786 ^{ab}
ذرت-گندم × ۳۰۰ Corn – wheat × 300	3.45	121.5	130.8 ^{ab}	162.2	244.2 ^a	80.3 ^a	3143 ^a
میانگین خطای استاندارد Standard error of the mean	0.03	1.63	3.17	1.73	5.44	1.72	142
نوع جیره Diet type							
ذرت Corn	3.41	122.2	129.4 ^b	164.2	212.7 ^b	72.3 ^b	2707
ذرت-گندم Corn – wheat	3.46	122.1	135.6 ^a	162.5	229.0 ^a	76.7 ^a	2724
میانگین خطای استاندارد Standard error of the mean	0.01	0.94	1.83	0.99	3.14	0.99	82.0
سطح اسانس زنیان (میلی گرم بر کیلوگرم) AEO content (mg/kg)							
0	3.42	125.2 ^a	137.7 ^a	163.3	225.3 ^a	72.8 ^b	2545 ^b
150	3.45	119.1 ^b	131.2 ^{ab}	163.0	209.4 ^b	77.6 ^a	2507 ^b
300	3.43	122.2 ^{ab}	128.7 ^b	163.75	227.8 ^a	73.1 ^b	3094 ^a
میانگین خطای استاندارد Standard error of the mean	0.02	1.15	2.24	1.22	3.85	1.21	100

شکل اسانس زنیان							
AEO form							
اسانس زنیان	3.44	124.0 ^a	136.8 ^a	163.9	232.0 ^a	76.2 ^a	2724
AEO							
اسانس زنیان کپسوله	3.44	120.3 ^b	128.2 ^b	162.8	209.7 ^b	72.8 ^b	2707
E-AEO							
میانگین خطای استاندارد	0.01	0.94	1.83	0.99	3.14	0.99	82.0
Standard error of the mean							
سطح احتمال معنی‌داری							
P-value							
نوع جیره	0.08	0.96	0.02	0.23	0.001	0.004	0.88
Diet type							
سطح اسانس زنیان	0.75	0.004	0.02	0.91	0.004	0.01	0.0005
AEO content							
شکل اسانس زنیان	1.00	0.01	0.002	0.41	<0.0001	0.02	0.88
AEO form							
نوع جیره × سطح اسانس زنیان	0.69	0.64	0.001	0.32	0.04	<0.0001	0.001
Diet type × AEO content							
نوع جیره × شکل اسانس زنیان	0.68	0.23	0.42	0.46	0.0002	0.16	0.03
Diet type × AEO form							
سطح اسانس زنیان × شکل اسانس زنیان	0.61	0.15	0.07	0.65	0.0003	0.05	0.69
AEO content × AEO form							
سطح اسانس زنیان × شکل اسانس زنیان							
نوع جیره ×	0.33	0.40	0.04	0.82	0.0001	0.23	0.01
Diet type × AEO content × AEO form							

a,b,c P میانگین‌های هر ستون با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند ($P < 0.05$).

: اسانس E-AEO: اسانس زنیان، و ^eAEO: آلکالین فسفاتاز، ^dALP: آلانین آمینوترانسفراز، ^fALT: آسپارات آمینوترانسفراز، ^gAST: لیپوپروتئین با چگالی کم، ^hLDL¹ زنیان کپسوله

a,b,c Means in each column with different superscripts are different ($P < 0.05$).

¹LDL: low density lipoprotein, ²AST: aspartate aminotransferase, ³ALT: alanine aminotransferase, ⁴ALP: alkaline phosphatase.

⁵AEO: Ajwain essential oil, and ⁶E-AEO: Encapsulated Ajwain essential oil.

اسانس زنیان از لحاظ غلظت آلکالین فسفاتاز تفاوت معنی‌داری نداشتند ($P < 0.05$). در مطالعه حاضر، جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره حاوی اسانس زنیان کپسوله‌شده، غلظت آسپارات آمینوترانسفراز و آلانین آمینوترانسفراز کمتری نسبت به جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره حاوی اسانس زنیان داشتند ($P < 0.05$). افزایش معنی‌دار آسپارات آمینوترانسفراز و آلانین آمینوترانسفراز در تیمار ۳۰۰ پی‌پی‌ام اسانس زنیان عمدتاً می‌تواند نشان‌دهنده فشار متابولیک و سمیت سلولی ناشی از غلظت بالای این اسانس بر بافت کبد باشد. این فرضیه با کاهش معنی‌دار این آنزیم‌ها در گروه دریافت‌کننده اسانس کپسوله‌شده تقویت می‌شود که نشان می‌دهد ره‌ایش کنترل‌شده و تدریجی ترکیبات اسانس می‌تواند از بار ناگهانی بر کبد بکاهد. اگرچه اسانس زنیان در سطوح پایین‌تر می‌تواند مفید باشد، اما در این غلظت خاص، احتمالاً باعث ایجاد اختلال در یکپارچگی سلول‌های کبدی

جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره ذرت-گندم به همراه ۳۰۰ پی‌پی‌ام اسانس زنیان، غلظت آسپارات آمینوترانسفراز خون بیشتری نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی داشتند ($P < 0.01$). جوجه‌های گوشتی دریافت‌کننده جیره حاوی ۳۰۰ پی‌پی‌ام اسانس زنیان، غلظت آلانین آمینوترانسفراز خون بالاتری نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی داشتند ($P < 0.05$). همچنین جوجه‌های گوشتی دریافت‌کننده جیره ذرت-گندم حاوی هر دو سطح اسانس و جیره ذرت حاوی ۱۵۰ پی‌پی‌ام اسانس، غلظت آلانین آمینوترانسفراز خون بالاتری نسبت به جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره ذرت + ۳۰۰ پی‌پی‌ام اسانس داشتند ($P < 0.05$). جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره ذرت + ۱۵۰ پی‌پی‌ام اسانس زنیان کپسوله‌شده، غلظت آلکالین فسفاتاز خون کمتری داشتند ($P < 0.01$). باین‌حال، جیره ذرت-گندم بدون اسانس و یا به همراه ۱۵۰ پی‌پی‌ام اسانس زنیان و جیره ذرت + ۱۵۰ پی‌پی‌ام

شده است.

کبد یک اندام حیاتی در مهره‌داران و سایر جانوران است. کبد نقش‌های متعددی از جمله سم‌زدایی، سنتز پروتئین، تولید مواد ضروری برای هضم، ذخیره گلیکوژن، تجزیه گلبول‌های قرمز و تولید هورمون‌ها دارد. ترانس‌آمینازهایی مانند آلانین آمینوترانسفراز و آسپارات آمینوترانسفراز که در کبد تولید می‌شوند، به‌عنوان شاخص‌های آسیب کبدی (بیومارکر) شناخته شده‌اند. آلانین آمینوترانسفراز و آسپارات آمینوترانسفراز آنزیم‌های کبدی هستند که در متابولیسم اسیدهای آمینه نقش دارند و در صورت آسیب به سلول‌های کبدی، مقادیر زیادی از این آنزیم‌ها وارد خون می‌شوند (Amirmohammadi et al., 2012). ایری‌آدام و همکاران (Iriadam et al., 2006) نشان دادند که عصاره اندام هوایی گیاه باعث کاهش آسپارات آمینوترانسفراز و آلانین آمینوترانسفراز می‌شود. کلبادی نژاد و رضایی پور (Kolbadinejad & Rezaei pour, 2020) گزارش کردند که فعالیت آنزیم کبدی آسپارات آمینوترانسفراز در جوجه‌های گوشتی دریافت‌کننده جیره فاقد مکمل دانه زنیان بیشتر از جوجه‌های تغذیه‌شده با جیره حاوی دانه زنیان بود. امیرمحمدی و همکاران (Amirmohammadi et al., 2012) مشاهده کردند که میزان آلکالین فسفاتاز در حیوانات دریافت‌کننده اسانس برگ‌های درمنه نسبت به گروه شاهد افزایش یافت. این افزایش آلکالین فسفاتاز احتمالاً به نقش این آنزیم در فرآیند سم‌زدایی مربوط است. افزایش آلکالین فسفاتاز یکی از ویژگی‌های بارز آسیب کبدی است. تیمارهای

آزمایشی بر روی آلومین و کلسترول تأثیرگذار نبودند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که جایگزینی بخشی از ذرت با گندم در جیره جوجه‌های گوشتی، در صورت همراهی با افزودن ۱۵۰ پی‌پی‌ام اسانس کپسوله‌شده زنیان، می‌تواند به عنوان یک راهکار تغذیه‌ای مؤثر عمل کند. جوجه‌های دریافت‌کننده این جیره، عملکرد رشد و شاخص تولید اروپایی بهتری را نشان دادند که ناشی از بهبود ضریب تبدیل خوراک و وزن نسبی قطعات لاشه (سینه و ران) بود. همچنین، کاربرد این سطح از اسانس کپسوله‌شده، وضعیت سلامت متابولیک پرنده را با کاهش معنادار شاخص‌های استرس کبدی (آنزیم‌های AST و ALT و بهبود پروفایل لیپیدی خون) کاهش LDL و تری‌گلیسرید) ارتقا بخشید. در مقابل، دوز بالاتر اسانس (۳۰۰ پی‌پی‌ام) با افزایش تلفات همراه بود که نشان‌دهنده محدوده سمیت احتمالی است. بر این اساس، سطح ۱۵۰ پی‌پی‌ام اسانس کپسوله‌شده زنیان به عنوان سطح بهینه برای حصول حداکثر مزایای عملکردی و سلامتی توصیه می‌شود. در مجموع، یافته‌ها کاربرد عملی اسانس کپسوله‌شده زنیان را در جیره‌های مبتنی بر گندم تأیید کرده و نشان می‌دهد که این افزودنی می‌تواند همزمان کارایی تولید و سلامت متابولیک جوجه‌های گوشتی را بهبود بخشد.

References

1. Akbari, M., & Torki, M. (2014). Effects of dietary chromium picolinate and peppermint essential oil on growth performance and blood biochemical parameters of broiler chicks reared under heat stress conditions. *International Journal of Biometeorology*, 58, 1383–1391. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0740-1>
2. Alitaneh, S., Afzali, N., Sarir, H., & NaeimiPour, H. (2016). Screening for effects of different levels of ajowan (*carum copticum l.*) and coriander (*coriandrum sativum l.*) seeds on performance and carcass characteristics of Ross broiler chickens. *Research on Animal Production*, 7(14), 21-32. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.29252/rap.7.14.32>
3. Amirmohammadi, F., JalaliSendi, J., & Zibaee, A. (2012). Toxicity and physiological effect of essential oil of artemisia annua (*labiatae*) on agriolimnaxagrestis l. (*stylommatophora: limacidae*). *Journal of Plant Protection Research*, 52, 185-189. <https://doi.org/10.2478/v10045-012-0028-1>
4. Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
5. Bustos, R., Romo, L., Yanez, K., Diaz, G., & Romo, C., 2003. Oxidative stability of carotenoid pigments and polyunsaturated fatty acids in microparticulate diets containing krill oil for nutrition of marine fish larvae. *Journal of Food Engineering*, 56, 289-293. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00272-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00272-8)
6. Collier, C. T., Van Der Klis, J. D., Deplancke, B., Anderson, D. B., & Gaskins, H. R. (2003). Effects of tylosin on bacterial mucolysis, clostridium perfringens colonization and intestinal barrier function in a chick model of necrotic enteritis. *Antimicrob. Agents Chemother*, 47, 3311–3317. <https://doi.org/10.1128/AAC.47.10.3311-3317.2003>
7. Cross, D. E., Svoboda, K., Mcdevitt, R. M., & Acamovic, T. (2003). The performance of chickens fed diets with or without thyme oil and enzymes. *British Poultry Science*, 44, 18-19. <https://doi.org/10.1080/713655293>
8. Demir, E., Sarica, S., Özcan, M. A., & Suiçmez, M. (2005). The use of natural feed additives as alternative to an antibiotic growth promoter in broiler diets. *European Poultry Science*, 69(3), 110-116. <https://doi.org/10.1080/713655288>

9. Esmaeili, A., & Rafiee, R. (2014). Preparation and biological activity of nanocapsulated *glycyrrhiza glabra* l. var. *glabra*. *Flavour and Fragrance Journal*, 30, 113-119. <https://doi.org/10.1002/ffj.3225>
10. Falaki, M., Shams Shargh, M., Dastar, B., Hashemi, S. R., & Sadeghi Mahoonak, A. R. (2016). Growth performance, carcass characteristics and intestinal microflora of broiler chickens fed diets containing carum copticum essential oil. *Poultry Science Journal*, 4(1), 37-46. <https://doi.org/10.22069/psj.2016.2970>
11. Ghazanfari, S., Mohammadi, Z., & Adib Moradi, M. (2015). Effects of coriander essential oil on the performance, blood characteristics, intestinal microbiota and histological of broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 17(4), 419-426. <https://doi.org/10.1590/1516-635X1704419-426>
12. Ghazanfari, S., Akbari Shadbad, C., Maymandipour, A., Hosseini, S. A., & Honarbakhsh, S. (2023). Physiological changes in broiler chickens subjected to dietary ajwain (*trachyspermum ammi* L.) essential oil in encapsulated and conventional forms within a wheat-based diet. *Veterinary and Animal Science*, 22(100321), 100321. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2023.100321>
13. Gortzi, O., Lalas, S., Chinou I., & Tsaknis, J. (2006). Reevaluation of antimicrobial and antioxidant activity of thymus spp. extracts before and after encapsulation in liposomes. *Journal of Food Protection*, 69(12), 2998-3005. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-69.12.2998>
14. Goudarzi, G. R., Saharkhiz, M. J., Sattari, M., & Zomorodian, K. (2011). Antibacterial activity and chemical composition of ajowan (*carum copticum benth. & hook*) essential oil. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13, 203-208.
15. Hafeez, A., Manner, K., Schieder, C., & Zentek, J. (2015). Effect of supplementation of phytogenic feed additives (powdered vs. encapsulated) on performance and nutrient digestibility in broiler chickens. *Poultry Science*, 95(3), 622-629. <https://doi.org/10.3382/ps/pev368>
16. Hashemipour, H., Khaksar, V., Rubio, L. A., Veldkamp, T., & Krimpen, M. M. (2016). Effect of feed supplementation with a thymol plus carvacrol mixture, in combination or not with an NSP-degrading enzyme, on productive and physiological parameters of broilers fed on wheat-based diets. *Animal Feed Science and Technology*, 211, 117-131. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.09.023>
17. Hernandez, F., Madrid, J., Garcia, V., Orengo, J., & Megias, M. D. (2004). Influence of two plant extracts on broiler performance digestibilities and digestive organ size. *Journal of Poultry Science*, 83, 169-174. <https://doi.org/10.1093/ps/83.2.169>
18. Hosseini, S. A., & Meimandipour, A. (2018). Feeding broilers with thyme essential oil loaded in chitosan nanoparticles: An efficient strategy for successful delivery. *British Poultry Science*, 59(6), 669-678. <https://doi.org/10.1080/00071668.2018.1521511>
19. Huang, R., Yin, Y., Wu, G., Zhang, Y., Li, T., Li, L., Li, M., Tang, Z., Zhang, J., & Wang, B. (2005). Effect of dietary oligochitosan supplementation on ileal digestibility of nutrients and performance in broilers. *Poultry Science*, 84, 1383-1388. <https://doi.org/10.1093/ps/84.9.1383>
20. Iriadam, M., Musa, D., Gumushan, H., & Baba, F. (2006). Effects of two Turkish medicinal plants artemisia herba-alba and teucrium polium on blood glucose levels and other biochemical parameters in rabbits. *Journal of Molecular Cell Biology*, 5, 19-24.
21. Kolbadinejad, A. R., & Rezaeipour, V. (2020). Efficacy of ajwain (*trachyspermum ammi* L.) seed at graded levels of dietary threonine on growth performance, serum metabolites, intestinal morphology and microbial population in broiler chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(5), 1333-1342. <https://doi.org/10.1111/jpn.13357>
22. Krasaekoopt, W., & Bhandari, B. (2012). Properties and applications of different probiotic delivery systems. encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals. *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, 541-594. <https://doi.org/10.1533/9780857095909.4.541>
23. Lee, K. W., Everts, H., Kappert, H. J., Frehner, M., Losa, R., & Beynen, A. C. (2003). Effects of dietary essential oil components on growth performance, digestive enzymes and lipid metabolism in female broiler chickens. *British Poultry Science*, 44(3), 450-457. <https://doi.org/10.1080/0007166031000085508>
24. Mahmoodi Bardzardi, M., Ghazanfari, S., Salehi, A., & Sharifi, S. D., (2014a). Growth performance, carcass characteristics, antibody titer and blood parameters in broiler chickens fed dietary myrtle (*myrtus communis*) essential oil as an alternative to antibiotic growth promoter. *Poultry Science Journal*, 2(1), 36-48. <https://doi.org/10.22069/psj.2014.1571>
25. Mahmoodi Bardzardi, M., Ghazanfari, S., Salehi, A., & Sharifi, S. D. (2014b). Effect of dietary myrtle essential oil on iron-induced lipid oxidation of breast, thigh and abdominal fat tissues and serum biochemical parameters in broiler chickens. *European Poultry Science*, 78, 1-14. <https://doi.org/10.1399/eps.2014.39>
26. Masouri, L., Salari, S., Sari, M., Tabatabaei, S., & Masouri, B. (2017). Effect of feed supplementation with Satureja khuzistanica essential oil on performance and physiological parameters of broilers fed on wheat-or maize-based diets. *British Poultry Science*, 58(4), 425-434. <https://doi.org/10.1080/00071668.2017.1327701>
27. Meimandipour, A., Nouri, A. E., & Soleimani, A. (2017). Effects of nanoencapsulated aloe vera, dill and nettle

- root extract as feed antibiotic substitutes in broiler chickens. *Archives Animal Breeding*, 60, 1–7. <https://doi.org/10.5194/aab-60-1-2017>
28. Mohammadamini, M., Shariatmadari, F., & Hosseini, S. A. (2015). The effects of turmeric, thyme and cinnamon on parameters related to ascites syndrome in Arian broilers. *Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants Research*, 31(3), 436–445. (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.101878>
29. Mohammadi, Z., Ghazanfari, S., & Adib Moradi, M. (2014). Effect of supplementing clove essential oil to the diet on microflora population, intestinal morphology, blood parameters and performance of broilers. *European Poultry Science*, 78, 1-14. <https://doi.org/10.1399/eps.2014.51>
30. Mohammadi, A., Ghazanfari, S., & Sharifi, S. D. (2019). Comparative effects of dietary organic, inorganic, and nano-selenium complexes and rosemary essential oil on performance, meat quality and selenium deposition in muscles of broiler chickens. *Livestock Science*, 226, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.06.001>
31. Ramakrishna Rao, R., Platel, K., & Srinivasan, K. (2003). In vitro influence of spices and spice-active principles on digestive enzymes of rat pancreas and small intestine. *Nahrung*, 47(6), 408–412. <https://doi.org/10.1002/food.200390091>
32. Raphael, K. J., & Meimandipour, A. (2017). Antimicrobial activity of chitosan film forming solution enriched with essential oils; an *in vitro* assay. *Iranian Journal of Biotechnology*, 15, 111-119. <https://doi.org/10.15171/ijb.1360>
33. Saei, S., Di Rosa, A. R., Rasouli, B., Seidavi, A., Chiofalo, V., Liotta, L., & Chiofalo, B. (2021). Ajwain (*Trachyspermum copticum*) extract in broiler diets: effect on growth performance, carcass components, plasma constituents, immunity and cecum microflora. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1), 842–849. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1926347>
34. SAS. (2005). SAS/STAT User's Guide, Release 8.02 ed. SAS Institute Inc., Cary, NC, US.
35. Shi-bin, Y., & Hong, C. (2012). Effects of dietary supplementation of chitosan on growth performance and immune index in ducks. *African Journal of Biotechnology*, 11(14), 3490-3495. <https://doi.org/10.5897/AJB11.1648>
36. Song, Y., Liu, L., Shen, H., You, J., & Luo, Y. (2011). Effect of sodium alginate-based edible coating containing different anti-oxidants on quality and shelf life of refrigerated bream (*megalobrama amblycephala*). *Food Control*, 22, 608-615. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.10.012>
37. Yin, D., Yuan, J., Guo, Y., & Chiba, L. I. (2017). Effect of storage time on the characteristics of corn and efficiency of its utilization in broiler chickens. *Animal Nutrition*, 3, 252-257. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.04.007>
38. Zarshenas, M. M., Moein, M., Mohammadi Samani, S., & Petramfar, P. (2014). An overview on ajwain (*trachyspermum ammi*) pharmacological effects; modern and traditional. *Journal of Natural Remedies*, 14(1), 2320-3358. <https://doi.org/10.18311/jnr/2014/96>
39. Zarua, M., Mancaa, M. L. Faddab, A. M., & Antimisiarisa, S. G. (2009). Chitosan-coated liposomes for delivery to lungs by nebulisation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 71, 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2009.01.010>

Research Article

Vol. 17, No.4, 2026, p. 447-461



Effects of Adding the Microalgae *Spirulina platensis* to Diets Containing Flaxseed oil on Performance, Antioxidant Status, and Blood Lipid Parameters of Aged Laying Hens

Javad Ghanouni Bostanabad¹, Sayed Ali Mirghelenj^{1*}, Mohsen Daneshyar¹, Ali Hashemi¹, Sina Payvastegan¹, Amir Mosayyeb Zadeh¹

1- Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

*Corresponding Author's Email: a_mirghelenj@yahoo.com

How to cite this article:

Ghanouni Bostanabad, J., Mirghelenj, S. A., Daneshyar, M., Hashemi, A., Payvastegan, S., & Mosayyeb Zadeh, A. (2026). Effects of adding the microalgae *Spirulina platensis* to diets containing flaxseed oil on performance, antioxidant status, and blood lipid parameters of aged laying hens. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 17(4), 447-461. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.93378.1247>

Received: 09-05-2025

Revised: 03-10-2025

Accepted: 12-10-2025

Available Online: 03-02-2026

Introduction: Flaxseed oil contains a variety of unsaturated fatty acids such as linolenic acid, linoleic acid, and oleic acid. The linolenic acid content can be up to 53%, which leads to increased nutritional value. However, the oxidative sensitivity of these polyunsaturated fatty acids is a major concern. Diets supplemented with polyunsaturated fatty acids have been shown to increase cellular oxidative damage. Therefore, the use of antioxidants in diets containing flaxseed oil seems to be crucial. *Spirulina platensis* is rich in bioactive compounds that provide various health benefits. Phycocyanin, a pigment-protein complex found in spirulina, has strong antioxidant properties that help neutralize free radicals, thereby protecting cells from oxidative damage. The present study was conducted to investigate the effect of Spirulina algae supplementation in diets containing different levels of flaxseed oil on performance, blood and liver antioxidant parameters, and serum and egg yolk lipid parameters in laying hens.

Materials and Methods: For this purpose, 288 laying hens (Hy-line-W36, 70 weeks of age) were used in a 2 × 3 factorial design with 6 replications and 8 birds per replication. The experimental treatments included diets containing 3 levels of flaxseed oil (0, 1.5, and 3% of the diet) and 2 levels of *Spirulina platensis* microalgae (0 and 5 g/kg of the diet). To evaluate performance indices, eggs were collected twice a day and the number and total weight of eggs were recorded at the end of each day. Egg mass, feed intake and feed conversion ratio were calculated weekly. To evaluate blood parameters, two serum samples from each replicate (12 samples per treatment) were prepared at the end of the experimental period. All data from this experiment were statistically analyzed in a 2×3 factorial test using SAS software and the Mixed procedure.

Results and Discussion: The results showed that hens treated with 3% flaxseed oil with or without spirulina had the highest percentage of egg production, weight and mass, which were significantly higher than those treated without flaxseed oil. The use of 3% flaxseed oil with 5 g of spirulina reduced feed conversion ratio compared to other experimental treatments. Levels of 1.5 and 3% flaxseed oil with 5 g of spirulina significantly reduced



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

 <https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.93378.1247>

triglyceride and VLDL concentrations. The main effects of flaxseed oil showed that 3% flaxseed oil reduced egg yolk cholesterol. The interaction effect of 5 grams of spirulina and 3% flaxseed oil reduced egg yolk triglyceride levels compared to the control treatment. Diets containing 1.5 and 3% flaxseed oil reduced total antioxidant capacity and liver superoxide dismutase and total serum antioxidant capacity, while the use of 5 g of spirulina increased the aforementioned parameters. Also, serum malondialdehyde levels increased in chickens fed diets containing 1.5 and 3% flaxseed oil without Spirulina, and the addition of Spirulina was able to compensate for this increase caused by flaxseed oil. Laying hens have a very strong body fat metabolism, especially during the peak egg production period. Oils, as one of the essential nutrients for animal growth and one of the main components of egg yolk, play an important role in regulating the production performance of laying hens and egg weight. Therefore, the production performance and egg weight of laying hens may be improved by supplementing the diet with various oils. The reduction in yolk lipid profile in the present study could be due to the reduction of triglycerides in the blood circulation of the birds due to the increased omega-3 intake in the flaxseed oil-containing diet, potentially limiting the availability of lipids for yolk formation. Spirulina contains γ -linoleic acid, which binds to cholesterol metabolites in bile and prevents their accumulation. The researchers also stated that the reduction in cholesterol levels may be related to the inhibitory effects of spirulina on the activity of HMG-CoA reductase, an allosteric enzyme required for cholesterol synthesis in the liver. The present results showed that the increase in hepatic malondialdehyde, which is an indicator of oxidative stress, was reduced again by the addition of Spirulina to the flaxseed oil-containing diets, while glutathione peroxidase activity and total antioxidant capacity were increased by Spirulina treatment. The capacity of Spirulina to restore redox balance in flaxseed oil-containing diets can be attributed to its bioactive antioxidant compounds such as flavonoids and polyphenols and other free radical antagonists such as α -tocopherol, ascorbic acid, β -carotene and selenium.

Conclusion: In general, the present researchers recommend using 3% flaxseed oil in the diet of laying hens to benefit from the positive effects of flaxseed oil on performance and blood lipid parameters. However, based on the present results, if 1.5 or 3% flaxseed oil is added to the diet, the use of *Spirulina platensis* algae as a natural antioxidant is vital to prevent lipid peroxidation.

Keywords: Cholesterol, Egg yolk, Fatty acids, Malondialdehyde, Omega-3

اثرات افزودن ریز جلبک/اسپیرولینا پلاتنسیس به جیره‌های حاوی روغن کتان بر عملکرد، وضعیت آنتی‌اکسیدانی و فراسنجه‌های لیپیدی خون مرغ‌های تخم‌گذار مسن

جواد قانونی بستان کار^۱، سیدعلی میرقلنج^{۲*}، محسن دانشیار^۱، علی هاشمی^۱، سینا پیوستگان^۱، امیر مصیب زاده^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۰

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر مکمل سازی جلبک/اسپیرولینا پلاتنسیس در جیره‌های حاوی سطوح مختلف روغن کتان بر ویژگی‌های عملکردی و اقتصادی، شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی خون و کبد و فراسنجه‌های لیپیدی سرم خون و زرده تخم‌مرغ در مرغ‌های تخم‌گذار انجام شد. تعداد ۲۸۸ قطعه مرغ تخم‌گذار (Hy-line W-36 در سن ۷۰ هفتگی) در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل ۲ × ۳، با شش تکرار و هشت قطعه پرند در هر تکرار استفاده گردید. عوامل مورد بررسی شامل سطوح مختلف روغن کتان (صفر، ۱/۵ و ۳ درصد جیره) و سطوح مختلف ریزجلبک/اسپیرولینا پلاتنسیس (صفر و پنج گرم در کیلوگرم جیره) بودند. نتایج نشان دادند که مرغ‌های تغذیه شده با تیمارهای حاوی سه درصد روغن کتان یا بدون اسپیرولینا پلاتنسیس بیشترین درصد تولید، وزن و توده تخم‌مرغ را داشتند که به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد بیشتر بود. استفاده از سطوح ۱/۵ و ۳ درصد روغن کتان همراه با پنج گرم در کیلوگرم جلبک/اسپیرولینا پلاتنسیس در جیره، غلظت تری-گلیسرید و VLDL سرم خون را به‌طور معنی‌داری کاهش دادند. اثر متقابل مصرف پنج گرم در کیلوگرم اسپیرولینا پلاتنسیس و سه درصد روغن کتان باعث کاهش میزان تری‌گلیسرید زرده تخم‌مرغ در مقایسه با شاهد شد. اثرات متقابل روغن کتان و اسپیرولینا پلاتنسیس نشان داد که استفاده از جیره‌های حاوی ۱/۵ و ۳ درصد روغن کتان باعث کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل و سوپراکسید دیسموتاز کبد و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل سرم خون شدند و باین‌حال پنج گرم در کیلوگرم اسپیرولینا در این جیره‌ها شاخص‌های مذکور را افزایش داد. به‌طور کلی، استفاده از سه درصد روغن کتان به‌همراه پنج گرم در کیلوگرم جلبک/اسپیرولینا پلاتنسیس در ترکیب جیره مرغ‌های تخم‌گذار علی‌رغم افزایش هزینه تولید یک کیلوگرم تخم‌مرغ تولیدی منجر به بهبود شاخص‌های عملکردی درصد تولید، وزن و توده تخم‌مرغ تولیدی، کاهش فراسنجه‌های لیپیدی سرم و بهبود شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی کبد و سرم خون پرندگان گردید.

واژه‌های کلیدی: اسیدهای چرب، امگا-۳، زرده تخم‌مرغ، کلسترول، مالون‌دی‌آلدئید

مقدمه

عملکرد تولید را بهبود بخشید و ارزش غذایی خوراک را به‌میزان قابل توجهی افزایش داد (Gao et al., 2021). باین‌حال، حساسیت اکسیداتیو این اسیدهای چرب غیراشباع دارای چندین پیوند دوگانه یکی از نگرانی‌های اصلی است (Islam et al., 2023). نشان داده شده است که مکمل نمودن جیره‌های غذایی با اسیدهای چرب غیراشباع دارای چندین پیوند دوگانه، آسیب اکسیداتیو سلولی را افزایش می‌دهند (Djousse et al., 2011). در طول اکسیداسیون، تخریب اسیدهای چرب غیراشباع دارای چندین پیوند دوگانه رخ می‌دهد که منجر به ایجاد ترکیبات بالقوه سمی می‌شود (Christie & Harwood, 2020). همچنین اکسیداسیون باعث تولید مولکول‌های نایم از جمله مالون‌دی‌آلدئید می‌شود که به مولکول‌های زیستی آسیب می‌رسانند (Wang et al., 2020). از آنجایی که آلفا-لینولنیک اسید نسبت به اکسیداسیون بسیار حساس است، بنابراین افزودن روغن کتان به جیره ممکن است که منجر به پراکسیداسیون لیپیدی

کتان، گیاه علفی یک‌ساله و دارای دانه‌هایی است که حاوی مقدار زیادی روغن می‌باشند. این روغن از دانه‌های کتان از طریق پرس سرد در دمای پایین برای تولید روغن خام به دست می‌آید و سپس تصفیه می‌شود (Rodriguez-Estrada et al., 2017). بذر کتان یکی از ۱۰ محصول برتر روغنی در سراسر جهان محسوب می‌شود و روغن بذر کتان حاوی انواع اسیدهای چرب غیراشباع مانند اسیدلینولنیک، اسیددیلینولیک و اسیداولنیک است. مقدار اسیدلینولنیک می‌تواند تا ۵۳ درصد باشد که منجر به افزایش ارزش غذایی می‌شود. نشان داده شده است که افزودن روغن بذر کتان به خوراک طیور،

۱- گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(*)- نویسنده مسئول: Email: a_mirghelenj@yahoo.com.
<https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.93378.1247>

هدف بررسی اثر مکمل سازی جلبک /اسپیروولینا پلاتنسیس در جیره های حاوی سطوح مختلف روغن کتان بر عملکرد، شاخص های آنتی-اکسیدانی خون و کبد و فراسنجه های لیپیدی سرم خون و زرده تخم-مرغ در مرغ های تخم گذار انجام گردید.

مواد و روش ها

در این تحقیق، از تعداد ۲۸۸ قطعه مرغ تخم گذار (سویه های لاین W-۳۶ در سن ۷۰ هفتگی) استفاده شد. پرندگان با وزن بدن مشابه (1530 ± 50 گرم) انتخاب و در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل 3×2 به شش تکرار و هشت قطعه پرند در هر تکرار اختصاص داده شدند. پرندگان به منظور سازگاری با شرایط آزمایش، ابتدا به مدت دو هفته با جیره پایه و سپس به مدت هشت هفته (۵۶ روز) با تیمارهای آزمایشی تغذیه گردید. تیمارهای آزمایشی شامل جیره هایی حاوی سه سطح روغن کتان (صفر، ۱/۵ و ۳ درصد جیره) و دو سطح ریزجلبک /اسپیروولینا پلاتنسیس (صفر و ۵ گرم در کیلوگرم جیره) بودند که مطابق با توصیه های تغذیه ای سویه های -لاین W36 در سال ۲۰۲۰ تنظیم گردید (جدول ۱). /اسپیروولینا به میزان پنج گرم کیلوگرم جیره به صورت سرک و جدا از جیره پایه به پرندگان داده شد. جیره پایه بدون لحاظ کردن مواد مغذی /اسپیروولینا به طور کامل بالانس شده بود و بدین ترتیب اثرات /اسپیروولینا مستقل از ترکیب جیره اصلی قابل ارزیابی بود. برنامه نوری شامل ۱۶ ساعت روشنایی با شدت ۳۰ لوکس و هشت ساعت تاریکی بود. در طول مدت زمان انجام آزمایش، دما و رطوبت نسبی سالن به ترتیب در دامنه ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی گراد و ۴۰ تا ۵۰ درصد حفظ شدند.

پودر ریزجلبک /اسپیروولینا پلاتنسیس مورد استفاده در این آزمایش از شرکت جلبک پارس شیراز تهیه شد. مقادیر ماده خشک، خاکستر (با استفاده از کوره)، پروتئین خام (با استفاده از کج‌لدال)، چربی خام (با استفاده از سوکسله) و انرژی خام با استفاده از بمب کالری متر (Parr 6200 bomb calorimeter, Parr Instruments Co., Moline, IL) در آزمایشگاه تغذیه گروه علوم دامی دانشگاه و مقادیر انرژی قابل متابولیسم، کلسیم و فسفر در مرکز تحقیقات کرج اندازه گیری شد. پروفیل برخی از اسیدهای آمینه ضروری توسط خود شرکت با استفاده از HPLC استخراج گردید. مقادیر ماده خشک ۸۸ درصد، خاکستر نه درصد، پروتئین خام ۵۵ درصد و چربی خام ۴/۵ درصد به دست آمد. مقادیر انرژی خام ۴۳۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم، انرژی قابل متابولیسم ۲۵۸۰ کیلوکالری بر کیلوگرم، کلسیم ۰/۲۵ درصد و فسفر نیز ۱/۱ درصد به دست آمد.

شود و بر عملکرد و وضعیت آنتی اکسیدانی مرغ های تخم گذار تأثیر بگذارد، به طوری که گزارش شده است تغذیه جوجه های گوشتی با سطح بالایی از روغن کتان می تواند تعادل اکسیداتیو در بافت های حیوانی را مختل کند و حساسیت اکسیداتیو بالاتری را در گوشت ایجاد کند (González-Ortiz et al., 2013). با توجه به مطالب گفته شده، استفاده از آنتی اکسیدان ها در جیره های حاوی روغن کتان، امری حیاتی به نظر می رسد.

/اسپیروولینا پلاتنسیس (*Spirulina platensis*)، یک جلبک سبز-آبی (سیانوباکتری) است که به دلیل غلظت بالای پروتئین، اسیدهای آمینه ضروری، ویتامین ها، مواد معدنی و مواد فعال زیستی شناخته شده است (Anvar & Nowruzi, 2021). فراتر از این مواد مغذی ضروری، /اسپیروولینا پلاتنسیس سرشار از ترکیبات فعال زیستی است که فواید سلامتی مختلفی را ارائه می دهند. فیکوسیانین، یک کمپلکس رنگدانه-پروتئین موجود در ریزجلبک /اسپیروولینا پلاتنسیس، دارای خواص آنتی اکسیدانی قوی است. فیکوسیانین به خنثی کردن رادیکال های آزاد کمک کرده و در نتیجه از سلول ها در برابر آسیب اکسیداتیو محافظت می کند (Fernandes et al., 2023). علاوه بر این، /اسپیروولینا پلاتنسیس می تواند باعث کاهش تنش و افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی در طیور شود (Mirzaie et al., 2017). گزارش شده است که افزودن /اسپیروولینا پلاتنسیس به جیره مرغ های تخم گذار، پتانسیل بهبود عملکرد، کیفیت تخم مرغ، کاهش کلاسترول سرم خون و افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی زرده تخم مرغ را دارد (Vui et al., 2024).

با توجه به اطلاعات ارائه شده می توان اظهار داشت که استفاده از روغن کتان در جیره مرغ های تخم گذار به عنوان منبع اسیدهای چرب امگا-۳ بلند زنجیر برای حفظ سلامت افراد جامعه اهمیت به سزایی دارد. از سوی دیگر، به دلیل بالا بودن مقدار چربی تخم مرغ و ماهیت غیراشباع روغن کتان در جیره، احتمال اکسید شدن آن ها وجود دارد. این مسئله می تواند باعث تولید ترکیبات مضر و رادیکال های آزاد شده و صدمات جبران ناپذیری به سلول های بدنی وارد کند و حتی زمینه ایجاد بیماری های خطرناکی نظیر سرطان را نیز به وجود آورد (Sidorkiewicz, 2024). در این شرایط برای جلوگیری از ایجاد چنین مشکلات، استفاده از آنتی اکسیدان های طبیعی نظیر جلبک /اسپیروولینا پلاتنسیس از اهمیت خاصی برخوردار است. از طرفی، برای بهبود عملکرد و تولید تخم مرغ با کیفیت، لازم است که مطالعات دقیقی در مورد کمیت و کیفیت مکمل های مصرفی (از جمله روغن کتان به عنوان منبع اسیدهای چرب خانواده امگا و جلبک /اسپیروولینا پلاتنسیس به عنوان آنتی اکسیدان طبیعی)، سطوح قابل مصرف و ترکیب مناسب آن ها در جیره انجام شود. بنابراین پژوهش حاضر با

جدول ۱- اجزای تشکیل دهنده و ترکیب مواد مغذی جیره‌های غذایی آزمایشی

Table 1- The ingredients and nutrients composition of experimental diets

اجزاء (درصد جیره) Ingredients (% of the diet)	جیره شاهد Control diet	۱/۵ درصد روغن کتان 1.5% Flaxseed oil	۳ درصد روغن کتان 3% Flaxseed oil
ذرت Corn	60.48	57.55	53.36
کنجاله سویا (۴۴٪ پروتئین خام) (44% CP) Soybean meal	25.36	25.23	26.14
سبوس گندم Wheat bran	-	1.00	2.00
روغن سویا Soybean oil	0.3	0.3	0.3
روغن کتان Flaxseed oil	-	1.50	3.00
دی کلسیم فسفات Dicalcium phosphate	2.16	2.27	2.48
کربنات کلسیم Calcium carbonate	10.88	11.33	11.90
نمک طعام Common salt	0.32	0.32	0.32
جوش شیرین Sodium bicarbonate	0.10	0.10	0.10
دی ال- متیونین DL- methionine	0.10	0.10	0.10
مکمل ویتامینی ^۱ Vitamin premix	0.30	0.30	0.30
مکمل مواد معدنی ^۲ Mineral premix	0.30	0.30	0.30
ترکیبات مواد مغذی Nutrient composition			
انرژی قابل سوخت‌وساز (کیلوکالری بر کیلوگرم) Metabolizable energy (kcal/kg)	2680	2680	2680
پروتئین خام (%) Crude protein (%)	15.50	15.50	15.50
کلسیم (%) Calcium (%)	4.75	4.75	4.75
فسفر قابل دسترس (%) Available phosphorus (%)	0.39	0.39	0.39
سدیم (%) Sodium (%)	0.17	0.17	0.17
کلر (%) Chloride (%)	0.26	0.26	0.26
متیونین (%) Methionine (%)	0.36	0.36	0.36
متیونین + سیستئین (%) Methionine + cysteine (%)	0.64	0.64	0.64
لیزین (%) Lysine (%)	0.79	0.79	0.79

^۱مقادیر به‌ازاء هر کیلوگرم خوراک: ویتامین A، ۱۰۰۰۰ IU؛ ویتامین D_۳، ۲۵۰۰ IU؛ ویتامین E، ۱۰ IU؛ ویتامین B_۱، ۲۲ میلی‌گرم؛ ویتامین B_۲، چهار میلی‌گرم؛ ویتامین B_۳، هشت میلی‌گرم؛ ویتامین B_۶، دو میلی‌گرم؛ ویتامین B_{۱۲}، ۰/۵۶ میلی‌گرم؛ ویتامین B_{۱۳}، ۰/۱۵ میلی‌گرم؛ کولین، ۲۰۰ میلی‌گرم.

^۲مقادیر به‌ازاء هر کیلوگرم خوراک: منگنز، ۸۰ میلی‌گرم؛ آهن، ۵۰ میلی‌گرم؛ روی، ۶۰ میلی‌گرم؛ مس، ۱۲ میلی‌گرم؛ سدیم سولنیت، ۰/۳ میلی‌گرم.

^۱ Supplied per kilogram of diet: vitamin A, 10000 IU; vitamin D₃, 2500 IU; vitamin E, 10 IU; vitamin B₁, 22 mg; vitamin B₂, 4 mg; vitamin B₃, 8 mg; vitamin B₆, 2 mg; vitamin B₉, 0.56 mg; vitamin B₁₂, 0.015 mg; choline, 200 mg.

² Supplied per kg of diet: manganese, 80 mg; Iron, 50 mg; zinc, 60 mg; copper, 12 mg; sodium selenite, 0.3 mg.

پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز) براساس روش‌های توصیه‌شده توسط شرکت سازنده کیت‌ها (پارس آزمون) اندازه‌گیری شدند (Mosayyeb Zadeh et al., 2023).

کلیه داده‌های به‌دست‌آمده، در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل ۳×۲ توسط نرم‌افزار SAS 9.4 و با رویه Mixed مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. مدل آماری طرح به‌صورت معادله ۲ بود.

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + e_{ijk} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، μ میانگین کل، A_i اثر سطح i ام روغن کتان، B_j اثر سطح j ام اسپیرولینا پلاتنسیس، AB_{ij} اثر متقابل سطح روغن کتان و اسپیرولینا پلاتنسیس و e_{ijk} اثر خطای آزمایشی یا عوامل ناشناخته در هر مشاهده بودند. بررسی معنی‌دار بودن اختلافات بین میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

جدول ۲ اثر استفاده از ریزجلبک/اسپیرولینا پلاتنسیس در جیره-های حاوی سطوح مختلف روغن کتان بر عملکرد مرغ‌های تخم‌گذار را نشان می‌دهد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، درصد تولید، وزن و توده تخم‌مرغ و ضریب تبدیل خوراک تحت تأثیر اثرات اصلی روغن کتان و ریزجلبک/اسپیرولینا پلاتنسیس و نیز اثر متقابل روغن کتان و اسپیرولینا پلاتنسیس قرار گرفتند. مرغ‌های تغذیه‌شده با تیمار حاوی سه درصد روغن کتان با یا بدون اسپیرولینا پلاتنسیس، بیشترین درصد تولید و وزن و توده تخم‌مرغ را داشتند که به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای بدون روغن کتان بیشتر بود ($P < 0.05$). استفاده از سه درصد روغن کتان همراه با پنج گرم در کیلوگرم/اسپیرولینا پلاتنسیس باعث کاهش ضریب تبدیل خوراک نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی شد ($P < 0.05$).

موافق با نتایج پژوهش حاضر، محققین گزارش کردند که استفاده از روغن کتان باعث افزایش تولید و وزن تخم‌مرغ در مرغ‌های تخم‌گذار شد (Attia et al., 2022). به‌طور مشابه، اهر و همکاران (Ehr et al., 2017) نشان دادند که راندامان مصرف خوراک در مرغ-های تخم‌گذار با افزایش سطح روغن بذر کتان (۰، ۱، ۲، ۳، ۵ درصد) افزایش یافت. در مقابل، چندین مطالعه گزارش کردند که افزودن دو تا سه درصد روغن بذر کتان به جیره مرغ‌های تخم‌گذار هیچ تغییر قابل توجهی در عملکرد تولید ایجاد نکرد (Ceylan et al., 2011; Neijat et al., 2016). با این حال، به‌دلیل وجود عوامل ضدتغذیه‌ای در بذر کتان، مرغ‌های تخم‌گذار تغذیه‌شده با جیره غذایی حاوی پنج درصد یا سطوح بالاتر روغن بذر کتان، تولید تخم‌مرغ را

برای ارزیابی شاخص‌های عملکرد، تخم‌مرغ‌ها دو بار در طول روز (ساعت ۱۰ صبح و ۴ بعد از ظهر) جمع‌آوری و تعداد و وزن جمعی تخم‌مرغ‌ها در پایان هر روز ثبت می‌شد. توده تخم‌مرغ، مصرف خوراک و ضریب تبدیل خوراک به‌صورت هفتگی محاسبه گردید. بدین صورت که درصد تولید تخم‌مرغ با تقسیم تعداد تخم‌مرغ‌های تولیدشده در هر تکرار بر روز مرغ آن محاسبه گردید. توده تخم‌مرغ با ضرب کردن میانگین وزن تخم‌مرغ هر تکرار در درصد تولید تخم‌مرغ آن به دست آمد. همچنین ضریب تبدیل خوراک با تقسیم مقدار خوراک مصرفی بر توده تخم‌مرغ محاسبه شد (Ebrahimi et al., 2025).

برای تعیین هزینه خوراک به‌ازای هر کیلوگرم تخم‌مرغ تولیدی از معادله ۱ استفاده شد (Nampijja et al., 2023).

معادله (۱) قیمت هر کیلوگرم خوراک مصرفی $\times$ ضریب تبدیل خوراک = هزینه خوراک به‌ازای هر کیلوگرم تخم‌مرغ

برای بررسی فراسنجه‌های خونی، تعداد دو نمونه سرم از هر تکرار (۱۲ نمونه به‌ازای هر تیمار) در انتهای دوره آزمایش تهیه شد. نمونه‌های خون از ورید بال تهیه شده و با قرار دادن سرنگ‌های پنج سی‌سی حاوی خون به‌صورت زاویه‌دار در دمای اتاق به‌مدت شش ساعت، نمونه‌های سرم استحصال گردید. جهت دستیابی به نمونه‌های بهتر و شفاف‌تر، نمونه‌های سرم به‌مدت ۱۲ دقیقه و با دور ۵۶۰۰ سانتریفیوژ شدند. نمونه‌ها در دمای -20°C درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه بیوشیمیایی مرکز تحقیقات دارویی دانشگاه علوم پزشکی تبریز منتقل گردید. برای ارزیابی وضعیت آنتی‌اکسیدانی کبد، در پایان دوره آزمایش تعداد شش قطعه مرغ از هر تیمار کشتار و پس از باز کردن لاشه، کبد پرندگان جدا و برای ارزیابی ظرفیت کل آنتی-اکسیدانی، فعالیت مالون‌دی‌آلدئید و آنزیم‌های گلو‌تاتیون پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز، یک گرم کبد به آزمایشگاه ارسال شد (Mosayyeb Zadeh et al., 2023). برای اندازه‌گیری لیپیدهای زرده، ۱۰۰ میلی‌گرم زرده تخم‌مرغ به‌وسیله ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۰۱ گرم؛ مدل JT3003D، ساخت چین) توزین و با ۲/۵ میلی‌لیتر محلول سدیم هیدروکسید ۰/۰۵ نرمال مخلوط و پس از ۲۴ ساعت با ۲/۵ میلی‌لیتر محلول اسیدکلریدریک ۰/۲۵ نرمال خنثی شد. نمونه‌ها (کبد، زرده و سرم) با استفاده از دستگاه آنالیز خودکار (Autoanalyser؛ مدل RA 1000، Bayer، Technicon) و کیت‌های تهیه‌شده از شرکت پارس آزمون مورد آزمایش قرار گرفتند. لیپیدهای سرم خون (شامل کلسترول، تری‌گلیسرید و VLDL) و زرده تخم‌مرغ (شامل کلسترول و تری‌گلیسرید) در طول موج ۵۵۰ نانومتر براساس روش آنزیمی و فراسنجه‌های آنتی‌اکسیدانی سرم خون (ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی و فعالیت مالون‌دی‌آلدئید) و کبد (ظرفیت کل آنتی‌اکسیدانی، فعالیت مالون‌دی‌آلدئید، آنزیم گلو‌تاتیون

به‌طور قابل توجهی کاهش دادند (Kim et al., 2016).

جدول ۲- اثرات استفاده از اسپیرولینا پلاتنسیس در جیره‌های حاوی سطوح مختلف روغن کتان بر عملکرد مرغ‌های تخم‌گذار

Table 2- Effects of using *spirulina platensis* in diets containing different levels of flaxseed oil on the performance of laying hens

عامل Factor	متغیر Variable					
	درصد تولید Egg production (%)	وزن تخم‌مرغ Egg weight (g)	توده تخم‌مرغ Egg mass (g/d/bird)	مصرف خوراک Feed intake (g/d/bird)	ضریب تبدیل خوراک Feed conversion ratio	هزینه به‌ازای هر کیلوگرم تخم‌مرغ Cost per kilogram of eggs (Toman)
روغن کتان (%)						
Flaxseed oil (%)						
0	75.58 ^b	58.76 ^c	44.41 ^c	98.85	2.23 ^a	40921.35 ^b
1.5	78.26 ^a	59.76 ^b	46.23 ^b	99.10	2.13 ^b	42254.71 ^{ab}
3	78.41 ^a	61.26 ^a	47.81 ^a	98.95	2.06 ^c	44038.21 ^a
خطای استاندارد SEM	0.68	0.29	0.37	1.13	0.02	439.64
سطح احتمال معنی‌داری P-value	0.005	0.01	0.02	0.44	0.01	0.01
اسپیروولینا (گرم در کیلوگرم)						
<i>Spirulina</i> (g/kg)						
0	76.64 ^b	59.50 ^b	45.33 ^b	98.86	2.19 ^a	41631.67 ^b
5	78.19 ^a	60.36 ^a	46.97 ^a	99.06	2.09 ^b	43177.26 ^a
خطای استاندارد SEM	0.39	0.23	0.30	1.11	0.02	415.81
سطح احتمال معنی‌داری P-value	0.01	0.02	0.01	0.21	0.005	0.02
روغن کتان × اسپیریولینا						
Flaxseed oil × <i>Spirulina platensis</i>						
0×0	75.48 ^b	58.67 ^b	44.28 ^c	98.90	2.32 ^a	40611.24 ^b
0×5	75.69 ^b	58.86 ^b	44.55 ^b	98.80	2.22 ^a	41231.47 ^b
1.5×0	76.93 ^{ab}	59.22 ^{ab}	45.21 ^{bc}	98.90	2.18 ^{ab}	41160.56 ^b
1.5×5	79.58 ^{ab}	60.29 ^a	47.24 ^{bc}	99.30	2.10 ^{ab}	43348.80 ^a
3×0	77.52 ^a	60.59 ^a	46.50 ^b	98.80	2.12 ^{ab}	43123.66 ^a
3×5	79.31 ^a	61.92 ^a	49.12 ^a	99.10	2.02 ^b	44953.50 ^a
خطای استاندارد SEM	0.72	0.41	0.53	1.19	0.05	628.37
سطح احتمال معنی‌داری P-value	0.02	0.003	0.008	0.40	0.01	0.001

^{a-c} در هر ستون در هر بخش، میانگین‌های دارای حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند (P < 0.05).

^{a-c} Means within each column of each section with different superscripts are significantly different (P < 0.05).

سه وظیفه اصلی دستگاه گوارش یعنی هضم، جذب و جلوگیری از نفوذ عوامل بیماری‌زا به بدن که تقریباً ۲۵ درصد میزان انرژی مصرف شده را به خود اختصاص می‌دهد (Hamard et al., 2010)، اظهار داشتند که استفاده از منابع چربی، به‌دلیل کاهش سرعت عبور مواد خوراکی و ادامه فرآیند هضم و جذب مواد مغذی تا قسمت‌های انتهایی روده، انرژی و به‌خصوص برخی از اسیدهای چرب ضروری مورد نیاز سلول‌های تمام قسمت‌های روده را فراهم کرده و به‌نمو

تناقض بین نتایج گزارش‌شده ممکن است به‌دلیل تغییرات در ترکیب جیره آزمایشی، سطح روغن کتان، سن پرندگان و مدت زمان تغذیه باشد. گزارش شده است که بهتر شدن عملکرد با تغذیه جیره‌های حاوی روغن‌های گیاهی می‌تواند ناشی از تأثیر این منابع چربی بر نمو بافت روده و افزایش ماندگاری مواد خوراکی مصرف‌شده در محیط روده باشد؛ چرا که این شرایط موجب افزایش هضم و جذب مواد مغذی می‌شوند (Shahryari et al., 2021). محققان با اشاره به

پلاتنسیس ممکن است تخمدان‌ها را تحریک کرده و باعث رشد تخمک‌های بزرگ‌تر شده باشد که به‌ویژه برای تولید کنندگان تخم-مرغ که به دنبال افزایش اندازه تخم‌مرغ برای تأمین تقاضای بازارهای خاص هستند، مفید است.

نتایج هزینه خوراک به‌ازای هر کیلوگرم تخم‌مرغ تولیدی نیز نشان داد که استفاده از پنج گرم اسپیرولینا همراه با ۱/۵ و ۳ درصد روغن کتان و همچنین ۳ درصد روغن کتان بدون اسپیرولینا باعث افزایش هزینه خوراک به‌ازای هر کیلوگرم تخم‌مرغ شدند ($P < 0.05$). این یافته‌ها با گزارش‌های پیشین هم‌خوانی دارد، به‌طوری‌که ال-زناری و همکاران (El-Zenary et al., 2023) بیان کردند که گنجاندن منابع غنی از PUFA مانند روغن بذر کتان در جیره مرغ‌های تخم‌گذار اگرچه می‌تواند هزینه خوراک را افزایش دهد، اما منجر به بهبود کیفیت تغذیه‌ای تخم‌مرغ می‌شود. از آنجاکه هزینه خوراک به‌ازای هر کیلوگرم تخم‌مرغ تا حد زیادی تحت تأثیر ضریب تبدیل خوراک قرار دارد، بروز چنین افزایشی قابل انتظار است. باین‌حال، باید توجه داشت که هدف اصلی این پژوهش صرفاً بهبود شاخص‌های تولیدی نبوده است، بلکه دستیابی به تخم‌مرغ‌های فراسودمند با کلسترول کمتر و پروفایل مطلوب‌تر اسیدهای چرب (به‌ویژه افزایش امگا-۳) مد نظر بوده است. یافته‌های مشابه توسط لی و همکاران (Lee et al., 2021) نیز گزارش شده که افزودن روغن بذر کتان به جیره، محتوای اسیدهای چرب امگا-۳ را در تخم‌مرغ به‌طور معنی‌داری افزایش داده و ارزش تغذیه‌ای آن را ارتقاء می‌دهد. بنابراین، اگرچه هزینه خوراک در برخی تیمارها افزایش یافت، اما این تغییر با ارتقاء کیفیت تغذیه‌ای محصول و تولید تخم‌مرغ‌های غنی از امگا-۳ که مورد توجه مصرف‌کنندگان و صنایع غذایی است، توجیه‌پذیر خواهد بود.

فراسنجه‌های لیپیدی سرم خون و زرده تخم‌مرغ

جدول ۳، اثر استفاده از اسپیرولینا پلاتنسیس در جیره‌های حاوی سطوح مختلف روغن کتان بر فراسنجه‌های لیپیدی سرم خون و زرده تخم‌مرغ در مرغ‌های تخم‌گذار را نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که برهم‌کنش اسپیرولینا پلاتنسیس و روغن کتان اثرات هم‌افزایی بر غلظت تری‌گلیسرید و VLDL سرم خون داشت و سطوح ۱/۵ و ۳ درصد روغن کتان همراه با پنج گرم اسپیرولینا پلاتنسیس، غلظت تری‌گلیسرید و VLDL سرم خون را به‌طور معنی‌داری کاهش دادند. همچنین سطوح ۱/۵ و ۳ درصد روغن کتان باعث کاهش غلظت کلسترول سرم خون شدند ($P < 0.05$). اثرات اصلی روغن کتان نشان داد که مصرف سه درصد روغن کتان باعث کاهش کلسترول زرده تخم‌مرغ گردید ($P < 0.05$). اثر متقابل پنج گرم اسپیرولینا پلاتنسیس و ۳ درصد روغن کتان باعث کاهش

فیزیولوژیکی و عملکرد بهتر دستگاه گوارش کمک می‌کنند (Schweitzer et al., 2015). از سوی دیگر، مرغ‌های تخم‌گذار سوخت‌وساز چربی بسیار قوی در بدن، به‌ویژه در دوره اوج تولید تخم-مرغ دارند. روغن‌ها به‌عنوان یکی از مواد مغذی ضروری برای رشد حیوانات و یکی از اجزاء اصلی زرده تخم‌مرغ، نقش مهمی در تنظیم عملکرد تولید مرغ‌های تخم‌گذار و وزن تخم‌مرغ دارند. بنابراین عملکرد تولید و وزن تخم‌مرغ در مرغ‌های تخم‌گذار ممکن است با مکمل‌سازی جیره با روغن‌های مختلف بهبود یابد. در طول دوره تولید مرغ‌های تخم‌گذار، شدت سوخت‌وساز لیپید در بدن افزایش می‌یابد و روغن‌های موجود در خوراک بیشتر از طریق تخمدان‌ها وارد تخم‌ها می‌شوند. روغن‌های رایج در خوراک، به‌ویژه روغن‌های گیاهی، غنی از اسیدهای چرب غیراشباع دارای چندین پیوند دوگانه هستند. بیشتر این اسیدهای چرب رابطه مهمی با عملکرد تولیدی مرغ‌های تخم‌گذار نشان می‌دهند. به‌طور خاص، اسیدلینولئیک و اسیدلینولئیک نقش تعیین‌کننده‌ای در تولیدمثل مرغ‌های تخم‌گذار دارند (Sakai et al., 2017). مکمل‌های غذایی حاوی اسیدلینولئیک، وزن تخم‌مرغ را افزایش می‌دهند (Vlaicu et al., 2021). علاوه بر این، هنگامی که جیره مرغ‌های تخم‌گذار نیاز به اسیدلینولئیک را برآورده می‌کند، افزودن مکمل روغن به‌طور قابل توجهی وزن تخم‌مرغ را به‌طور مستقل افزایش می‌دهد بدون اینکه بر انرژی قابل سوخت‌وساز جیره و مقدار اسیدلینولئیک تأثیر بگذارد (Aguillón-Páez et al., 2020). بنابراین در آزمایش حاضر، استفاده از سطوح ۱/۵ و ۳ درصد روغن کتان در مقایسه با سطح صفر درصد، احتمالاً به‌دلیل فراهم کردن نسبت مطلوب‌تری از انرژی و به‌تبع آن آلفا-لینولئیک اسید به همراه بهبود بافت‌شناسی روده و هضم و جذب مواد مغذی (از طریق کاهش سرعت عبور مواد در روده باریک) موجب بهبود عملکرد مرغ‌های تخم‌گذار شد.

همان‌طور که انتظار می‌رفت، مکمل اسپیرولینا پلاتنسیس به‌دلیل حمایت آنتی‌اکسیدانی، اثرات هم‌افزایی با روغن کتان داشت و باعث افزایش درصد تولید، وزن و توده تخم‌مرغ شد. موافق با نتایج حاضر، محققین بهبود ضریب تبدیل خوراک، وزن و تولید تخم‌مرغ را در مرغ‌های تغذیه‌شده با جیره حاوی دو درصد اسپیرولینا پلاتنسیس گزارش کردند (Panaite et al., 2023). این اثرات مثبت اسپیرولینا پلاتنسیس را می‌توان به وجود مقدار بالای پروتئین، اسیدهای آمینه ضروری، ویتامین‌ها و مواد معدنی موجود در آن و همچنین وجود برخی ترکیبات فعال زیستی مانند β -کاروتن و γ -لینولئیک اسید و آنتی‌اکسیدان‌ها در این ریزجلبک نسبت داد (Anvar & Nowruzzi, 2021). در پژوهشی مشابه (Salahuddin et al., 2024)، مرغ‌های تخم‌گذار تغذیه‌شده با ۲/۵ و ۵ گرم اسپیرولینا پلاتنسیس بر کیلوگرم خوراک، وزن و تولید تخم‌مرغ بیشتری داشتند. این پژوهشگران گزارش کردند که مواد مغذی موجود در ریزجلبک اسپیرولینا

میزان تری‌گلیسرید زرده تخم‌مرغ نسبت به شاهد گردید.

به‌طور مشابه، در تحقیقی سطوح مختلف دانه کتان اکسترودرده تا ۱۲ درصد به‌طور قابل توجهی با کاهش کلسترول و تری‌گلیسرید پلاسمای خون مرتبط بودند (Gheorghe et al., 2020). علاوه‌بر این، باتکوفسکا و همکاران (Batkowska et al., 2021) گزارش کردند که تغذیه مرغ‌های تخم‌گذار با جیره شاهد در مقایسه با روغن کتان، سطح تری‌گلیسرید، کلسترول کل و VLDL را به‌طور قابل توجهی افزایش داد. علاوه‌بر این، گائو و همکاران (Gao et al., 2021) دریافت که افزودن ۲/۵ و ۵ درصد روغن کتان به جیره مرغ-های تخم‌گذار به‌مدت ۱۱ هفته به‌تدریج سطح کل چربی و کلسترول پلاسمای خون را کاهش داد. کاهش غلظت لیپیدی پلاسمای خون را می‌توان به کاهش تقاضا برای سنتز لیپید نسبت داد (Xu et al., 2025) که می‌تواند به‌دلیل اثر منفی دانه کتان بر قابلیت هضم و سوخت‌وساز لیپید باشد، به‌طوری‌که محققین گزارش کردند، جوجه-های گوشتی که جیره‌های حاوی منابع دارای سطح بالای اسیدهای چرب امگا-۳ را دریافت کردند، کلسترول، تری‌گلیسرید و LDL کمتری را در سرم خون نشان دادند (Long et al., 2020) که ممکن است به‌دلیل سطح بالای اسیدهای چرب امگا-۳ باشد که مقادیر تری‌گلیسرول‌ها و لیپوپروتئین‌ها را از طریق سرکوب تری‌گلیسرید و سنتز آپولیپوپروتئین B تنظیم می‌کند (Attia et al., 2022). علاوه‌بر این، اسیدهای چرب امگا-۳ می‌توانند فعالیت آنزیم $\Delta 9$ -دسچوراز را مهار کنند و سنتز VLDL کبدی را کاهش داده و از سوخت‌وساز تری‌گلیسرول جلوگیری کنند (Long et al., 2018). همچنین، اسیدهای چرب امگا-۳ می‌توانند بیان ژن لیپین-۱ را که به کنترل فاکتورهای رونویسی متصل به DNA برای تنظیم رونویسی ژن کمک می‌کند، بهبود بخشند. بنابراین سنتز تری‌گلیسرید را تنظیم می‌کنند (Schweitzer et al., 2015).

نتایج مربوط به الگوی لیپیدهای زرده تخم‌مرغ نشان داد که سطوح مختلف روغن کتان باعث کاهش غلظت تری‌گلیسریدها و کلسترول کل شد. این نتایج نشان دادند که افزایش امگا-۳ و اسیدهای چرب غیراشباع که با مصرف روغن کتان در جیره غذایی مرغ‌ها مرتبط بودند، اثرات مشابهی بر الگوی لیپیدی پلاسمای خون و الگوی چربی زرده نشان دادند. پیش‌سازهای لیپیدهای زرده در کبد سنتز شده و توسط ورید باب به تخمدان برای تشکیل زرده منتقل می‌شوند (Attia et al., 2016). کاهش غلظت تری‌گلیسریدها و کلسترول کل در زرده می‌تواند ناشی از کاهش غلظت تری‌گلیسرید در گردش خون پرندگان به‌دلیل افزایش مصرف امگا-۳ در جیره حاوی روغن کتان و به‌طور بالقوه محدود کردن قابلیت دسترسی لیپیدها برای تشکیل زرده باشد. نشان داده شده است که افزایش منابع امگا-۳ در جیره غذایی بر استرادیول در گردش خون تأثیر می‌گذارد (Fabro et al., 2021) و قابلیت هضم ظاهری چربی را کاهش می‌-

دهد (Kristensen et al., 2013). سپهر و همکاران (Sepehr et al., 2021) دریافتند که چربی کبد در پرندگانی که با بذر کتان تغذیه شده بودند به‌طور قابل توجهی کمتر بود که با افزایش قابل توجه اسیدهای چرب امگا-۳ (به‌ویژه اسیدلینولیک) در کبد همراه بود. تجمع چربی در بافت‌های حیوانی مانند زرده، کبد، مجرای تخم و بافت چربی محوطه شکمی تحت تأثیر سطوح و انواع لیپیدها قرار می‌گیرد (Zita et al., 2022).

در مطالعه‌ای، استفاده از پنج گرم در کیلوگرم/اسپیرولینا پلاتنسیس در جیره‌های با یا بدون روغن کتان باعث کاهش سطوح تری‌گلیسرید و VLDL شد. چنین اثر هیپوکلسترولمی اسپیرولینا پلاتنسیس در مطالعات قبلی بر موش‌های آزمایشگاهی (El-Moataaz et al., 2019) و به‌طور خاص بر جوجه‌های گوشتی نشان داده شده است (Mirzaie et al., 2017). دنگ و چو (Deng & Chow, 2010) گزارش دادند که اسپیرولینا پلاتنسیس حاوی اسید γ -لینولیک است که به متابولیت‌های کلسترول در صفرا متصل می‌شود و از تجمع آن جلوگیری می‌کند. همچنین محققین بیان کردند که کاهش سطح کلسترول ممکن است با اثرات بازدارنده/اسپیرولینا پلاتنسیس بر فعالیت آنزیم HMG-CoA ردوکتاز که یک آنزیم آلوتریک مورد نیاز برای سنتز کلسترول در کبد است، مرتبط باشد (Mousavi et al., 2017). محققین بر این باورند که مهار آنزیم سنتزکننده استیل کوانزیم A توسط اسپیرولینا پلاتنسیس که برای بیوسنتز اسیدهای چرب ضروری است باعث کاهش تری‌گلیسرید می‌شود (Jing et al., 2017).

وضعیت آنتی‌اکسیدانی

اثر استفاده از اسپیرولینا پلاتنسیس در جیره‌های حاوی سطوح مختلف روغن کتان بر فراسنجه‌های آنتی‌اکسیدانی کبد و سرم خون مرغ‌های تخم‌گذار در جدول ۴ گزارش شده است. اثر متقابل اسپیرولینا پلاتنسیس و سطح روغن کتان نشان داد که جیره‌های حاوی ۱/۵ و ۳ درصد روغن کتان باعث کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل و سوپراکسید دیسموتاز کبد و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل سرم خون شدند و استفاده از پنج گرم در کیلوگرم/اسپیرولینا پلاتنسیس، شاخص‌های مذکور را در این جیره‌ها افزایش داد ($P < 0.05$). همچنین میزان مالون‌دی‌آلدئید سرم خون در مرغ‌های تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی ۱/۵ و ۳ درصد روغن کتان بدون اسپیرولینا پلاتنسیس افزایش یافت که افزودن اسپیرولینا پلاتنسیس توانست این افزایش ناشی از روغن کتان را جبران کند و میزان مالون‌دی‌آلدئید حتی کمتر از شاهد شد ($P < 0.05$). افزایش مقدار مالون‌دی‌آلدئید در کبد پرندگانی که با جیره حاوی سه درصد روغن کتان تغذیه شدند، به احتمال زیاد به وجود غلظت بالاتر اسیدهای چرب غیراشباع دارای زنجیره بلند که

به شدت مستعد پراکسیداسیون هستند، مرتبط است.

جدول ۳- اثر استفاده از اسپیرولینا پلاتنسیس در جیره های حاوی سطوح مختلف روغن کتان بر فراستجه های لیپیدی سرم خون و زرده تخم مرغ در مرغ های تخم گذار
Table 3- Effect of using *spirulina platensis* in diets containing different levels of flaxseed oil on blood serum and egg yolk lipid parameters in laying hens

عامل Factor	خون Blood			زرده تخم مرغ Egg yolk	
	تری گلیسرید Triglyceride (mg/dl)	کلسترول Cholesterol (mg/dl)	VLDL ¹ (mg/dl)	تری گلیسرید Triglyceride (mg/dl)	کلسترول Cholesterol (mg/dl)
روغن کتان (%) Flaxseed oil (%)					
0	3043.23 ^a	214.61 ^a	602.82 ^a	170.98 ^a	19.29 ^a
1.5	2842.57 ^b	210.53 ^b	564.46 ^b	165.50 ^b	18.76 ^b
3	2637.54 ^c	201.54 ^c	516.78 ^c	163.90 ^b	18.16 ^c
خطای استاندارد SEM	51.22	7.26	13.16	1.08	0.15
سطح احتمال معنی داری P-value	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
اسپیرولینا پلاتنسیس (گرم در کیلوگرم) <i>Spirulina platensis</i> (g/kg)					
0	2929.34 ^a	208.5	583.75 ^a	169.23 ^a	18.77
5	2752.61 ^b	209.3	538.82 ^b	164.41 ^b	18.71
خطای استاندارد SEM	47.77	8.03	12.77	0.88	0.12
سطح احتمال معنی داری P-value	0.01	0.60	0.03	0.03	0.68
روغن کتان × اسپیرولینا پلاتنسیس Flaxseed oil × <i>Spirulina platensis</i>					
0×0	3120.19 ^a	215.61	624.13 ^a	172.47 ^a	19.34
0×5	2966.42 ^{ab}	214.23	581.67 ^b	169.53 ^a	19.24
1.5×0	2921.75 ^{ab}	209.17	576.65 ^b	167.49 ^{ab}	18.79
1.5×5	2764.28 ^b	212.05	552.22 ^b	163.62 ^{ab}	18.74
3×0	2747.06 ^b	201.64	550.61 ^b	167.86 ^{ab}	18.20
3×5	2528.92 ^c	201.52	482.76 ^c	160.14 ^b	18.12
خطای استاندارد SEM	41.32	11.79	13.06	2.52	0.94
سطح احتمال معنی داری P-value	0.002	0.55	0.006	0.24	0.21

^{a-c} در هر ستون در هر بخش، میانگین های دارای حروف متفاوت دارای اختلاف معنی داری می باشند ($P < 0.05$).

¹ لیپوپروتئین با چگالی خیلی کم

^{a-c} Means within each column of each section with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

¹Very low density lipoprotein

محافظتی مانند میکروزوم های کبدی که توانایی تولید و تخریب مالون دی آلدئید را دارند، در سطوح طبیعی حفظ شده است (Ehr et al., 2017). این یافته ها ممکن است نشان دهند که سطح مالون دی-آلدئید در کبد به دلیل فراهم بودن بستر برای تولید اسیدتیوباریتوریک در کبد و یا تجمع اسیدتیوباریتوریک تولیدشده در سایر انتقال ها از طریق خون در گردش، شاخص حساس تری از تمایل پراکسیداتیو است. در جدیدترین مطالعات انجام شده، افزایش مالون دی آلدئید زرده

این مسئله ممکن است نشان دهد که سطح سه درصد روغن کتان، تشکیل محصول پراکسیداسیون لیپیدی را افزایش می دهد (Lee et al., 2021). به نظر می رسد که مقدار اسیدهای چرب غیراشباع دارای چندین پیوند دوگانه موجود در جیره، نقش کلیدی در افزایش حساسیت بافت به اکسیداسیون روغن کتان دارد. اثر غیر معنی دار روغن کتان بر سطح مالون دی آلدئید سرم خون ممکن است نشان دهد که مالون دی آلدئید سرم خون توسط برخی سازوکارهای

تخم‌مرغ به دلیل افزایش اسیدهای چرب غیراشباع مشاهده شد، چرا که اسیدهای چرب غیراشباع به شدت مستعد اکسیداسیون بوده و از این رو میزان ترکیبات اسیدتیوباربیتوریک یا همان مالون‌دی‌آلدئید زرده تخم‌مرغ‌های تازه و تخم‌مرغ‌های نگهداری شده در دمای چهار

جدول ۴- اثرات استفاده از اسپیرولینا پلاتنسیس در جیره‌های حاوی سطوح مختلف روغن کتان بر پارامترهای آنتی‌اکسیدانی کبد و سرم خون مرغ‌های تخم‌گذار
Table 4- Effects of using spirulina platensis in diets containing different levels of flaxseed oil on antioxidant parameters of liver and blood serum of laying hens

عامل Factor	خون Blood		کبد Liver			
	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل TAC ¹ (mmol/ml)	مالون‌دی‌آلدئید MDA (mmol/l)	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل TAC (mmol/ml)	مالون‌دی‌آلدئید MDA (mmol/l)	گلوکوتاتیون پراکسیداز GPx (mmol/dl)	سوپراکسید دیسموتاز SOD (μg/ml)
روغن کتان (%) Flaxseed oil (%)						
0	1.39	2.22	1.30	0.31 ^b	4.95	15.61
1.5	1.30	2.37	1.06	0.35 ^{ab}	5.18	16.01
3	1.29	2.50	1.17	0.38 ^a	5.17	15.12
خطای استاندارد SEM	0.04	0.10	0.07	0.02	0.17	0.40
سطح احتمال معنی‌داری P-value	0.62	0.52	0.11	0.03	0.30	0.27
اسپیرولینا پلاتنسیس (گرم در کیلوگرم) Spirulina platensis (g/kg)						
0	1.18 ^b	2.78 ^a	1.01 ^b	0.37	4.77 ^b	14.42 ^b
5	1.31 ^a	1.89 ^b	1.31 ^a	0.33	5.46 ^a	17.32 ^a
خطای استاندارد SEM	0.01	0.04	0.03	0.01	0.13	0.21
سطح احتمال معنی‌داری P-value	0.01	0.02	0.01	0.07	0.02	0.01
روغن کتان × اسپیرولینا پلاتنسیس Flaxseed oil × Spirulina platensis						
0×0	1.33 ^{ab}	2.36 ^{ab}	1.18 ^{ab}	0.33	4.50	14.29 ^b
0×5	1.47 ^a	1.94 ^b	1.41 ^a	0.29	5.30	17.98 ^a
1.5×0	1.21 ^b	2.72 ^a	0.96 ^b	0.34	4.87	13.02 ^b
1.5×5	1.36 ^a	1.97 ^b	1.17 ^{ab}	0.35	5.48	14.77 ^b
3×0	1.16 ^b	3.24 ^a	0.98 ^b	0.41	4.95	13.72 ^b
3×5	1.38 ^a	1.77 ^b	1.37 ^a	0.36	5.58	16.71 ^a
خطای استاندارد SEM	0.06	0.09	0.05	0.02	0.24	0.33
سطح احتمال معنی‌داری P-value	0.03	0.03	0.01	0.16	0.20	0.04

^{a-b} در هر ستون هر بخش، میانگین‌های دارای حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند (P < 0.05).

TAC¹: ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل؛ MDA: مالون‌دی‌آلدئید؛ GPx: گلوکوتاتیون پراکسیداز؛ SOD: سوپراکسید دیسموتاز.

^{a-b} Means within each column of each section with different superscripts are significantly different (P < 0.05).

¹TAC: total antioxidant capacity; MDA: malondialdehyde; GPX: glutathione peroxidase; SOD: superoxide dismutase.

پلاتنسیس در جیره‌های حاوی روغن کتان از این واقعیت حمایت می‌کند که این ترکیبات زیست فعال می‌توانند به‌طور مؤثری از سلول‌های کبدی در برابر رادیکال‌های آزاد تولیدشده توسط پراکسیداسیون لیپیدی محافظت کنند و بنابراین قدرت آنتی‌اکسیدانی و سلامت سلول را افزایش دهند (Li et al., 2023). بنابراین مطالعه حاضر شواهدی را نشان می‌دهند که اسپیرولینا پلاتنسیس می‌تواند به خون و کبد مرغ‌های تخم‌گذار نفوذ کرده و به‌طور مؤثری از پراکسیداسیون لیپیدها جلوگیری کند.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که برای بهبود عملکرد و فراسنجه‌های لیپیدی خون در مرغ‌های تخم‌گذار در پایان دوره، می‌توان از سطوح ۱/۵ تا ۳ درصد روغن کتان در جیره استفاده کرد. با این حال، استفاده از این سطوح (به‌ویژه سطح ۳ درصد) به‌دلیل افزایش خطر پراکسیداسیون لیپیدها، مستلزم کاربرد یک آنتی‌اکسیدان طبیعی مانند ریزجلبک/اسپیرولینا پلاتنسیس است.

تأثیر منفی پراکسیداسیون بر طیور، عمدتاً با اختلال در وضعیت ردوکس همراه است (Akbarian et al., 2016). نتایج کنونی نشان دادند که افزایش مالون‌دی‌آلدئید کبد که یکی از شاخص‌های تنش اکسیداتیو است، با اضافه شدن اسپیرولینا پلاتنسیس به جیره‌های حاوی روغن کتان کاهش یافت، درحالی‌که فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل با مصرف تیمارهای حاوی اسپیرولینا پلاتنسیس افزایش یافتند. ظرفیت اسپیرولینا پلاتنسیس برای بازگرداندن تعادل ردوکس در جیره‌های حاوی روغن کتان را می‌توان به ترکیبات آنتی‌اکسیدانی فعال زیستی آن مانند فلاونوئیدها و پلی‌فنول‌ها و سایر آنتاگونیست‌های رادیکال‌های آزاد مانند α -توکوفرول، اسیدآسکوربیک، بتاکاروتن و سلنیوم نسبت داد (Agustini et al., 2015) که نشان دهنده انتقال احتمالی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی اسپیرولینا پلاتنسیس به بدن مرغ است. موافق با نتایج این پژوهش، پانایت و همکاران (Panaite et al., 2023) نشان دادند که افزودن اسپیرولینا پلاتنسیس به جیره، بهبود قابل توجهی در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوکاتایون پراکسیداز) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل نشان داد. بهبود سطح مالون‌دی‌آلدئید، گلوکاتایون پراکسیداز و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی توسط اسپیرولینا

References

1. Aguillón-Páez, Y. J., Romero, L. A., & Diaz, G. J. (2020). Effect of full-fat sunflower or flaxseed seeds dietary inclusion on performance, egg yolk fatty acid profile and egg quality in laying hens. *Animal Nutrition*, 6(2), 179-184. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.12.005>
2. Agustini, T. W., Suzery, M., Sutrisnanto, D., & Ma'ruf, W. F. (2015). Comparative study of bioactive substances extracted from fresh and dried *Spirulina* sp. *Procedia Environmental Sciences*, 23, 282-289. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.042>
3. Akbarian, A., Michiels, J., Degroote, J., Majdiddin, M., Golian, A., & De Smet, S. (2016). Association between heat stress and oxidative stress in poultry; mitochondrial dysfunction and dietary interventions with phytochemicals. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 7, 1-14. <https://doi.org/10.1186/s40104-016-0097-5>
4. Anvar, A. A., & Nowruzi, B. (2021). Bioactive properties of spirulina: A review. *Bioactive Materials*, 4, 134-142. <http://dx.doi.org/10.25163/microbbioacts.412117B0719110521>
5. Attia, Y. A., Abd El-Hamid, A. E. H. E., Abedalla, A. A., Berika, M. A., Al-Harhi, M. A., Kucuk, O., & Abou-Shehema, B. M. (2016). Laying performance, digestibility and plasma hormones in laying hens exposed to chronic heat stress as affected by betaine, vitamin C, and/or vitamin E supplementation. *SpringerPlus*, 5, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3304-0>
6. Attia, Y. A., Al-Harhi, M. A., Sagan, A. A., Abdulsalam, N. M., Hussein, E. O., & Olal, M. J. (2022). Egg production and quality, lipid metabolites, antioxidant status and immune response of laying hens fed diets with various levels of soaked flax seed meal. *Agriculture*, 12(9), 1402-1415. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091402>
7. Batkowska, J., Drabik, K., Brodacki, A., Czech, A., & Adamczuk, A. (2021). Fatty acids profile, cholesterol level and quality of table eggs from hens fed with the addition of linseed and soybean oil. *Food Chemistry*, 334, 127612. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127612>
8. Ceylan, N., Ciftçi, I., Mizrak, C., Kahraman, Z., & Efil, H. (2011). Influence of different dietary oil sources on performance and fatty acid profile of egg yolk in laying hens. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 20(1), 137-151. <http://doi.org/10.22358/jafs/66159/2011>
9. Christie, W. W., & Harwood, J. L. (2020). Oxidation of polyunsaturated fatty acids to produce lipid mediators. *Essays in Biochemistry*, 64(3), 401-421. <https://doi.org/10.1042/EBC20190082>
10. Deng, R., & Chow, T. J. (2010). Hypolipidemic, antioxidant, and antiinflammatory activities of microalgae

- Spirulina. Cardiovascular Therapeutics*, 28(4), 33-45. <https://doi.org/10.1111/j.1755-5922.2010.00200.x>
11. Djousse, L., Gaziano, J. M., Buring, J. E., & Lee, I. M. (2011). Dietary omega-3 fatty acids and fish consumption and risk of type 2 diabetes. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 93(1), 143-150. <https://doi.org/10.3945/ajcn.110.005603>
12. Ebrahimi, M., Chaparabad, H. G., Al-Moussawi, I. S. M., Hosseini, M. H., & Mirghelenj, S. A. (2025). Thyme plant powder (*Thymus vulgaris*) improves the production performance of laying hens by affecting ovarian follicles. *Tropical Animal Science Journal*, 48(3), 231-240. <https://doi.org/10.5398/tasj.2025.48.3.231>
13. 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. <https://doi.org/10.3382/ps/pew462>
14. El-Moataaz, S., Ismael, H., & Aborhyem, S. (2019). Assessment of chemical composition of *Spirulina platensis* and its effect on fasting blood glucose and lipid profile in diabetic Rats. *Journal of High Institute of Public Health*, 49(3), 199-211. <https://dx.doi.org/10.21608/jhiph.2019.64463>
15. El-Zenary, A. S., Elkin, R. G., & Harvatine, K. J. (2023). Comparison of Ahiflower oil containing stearidonic acid to a high-alpha-linolenic acid flaxseed oil at two dietary levels on omega-3 enrichment of egg yolk and tissues in laying hens. *Lipids*, 58(3), 139-155. <https://doi.org/10.1002/lipd.12370>
16. Fabro, C., Romanzin, A., & Spanghero, M. (2021). Fatty acid profile of table eggs from laying hens fed hempseed products: A meta-analysis. *Livestock Science*, 254, 104748. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104748>
17. Fernandes, R., Campos, J., Serra, M., Fidalgo, J., Almeida, H., Casas, A., & Barros, A. I. (2023). Exploring the benefits of phycocyanin: From *Spirulina* cultivation to its widespread applications. *Pharmaceuticals*, 16(4), 592-608. <https://doi.org/10.3390/ph16040592>
18. Gao, Z., Zhang, J., Li, F., Zheng, J., & Xu, G. (2021). Effect of oils in feed on the production performance and egg quality of laying hens. *Animals*, 11(12), 348-362. <https://doi.org/10.3390/ani11123482>
19. Gheorghe, A., Lefter, N. A., Idriceanu, L., Ropotă, M., & Hăbeanu, M. (2020). Effects of dietary extruded linseed and *Lactobacillus acidophilus* on growth performance, carcass traits, plasma lipoprotein response, and caecal bacterial populations in broiler chicks. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 822-832. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1801359>
20. González-Ortiz, G., Sala, R., Cánovas, E., Abed, N., & Barroeta, A. C. (2013). Consumption of dietary n-3 fatty acids decreases fat deposition and adipocyte size, but increases oxidative susceptibility in broiler chickens. *Lipids*, 48, 705-717. <https://doi.org/10.1007/s11745-013-3785-3>
21. Hamard, A., Mazurais, D., Boudry, G., Le Huërou-Luron, I., Sève, B., & Le Floch, N. (2010). A moderate threonine deficiency affects gene expression profile, paracellular permeability and glucose absorption capacity in the ileum of piglets. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 21(10), 914-921. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2009.07.004>
22. Hy-Line International. (2020). Hy-Line W-36 Commercial Layers Management Guide.
23. Islam, F., Imran, A., Nosheen, F., Fatima, M., Arshad, M. U., Afzaal, M., Zahra, S. N., Segueni, N., & Amer Ali, Y. (2023). Functional roles and novel tools for improving-oxidative stability of polyunsaturated fatty acids: A comprehensive review. *Food Science & Nutrition*, 11(6), 2471-2482. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3272>
24. Jing, M., Zhao, S., & House, J. D. (2017). Performance and tissue fatty acid profile of broiler chickens and laying hens fed hemp oil and HempOmegaTM. *Poultry Science*, 96(6), 1809-1819. <https://doi.org/10.3382/ps/pew476>
25. Kim, J., Magnuson, A., Tao, L., Barcus, M., & Lei, X. G. (2016). Potential of combining flaxseed oil and microalgal biomass in producing eggs-enriched with n-3 fatty acids for meeting human needs. *Algal Research*, 17, 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.04.005>
26. Kralik, G., Kralik, Z., Grčević, M., Galović, O., Hanžek, D., & Biazik, E. (2021). Fatty acid profile of eggs produced by laying hens fed diets containing different shares of fish oil. *Poultry Science*, 100(10), 79-88. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101379>
27. Kristensen, M., Bach Knudsen, K. E., Jørgensen, H., Oomah, D., Bügel, S., Toubro, S., & Astrup, A. (2013). Linseed dietary fibers reduce apparent digestibility of energy and fat and weight gain in growing rats. *Nutrients*, 5(8), 3287-3298. <https://doi.org/10.3390/nu5083287>
28. 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(8), 101276. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101276>
29. Li, S., Jing, M., Mohamed, N., Rey-Dubois, C., Zhao, S., Aukema, H. M., & House, J. D. (2023). The effect of increasing concentrations of omega-3 fatty acids from either flaxseed oil or preformed docosahexaenoic acid on fatty acid composition, plasma Oxylipin, and immune response of laying hens. *The Journal of Nutrition*, 153(7), 2105-2116. <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2023.05.017>
30. Long, S., Liu, S., Wu, D., Mahfuz, S., & Piao, X. (2020). Effects of dietary fatty acids from different sources on growth performance, meat quality, muscle fatty acid deposition, and antioxidant capacity in broilers. *Animals*, 10(3), 508-21. <https://doi.org/10.3390/ani10030508>

31. Long, S. F., Kang, S., Wang, Q. Q., Xu, Y. T., Pan, L., Hu, J. X., & Piao, X. S. (2018). Dietary supplementation with DHA-rich microalgae improves performance, serum composition, carcass trait, antioxidant status, and fatty acid profile of broilers. *Poultry Science*, 97(6), 1881-1890. <https://doi.org/10.3382/ps/pey027>
32. Mirzaie, S., Zirak-Khattab, F., Hosseini, S. A., & Donyaie-Darian, H. (2017). Effects of dietary *Spirulina* on antioxidant status, lipid profile, immune response and performance characteristics of broiler chickens reared under high ambient temperature. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(4), 556-568. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0483>
33. Mosayyeb Zadeh, A., Mirghelenj, S. A., Hasanlou, P., & Shakouri Alishah, H. (2023). Effects of pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) supplementation on production performance, egg quality traits, and biochemical parameters of blood and egg in laying hens at later stages of the production period. *Veterinary Medicine and Science*, 9(1), 242-251. <https://doi.org/10.1002/vms3.1031>
34. Mousavi, A., Mahdavi, A. H., Riasi, A., & Soltani-Ghombavani, M. J. A. F. S. (2017). Synergetic effects of essential oils mixture improved egg quality traits, oxidative stability and liver health indices in laying hens fed fish oil. *Animal Feed Science and Technology*, 234, 162-172. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.10.001>
35. Nampijja, Z., Kiggundu, M., Kigozi, A., Lugya, A., Magala, H., Ssepuuya, G., & Mugerwa, S. (2023). Optimal substitution of black soldier fly larvae for fish in broiler chicken diets. *Scientific African*, 20, e01636. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01636>
36. Neijat, M., Ojekudo, O., & House, J. D. (2016). Effect of flaxseed oil and microalgae DHA on the production performance, fatty acids and total lipids of egg yolk and plasma in laying hens. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 115, 77-88. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2016.10.010>
37. Panaite, T. D., Cornescu, G. M., Predescu, N. C., Cismileanu, A., Turcu, R. P., Saracila, M., & Soica, C. (2023). Microalgae (*Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis*) as a protein alternative and their effects on productive performances, blood parameters, protein digestibility, and nutritional value of laying hens' egg. *Applied Sciences*, 13(18), 51-67. <https://doi.org/10.3390/app131810451>
38. Rodriguez-Estrada, M. T., Paciulli, M., Cerretani, L., & Chiavaro, E. (2017). Production of vegetable oils from fruits, oilseeds, and beans: Conventional processing and industry techniques. *Edible Oils*, 3, 1-34. <http://dx.doi.org/10.1201/9781315152493-2>
39. Sakai, C., Ishida, M., Ohba, H., Yamashita, H., Uchida, H., Yoshizumi, M., & Ishida, T. (2017). Fish oil omega-3 polyunsaturated fatty acids attenuate oxidative stress-induced DNA damage in vascular endothelial cells. *PLoS One*, 12(11), e0187934. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187934>
40. Salahuddin, M., Abdel-Wareth, A. A., Stamps, K. G., Gray, C. D., Aviña, A. M., Fulzele, S., & Lohakare, J. (2024). Enhancing laying hens' performance, egg quality, shelf life during storage, and blood biochemistry with *Spirulina platensis* supplementation. *Veterinary Sciences*, 11(8), 383-397. <https://doi.org/10.3390/vetsci11080383>
41. SAS, S. (2009). STAT User's Guide, Version 9.4. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
42. Schweitzer, G. G., Chen, Z., Gan, C., McCommis, K. S., Soufi, N., Chrast, R., & Finck, B. N. (2015). Liver-specific loss of lipin-1-mediated phosphatidic acid phosphatase activity does not mitigate intrahepatic TG accumulation in mice. *Journal of Lipid Research*, 56(4), 848-858. <https://doi.org/10.1194/jlr.m055962>
43. Sepehr, A., Kashani, R. B., Esmaeili, N., Safari, O., & Rombenso, A. (2021). Effects of extruded, milled, and whole flaxseed (*Linum usitatissimum*) on egg performance, lipid components, and fatty acids concentrations in yolk and blood, and antioxidant system of commercial laying hens. *Animal Feed Science and Technology*, 276, 114877. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114877>
44. Shahryari, M., Tabeidian, S. A., Shahraki, A. D. F., Tabatabaei, S. N., Toghyani, M., Forouzmand, M., & Habibiyan, M. (2021). Using soybean acid oil or its calcium salt as the energy source for broiler chickens: Effects on growth performance, carcass traits, intestinal morphology, nutrient digestibility, and immune responses. *Animal Feed Science and Technology*, 276, 19-32. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114919>
45. Sidorkiewicz, M. (2024). The cardioprotective effects of polyunsaturated fatty acids depends on the balance between their anti-and pro-oxidative properties. *Nutrients*, 16(22), 3937. <https://doi.org/10.3390/nu16223937>
46. Vlaicu, P. A., Panaite, T. D., & Turcu, R. P. (2021). Enriching laying hens eggs by feeding diets with different fatty acid composition and antioxidants. *Scientific Reports*, 11(1), 20707. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-00343-1>
47. Vui, N. V., Oanh, D. H., Quyen, N. T. K., Linh, N. T., Nang, K., & Phong, N. H. (2024). The impact of adding spirulina algae to drinking water on the productivity, egg quality, yolk lipid oxidation, and blood biochemistry of laying hens. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 12(9), 1654-1663. <https://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2024/12.9.1654.1663>
48. Wang, C., Sun, C., Lu, W., Gul, K., Mata, A., & Fang, Y. (2020). Emulsion structure design for improving the oxidative stability of polyunsaturated fatty acids. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 2955-2971. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12621>
49. Xu, M., Liu, L., Fan, Z., Niu, L., Ning, W., Cheng, H., Deng, H., Chen, W., & Che, L. (2025). Effect of different dietary oil sources on the performance, egg quality and antioxidant capacity during the late laying period. *Poultry*

Science, 104(1), 104615. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104615>

50. Zita, L., Okrouhlá, M., Kront, O., Kraus, A., Stádník, L., Čítek, J., & Stupka, R. (2022). Changes in fatty acids profile, health indices, and physical characteristics of organic eggs from laying hens at the beginning of the first and second laying cycles. *Animals*, 12(1), 125. <https://doi.org/10.3390/ani12010125>

The Effect of *Allium Sativum* and *Foeniculum Vulgare* Extracts on Performance and Reproductive System Morphology in Layer Breeder Hens

Zeinab Bardel¹, Ali Asghar Saki^{1*}, Asghar Mirzaie-Asl², Zahra Gholami Mahmoudian³

1- Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

2- Department of Plant Biotechnology, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3- Department of Anatomical Sciences, School of Medicine, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

*Corresponding Author's Email: asaki@basu.ac.ir

Received: 07-05-2025

Revised: 20-07-2025

Accepted: 27-07-2025

Available Online: 03-02-2026

How to cite this article:

Bardel, Z., Asghar Saki, A., Mirzaie-Asl, A., & Gholami Mahmoudian Z. (2026). The effect of *Allium sativum* and *Foeniculum vulgare* extracts on performance and reproductive system morphology in layer breeder hens. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 17(4), 463-474. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/ijasr.2025.93284.1246>

Introduction: Garlic (*Allium sativum*) is a well-known aromatic herb that has been used for centuries for its therapeutic properties, largely attributed to its bioactive compounds such as allicin. These compounds have been shown to support immune function, mitigate oxidative stress, and improve overall health status in poultry. Similarly, fennel (*Foeniculum vulgare*), an aromatic perennial herb from the Apiaceae family, is valued for its seeds containing antioxidants and phytoestrogens that may positively influence ovarian morphology and reproductive efficiency. The poultry industry is increasingly turning to medicinal plants as natural alternatives to synthetic additives, aiming to boost productivity and promote bird health. Previous studies have demonstrated that supplementation with garlic and fennel extracts can significantly improve productive parameters, including egg production and reproductive performance. However, the specific mechanisms and effects on ovarian histomorphology require more study. The main aim of this study is to evaluate the effects of garlic and fennel extracts administered separately on the performance traits and ovarian morphology of layer breeder hens, with the goal of understanding how these natural supplements can enhance reproductive health and egg production. The findings of this research may support the use of medicinal plants as natural alternatives for improving reproductive functions and productivity in poultry, contributing to more sustainable and welfare-oriented poultry production systems.

Materials and Methods: In this study, sixty-layer breeders of the Hy-Line W80 strain in Sixty-five weeks of age were allocated into three groups, with five replicates and four hens per replicate. The dietary treatments were as follows: (1) control diet based on corn and soybean meals; (2) control diet supplemented with 400 mg/kg of dried fennel extract; and (3) control diet supplemented with 400 mg/kg of dried garlic extract. The experimental groups were managed for 10 weeks, and performance traits such as feed intake, egg mass, feed conversion ratio, egg weight were evaluated weekly. The experimental diets were formulated using UFFDA software. At the end of the experimental period at 75 weeks of age, one hen per replicate, totaling five hens per group were euthanized and the ovarian and magnum tissues were fixed in formalin for histological examination. In this study, large ovarian follicles defined as those with a diameter exceeding 10 mm were counted, the weight and diameter of each follicle were measured individually. The performance data and follicle characteristics were analyzed by SAS software version 8.9



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

 <https://doi.org/10.22067/ijasr.2025.93284.1246>

using the GLM procedure and microscopic data were analyzed by GraphPad Prism software.

Results and Discussion: The results indicated that dietary supplementation with garlic and fennel extracts had no significant effect on the performance of layer breeder hens ($P > 0.05$). These findings are not consistent with multiple prior studies, which have reported positive impacts of these phytogetic additives on poultry performance. This discrepancy may stem from differences in experimental design, supplementation levels, or the specific strains of poultry used in different studies, highlighting the complexity of integrating herbal supplements into poultry nutrition programs. Despite the lack of significant effect on overall performance, noteworthy observations were made regarding the reproductive parameters of the hens. The number of growing ovarian follicles in the fennel group increased compared to the control ($P < 0.05$). This increase in follicular development may be attributed to the bioactive compounds present in fennel, which are known to modulate hormonal activities and ovarian function in poultry. Enhanced follicular growth is crucial for improving egg production potential, suggesting that fennel may play a beneficial role in reproductive health. Additionally, the thickness of the granulosa layer in the ovaries of hens that received garlic and fennel groups was significantly higher compared to the control group ($P < 0.05$), indicating potential enhancements in reproductive health status. The granulosa cell layer is vital for the proper development and maturation of oocytes, as it provides necessary support and nutrients. An increase in granulosa layer thickness may contribute to better egg quality parameters.

Conclusion: The overall findings of the present study suggest for slowing down the process of reducing antioxidant capacity and consequently reducing fertility by using fennel and garlic extracts in the diet of laying hens. Further studies are required to clarify the effects of these extracts on laying hens. Also, a more detailed study of the molecular mechanisms and evaluation of the effects of these compounds on other fertility indicators can provide new insights for increasing reproductive performance in laying hens.

Keywords: Egg production, Fennel, Garlic, Layer hen, Ovary

اثر عصاره‌های *Allium sativum* و *Foeniculum vulgare* بر عملکرد و ریخت‌شناسی دستگاه تولیدمثل در مرغ‌های مادر تخم‌گذار

زینب باردل^۱، علی‌اصغر ساکی^{۲*}، اصغر میرزایی اصل^۲، زهرا غلامی محمودیان^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۵

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر عصاره‌های سیر و رازیانه بر عملکرد تولیدی و ریخت‌شناسی تخمدان مرغ‌های مادر تخم‌گذار انجام شد. در این مطالعه از ۶۰ قطعه مرغ مادر تخم‌گذار سویه‌های لاین W80 در سه تیمار، پنج تکرار و چهار قطعه مرغ در هر تکرار در سن ۶۵ هفتگی استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل: ۱- شاهد (ذرت، کنجاله‌سویا) ۲- شاهد + ۴۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خوراک عصاره خشک رازیانه و ۳- شاهد + ۴۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خوراک عصاره خشک سیر بودند. تیمارهای آزمایشی به مدت ۱۰ هفته در اختیار مرغ‌ها قرار گرفتند و صفات عملکردی شامل خوراک مصرفی، توده تخم‌مرغ تولیدی، ضریب تبدیل غذایی، وزن تخم‌مرغ و توده تخم‌مرغ به صورت هفتگی بررسی شد. در پایان دوره، ریخت‌شناسی بافت تخمدان ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که عصاره سیر و رازیانه تأثیر معنی‌داری بر عملکرد مرغ‌های مادر تخم‌گذار نشان ندادند. تعداد فولیکول‌های در حال رشد در تیمار رازیانه در مقایسه با شاهد افزایش یافت و قطر لایه گرانولوزا در تیمارهای سیر و رازیانه در مقایسه با شاهد به صورت معنی‌داری بیشتر شد. نتایج کلی این آزمایش نشان داد که اگرچه عصاره‌های سیر و رازیانه تأثیر مستقیمی بر عملکرد تخم‌گذاری مرغ‌های مادر نداشتند، اما افزایش قابل توجه در تعداد فولیکول‌های در حال رشد و قطر لایه گرانولوزا می‌تواند نشان‌دهنده پتانسیل این ترکیبات در بهبود سلامت تخمدان، فولیکول و در نتیجه کیفیت و تولید تخم‌مرغ باشد. با توجه به اینکه عصاره‌های استفاده‌شده در آزمایش حاضر تأثیری بر عملکرد تولیدی نداشتند، پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های بیشتری با نمونه‌های بزرگ‌تر و مقدارهای مختلف انجام شود تا کاربرد این عصاره‌ها در صنعت مرغ مادر بهتر مشخص شود.

واژه‌های کلیدی: تخمدان، تولید تخم‌مرغ، رازیانه، سیر، مرغ تخم‌گذار

مقدمه

سیر و رازیانه دو گیاه با خاصیت‌های تغذیه‌ای و درمانی منحصربه‌فرد هستند که در تحقیقات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. سیر با نام علمی *Allium sativum* L، یک گیاه علفی معطر و یک‌ساله است که از دیرباز به عنوان یکی از مهم‌ترین و قدیمی‌ترین گیاهان دارویی مورد استفاده قرار گرفته است. تحقیقات نشان می‌دهد که انواع مختلف سیر و ترکیبات فعال موجود در آن می‌توانند خطر ابتلا به دیابت و بیماری‌های قلبی-عروقی را کاهش دهند، همچنین با تقویت سیستم ایمنی، بدن را در برابر عفونت‌ها محافظت کرده و دارای خواص ضد میکروبی، ضد قارچی، ضد پیری و همچنین ضد سرطان هستند؛ این ادعاها از طریق داده‌های همه‌گیرشناسی بالینی انسانی تأیید شده‌اند (Rahman, 2001). گزارش شده است که سیر حاوی ویتامین‌های E و C، مواد معدنی مثل سلنیوم، پلی فنل‌ها و ترکیبات سولفوردار با قدرت آنتی‌اکسیدانی است (Filomeni, 2003). سیر حاوی چندین ترکیب ارگانوسولفور، S-آلیل سیستئین، آلیسین و آلیین به عنوان مواد شیمیایی گیاهی است، سیر تازه حاوی

صنعت پرورش مرغ‌های مادر تخم‌گذار یکی از مهم‌ترین صنایع طیور است که سرمایه‌گذاری قابل توجهی در سراسر جهان را به خود اختصاص می‌دهد و در نتیجه، نیاز شدید وجود دارد تا با راهکارهای طبیعی مانند افزودنی‌های گیاهی به جیره غذایی، میزان تولید و سلامت این پرندگان بهبود یابد (Lim et al., 2023). در صنعت مرغداری، استفاده از گیاهان دارویی جهت افزایش عملکرد و سلامت طیور مورد توجه قرار گرفته است.

۱- گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۳- گروه علوم تشریحی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

(Email: asaki@basu.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/ijasr.2025.93284.1246>

طیور باعث بهبود شاخص‌های تولید، کیفیت لاشه و یکپارچگی روده و تعدیل پاسخ ایمنی در برابر برخی از بیماری‌های مهم ویروسی شد، علاوه بر این، سیر از طریق فعالیت‌های ضدباکتریایی و ضدانگلی، سلامت روده را بهبود می‌بخشد. استفاده از سیر همچنین می‌تواند تنش اکسیداتیو و تولید رادیکال‌های آزاد را کاهش دهد. کاهش سطح کلسترول و بهبود برخی از شاخص‌های کبدی و خونی نیز توسط جیره حاوی سیر گزارش شده است (Abd El-Ghany, 2024). همچنین استفاده از پودر سیر تخمیرشده به میزان دو گرم در کیلوگرم خوراک مرغ‌های مادر تخم‌گذار، عملکرد تولیدی را بهبود بخشید (Lim et al., 2023). یافته‌های متا-آنالیز، تأثیر مثبت سیر در مرغ‌های تخم‌گذار را نشان داده است؛ مرغ‌هایی که جیره حاوی سیر مصرف کردند نسبت به گروه شاهد، تولید تخم‌مرغ و معیارهای کیفی تخم‌مرغ بهتری داشتند، اگرچه مقادیر مشاهده‌شده در محدوده داده‌های مربوط به نژاد، سویه و لاین‌های مورد استفاده در این متا-آنالیز بود. این محققین گزارش کردند که تولید و کیفیت تخم‌مرغ در جوجه‌ها به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر عواملی مانند نژاد، سن، روش‌نایی و دما قرار دارد، این محققین پیشنهاد کردند که تحقیقات آینده باید بر تأثیر بلندمدت تغذیه با سیر بر تولید و کیفیت تخم‌مرغ در مرغ‌های تخم‌گذار متمرکز شود، زیرا بیشتر مرغ‌های تخم‌گذار مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل در اولین چرخه تولید خود بودند (Ogbuewu et al., 2021).

از طرفی بسیاری از تحقیقات نشان داده‌اند که عملکرد تولیدمثل به‌طور قابل توجهی به رشد مؤثر فولیکول‌های تخمدان وابسته است. این فرآیند تحت تأثیر هورمون‌های جنسی است که توسط محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-تخمدان برای تنظیم تخم‌گذاری ترشح می‌شوند (Brady et al., 2020; Tan et al., 2021). اثر گیاهان دارویی همانند سیر و رازیانه بر هورمون‌های جنسی (استروژن) نشان داده شده است (Kazemi Fard et al., 2013; Taherkhani et al., 2018; Pourjafari et al., 2020).

تحقیقات زیادی درباره اثر سیر و رازیانه بر عملکرد مرغ‌های تخم‌گذار انجام شده است که اکثر آن‌ها به اثر مثبت این گیاهان دارویی بر عملکرد مرغ‌های تخم‌گذار اشاره کرده‌اند، اما جهت بررسی بیشتر لازم است که اثر آن‌ها بر ریخت‌شناسی تخمدان و همچنین در سنین مختلف مورد توجه قرار گیرد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر عصاره‌های سیر و رازیانه بر عملکرد تخم‌گذاری و ریخت-شناسی تخمدان در مرغ‌های مادر تخم‌گذار در آخر دوره تولید طراحی شد.

مواد و روش‌ها

پرندگان و تیمارهای آزمایشی: در این مطالعه از ۶۰ قطعه مرغ مادر تخم‌گذار سویه‌های لاین W80 در سن ۶۵ هفتگی به‌صورت

آلین، یک سولفوکسید است که از سیستم‌تین تولید می‌شود. سیر همچنین حاوی بخش‌های مجزایی است که حاوی آنزیم آلیناز هستند که هنگام خرد شدن، آلین را به آلینین تبدیل می‌کند و بوی خاص سیر و همچنین تعدادی از خواص دارویی را به آن می‌دهد (Hidayatik et al., 2024). همچنین حاوی ترکیبات شیمیایی آنتی‌بیوتیکی از جمله فلاونوئیدها، ساپونین‌ها، آلکالوئیدها و فنل‌ها است (Nandhini et al., 2024).

از سوی دیگر، رازیانه با نام علمی *Foeniculum vulgare*، گیاهی دو یا چندساله از خانواده چتریان است، دانه این گیاه به‌عنوان یک ترکیب معطر و دارویی از گذشته مورد استفاده قرار گرفته است. گزارش شده است که رازیانه دارای اثرات دارویی متعدد از جمله خاصیت آنتی‌اکسیدانی است (Kooti et al., 2015; Al-Amoudi, 2017). همچنین گزارش شده است که مصرف عصاره دانه رازیانه موجب کاهش قند خون، کاهش چربی و کاهش فعالیت‌های اکسیداتیو در موش‌های دیابتی‌شده با استرپتوزوسین گردید و مشکلات کبدی ناشی از دیابت نیز برطرف شد (Parsaeyan, 2016). اثرات مثبتی از این گیاه بر کبد و کلیه نیز گزارش شده است (Al-Amoudi, 2017). ترکیبات اصلی رازیانه شامل ترانس آنتول، لیمونن و فنچون است، آنتول خواص استروژنی را فعال می‌کند، همچنین رازیانه به‌عنوان منبع غنی از فیتواستروژن‌ها به‌خصوص ایزوفالون می‌باشد (Krychman, 2011). در بررسی اثر رازیانه به‌عنوان یک گیاه فیتواستروژن بر رت‌های نر بیان شد که فلاونوئیدها و آنتول از ترکیبات استروژنی موجود در رازیانه هستند (Helal et al., 2019).

در گزارش‌های مختلف، اثرات مثبت این دو گیاه بر عملکرد مرغ‌های تخم‌گذار نشان داده شده است. گزارش شده است که مکمل کردن جیره با ۵۰ یا ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خوراک، رازیانه باعث افزایش تولید تخم، افزایش جوجه‌های قابل فروش و حفظ تیتراژ آنتی‌بادی نیوکاسل شد، با این حال تنها افزودن ۵۰ میلی‌گرم به‌ازای هر کیلوگرم به جیره باعث کاهش تخم‌مرغ‌های دو زرده، افزایش ضخامت پوسته، تعداد تخم‌های متوسط، بهبود عملکرد، بهبود جوجه‌کشی و پاسخ ایمنی در مرغ‌های مادر گوشتی پس از تولد کبری شد. با این حال تحقیقات بیشتری برای درک سازوکارهایی که توسط آن رازیانه عملکرد کلی طیور را بهبود می‌بخشد، پیشنهاد شده است (Kazemi Fard et al., 2013). دانه رازیانه دارای اثرات بیولوژیکی مختلفی از جمله بهبود عملکرد، تکثیر سلول‌های ایمنی، کاهش تنش اکسیداتیو و افزایش تیتراژ آنتی‌بادی در برابر بیماری‌های عفونی در پرندگان است. گزارش شده است که اثر بخشی این گیاه بر اساس سن، فرآیند استخراج، موقعیت جغرافیایی، گونه‌های مرغ، شیوه‌های مدیریتی و غلظت‌های استفاده‌شده تعیین می‌شود (Khan et al., 2022).

بررسی‌ها نشان داده است که استفاده از سیر و مشتقات آن در

تخمندان جدا گردید. فولیکول‌های زرد بزرگ تخمدان شمارش شدند و وزن آن‌ها توسط ترازوی دیجیتال گرمی (UNIWEIGH، ساخت کشور چین) با دقت ۰/۰۱ گرم و قطر آن‌ها به وسیله کولیس دیجیتال (INSIZE ساخت کشور تایوان) اندازه‌گیری گردید. فولیکول‌های با قطر بزرگ‌تر از ۱۰ میلی‌متر به عنوان فولیکول زرد بزرگ در نظر گرفته شدند (Rahman, 2001; Hloko et al., 2023).

بررسی بافت تخمدان: بافت تخمدان مرغ‌های کشتار شده

توسط آب مقطر شست‌وشو داده شد و درون فرمالین ۱۰ درصد (یک حجم فرمالین ۳۷ درصد + ۹ حجم آب) تا زمان بررسی ریخت‌شناسی تثبیت شد.

آب‌گیری (با الک)، شفاف کردن (با گزیلول) و آغستگی با پارافین توسط دستگاه تیشو پروسور (مدل Leica ساخت کشور ایتالیا) انجام شدند، سپس بافت‌ها توسط پارافین مذاب بلوک‌بندی گردید. بلوک‌ها بعد از سرد شدن توسط دستگاه میکروتوم (مدل Leica ساخت کشور ایتالیا) به قطر چهار میکرون برش داده شدند، از برش‌ها لام تهیه شد و لام‌های تهیه‌شده در دمای ۶۰ تا ۷۰ درجه به مدت یک ساعت انکوبه شدند و در نهایت رنگ‌آمیزی هماتوکسین اتوژین انجام گردید (Eslami et al., 2019). لام‌های مورد نظر توسط میکروسکوپ نوری با لنز ۴، ۱۰ و ۴۰ بررسی شدند. تصاویر حاصل از بررسی میکروسکوپی ریخت‌شناسی اندام‌های تولیدمثلی (شکل ۱) توسط نرم‌افزار Image J ثبت شدند.

آنالیز آماری: این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی

به صورت سه تیمار، پنج تکرار و چهار قطعه مرغ در هر تکرار انجام شد.

داده‌های عملکرد و ویژگی‌های فولیکول‌ها توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۸ رویه GLM آنالیز گردید. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح خطای ۰/۰۵ انجام شد.

مدل آماری استفاده‌شده جهت آنالیز داده‌های حاصل از بررسی فولیکول‌های زرد بزرگ به صورت معادله ۲ بود:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، Y_{ij} : مشاهده j از تیمار i ، μ : میانگین مشاهدات، T_i : اثر تیمار و E_{ij} : اشتباه آزمایشی است.

مدل استفاده‌شده جهت مقایسه داده‌های عملکرد هفته‌های مختلف به صورت معادله ۳ بود:

$$Y_j + E_{a_{jk}} + E_{b_{ijk}} \times Y_{ijk} = \mu + T_i + W_j + T_i \quad \text{معادله (۳)}$$

که در آن، Y_{ijk} : مشاهده مربوط به تیمار i در زمان اندازه‌گیری j در تکرار k ، μ : اثر میانگین، T_i : تیمار، W_j : هفته، $W_j \times T_i$: تیمار $\times$ هفته، $E_{a_{jk}}$: اشتباه اصلی و $E_{b_{ijk}}$: اشتباه فرعی است.

جهت بصری‌سازی و تحلیل داده‌های میکروسکوپی از نرم‌افزار

سه تیمار، پنج تکرار و چهار قطعه مرغ در هر تکرار استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۱- تیمار شاهد (دانه ذرت و کنجاله سویا)، ۲- شاهد + عصاره خشک رازیانه (۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خوراک) و ۳- شاهد + عصاره خشک سیر (۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خوراک) بودند. جیره‌های آزمایشی به مدت ۱۰ هفته در اختیار مرغ‌ها قرار گرفت. عصاره خشک سیر و عصاره خشک رازیانه از شرکت توسعه شیمیایی جهاد دانشگاهی کرج خریداری شدند. در کل دوره آزمایش، دمای محیط توسط سه عدد دماسنج در قسمت‌های مختلف سالن، ۲۰-۱۸ درجه ثابت نگه‌داشته شد و رطوبت سالن بین ۳۰ تا ۴۰ درصد با رطوبت‌سنج کنترل شد. برنامه نوردهی سالن در دوره تخم‌گذاری مرغ‌ها شامل ۱۵ ساعت روشنایی و نه ساعت تاریکی بود که توسط تایمر کنترل شد.

جیره‌های آزمایشی: مواد خوراکی استفاده‌شده در این آزمایش

طبق توصیه شرکت مرغک استفاده شدند و جیره‌های آزمایشی مورد استفاده با استفاده از نرم‌افزار جیره‌نویسی UFFDA، طبق توصیه جداول راهنمای هایلین W80 (۲۰۱۶) براساس اسید آمینه قابل‌هضم فرموله شدند. عصاره‌ها به صورت سرک به جیره‌ها اضافه گردید. آماده‌سازی جیره‌ها به صورت دستی انجام گرفت.

صفات عملکردی: روزانه به ازای هر مرغ ۱۱۵ گرم خوراک

وزن شد و با شروع روشنایی در اختیار مرغ‌ها قرار گرفت. در پایان هر هفته، غذای باقی‌مانده هر قفس توزین شده و خوراک جدید در اختیار مرغ‌ها قرار گرفت و میزان خوراک مصرفی براساس روز مرغ محاسبه شد. تخم‌های تولیدشده در هر روز جمع‌آوری و توزین شدند و در نهایت صفات عملکردی شامل مصرف خوراک، توده تخم‌مرغ، درصد تولید و میانگین وزن تخم‌مرغ با در نظر گرفتن روز مرغ محاسبه گردید (Yigrem et al., 2024). جهت تعیین هزینه خوراک به‌ازای هر کیلوگرم تخم‌مرغ تولیدی، هزینه هر کیلوگرم خوراک در ضریب تبدیل غذایی آن ضرب شد و مورد آنالیز قرار گرفت (Nobakht, 2016)، قیمت هر کیلوگرم خوراک با قیمت بازار آزاد نهاده‌ها در سال ۱۴۰۱ محاسبه شد. شاخص تولید تخم‌مرغ نیز مطابق معادله ۱ به دست آمد (Lukanov et al., 2023).

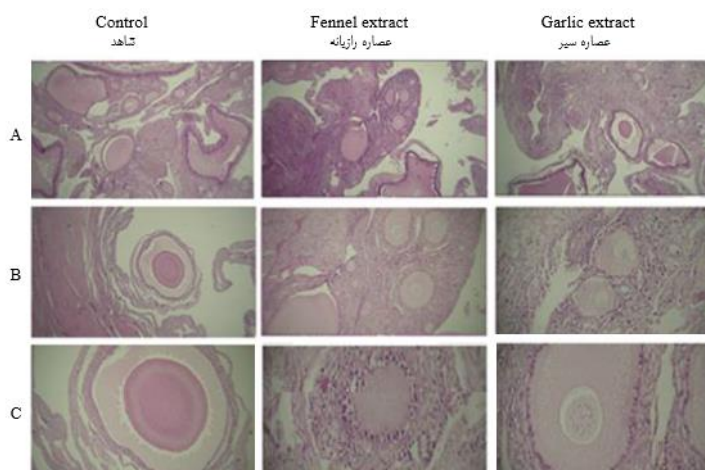
$$\text{EPEI} = [(L \times \text{DEMP}) / \text{FCR}] \times 100 \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، EPEI: شاخص بهره‌وری تولید تخم‌مرغ، L: زنده‌مانی، DEMP: توده تخم‌مرغ تولیدی روزانه برحسب کیلوگرم و FCR: ضریب تبدیل خوراک است.

کشتار و بررسی فولیکول‌های زرد بزرگ: در پایان هفته

دهم (سن ۷۵ هفتگی) یک عدد مرغ از هر تکرار (پنج قطعه از هر تیمار)، به صورت تصادفی انتخاب و کشتار شد. حفره شکمی باز شده و

Graph Pad Prism، نسخه ۸ توسط روش آماری تجزیه واریانس یک طرفه (One- Way ANOVA) استفاده گردید. $P < 0.05$ به عنوان سطح معنی داری در نظر گرفته شد.



شکل ۱- بررسی میکروسکوپی بافت تخمدان تیمارهای شاهد، عصاره رازیانه و عصاره سیر با بزرگ نمایی ۴ (A)، ۱۰ (B) و ۴۰ (C)

Figure 1- Histological analysis of ovarian tissue from the control group and treatments with fennel and garlic extracts, observed at magnifications of 4× (A), 10× (B) and 40× (C)

جدول ۱- اثر استفاده از عصاره رازیانه و عصاره سیر در جیره بر عملکرد مرغ های مادر تخم گذار

Table 1- The effect of fennel and garlic extracts in the diet on the performance of layer breeders

تیمارهای آزمایشی Experimental treatments	متغیر Variable						شاخص بهره وری تولید تخم مرغ Egg production efficiency index
	خوراک مصرفی (گرم /روز/پرنده) Feed intake (g/day/hen)	توده تخم مرغ (گرم/پرنده/روز) Egg mass (g/day/hen)	ضریب تبدیل Feed conversion ratio	تولید تخم مرغ (درصد) Egg production (%)	میانگین وزن تخم مرغ (گرم) Egg weight average (g)	هزینه خوراک به ازای هر کیلوگرم تولید تخم مرغ (تومان) Feed cost per kg of egg production (Toman)	
شاهد Control	110.40	43.05	2.69	75.83	58.47	31848	164.14
عصاره رازیانه Fennel extract	112.49	45.56	2.55	78.17	60.27	29433	190.70
عصاره سیر Garlic extract	110.18	41.49	2.74	71.35	59.58	31656	161.68
خطای استاندارد میانگین ها SEM ¹	1.145	2.906	0.149	5.059	1.258	2238.71	21.947
سطح معنی داری value-P							
تیمار Treatment	0.3242	0.8385	0.7732	0.6373	0.6056	0.9385	0.8517
هفته Week	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
تیمار × هفته Treatment × week	0.9875	0.6197	0.4237	0.4822	0.6916	0.2891	0.6417

SEM¹: خطای استاندارد میانگین ها

¹SEM: standard error of means

نتایج

عملکرد: نتایج نشان داد که صفات عملکردی در کل دوره خوراک مصرفی، توده تخم‌مرغ تولیدی، میانگین وزن تخم‌مرغ، ضریب تبدیل و تولید تخم‌مرغ و همچنین شاخص بهره‌وری تولید تخم‌مرغ و هزینه خوراک به‌ازای هر کیلوگرم تولید تخم‌مرغ توسط عصاره سیر و رازیانه تحت تأثیر قرار نگرفت ($P > 0.05$) (جدول ۱).

فولیکول‌های زرد بزرگ: در این آزمایش، تعداد، میانگین وزن و قطر فولیکول‌های زرد بزرگ و همچنین وزن و قطر بزرگ‌ترین فولیکول در تیمارهای مختلف در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌داری نشان نداد ($P > 0.05$) (جدول ۲).

جدول ۲- اثر استفاده از عصاره رازیانه و عصاره سیر در جیره بر فولیکول‌های زرد بزرگ در مرغ‌های مادر تخم‌گذار
Table 2- The effect of fennel and garlic extracts in the diet on large yellow follicles in layer breeders

تیمارهای آزمایشی Experimental treatments	متغیر Variable				
	تعداد فولیکول‌های زرد بزرگ Number of large yellow follicles	میانگین وزن فولیکول‌های زرد بزرگ (گرم) Average weight of large yellow follicles (g)	میانگین قطر فولیکول‌های زرد بزرگ (میلی‌متر) Average diameter of large yellow follicles (mm)	وزن بزرگ‌ترین فولیکول (گرم) Weight of the largest follicle (g)	قطر بزرگ‌ترین فولیکول (میلی‌متر) Diameter of the largest follicle (mm)
شاهد Control	5.50	40.118	23.982	14.870	32.255
عصاره رازیانه Fennel extract	4.60	34.096	25.755	13.314	31.878
عصاره سیر Garlic extract	5.00	39.102	24.470	14.842	33.246
خطای استاندارد میانگین‌ها SEM ¹	0.401	4.210	1.413	1.214	1.189
سطح معنی‌داری value-P					
تیمار Treatment	0.3357	0.5672	0.6695	0.5870	0.6538

SEM¹: خطای استاندارد میانگین‌ها

¹SEM: Standard error of means

ویژگی‌های تخمدان: تعداد فولیکول‌های در حال رشد (شکل

۲) در تیمار عصاره رازیانه به‌صورت معنی‌داری بیشتر بود.

تعداد فولیکول‌های آتروفیه‌شده (شکل ۳) در تیمارهای عصاره سیر و عصاره رازیانه در مقایسه با شاهد تحت تأثیر قرار نگرفتند. قطر لایه گرانولوزا (شکل ۴) در تیمارهای رازیانه و سیر به‌ترتیب بیشترین مقدار بود.

بحث:

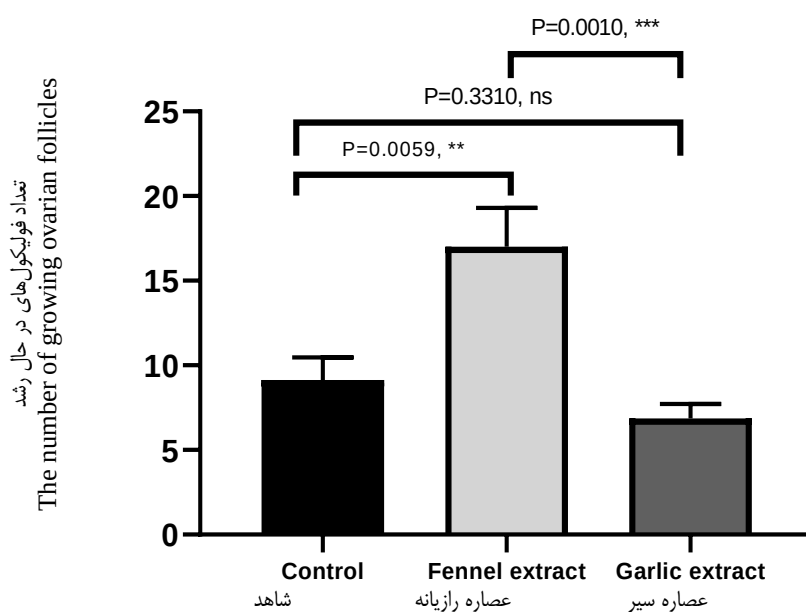
در این مطالعه، تأثیر عصاره‌های سیر و رازیانه بر عملکرد تولیدی و ریخت‌شناسی دستگاه تولیدمثل در مرغ‌های مادر تخم‌گذار در پایان دوره تولید ارزیابی شد. نتایج نشان داد که عصاره‌های استفاده‌شده

تأثیری بر عملکرد تخم‌گذاری نداشتند، درحالی‌که بسیاری از تحقیقات پیشین، اثرات مثبت این گیاهان را بر شاخص‌های تولیدی طیور گزارش کردند. تحقیقات نشان دادند که عصاره رازیانه دارای ترکیبات استروژن‌مانندی است که می‌تواند در افزایش تولید تخم‌مرغ نقش داشته باشد. اثرات مثبت عصاره رازیانه بر بهبود عملکرد، جوجه‌ریزی و پاسخ ایمنی در مادران گاو شیری نشان داده شده است (Kazemi Fard et al., 2013)، همچنین استفاده از ۰/۵ درصد رازیانه در جیره مرغ‌های تخم‌گذار بهبود عملکرد را به همراه داشت (Samantaray & Nayak, 2022).

از طرف دیگر، برخی پژوهش‌ها نتیجه‌گیری متفاوتی داشتند، به‌عنوان مثال اثر غلظت‌های مختلف اسانس رازیانه بر صفات عملکردی در مرغ‌های تخم‌گذار بدون تأثیر گزارش شد (Taki et al.,

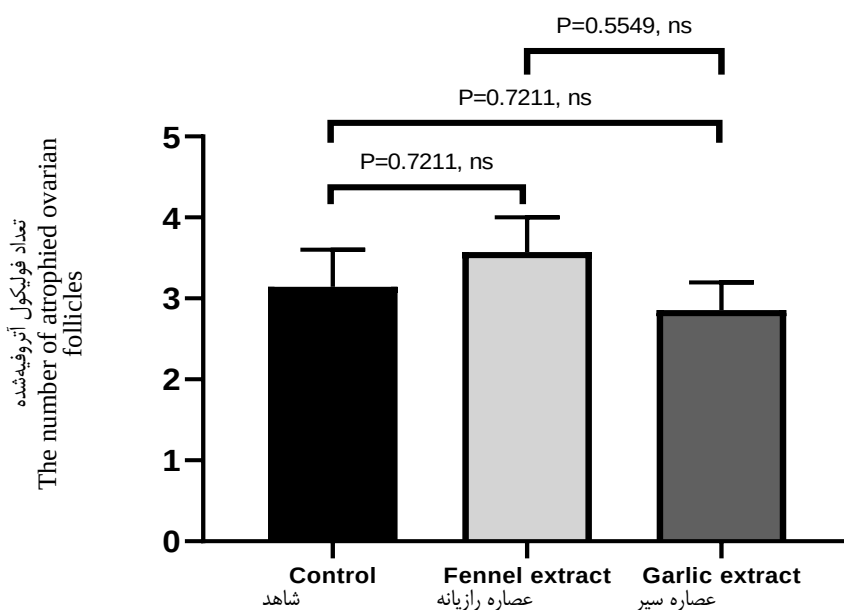
سلامت طیور دارد، اما باید عواملی که در اثرگذاری آن دخالت دارند بیش‌تر مورد بررسی قرار گیرند. در مطالعاتی که اثر سیر در مرغ‌های تخم‌گذار بررسی شده است، نیز تعدادی از مطالعات تأثیر مثبت آن بر عملکرد را گزارش کرده‌اند (Abd El-Ghany, 2024) و در برخی دیگر نیز اثری بر عملکرد مشاهده نشده است.

(2014). در مطالعه حاضر نیز عصاره رازیانه بر عملکرد مرغ‌های مادر تخم‌گذار تأثیر معنی‌داری نداشت. از جمله علت این تفاوت‌ها ممکن است مرحله و سن گیاهان، فرآیند استخراج، موقعیت جغرافیایی، گونه‌های مرغ، تکنیک‌های مدیریت، غلظت اجزای فعال رازیانه و مقدار آن‌ها در هر وعده خوراکی باشد (Khan et al., 2022)، این محققین گزارش کردند که دانه رازیانه اثرات مثبت متعددی بر رشد و



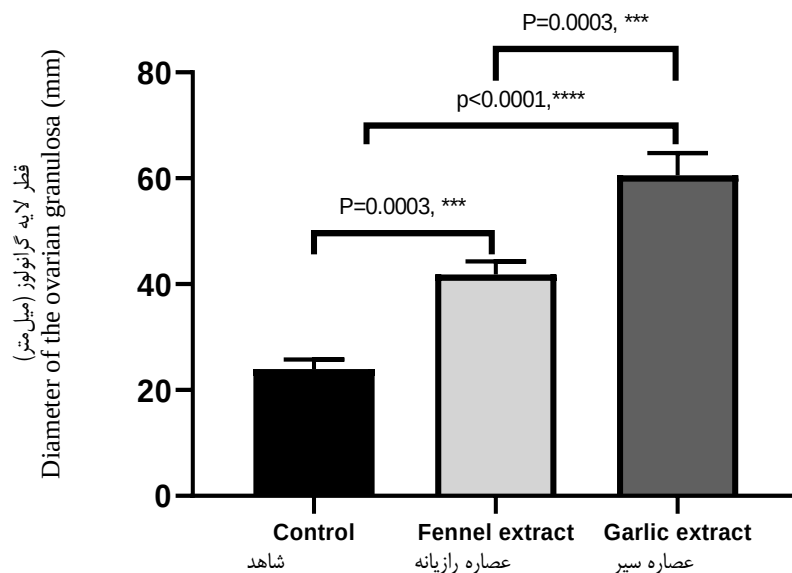
شکل ۲- اثر عصاره‌های سیر و رازیانه بر تعداد فولیکول‌های در حال رشد تخمدان

Figure 2- The effect of garlic and fennel extracts on the number of growing ovarian follicles



شکل ۳- اثر عصاره‌های سیر و رازیانه بر تعداد فولیکول‌های آتروفیه شده تخمدان

Figure 3- The effect of garlic and fennel extracts on the number of atrophied ovarian follicles



شکل ۴- اثر عصاره‌های سیر و رازیانه بر قطر لایه گرانولوزای تخمدان

Figure 4- The effect of garlic and fennel extracts on the diameter of the ovarian granulosa

اسانس رازیانه، به‌ویژه به‌صورت تزریقی، تأثیر مثبتی بر شاخص‌های هورمونی و ساختاری تخمدان دارد. در پژوهش دیگر، تزریق ۱۰ میلی گرم اسانس رازیانه به‌ازای هر کیلوگرم وزن بدن در مرغ‌های تخم‌گذار موجب بهبود تولید تخم‌مرغ، وزن تخم‌مرغ، وزن زرده، استروژن و فولیکول‌های سفید بزرگ شد، اما بر فولیکول‌های زرد بزرگ تأثیر نداشت (Taherkhani et al., 2018).

بررسی‌های بافت‌شناسی در این مطالعه نشان داد که تعداد فولیکول‌های تخمدان با تیمارهای استفاده‌شده تحت تأثیر قرار نگرفت، اما تیمار رازیانه باعث افزایش تعداد فولیکول‌های در حال رشد گردید. از سوی دیگر، تعداد فولیکول‌های آتروفیه‌شده نیز در این مطالعه تحت تأثیر قرار نگرفتند.

مطالعات پیشین نشان دادند که در روند طبیعی پیری، وضعیت آنتی‌اکسیدانی تخمدان‌ها در مرغ‌ها کاهش یافت. این کاهش به‌دلیل افت فعالیت آنتی‌اکسیدازها و سطوح رونویسی ژن‌های آنتی‌اکسیدان و همچنین افزایش سطح اکسیدان‌ها است (Liu et al., 2018). بنابراین استفاده از آنتی‌اکسیدان‌هایی مثل عصاره گیاهان دارویی می‌تواند به بهبود عملکرد تخمدان کمک کند. در مطالعه حاضر نیز رازیانه اثر مثبتی بر رشد فولیکول داشت.

یافته‌ها نشان داده‌اند که استفاده از ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم عصاره هیدروالکلی رازیانه در خوراک موش اثرات بهتری نسبت به دانه آن داشت. احتمالاً این اثر به‌دلیل افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و وجود عوامل محافظتی و ضدآپوپتوزی مانند استروژن

گزارش شده است که پودر سیر تخمیرشده در جیره مرغ‌های مادر تخم‌گذار تأثیر معنی‌داری بر تولید تخم‌مرغ یا وزن تخم‌مرغ داشت (Lim et al., 2023)، از طرفی، استفاده از پودر سیر در جیره مرغ‌های تخم‌گذار اثر معنی‌داری بر عملکرد نشان نداد (Yigrem et al., 2024). که علت آن می‌تواند منطقه مورد مطالعه، نژاد، سن مرغ، شکل آماده‌سازی سیر، مقدار سیر مورد استفاده، تعداد مرغ‌های مورد مطالعه و مدت زمان استفاده از آن باشد، همان‌طور که در مطالعه متاگرسین (Ogbuewu et al., 2021) بررسی شده است. علاوه بر موارد گفته شد از دلایل احتمالی عدم تأثیرگذاری عصاره‌های استفاده‌شده بر عملکرد می‌تواند نوع پرند (که در مطالعه حاضر مادر تخم‌گذار، اما در مطالعه محققین دیگر مرغ تخم‌گذار تجاری بوده است)، نحوه پرورش (که در مطالعه حاضر بستر بوده است) و تراکم پرندگان (Esenbuga & Ekinci, 2023) باشد.

در مطالعه حاضر، تعداد فولیکول‌های زرد بزرگ و قطر و وزن فولیکول‌ها تحت تأثیر قرار نگرفت. گزارش‌های پیشین نشان داده‌اند که استفاده از ۲۰۰ میلی گرم اسانس رازیانه در مقایسه با شاهد و سطوح ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خوراک، وزن فولیکول‌های زرد بزرگ را به‌صورت معنی‌داری افزایش داد، درحالی‌که وزن بزرگ‌ترین فولیکول تحت تأثیر قرار نگرفت (Taki et al., 2014)، اختلاف این نتایج با یافته‌های مطالعه حاضر می‌تواند سن پرند، نحوه استفاده از رازیانه که در مطالعه این محققین اسانس بوده و یا نوع پرند باشد. همچنین پژوهش‌های دیگر نشان دادند که مصرف

داده‌اند که فعالیت استروئیدزایی سلول‌های گرانولوزا در نواحی پروکسیمال و دیستال نسبت به دیسک جنینی بیش‌تر است (Wojtysiak et al., 2011).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که هرچند تیمارهای عصاره رازیانه و سیر تأثیر معنی‌داری بر صفات عملکردی مرغ‌های مادر تخم‌گذار نداشتند، اما تغییرات مثبتی بر بعضی از شاخص‌های تخمدان مشاهده شد. افزایش معنی‌دار تعداد فولیکول‌های در حال رشد و ضخامت لایه گرانولوزا در تیمارهای رازیانه و سیر نشان‌دهنده اثرات بالقوه این عصاره‌ها بر حفظ سلامت تخمدان است. از آنجا که کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تخمدان در طی فرآیند پیری می‌تواند به کاهش باروری منجر شود، نتایج پژوهش حاضر می‌تواند پیشنهادی برای کند کردن روند کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و در نتیجه کاهش باروری با استفاده از عصاره‌های رازیانه و سیر در ترکیب جیره غذایی مرغ‌ان مادر تخم‌گذار باشد. در پژوهش‌های آینده، لازم است که تحقیقات بیشتری جهت روشن‌تر شدن اثر عصاره‌ها در مرغ‌های مادر تخم‌گذار انجام شود. همچنین بررسی دقیق‌تر سازوکارهای مولکولی و ارزیابی تأثیرات این ترکیبات بر سایر شاخص‌های باروری، می‌تواند مسیرهای جدیدی برای افزایش عملکرد تولیدمثلی در مرغ‌های مادر تخم‌گذار فراهم کند.

در تخمدان‌ها باشد (Pourjafari et al., 2020). همچنین تزریق عصاره رازیانه به‌میزان ۵۰۰ میلی‌گرم به‌ازای هر کیلوگرم وزن بدن موش‌ها به‌مدت ۱۴ روز موجب افزایش تعداد فولیکول‌های سالم و کاهش تعداد فولیکول‌های کیستیک شد (Seif Amirhoseiny et al., 2020). مطالعات نشان دادند که در مرغ‌هایی که به‌صورت آزاد تغذیه شدند، برخی از ژن‌هایی که در انتخاب فولیکول نقش دارند، بیشتر بیان شده‌اند که احتمالاً نشان‌دهنده نقش تغذیه در توسعه زودهنگام فولیکول‌ها می‌باشد (Francoeur et al., 2021).

تحقیقات نشان داده‌اند که ریخت‌شناسی بافت و عملکرد سلول‌های گرانولوزا با رشد فولیکول تغییر کرد، به‌طوری‌که ضخامت لایه گرانولوزا با رشد فولیکول کاهش یافت. این فرآیند تحت تأثیر هورمون‌های استروئیدی قرار دارد (Du et al., 2023)، این محققین گزارش کردند که ضخامت لایه گرانولوزا با افزایش سن پرنده کاهش یافت. در مطالعه حاضر، قطر لایه گرانولوزا در تیمارهای رازیانه و سیر به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش یافت که نشان‌دهنده اثر مثبت این عصاره‌ها می‌باشد.

سلول‌های گرانولوزا نقش مهمی در انتقال مواد مغذی به تخمک و تولید هورمون‌هایی مانند استروژن و پروژسترون دارند که برای رشد فولیکول و فرآیند تخمک‌گذاری ضروری هستند. این ویژگی استروئیدزایی در بخش‌های مختلف فولیکول متفاوت است، به‌گونه‌ای که سطح استروئیدزایی در ناحیه دیسک جنینی کمتر از سایر بخش‌ها است. ساختار سلول‌های گرانولوزا در ناحیه دیسک جنینی به‌صورت چندلایه و در نواحی دیگر به‌صورت تک‌لایه است. مطالعات نشان

References

1. Abd El-Ghany, W. A. (2024). Potential effects of garlic (*Allium sativum* L.) on the performance, immunity, gut health, anti-oxidant status, blood parameters, and intestinal microbiota of poultry: An updated comprehensive review. *Animals*, 14(3), 498. <https://doi.org/10.3390/ani14030498>
2. Al-Amoudi, W. M. (2017). Protective effects of fennel oil extract against sodium valproate-induced hepatorenal damage in albino rats. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(4), 915-924. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.10.021>
3. Brady, K., Long, J. A., Liu, H. C., & Porter, T. E. (2020). Differences in *in vitro* responses of the hypothalamo-pituitary-gonadal hormonal axis between low-and high-egg-producing turkey hens. *Poultry Science*, 99(11), 6221-6232. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.048>
4. Du, X., Zhu, Q., Pian, H., Yang, X., Zhao, D., Wu, X., He, J., & Yu, D. (2023). Transcriptome analysis of granulosa cells reveals regulatory mechanisms related to chicken follicle development. *Animals*, 14(1), 20. <https://doi.org/10.3390/ani14010020>
5. Esenbuga, N., & Ekinici, O. (2023). Dietary effects of some plant extracts on laying performance, egg quality, and some blood parameters in laying hens at different cage densities. *Animals*, 13(24), 3866. <https://doi.org/10.3390/ani13243866>
6. Eslami Farsani, M., dakhili, M., Ababzadeh, S., Yeganehparast, M., & Heidari, F. (2019). Histomorphological and histochemical effects of diet with qom zeolite on the tissue structure of the small intestine of broiler chickens compared with commercial zeolite. *Journal of Veterinary Research*, 74(2), 261-71. <https://doi.org/10.22059/jvr.2019.245916.2736>. (In Persian)
7. Filomeni, G., Aquilano, K., Rotilio, G., & Ciriolo, M. R. (2003). Reactive oxygen species-dependent c-Jun NH₂-terminal kinase/c-Jun signaling cascade mediates neuroblastoma cell death induced by diallyl disulfide. *Cancer Research*, 63(18), 5940-5949.

8. Francoeur, L., Stephens, C. S., & Johnson, P. A. (2021). Ad libitum feeding in broiler breeder hens alters the transcriptome of granulosa cells of pre-hierarchical follicles. *Animals*, 11(9), 2706. <https://doi.org/10.3390/ani11092706>
9. Helal, E. G., AL Jalaud, N. A. A., El-Aleem, M. A., & Ahmed, S. S. (2019). Effect of phytoestrogen (fennel) on some sex hormones and other physiological parameters in male albino rats. *The Egyptian Journal of Hospital Medicine*, 74(7), 1616-1620. <https://doi.org/10.21608/ejhm.2019.28268>
10. Hidayatik, N., Yuliani, G. A., Agustono, B., Kristianingtyas, L., Novianti, A. N., & Khairullah, A. R. (2024). Effect of garlic extract (*Allium sativum*) on hematological and clinical chemistry parameters of laying quail. *Asian Journal of Dairy & Food Research*, 43(4), 790-795. <https://doi.org/10.18805/ajdfr.DRF-408>
11. Hloko, V. R., Tyasi, T. L., Mbazima, V., & Gunya, B. (2023). Investigation of egg weight, ovarian follicles morphology and growth differentiation factor 9 mRNA expression in potchefstroom koekoek chicken breed. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 25, eRBCA-2022. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2022-1723>
12. Kazemi fard M., Kermanshahi, H., Rezaei, M., & Golian, A. (2013). Effect of different levels of fennel extract and vitamin D₃ on performance, hatchability and immunity in post molted broiler breeders. *Iranian Journal of Applied Animal Sciences*, 3(4), 733-45.
13. Krychman, M. L. (2011). Vaginal estrogens for the treatment of dyspareunia. *The Journal of Sexual Medicine*, 8(3), 666-674. <https://doi.org/10.1111/j.1743-6109.2010.02114.x>
14. Khan, R. U., Fatima, A., Naz, S., Ragni, M., Tarricone, S., & Tufarelli, V. (2022). Perspective, opportunities and challenges in using fennel (*Foeniculum vulgare*) in poultry health and production as an eco-friendly alternative to antibiotics: A review. *Antibiotics*, 11(2), 278. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11020278>
15. Kooti, W., Moradi, M., Ali-Akbari, S., Sharafi-Ahvazi, N., Asadi-Samani, M., & Ashtary-Larky, D. (2015). Therapeutic and pharmacological potential of *Foeniculum vulgare* Mill: A review. *Journal of HerbMed Pharmacology*, 4(1), 1-9.
16. Lim, C. I., Kim, H. K., Heo, K. N., You, A. S., & Choo, H. J. (2023). Effects of dietary supplementation of fermented garlic powder on productive performance, hatchability, and biochemical blood parameters of layer breeders. *Journal of Animal Health and Production*, 11(1), 50-55. <https://doi.org/10.17582/jahp/2023/11.1.50>
17. Liu, X., Lin, X., Mi, Y., Li, J., & Zhang, C. (2018). Grape seed proanthocyanidin extract prevents ovarian aging by inhibiting oxidative stress in the hens. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018(1), 9390810. <https://doi.org/10.1155/2018/9390810>
18. Lukanov, H., Genchev, A., & Petrov, T. (2023). The egg production efficiency index (EPEI) as an economic indicator for measuring poultry egg production. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 29, 747-751.
19. Nandhini, V., Kaarunya, E., & CM, A. (2024). In-vitro antibacterial activity of Kodai hill garlic (*Allium sativum*) aqueous extract against wound infection pathogens including MRSA. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 13(1), 322-326. <https://doi.org/10.22271/phyto.2024.v13.i1d.14847>
20. Nobakht, A. (2016). The effects of different levels of diet metabolizable energy on performance, egg traits and blood parameters of aged laying hens. *Livestock Research*, 5(1), 59-67. <https://doi.org/10.22077/jlr.2016.448>
21. Ogbuewu, I. P., Okoro, V. M., & Mbajiorgu, C. A. (2021). Meta-analysis of the responses of laying hens to garlic (*Allium sativum*) supplementation. *Animal Feed Science and Technology*, 275, 114866. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114866>
22. Parsaeyan, N. (2016). The effect of *Foeniculum vulgare* (fennel) extract on lipid profile, lipid peroxidation and liver enzymes of diabetic rat. *Iranian Journal of Diabetes and Obesity*, 8(1), 24-29. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(80\)81015-4](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(80)81015-4)
23. Pourjafari, F., Haghpanah, T., Nematollahi-Mahani, S. N., Pourjafari, F., & Ezzatabadipour, M. (2020). Hydroalcoholic extract and seed of *Foeniculum vulgare* improve folliculogenesis and total antioxidant capacity level in F1 female mice offspring. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 20, 1-8. <https://doi.org/10.1186/s12906-020-03083-3>
24. Rahman, K. (2001). Historical perspective on garlic and cardiovascular disease. *The Journal of Nutrition*, 131(3), 977S-979S. <https://doi.org/10.1093/jn/131.3.977S>
25. Samantaray, L., & Nayak, Y. (2022). The influences of black pepper, turmeric and fennel essential oils supplementation in feed on egg quality characteristics of layers. *Journal of Animal Health and Production*, 10(4), 522-528. <https://doi.org/10.17582/jahp/2022/10.4.522.528>
26. Seif Amirhoseiny, E., Ganji, A., Mosayebi, G., & Ghazavi, A. (2020). Immunomodulatory effect of fennel in

- animal model of polycystic ovarian syndrome. *Journal of Arak University of Medical Sciences*, 23(1), 22-33. <https://doi.org/10.32598/JAMS.23.1.51.4>
27. Taherkhani, R., Ghiasi, H., & Ebrahimi, M. (2018). The effect of using fennel on plasma estrogen and performance of laying hens. *Journal of Biochemical Technology*, 2, 115-122.
28. Taki, A., Salari, S., Bojarpour, M., Sari, M., & Taghizadeh, M. (2014). The effect of *foeniculum vulgare* essence on production performance, egg quality and reproductive parameters of laying hens. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 6(2), 140-9. <https://doi.org/10.22067/ijasr.v6i2.21963>
29. Tan, Y. G., Xu, X. L., Cao, H. Y., Zhou, W., & Yin, Z. Z. (2021). Effect of age at first egg on reproduction performance and characterization of the hypothalamo–pituitary–gonadal axis in chickens. *Poultry Science*, 100(9), 101325. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101325>
30. Wojtysiak, D., Okólski, A., & Sechman, A. (2011). Structure and steroidogenic activity of the granulosa layer of F1 preovulatory ovarian follicles of the hen (*Gallus domesticus*). *Folia biologica (Kraków)*, 59(1-2), 59-64. https://doi.org/10.3409/fb59_1-2.59-64
31. Yigrem, M., Animut, G., & Mekuriaw, Y. (2024). Effect of neem (*Azadirachta indica*), girawa (*Vernonia amygdalina*) leaves meal and garlic (*Allium sativum*) on performance and egg qualities of layer chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 33(4), 100469. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2024.100469>

Research Article

Vol. 17, No.4, 2026, p. 475-490



Effect of L-Serine Amino Acid and Choline Supplementation on Sperm Quality of Aged Broiler Breeder Roosters

Mahkam Alizadeh¹, Ali Aghaei^{1*}, Saleh Tabatabaei Vakili¹, Mahmoud Nazari¹

1- Department of Animal Science, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

*Corresponding Author's Email: aghaei@asnruk.ac.ir

How to cite this article:

Received: 15-07-2025

Revised: 26-09-2025

Accepted: 15-10-2025

Available Online: 03-02-2026

Alizadeh, M., Aghaei, A., Tabatabaei Vakili, S., & Nazari, M. (2026). Effect of L-serine amino acid and choline supplementation on sperm quality of aged broiler breeder roosters. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 17(4), 475-490. (in Persian with English abstract).

<https://doi.org/10.22067/ijasr.2025.94457.1260>

Introduction: In recent years, the emphasis on improving growth traits and increasing body weight in broiler lines has led to a significant decline in reproductive performance in broiler breeder flocks (Blesbas et al., 2004). Reduced fertility has become a major challenge in broiler breeder management. Although roosters account for only 10% of the flock population, their role in fertility is estimated to be as high as 50% (Cerolini et al., 2006; Akhlaghi et al., 2014). Among the main factors contributing to declining fertility, age and nutrition are of particular importance. Fertility reduction is often attributed to obesity, lower semen quality, decreased libido, and reduced mating efficiency (Romero et al., 2008). Peak reproductive performance in male chickens and turkeys is observed between 30 and 40 weeks of age and gradually declines, nearly ceasing by 75 weeks (Noiraud & Brillard, 1999). Sperm count and fertilizing capacity increase from 24 weeks to a peak at 39 weeks, then decline by 72 weeks of age (Kelso et al., 1997). Enhancing the reproductive potential of aging broiler breeder males is therefore essential (Foad et al., 2020). Serine, a traditionally non-essential amino acid, plays critical roles in protein synthesis and cellular signaling (Metcalf et al., 2008; Hunter, 2012). Choline is an essential nutrient with key metabolic functions, including as a membrane phospholipid component, in hepatic lipid metabolism, and as a precursor of acetylcholine (Dudley, 1929). Choline is a methyl donor involved in methionine synthesis and indirectly functions in protein synthesis. In addition, it constitutes about 39% of the phospholipids in the plasma membrane and plays a role in cell maintenance and repair by synthesizing very low-density lipoproteins and providing phosphatidylcholine (Del Vesco et al., 2013). Despite numerous studies on the effects of unsaturated fatty acids, antioxidants, and some amino acids on sperm quality, no comprehensive study has been conducted on the interaction effects of the amino acid L-serine and choline supplementation in the nutrition of older broiler breeder roosters. This study investigated the effects of the amino acid serine and choline supplementation on sperm quality of older broiler roosters.

Materials and Methods: This experiment was conducted using 36 Ross 308 broiler breeder roosters at 45 weeks of age. Birds were randomly assigned to six groups of six individuals each and housed under controlled environmental conditions in a standard poultry house. The study was designed as a factorial arrangement in a completely randomized design with three levels of L-serine and two levels of choline. Birds were adapted to semen collection through abdominal massage for two weeks before the experiment. Semen volume was measured using a graduated collection tube (Zamiri et al., 2010). Sperm concentration was determined using modified Blaise-Tweel



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

 <https://doi.org/10.22067/ijasr.2025.94457.1260>

extender with a pH of 7.4 and osmolality of 310 mOsm/kg (Amini et al., 2015). Forward progressive motility was assessed by diluting semen samples in NaCl (1:20), placing a drop on a slide, covering it with a coverslip, and examining under a light microscope at 400× magnification (Akhlaghi et al., 2014). Plasma membrane functionality and integrity were assessed using the hypo-osmotic swelling test, while sperm viability and morphological abnormalities were determined by eosin-nigrosine staining (Tapeh et al., 2017).

Results and Discussion: Results showed that sperm concentration was significantly affected by different levels of serine and choline ($P \leq 0.05$). In the interaction of experimental groups, the highest sperm concentration was observed in the group receiving 0.3% serine and 470 mg choline, indicating a positive effect of these compounds on spermatogenesis and increased sperm production. The highest sperm concentration (4.08) occurred in the group containing 0.3% serine, while the control group had the lowest concentration (3.46). Consistent with this finding, Ansari et al. (2016) reported that oral supplementation of the non-essential amino acid aspartate in the diets of aging broiler breeder roosters significantly increased sperm concentration with rising intake levels. The combined effect of L-serine and choline supplementation also increased the percentage of progressive sperm motility during the trial weeks; this synergistic effect was significant in weeks 4, 5, 8, and 9 ($P \leq 0.05$). The highest progressive motility (50.75%) was recorded in week 8, whereas the lowest value (35.00%) was observed in the control group. In agreement with these results, adding serine to rooster semen as a diluent has been shown to improve sperm quality and fertility (Chankitisakul et al., 2022). The interaction of serine and choline significantly enhanced total sperm motility from week 5 to week 9. The highest total motility (88.75%) was obtained in the group with 0.15% serine and 470 mg kg⁻¹ choline in weeks 8 and 9, whereas the control diet yielded the lowest motility (70.00%), showing a significant difference from the combined group ($P \leq 0.05$). Analysis of sperm viability indicated that diets containing L-serine and choline had a significant effect on this trait ($P \leq 0.05$). The best viability was observed in the group receiving 0.3% serine with 470 mg kg⁻¹ choline, reaching 88.75% in weeks 8 and 9, which was significantly higher than the group lacking serine and choline ($P \leq 0.05$). The lowest sperm viability (68.25%) occurred in the control group. L-serine, through its antioxidant properties and the regulation of genes involved in glutathione synthesis, increases glutathione concentration and reduces oxidative reactions (Zhou et al., 2018; Sim et al., 2015). The combined use of serine and choline significantly improved sperm membrane integrity and health compared with the control, with this increase becoming significant from week 6 to week 9 ($P \leq 0.05$). The highest membrane integrity (88.00%) was observed in week 9 with 0.3% serine, while the lowest value (68.75%) belonged to the group without serine and choline. Evaluation of sperm abnormalities revealed that dietary supplementation with serine significantly affected this parameter ($P \leq 0.05$). Supplementation with L-serine at 0.15% and 0.3% reduced abnormal sperm percentages, with significant decreases observed in weeks 5 and 7. The lowest percentage of abnormal sperm (13.62%) occurred in the 0.3% serine group, which differed significantly from the diet lacking serine ($P \leq 0.05$). The effect of choline supplementation and the combined effect of serine and choline on abnormal sperm percentage were not significant ($P > 0.05$). These results agree with the findings of Long and Conn (2012), who reported that adding choline phosphate to duck semen extenders reduced acrosome head abnormalities.

Conclusion: The results of this study demonstrated that dietary supplementation with L-serine and choline significantly increased sperm concentration, sperm membrane integrity, total sperm motility, sperm viability, and progressive sperm motility, while reducing the percentage of sperm abnormalities during most weeks of the experimental period, indicating a synergistic effect of these two compounds on sperm quality in older broiler breeder roosters. Consequently, the combined supplementation of L-serine and choline may contribute to improved fertility potential and reproductive efficiency of older broiler breeder roosters under commercial poultry production conditions.

Keywords: Broiler breeder roosters, Choline, Fertility, L-serine, Membrane integrity, Sperm quality

اثرات اسیدآمینه ال-سیرین و مکمل کولین بر کیفیت اسپرم خروس‌های مسن مادرگوشتی

مه‌کام عزیزاده^۱، علی آقائی^{۱*}، صالح طباطبائی وکیلی^۱، محمود نظری^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۳

چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی اثر تغذیه‌ای اسیدآمینه ال-سیرین و مکمل کولین بر کیفیت اسپرم در خروس‌های گله مادرگوشتی سویه راس ۳۰۸ بود. برای این منظور، ۳۶ قطعه خروس گله مادرگوشتی در سن ۴۵ هفتگی در قالب یک آزمایش فاکتوریل ۲×۳ (سه سطح ال-سیرین و دو سطح کولین) به صورت طرح کاملاً تصادفی با شش تیمار و شش تکرار استفاده شد. پس از دو هفته دوره عادت‌دهی، آزمایش به مدت هفت هفته ادامه یافت. تیمارهای آزمایشی شامل جیره‌هایی با سطوح صفر، ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد ال-سیرین و دو سطح افزودن کولین (صفر و ۴۷۰ میلی گرم در کیلوگرم جیره) بودند. نمونه‌گیری اسپرم و بررسی کیفیت و کمیت آن‌ها به صورت هفتگی از تمامی خروس‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که غلظت اسپرم، جنبش پیش‌رونده، تحرک کل، سلامت غشاء اسپرم و زنده‌مانی اسپرم به طور معنی‌داری در تیمارهای حاوی سیرین و کولین نسبت به گروه شاهد بالاتر بود. غلظت اسپرم، جنبش پیش‌رونده و سلامت غشاء اسپرم با تیمارهای حاوی ۰/۳ درصد مکمل سیرین به طور معنی‌داری دارای بالاتر از شاهد بود. درصد تحرک کل و زنده‌مانی اسپرم با تیمارهای حاوی ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد سیرین و ۴۷۰ میلی گرم بر کیلوگرم مکمل کولین به طور معنی‌داری نسبت به گروه فاقد سیرین و کولین افزایش پیدا کرد. درصد اسپرم‌های با ریخت‌شناسی ناهنجار در تیمارهای حاوی ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد سیرین به طور معنی‌داری کمتر از گروه شاهد بود. مکمل کولین و اثر متقابل سیرین و کولین تأثیری بر ریخت‌شناسی ناهنجار نداشتند. افزودن سیرین و مکمل کولین به جیره سبب افزایش حدود ۱۵ درصدی جنبش اسپرم، افزایش حدود ۱۹ درصد تحرک کل، افزایش تقریبی ۲۱ درصدی زنده‌مانی و افزایش ۱۲ درصدی سلامت غشاء اسپرم شد. براساس نتایج به دست آمده، استفاده از سطوح مورد مطالعه اسیدآمینه ال-سیرین و مکمل کولین در جیره غذایی موجب بهبود کیفیت اسپرم و احتمال افزایش باروری در خروس‌های مسن گله‌های مادرگوشتی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تحرک اسپرم، زنده مانای اسپرم، سلامت غشاء اسپرم، غلظت اسپرم

مقدمه

کاهش کیفیت منی، افت میل جنسی و کاهش کارایی جفت‌گیری نسبت داده شود (Romero et al., 2008). حداکثر بازده تولیدمثلی در خروس‌ها و بوقلمون‌های نر بین ۳۰ تا ۴۰ هفتگی مشاهده می‌شود، اما پس از آن کاهش می‌یابد و در حدود ۷۵ هفتگی تقریباً متوقف می‌شود (Noiraud & Brillard, 1999). طی این دوره، شمار اسپرم و قابلیت بارورسازی آن از ۲۴ هفتگی تا اوج باروری در ۳۹ هفتگی افزایش یافته و سپس تا ۷۲ هفتگی کاهش می‌یابد (Kelso et al., 1997). نشان داده شد که تغییرات گسترده‌ای در ترکیب لیپید اسپرم پرندگان با مسن‌تر شدن پرنده اتفاق می‌افتد. در اسپرم خروس نسبت های کل فسفولیپید، فسفاتیدیل سیرین و فسفاتیدیل کولین تغییرات برجسته‌ای را در دوره تولید مثلی نشان می‌دهد که با باروری مرتبط است (Cerolini et al., 2003). فسفاتیدیل کولین و فسفاتیدیل اتانول آمین عموماً مهم‌ترین گروه فسفولیپیدها در اسپرم خروس محسوب می‌شوند، آن‌ها به طور معمول با یک دامنه گسترده‌ای از اجزاء دیگر مثل فسفاتیدیل سیرین و اسفنگو میلین همراه می‌باشند

در سال‌های اخیر، تمرکز بر بهبود صفات رشد و افزایش وزن در لاین‌های گوشتی موجب کاهش قابل توجهی در عملکرد تولیدمثلی سویه‌های مولد شده است (Blesbois et al., 2004). امروزه کاهش باروری یکی از چالش‌های مهم در پرورش گله‌های مادرگوشتی محسوب می‌شود. با وجود اینکه خروس‌ها تنها ۱۰ درصد از جمعیت گله‌های مادر را تشکیل می‌دهند، اما نقش آن‌ها در باروری تا ۵۰ درصد اهمیت دارد (Cerolini et al., 2006; Akhlaghi et al., 2014). از میان عوامل مؤثر در کاهش باروری، سن و تغذیه اهمیت بیشتری دارند. کاهش باروری می‌تواند به عواملی مانند اضافه وزن،

۱- گروه علوم دامی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
(*) نویسنده مسئول: (Email: aghaei@asnrukh.ac.ir)

فسفولیپیدی را تشکیل می‌دهد (Surai et al., 1998). با وجود بررسی‌های متعدد در زمینه اثر اسیدهای چرب غیراشباع و آنتی‌اکسیدان‌ها و برخی از اسیدهای آمینه بر کیفیت اسپرم، تاکنون تحقیق جامعی در مورد اثرات متقابل اسیدآمینه‌ال‌سیرین و مکمل کولین در تغذیه خروس‌های مسن گله‌های مادرگوشتی صورت نگرفته است. این پژوهش به بررسی اثرات اسیدآمینه‌سیرین و مکمل کولین بر کیفیت اسپرم خروس‌های مسن گوشتی پرداخته است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ابتدا اسیدآمینه‌ال‌سیرین و مکمل کولین از شرکت اکسیر تأمین تجارت ماندگار (ایکس شیمی)، تهران، ایران خریداری شد.

پرندهگان، جایگاه و شرایط پرورش

این پژوهش، جهت انجام بخش مزرعه‌ای از ۳۶ قطعه خروس مسن مادرگوشتی راس ۳۰۸ تهیه‌شده از یک مزرعه تجاری با شرایط ظاهری سالم و تقریباً یکنواخت با سن ۴۵ هفته و میانگین وزن اولیه (4500 ± 200 گرم) انجام شد. خروس‌ها در یک سالن پرورش استاندارد تحت شرایط محیطی کنترل‌شده، به شش گروه شش‌تایی دسته‌بندی و به‌طور کاملاً تصادفی در آشیانه‌ها نگهداری گردید. هر آشیانه حاوی یک آب‌خوری معلق و یک دان‌خوری بود. آب به‌صورت آزاد در طول آزمایش ارائه شد. خروس‌ها در طول دوره آزمایش از جیره‌های غذایی تنظیم‌شده و به‌مقدار معین به‌صورت یک بار در روز تغذیه شدند. روشنایی به‌صورت ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی بود. دمای سالن در محدوده ۲۰ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد در طول دوره آزمایش حفظ شد.

تیمارهای آزمایشی

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت فاکتوریل با سه سطح اسیدآمینه‌سیرین و دو سطح کولین انجام شد. تیمارها شامل ۱- جیره حاوی صفر درصد اسیدآمینه‌سیرین + صفر درصد کولین، ۲- صفر درصد سیرین + ۴۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کولین، ۳- ۰/۱۵ درصد اسیدآمینه‌سیرین + صفر درصد مکمل کولین، ۴- ۰/۱۵ درصد اسیدآمینه‌سیرین + ۴۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کولین، ۵- ۰/۳ درصد اسیدآمینه‌سیرین + جیره حاوی صفر درصد مکمل کولین و ۶- ۰/۳ درصد اسیدآمینه‌سیرین + ۴۷۰ میلی‌گرم کولین بودند. جیره پایه، براساس تأمین مواد مغذی توصیه‌شده در راهنمای پرورش خروس راس سویه ۳۰۸، (۲۰۱۹) تنظیم شد. اجزاء تشکیل‌دهنده و ترکیب مواد مغذی جیره مورد استفاده در تغذیه خروس‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

(Darin-Bennett et al., 1974). کاهش اسپرم‌سازی و کیفیت اسپرم خروس همراه با کاهش در هر دو اسید چرب ۶-۴n:۴n و ۲۲-۶-۴n:۴n موجود در فسفولیپیدهای اسپرم است. قابل توجه است که نسبت بالای اسیدهای چرب ۶-۴n:۴n در کل فسفولیپیدهای اسپرم همبستگی منفی بالایی با افزایش سن خروس و همبستگی مثبت با جنایی و توان باروری دارد. یافته‌ها نشان می‌دهد که بین کاهش توان سلول‌های بیضه در سنتز و ساخت اسیدهای چرب ۶-۴n:۴n از ۲۲-۶-۴n:۴n و کاهش شمار و کیفیت اسپرم با افزایش سن همبستگی وجود دارد (Etches, 1996). در خروس‌های مسن مادرگوشتی بهبود پتانسیل تولیدمثلی بسیار مهم است (Fouad et al., 2020). سیرین یک اسیدآمینه‌ای است که به‌طور سنتی به‌عنوان یک ترکیب غیرضروری در نظر گرفته می‌شود، اما در سنتز پروتئین و سیگنال‌دهی سلولی نقش حیاتی دارد (Metcalfe et al., 2008; Hunter, 2012). افزودن سیرین به جیره غذایی می‌تواند تنش اکسیداتیو را کاهش داده و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش دهد (Zhou et al., 2018). از سوی دیگر، افزایش تنش اکسیداتیو می‌تواند منجر به تحلیل سلول‌های بیضه شده و در نهایت کاهش وزن بیضه و تولید اسپرم را به دنبال داشته باشد (Sarabia et al., 2013). فسفاتیدیل سیرین که به‌عنوان یکی از اجزاء کلیدی فسفولیپیدهای غشایی شناخته می‌شود، تأثیر مستقیمی بر باروری دارد. طبق مطالعات، میزان اسید چرب ۶-۴n:۴n:۲۲ (اسیددکوزاترا انوئیک) در فسفاتیدیل سیرین اسپرم بیش از ۳۳ درصد وزن تام اسیدهای چرب را تشکیل می‌دهد که نشان‌دهنده نقش حیاتی این مولکول در تنظیم عملکردهای غشایی اسپرم پرندهگان است (Salem et al., 1986; Surai et al., 1998). کولین یک ماده مغذی ضروری با سه عملکرد متابولیک حیاتی است. این ماده عنوان یک جزء از فسفولیپیدهای غشایی، تنظیم متابولیسم لیپیدهای کبدی و جلوگیری از تجمع چربی در کبد و همچنین به‌عنوان پیش‌ساز استیل کولین در سیستم عصبی است. این مولکول همچنین با سنتز لیپوپروتئین‌های با چگالی بسیار کم و تأمین فسفاتیدیل کولین به‌طور غیرمستقیم در متابولیسم لیپیدی شرکت می‌کند (Do Nascimento et al., 2022). کولین به‌عنوان دهنده گروه‌های متیل در سنتز متیونین و به‌طور غیرمستقیم در سنتز پروتئین عمل می‌کند. علاوه بر این، حدود ۳۹ درصد از فسفولیپیدها موجود در غشاء پلازما را تشکیل می‌دهد و با سنتز لیپوپروتئین‌های با چگالی بسیار کم و تأمین فسفاتیدیل کولین در نگهداری و ساخت سلول نقش دارد (Del Vesco et al., 2013). اهمیت کولین و مشتقات آن نظیر فسفاتیدیل کولین، در بهبود کیفیت اسپرم و باروری بوقلمون مورد توجه بسیاری از مطالعات قرار گرفته است (Long & Conn, 2012). فسفولیپیدها نوع اصلی لیپید موجود در غشاء اسپرم پرندهگان را تشکیل می‌دهند که فسفاتیدیل کولین ۳۹ درصد از کل محتوای

جدول ۱- اجزاء تشکیل دهنده و ترکیب مواد مغذی جیره پایه (درصد)

Table 1- The ingredient and nutrient composition of base diets (%)

درصد	ترکیب شیمیایی	درصد	اجزای جیره
%	Chemical composition	%	Ingredients (g)
2800	انرژی قابل سوخت و ساز (کیلوکالری/کیلوگرم) Metabolizable energy (kcal/kg)	56.00	ذرت Corn
12.62	پروتئین خام Crude protein	9.00	کنجاله سویا Soybean meal
0.75	کلسیم Calcium	19.25	سیوس گندم Wheat bran
0.37	فسفر قابل دسترس Available phosphorus	10.00	جو Barley
0.55	لیزین Lysine	2.25	روغن Fat
0.39	متیونین Methionine	0.20	جوش شیرین Sodium bicarbonate
0.64	متیونین + سیستئین Cysteine + methionine	1.30	دی کلسیم فسفات Dicalcium phosphate
0.55	والین Valine	1.05	پودر صدف Oyster shell
0.45	ترئونین Threonine	0.27	نمک Salt
0.19	سدیم Sodium	0.18	دی ال - متیونین DL-methionine
0.19	کلر Chlorine	0.25	مکمل ویتامین Vitamin premix*
		0.25	مکمل معدنی Mineral premix**

* هر کیلوگرم جیره حاوی: ۹۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین A، ۲۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین D₃، ۱۸ واحد بین المللی ویتامین E، دو میلی گرم ویتامین K₃، ۱/۸ میلی گرم ویتامین B₁، ۵/۵ میلی گرم ویتامین B₂، ۱۰ میلی گرم ویتامین B₃، ۳۰ میلی گرم B₅، سه میلی گرم ویتامین B₆، یک میلی گرم ویتامین B₉، ۰/۱۵ میلی گرم ویتامین B₁₂، ۰/۲ میلی گرم ویتامین H₂ بود.

** هر کیلوگرم جیره حاوی ۱۲۰ میلی گرم منگنز، ۴۰ میلی گرم آهن، ۱۲۰ میلی گرم روی، ۱۶ میلی گرم مس، دو میلی گرم ید و ۰/۳ میلی گرم سلنیوم بود.

* Supplied per kg diet: vitamin A, 9000 IU; vitamin D₃, 2000 IU; vitamin E, 18 IU; vitamin K₃, 2 mg; vitamin B₁, 1.8 mg; riboflavin, 1.1 mg; vitamin B₁₂, 0.015 mg; vitamin H₂, 0.2 mg 55 mg; niacin, 10 mg; pantothenic acid, 30 mg; pyridoxine, 3 mg; vitamin B₉

** Supplied per kg diet: 120 mg manganese, 40 mg iron, 120 mg zinc, 16 mg copper, 2 mg iodine, 0.3 mg selenium.

ارزیابی فراسنجه‌های کیفی اسپرم

تمامی خروس‌ها به مدت دو هفته قبل از شروع آزمایش به منظور کاهش تنش و عادت‌دهی با محیط به‌روش ماساژ شکمی برای اسپرم‌گیری عادت‌دهی شدند. در گرفتن نمونه منی، دقت لازم بر جلوگیری از آلوده نشدن منی با مدفوع و ادرار به عمل آمد. نمونه‌های اسپرم تمامی خروس‌ها بلافاصله بعد از جمع‌آوری در داخل یونولیت حاوی آب ۳۷ درجه سانتی‌گراد برای جلوگیری از شوک دمایی و نور خورشید، به آزمایشگاه منتقل شدند. فراسنجه‌های مورد بررسی که شامل غلظت منی، تحرک کل، جنبایی پیش‌رونده، یکپارچگی عملکرد و سلامت غشاء اسپرم، درصد اسپرم‌های نابهنجار، زنده‌مانی اسپرم بودند، مورد ارزیابی قرار گرفتند.

ارزیابی حجم و غلظت منی

برای اندازه‌گیری حجم منی از لوله جمع‌آوری مدرج استفاده شد (Zamiriet al., 2010) برای تعیین غلظت اسپرم، به‌منظور رقیق سازی اسپرم از بلستویل تعدیل‌یافته با اسیدیت ۷/۴ و اسمولاریته ۳۱۰ میلی‌مول بر کیلوگرم (Amini et al., 2015) استفاده گردید. سپس ۱۰ میکرولیتر از نمونه برداشته شد و با دقت و به آرامی به فضای بین لام نئوبار و لامل تزریق شد، سپس لام نئوبار، شامل چهارخانه در گوشه و یک خانه در مرکز، شمارش و با استفاده از معادله ۱ غلظت هر میلی‌لیتر منی محاسبه شد (Akhlaghi et al., 2014).

$$C = N \times 5 \times 200 \times 10^4 \quad (1) \text{ معادله}$$

که در آن، C: غلظت اسپرم در هر میلی‌لیتر و N: مجموع تعداد اسپرم شمارش شده در پنج خانه است.

ارزیابی تحرک و جنبایی پیش‌رونده اسپرم

برای تعیین تحرک اسپرم به سمت جلو، نمونه‌های تازه مایع منی در محلول سدیم کلرید با نسبت ۲۰:۱ رقیق شدند، یک قطره از نمونه مایع منی رقیق شده روی یک لام قرار داده و با یک لامل پوشانده شد. در نهایت، بررسی میکروسکوپی تحرک اسپرم در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد با استفاده از میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی $40\times$ مشاهده شد (Akhlaghi et al., 2014).

ارزیابی سلامت و یکپارچگی غشاء پلاسمایی

برای ارزیابی فعالیت غشاء پلاسمایی و یکپارچگی عملکردی غشاء اسپرم، از آزمون تورم هایپواسموتیک استفاده شد. در این آزمایش، بخشی از مایع منی (۱۰ میکرولیتر) با محلول هایپواسموتیک (۱۰۰ میکرولیتر) حاوی $57/6$ میلی‌مولار فروکتوز و $19/2$ میلی‌مولار سدیم سیترات انکوبه گردید. انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه انجام شد. پس از آن، ۲۰۰ سلول در هر اسلاید با استفاده از میکروسکوپ کنتراست فاز مورد بررسی قرار گرفت. اسپرم با دم متورم و پیچ‌خورده نشان‌دهنده سالم بودن غشاء اسپرم است.

ارزیابی زنده‌مانی و ناهنجاری‌های اسپرم

بررسی زنده‌مانی و ناهنجاری‌های اسپرم با استفاده از رنگ‌آمیزی اتوژین-نیگروزین تعیین شد. برای این ارزیابی، ۱۰ میکرولیتر مایع منی و ۱۰ میکرولیتر رنگ‌آئوژین-نیگروزین به‌طور کامل مخلوط شده، گسترش تهیه گردید و اجازه داده شد تا لام در هوا خشک گردد. سپس لام زیر میکروسکوپ با بزرگ‌نمایی ۱۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. اسپرم‌های با رنگ صورتی و قرمز مرده و اسپرم‌هایی که بی‌رنگ بودند به‌عنوان اسپرم زنده در نظر گرفته شدند. اسپرم با سرهای جداشده، سرهای انحرافی، سر بدشکل، دم خمیده، دم پیچ‌خورده، دم دوتایی و قطرات پروتوپلاسمی، غیرطبیعی در نظر گرفته شد (Tapeh et al., 2017). در این رنگ‌آمیزی، سر اسپرم‌های مرده به‌دلیل نقص در غشاء، رنگ را جذب کرده و قرمز می‌شوند، درحالی‌که اسپرم‌های زنده، رنگ را به خود نمی‌گیرند (Andraszek et al., 2018).

آنالیز آماری

داده‌های حاصل برای بررسی تأثیر سطوح جیره‌ای اسیدآمینو سرین و مکمل کولین در جیره خروس‌های مسن مادرگوشتی و اثرات متقابل بین دو فاکتور جیره‌ای به‌روش GLM در نرم‌افزار آماری SAS (مدل ۹/۱) آنالیز شدند. پیش از انجام آنالیز، نرمال بودن توزیع داده

های آزمایشی با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk و رویه UNIVARIATE مورد آزمون قرار گرفت. مدل آماری به‌کاررفته به‌صورت معادله ۲ است.

$$y_{ijk} = \mu + C_i + T_j + (CT)_{ij} + e_{ijk} \quad \text{(معادله ۲)}$$

که در آن، y_{ijk} : مقدار هر مشاهده، μ : میانگین کل، C_i : اثر سطوح کولین، T_j : اثر سطوح سرین، $(CT)_{ij}$: اثر متقابل سرین و کولین و e_{ijk} : اثر خطای آزمایش است. نتایج در سطح احتمال پنج درصد بررسی گردید و میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

نتایج و بحث

اثر سطوح مختلف اسیدآمینو ال سرین و مکمل کولین بر غلظت اسپرم خروس‌های مسن مادرگوشتی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش نشان داد که غلظت اسپرم در تیمارهای مختلف به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف سرین و کولین قرار گرفت ($P \leq 0.05$)، به‌طوری‌که غلظت اسپرم تیمارهای دریافت‌کننده مکمل ال-سرین و کولین در بالاترین سطوح استفاده باعث افزایش معنی‌دار غلظت اسپرم از هفته چهارم تا هفته نهم نسبت به گروه شاهد شد ($P \leq 0.05$). در اثر متقابل تیمارهای آزمایشی، بیشترین مقدار غلظت اسپرم در تیمار حاوی ۰/۳ درصد سرین و ۴۷۰ میلی‌گرم کولین مشاهده شد که نشان‌دهنده تأثیر مثبت این ترکیبات بر اسپرماتوژنز و افزایش تولید اسپرم است. بالاترین مقدار غلظت اسپرم ($4/08$ میلیارد در میلی‌لیتر) در تیمار حاوی ۰/۳ درصد سرین بود. از سوی دیگر، تیمار شاهد کمترین میزان غلظت اسپرم ($3/46$ میلیارد در میلی‌لیتر) را در بین تمامی تیمارها داشت که نشان می‌دهد، فقدان این مکمل‌ها می‌تواند تولید و کیفیت اسپرم را محدود کند. هم‌سو با این گزارش، در مطالعه‌ای استفاده از سطوح مختلف اسیدآمینو غیرضروری آسپاراتات به‌صورت کپسول خوراکی در جیره خروس‌های مسن مادرگوشتی با افزایش سطوح مصرف، افزایش معنی‌داری را در غلظت اسپرم نشان داد (Ansari et al., 2016). گزارش شده است که استفاده از مکمل ال آرژنین یا افزودنی‌های مشتق‌شده از اسیدآمینو ال آرژنین در جیره غذایی خروس‌های مسن باعث افزایش غلظت اسپرم، بهبود جنبایی پیش‌رونده اسپرم، نفوذ اسپرم، افزایش زنده‌مانی، افزایش سطح تستوسترون در گردش خون و افزایش باروری و توانایی تولیدمثلی در خروس‌های مولد مسن می‌شود (Abbaspour et al., 2019) که با یافته‌های حاصل از این تحقیق هم‌خوانی دارد.

جدول ۲- اثر اسید آمینه ال-سیرین و مکمل کولین بر غلظت اسپرم (میلیارد در میلی لیتر) خروس‌های مسن مادرگوشتی

Table 2- The effect of L-serine amino acid and choline supplementation on sperm concentration (billion per milliliter) of aged broiler roosters

تیمارها Treatments	هفته week						
	سوم Third	چهارم Fourth	پنجم Five	ششم Six	هفتم Seventh	هشتم Eight	نهم Nine
*S							
0	3.59 ^b	3.67 ^b	3.65 ^b	3.69 ^b	3.66 ^b	3.64 ^c	3.62 ^b
0.15	3.69 ^a	3.78 ^a	3.78 ^a	3.79 ^a	3.78 ^a	3.90 ^b	3.97 ^a
0.3	3.64 ^{ab}	3.77 ^a	3.82 ^a	3.81 ^a	3.82 ^a	4.01 ^a	4.04 ^a
انحراف استاندارد میانگین SEM	0.022	0.019	0.017	0.022	0.012	0.026	0.045
**C							
0	3.61 ^b	3.74	3.71 ^b	3.75	3.72 ^b	3.79 ^b	3.82 ^b
470	3.67 ^a	3.74	3.80 ^a	3.78	3.80 ^a	3.91 ^a	3.94 ^a
انحراف استاندارد میانگین SEM	0.018	0.015	0.014	0.018	0.015	0.022	0.037
C × S							
0 × 0	3.55	3.62 ^b	3.56 ^c	3.61 ^b	3.59	3.47 ^c	3.46 ^c
470 × 0	3.62	3.72 ^a	3.75 ^b	3.76 ^a	3.74	3.80 ^b	3.78 ^b
0 × 0.15	3.67	3.80 ^a	3.76 ^b	3.81 ^a	3.76	3.89 ^b	3.92 ^{ab}
470 × 0.15	3.70	3.75 ^a	3.79 ^{ab}	3.77 ^a	3.80	3.91 ^{ab}	4.03 ^a
0 × 0.3	3.60	3.79 ^a	3.79 ^{ab}	3.84 ^a	3.80	4.01 ^a	4.08 ^a
470 × 0.3	3.68	3.75 ^a	3.85 ^a	3.82 ^a	3.85	4.02 ^a	4.00 ^a
انحراف استاندارد میانگین SEM	0.032	0.026	0.025	0.031	0.026	0.037	0.064
سطح احتمال معنی داری P-value							
S	0.0192	0.0019	<0.0001	0.0006	<0.0001	<0.0001	<0.0001
C	0.0371	0.8791	0.0002	0.2289	0.0016	0.0011	0.0345
S×C	0.6673	0.0185	0.0111	0.0134	0.1062	0.0005	0.0206

*S: درصد سیرین افزوده شده به جیره، **C: کولین افزوده شده به جیره، میلی گرم در کیلوگرم.

در هر ستون میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی داری باشند ($P \leq 0.05$).

mg in kg of choline added to the diet. Percentage of serine added to the diet C**
In each columns mean with different letters are significantly different ($P \leq 0.05$)

نتایج ارائه شده در **جدول ۳** گواه این مطلب است که جیره‌های حاوی سیرین و کولین تفاوت معنی داری را به لحاظ درصد جنبایی پیش‌رونده اسپرم نسبت به گروه فاقد این مکمل‌ها نشان دادند ($P \leq 0.05$). اثرات متقابل دو ماده آزمایشی ال-سیرین و مکمل کولین، افزایش درصد جنبایی پیش‌رونده اسپرم را در هفته‌های آزمایش نشان داد که این هم‌افزایی دو تیمار در هفته‌های چهارم و پنجم و هشتم و نهم معنی دار بود ($P \leq 0.05$). بالاترین درصد جنبایی (۵۰/۷۵) در هفته هشتم به دست آمد. کمترین درصد جنبایی پیش‌رونده مربوط به شاهد (۳۵/۰۰) بود. افزودن سیرین و مکمل کولین به جیره سبب افزایش حدود ۱۵ درصدی جنبایی اسپرم پرندگان مسن شد. موافق با این نتایج، افزودن اسید آمینه سیرین به منی خروس به عنوان نگهدارنده و رقیق‌کننده منی باعث افزایش کیفیت اسپرم و باروری شد

حرکت اسپرم نسبتاً شدید و تند است و برای حفظ تحرک نیاز به تولید آدنوزین تری فسفات زیادی دارد، تعداد زیاد میتوکندری موجود در قطعه میانی اسپرم، این میزان انرژی را فراهم می‌آورد (Guthrie et al., 2008). بنابراین با افزایش تعداد میتوکندری، انرژی لازم جهت حرکت اسپرم فراهم می‌گردد و با توجه به وجود سیرین و کولین در ساختار غشاء سلول و میتوکندری، بالارفتن جنبایی پیش‌رونده و تحرک اسپرم در نتیجه افزودن سیرین و کولین به جیره در مطالعه حال حاضر منطقی به نظر می‌رسد.

جدول ۳- اثر اسیدآمینه ال-سیرین و مکمل کولین بر جنبایی پیش‌رونده اسپرم (درصد) خروس‌های مسن مادرگوشتی

Table 3- The effect of L-Serine amino acid and choline supplementation on forward motility sperm (percentage) of old broiler roosters

تیمارها Treatments	هفته Week						
	سوم Third	چهارم Fourth	پنجم Five	ششم Six	هفتم Seventh	هشتم Eight	نهم Nine
S*							
0	42.87	39.50	40.25 ^b	40.87 ^b	39.62 ^b	38.75 ^b	39.37 ^b
0.15	41.12	40.25	42.12 ^{ab}	42.12 ^b	45.50 ^a	48.25 ^a	48.75 ^a
0.3	41.25	41.75	44.50 ^a	45.62 ^a	46.25 ^a	49.12 ^a	49.87 ^a
انحراف استاندارد میانگین SEM	0.754	0.709	0.888	1.109	1.258	0.823	0.959
C**							
0	42.33	39.75	42.33	42.25	42.41	44.25 ^b	45.00
470	41.17	41.25	42.25	43.50	45.17	46.50 ^a	47.00
انحراف استاندارد میانگین SEM	0.616	0.579	0.725	0.905	1.027	0.672	0.783
C × S							
0 × 0	44.50	37.00 ^b	37.50 ^c	40.00	36.25	35.00 ^d	35.00 ^c
470 × 0	41.25	42.00 ^a	43.00 ^{ab}	41.75	43.00	42.50 ^c	43.75 ^b
0 × 0.15	41.25	40.50 ^a	43.00 ^{ab}	41.75	44.75	47.00 ^b	50.00 ^a
470 × 0.15	41.00	40.00 ^a	41.25 ^b	42.50	46.25	49.50 ^{ab}	47.50 ^{ab}
0 × 0.3	41.25	41.75 ^a	46.50 ^a	45.00	46.25	50.75 ^a	50.00 ^a
470 × 0.3	41.25	41.75 ^a	42.50 ^{ab}	46.25	46.25	47.50 ^{ab}	49.75 ^a
انحراف استاندارد میانگین SEM	1.067	1.003	1.257	1.569	1.778	1.165	1.356
سطح احتمال معنی‌دار P-value							
S	0.2154	0.1013	0.0118	0.0197	0.0028	<0.0001	<0.0001
C	0.1973	0.0837	0.9362	0.3421	0.0744	0.0295	0.0877
S×C	0.2639	0.0245	0.0036	0.9506	0.1662	0.0009	0.0014

S*: درصد سیرین افزوده‌شده به جیره، C**: کولین افزوده‌شده به جیره، میلی‌گرم در کیلوگرم.

در هر ستون میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند ($P \leq 0.05$).

S*: Percentage of serine added to the diet, C**: mg in kg of choline added to the diet.

In each columns mean with different letters are significantly different ($P \leq 0.05$)

در جدول ۵ که تحلیل داده‌های مربوط به درصد زنده‌مانی اسپرم است، نشان داد که تیمارهای حاوی اسیدآمینه ال-سیرین و مکمل کولین تأثیر معنی‌داری بر این شاخص دارند ($P \leq 0.05$). در اثرات متقابل دو تیمار آزمایشی، بهبود زنده‌مانی اسپرم در تیمارهای دریافت‌کننده ۰/۳ درصد اسیدآمینه سیرین همراه با ۴۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مکمل کولین مشاهده گردید. بالاترین درصد زنده‌مانی در اثر متقابل سیرین و کولین (۸۸/۷۵) در هفته هشتم و نهم مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با گروه فاقد سیرین و کولین داشت ($P \leq 0.05$). پایین‌ترین درصد اسپرم‌های زنده مربوط به شاهد (۶۸/۲۵) بود. مکمل سیرین و کولین سبب افزایش تقریبی ۲۱ درصدی زنده‌مانی اسپرم شد. محصولات جانبی طبیعی حاصل از متابولیسم اکسیداتیو، رادیکال‌های آزاد را تشکیل می‌دهند که برای اسپرم بسیار سمی هستند و باعث کاهش درصد زنده‌مانی اسپرم می‌شوند (Wishart, 1984).

در نتایج بررسی تحرک کل اسپرم در جدول ۴، ال-سیرین و مکمل کولین به‌کاررفته در جیره نقش مهمی در افزایش معنی‌داری تحرک کل نسبت به تیمار فاقد سیرین و کولین نشان دادند ($P \leq 0.05$). اثر متقابل سیرین و کولین باعث افزایش معنی‌داری در تحرک اسپرم شد که این افزایش از هفته پنجم تا هفته نهم بود. بالاترین درصد تحرک کل اسپرم (۸۸/۷۵) مربوط به تیمار حاوی ۰/۱۵ درصد سیرین و ۴۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کولین در هفته هشتم و نهم بود. کمترین درصد تحرک اسپرم مربوط به جیره شاهد بود (۷۰/۰۰) که اختلاف معنی‌داری با اثر متقابل دو تیمار داشت ($P \leq 0.05$). اثر متقابل دو تیمار باعث افزایش حدود ۱۹ درصد در تحرک کل اسپرم شد. طول دوره اسپرماتوژنز در خروس تقریباً ۱۵ روز می‌باشد (Durape, 2007). عدم تأثیر معنی‌دار تیمارهای آزمایشی بر این فراسنجه در دو هفته اول آزمایش به‌دلیل عدم تکمیل یک دوره کامل اسپرماتوژنز می‌باشد.

به جلوگیری از بین رفتن فسفولیپیدهای غشایی اسپرم کمک کرد و همچنین باعث فعالیت فسفولیپازهای درون زایی شد که مولکول های آسیب دیده ناشی از تنش اکسیداتیو سلولی را ترمیم یا باعث تحلیل غشاء پس از پراکسیداسیون می شود که در نهایت منجر به کاهش آپوپتوز آکروزوم و افزایش سلامت غشاء اسپرم می شود (Long & Conn, 2012)، و نتایج آزمایش حاضر نیز مؤید آن می باشد. از آنجایی که ظرفیت آنتی اکسیدانی اسپرم به دلیل خاصیت به شدت غیراشباع لیپیدهای اسپرم و آسیب پذیری این ترکیبات در برابر آسیب های پروکسیداتیو ناشی از رادیکال های آزاد و گونه های فعال اکسیژن پایین است و این آسیب پذیری بالا دلیل اصلی ناباروری جنس نر محسوب می شود (Aitken, 1995) از این رو، وجود سیستم های آنتی اکسیدانی بی نقص در اسپرم و پلاسما می پرندگان برای محافظت گامت ها در برابر چنین اثرات زیان باری، حائز اهمیت می باشد (Surai et al., 2001).

پراکسیداسیون لیپید با کاهش فسفولیپیدهای غشایی همراه است که زنده ماندن و عملکرد اسپرم را به خطر می اندازد (Jones & Mann, 1976; Fujihara & Hawarth, 1978; Aitken, 1994; Kelso et al., 1996). در مطالعه ای که از مکمل های سیستمین و ارگوتامین و اسید آمینه ال سیرین به عنوان رقیق کننده منی جهت انجماد استفاده شده بود، مشخص گردید که افزودن سیرین به منی باعث کاهش پراکسیداسیون و افزایش تحرک، جنبایی پیش رونده و زنده ماندن اسپرم شد (Tananurak et al., 2020) که یافته های این مطالعه با آن مطابقت دارد. نشان داده شده است که فسفولیپیدهای متصل به غشاء، به ویژه فسفاتیدیل کولین، در طول ذخیره سازی در شرایط آزمایشگاهی اسپرم طیور از بین می روند (Douard et Blesbois et al., 1999; Douard et al., 2000). پراکسیداسیون لیپید و تجزیه آنزیمی سازوکاری است که باعث از دست دادن شدید فسفولیپیدهای غشاء اسپرم در طول ذخیره سازی مایع منی و کاهش زنده ماندن اسپرم می شود (Douard et al., 2005). در مطالعه ای، افزودن مکمل کولین در نگهدارنده مایع منی،

جدول ۴- اثر اسید آمینه ال-سیرین و مکمل کولین بر تحرک کل (درصد) اسپرم خروس های مسن مادرگوشتی

Table 4- The effect of L-serine amino acid and choline supplementation on sperm total motility (percentage) of old broiler roosters

تیماها Treatments	هفته Week						
	سوم Third	چهارم Fourth	پنجم Five	ششم Six	هفتم Seventh	هشتم Eight	نهم Nine
*S							
0	76.62	76.25	76.125 ^b	75.37 ^b	73.75 ^b	75.37 ^b	77.00 ^b
0.15	76.25	78.25	81.37 ^a	81.87 ^a	83.75 ^a	86.12 ^a	88.37 ^a
0.3	76.37	78.25	81.88 ^a	83.75 ^a	85.00 ^a	88.12 ^a	88.00 ^a
انحراف استاندارد میانگین	1.035	0.970	0.958	0.988	1.178	0.890	0.767
SEM							
**C							
0	75.25	76.75	78.67	79.17	78.33 ^b	80.67 ^b	82.17 ^b
470	77.58	78.41	80.91	81.50	83.33 ^a	85.75 ^a	86.75 ^a
انحراف استاندارد میانگین	0.845	0.792	0.782	0.806	0.962	0.727	0.626
SEM							
C × S							
0 × 0	75.00	75.00	71.25 ^b	71.25 ^c	67.50 ^c	68.25 ^c	70.00 ^c
470 × 0	78.25	77.50	81.00 ^a	79.50 ^b	80.00 ^b	82.50 ^b	84.00 ^b
0 × 0.15	75.00	77.75	82.25 ^a	81.25 ^{ab}	83.75 ^{ab}	85.00 ^{ab}	88.00 ^a
470 × 0.15	77.50	78.75	80.50 ^a	82.50 ^{ab}	83.75 ^{ab}	87.25 ^a	88.75 ^a
0 × 0.3	75.75	77.50	82.50 ^a	85.00 ^a	83.75 ^{ab}	88.75 ^a	88.50 ^a
470 × 0.3	77.00	79.00	81.25 ^a	82.50 ^{ab}	86.25 ^a	87.50 ^a	87.50 ^a
انحراف استاندارد میانگین	1.464	1.371	1.355	1.397	1.677	1.260	1.084
SEM							
سطح احتمال معنی دار P-value							
S	0.9667	0.2682	0.0007	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
C	0.0668	0.1541	0.0570	0.0557	0.0017	0.0001	<0.0001
S×C	0.7907	0.8576	0.0006	0.0040	0.0035	<0.0001	<0.0001

*S: درصد سیرین افزوده شده به جیره، C**: کولین افزوده شده به جیره، میلی گرم در کیلوگرم.

در هر ستون میانگین های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی دار می باشند ($P \leq 0.05$).

S*: Percentage of serine added to the diet, C**: mg in kg of choline added to the diet.

In each columns mean with different letters are significantly different ($P \leq 0.05$)

جدول ۵- اثر اسیدآمینه ال-سیرین و مکمل کولین بر زنده‌مانی اسپرم (درصد) خروس‌های مسن مادرگوشتی

Table 5- The effect of L-Serine amino acid and choline supplementation on sperm viability (percentage) of old broiler roosters

تیماها Treatments	هفته Week						
	سوم Third	چهارم Fourth	پنجم Five	ششم Six	هفتم Seventh	هشتم Eight	نهم Nine
S*							
0	73.12	76.50	74.37 ^b	75.25 ^b	76.50 ^b	74.75 ^c	74.87 ^b
0.15	74.62	76.62	80.37 ^a	81.50 ^a	82.50 ^a	83.37 ^b	86.12 ^a
0.3	74.37	78.62	82.50 ^a	82.50 ^a	83.12 ^a	88.62 ^a	87.75 ^a
انحراف استاندارد میانگین SEM	1.291	0.901	0.937	0.740	0.902	0.799	0.853
C**							
0	72.75	76.41	78.92	77.67 ^b	79.17 ^b	80.58 ^b	80.83 ^b
470	75.33	78.08	79.25	81.83 ^a	82.25 ^a	83.92 ^a	85.00 ^a
انحراف استاندارد میانگین SEM	1.054	0.735	0.765	0.604	0.737	0.652	0.697
C × S							
0 × 0	71.25	74.75	71.75 ^c	70.50 ^b	71.25 ^b	70.25 ^d	68.25 ^c
470 × 0	75.00	78.25	77.00 ^b	80.00 ^a	81.75 ^a	79.25 ^c	81.50 ^b
0 × 0.15	73.25	76.25	82.50 ^a	80.00 ^a	82.50 ^a	83.00 ^b	85.50 ^a
470 × 0.15	76.00	77.00	78.25 ^{ab}	83.00 ^a	82.50 ^a	83.75 ^b	86.75 ^a
0 × 0.3	73.75	78.25	82.50 ^a	82.50 ^a	83.75 ^a	88.50 ^a	88.75 ^a
470 × 0.3	75.00	79.00	82.50 ^a	82.50 ^a	82.50 ^a	88.75 ^a	86.75 ^a
انحراف استاندارد میانگین SEM	1.827	1.274	1.325	1.047	1.276	1.130	1.208
سطح احتمال معنی‌دار P-Value							
S	0.6845	0.2021	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
C	0.1004	0.1267	0.7631	0.0001	0.0084	0.0020	0.0005
S×C	0.7912	0.4752	0.0077	0.0008	0.0004	0.0016	<0.0001

S*: درصدسیرین افزوده‌شده به جیره ، C**: کولین افزوده‌شده به جیره، میلی‌گرم در کیلوگرم.

در هر ستون میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P≤0.05).

S*: Percentage of serine added to the diet, C**: mg in kg of choline added to the diet.

In each columns mean with different letters are significantly different (P≤0.05).

قابل توجهی آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز افزایش می‌یابد و با تکثیر و تمایز اسپرم باعث افزایش باروری می‌شود (Wang et al., 2016). پس می‌توان نتیجه گرفت که افزودن مکمل‌هایی چون اسیدآمینه ال سیرین با خاصیت آنتی‌اکسیدانی به جیره خروس‌های مادر مسن برای جلوگیری از این کاهش در انتهای چرخه تولیدمثلی ضروری به نظر می‌رسد.

نتایج حاصل از بررسی سلامت غشاء اسپرم در جدول ۶ نشان داد که اثر متقابل سیرین و کولین سبب افزایش بهبود یکپارچگی و سلامت غشاء اسپرم شد و نسبت به گروه شاهد روند افزایشی داشت که این افزایش درصد سلامت غشاء اسپرم از هفته ششم تا هفته نهم معنی‌دار شد (P≤0.05). بالاترین درصد سلامت غشاء اسپرم در تیمارهای حاوی ۰/۳ درصد سیرین (۸۸/۰۰) در هفته نهم و پایین‌ترین درصد سلامت غشاء مربوط به گروه فاقد سیرین و کولین (۶۸/۷۵) بود. هم‌افزایی دو تیمار سبب افزایش ۱۲ درصدی سلامت غشاء اسپرم

کمبود مؤلفه‌های کلیدی سیستم آنتی‌اکسیدانی را می‌توان به‌عنوان دلیلی بر کاهش باروری تحت برخی از شرایط در نظر گرفت، برای مثال در انتهای چرخه تولیدمثلی خروس، بیان آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی گلوتاتیون پراکسیداز در منی بیش از ۱۰ برابر کاهش می‌یابد (Kelso et al., 1997)، بنابراین استفاده از مکمل‌هایی مثل عنصر سلنیوم (جزء ضروری گلوتاتیون پراکسیداز) در جیره خروس‌ها، فعالیت این آنزیم را در بیضه‌ها، اسپرم‌ها و پلاسمای منی افزایش، و حساسیت اسپرم به پراکسیداسیون لیپید را کاهش داد (Surai et al., 1998). مکمل ال سیرین با توجه به ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی مرتبط با کاهش واکنش‌های اکسیداتیو از طریق کنترل بیان ژن‌های مرتبط با سنتز گلوتاتیون باعث افزایش غلظت گلوتاتیون می‌شود (Zhou et al., 2018; Sim et al., 2015). مالون دی‌آلدهید، و افزایش سوپراکسیداز و آنزیم کاتالاز (Zhou et al., 2018) می‌شود در نتیجه مصرف اسیدآمینه ال سیرین به‌میزان

است که اسیدآمینه سرین در طول نگهداری با دولاپیه‌های فسفولیپیدی غشاء تعامل دارند و باعث تثبیت غشاء سلولی می‌شوند، همچنین غلظت اصلاح سمی را کاهش داده و سلول‌ها را در برابر اثرات دنا توره‌کننده هایپراسمولالیتیه در طول انجماد منی محافظت می‌کند (Partyka & Nizański, 2021). در مطالعه‌ای نشان داده شد که افزودن سرین به پلاسمای منی خروس به‌عنوان نگهدارنده سبب حفظ یکپارچگی DNA در منی منجمد شده و بر یکپارچگی غشاء و آکروزوم، پتانسیل غشاء میتوکندری، کاهش شاخص مالون دی‌آلدهید، افزایش قدرت اسپرم و در نتیجه تمام شاخص‌های کیفیت اسپرم در شرایط آزمایشگاهی و در نهایت در توانایی لقاح اسپرم منجمد-یخ‌گشایی شده مؤثر بود (Santiago-Moreno et al., 2019). افزایش درصد سلامت غشاء اسپرم و زنده‌مانی می‌تواند سبب افزایش سرعت در حرکت و افزایش زنده‌مانی اسپرم در داخل اویدکت تا رسیدن به محل لقاح می‌شود (Cerolini et al., 2006). از آنجایی که فسفاتیدیل سرین به‌صورت نسبتی از فسفولیپید تام اسپرم همبستگی مثبتی با قابلیت باروری دارد و همچنین فسفاتیدیل سرین اسپرم ۳۳ درصد وزن تام اسیدهای چرب را دارا می‌باشد که به مراتب بیشتر از مقدار آن در دیگر انواع فسفولیپیدها است (Surai et al., 1998). در نتیجه افزایش معنی‌دار سلامت غشاء اسپرم در تیمارهای حاوی اسیدآمینه سرین و مکمل کولین نسبت به گروه شاهد منطقی به نظر می‌رسد.

بررسی میزان درصد ناهنجاری‌های اسپرم جدول ۷ نشان داد که تیمارهای حاوی سرین تأثیر معنی‌داری بر این شاخص دارند ($P \leq 0.05$)، به‌طوری‌که افزودن ال-سرین در دو سطح ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد باعث کاهش درصد اسپرم‌های ناهنجار شد که این کاهش در هفته پنجم و هفتم معنی‌دار گردید. کمترین درصد اسپرم ناهنجار (۱۳/۶۲) در تیمار حاوی ۰/۳ درصد سرین مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با جیره فاقد سرین نشان داد ($P \leq 0.05$). اثر مکمل کولین و اثر متقابل اسیدآمینه سرین و کولین بر درصد اسپرم‌های ناهنجار معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). این نتایج با گزارش لانگ و همکاران (Long & Conn, 2012) که برای ذخیره‌سازی منی بوقلمون از مکمل کولین فسفات استفاده و کاهش درصد ناهنجاری‌های آکروزوم سر اسپرم را گزارش کرده بودند، مطابقت دارد. در تحقیقی دیگر از اسیدآمینه ال سرین به‌عنوان رقیق‌کننده، جهت ذخیره‌سازی اسپرم خروس در دمای پنج درجه سانتی‌گراد در طول ۱۲۰ ساعت استفاده شد و افزایش تحرک پیش‌رونده، زنده‌مانی و عملکرد میتوکندریایی و کاهش درصد اسپرم‌های ناهنجار در گروه‌های حاوی رقیق‌کننده سرین نسبت به گروه شاهد گزارش شد (Kheawkanha et al., 2023) که هم‌سو با نتایج این تحقیق می‌باشد.

پرنندگان شد. در تحقیق لانگ و کان (Long & Conn, 2012) که با استفاده از مکمل کولین بر عملکرد منی ذخیره‌شده بوقلمون از ۴ تا ۲۴ ساعت انجام شد، استفاده از ۲/۵ میلی‌گرم در میلی‌لیتر مکمل فسفاتیدیل کولین، سلامت غشاء اسپرم ذخیره‌شده را نسبت به گروه شاهد بهبود بخشید که با نتایج این آزمایش و اثرات مثبت مکمل کولین در جیره هم‌خوانی دارد. پراکسیداسیون غشاء اسپرم یکی از عوامل بسیار مهم در کاهش کیفیت اسپرم می‌باشد (Guthrie et al., 2008). لیپیدهای غشاء سلول اسپرم نقش اساسی در قابلیت لقاح اسپرم دارند (Masoudi et al., 2016). یکی از دلایل اصلی ناباروری در خروس‌ها، محتوای بالای اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه در اسپرم‌ها است که آن‌ها را مستعد پراکسیداسیون لیپید می‌کند (Asl et al., 2018). اسپرم ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پایینی دارد، بنابراین آنتی‌اکسیدان‌های پلاسمای منی با مهار گونه‌های فعال اکسیژن از اسپرم محافظت می‌کنند (Zhao et al., 2011). اسپرم پرنندگان با محتوای بالای اسیدهای چرب چند غیراشباع زنجیره بلند که برای حفظ تحرک اسپرم ضروری هستند، مستعد پراکسیداسیون لیپیدی هستند. گونه‌های واکنشی تولیدشده بر اثر پراکسیداسیون لیپیدی ممکن است به عملکرد غشاء اسپرم و تحرک آن‌ها آسیب رسانده و پتانسیل باروری را در خروس‌های مسن کاهش دهند. بنابراین، دفاع آنتی‌اکسیدانی نقش کلیدی در حفظ کیفیت مایع منی دارد (Surai et al., 2006). سلامت غشاء یکی از مهم‌ترین عوامل در قابلیت باروری اسپرم است، زیرا غشاء اسپرم به‌دلیل شکل طولی باریک و دنباله‌دار در اسپرماتوزوئیدهای پرنندگان و افزایش سطح به حجم آن‌ها نسبت به اسپرم پستانداران افزایش سطح زیادی دارد، بنابراین نسبت غشاء پلاسمایی اسپرماتوزوئید پرنندگان بیشتر است و سلامت و انعطاف‌پذیری و تحرک سلول اسپرم که ارتباط مستقیمی با غشای سلول دارد، نقش مهمی در بالا رفتن کیفیت منی و تسهیل فرآیندهای باروری دارد (Steele et al., 1994). اسپرم‌ها سلول‌هایی به‌شدت قطبی، شامل نواحی سر، قطعه میانی و دم با عملکردهای مجزا می‌باشند. فسفولیپیدهایی که غشاء پلاسمایی و غشاهای آکروزومی ناحیه سر اسپرم را تشکیل می‌دهند، در فعالیت‌های دینامیکی مختلف مربوط به فرآیند امتزاج غشاها (که نقش تعیین‌کننده‌ای در واکنش آکروزومی و آمیزش اسپرم و تخم دارد) نقش دارند. واکنش آکروزومی هنگامی روی می‌دهد که بین اسپرم و تخمک تماس حاصل گردد. اجزای مولکولی پوشش محافظ تخم (لایه پری ویتیلین در پرنندگان) به‌طور اختصاصی با گیرنده‌های پروتئینی ویژه موجود در غشاء پلاسمایی سر اسپرم اتصال برقرار می‌کنند (Ashizawa et al., 2006)، بنابراین بررسی یک روش زیست‌سازگار مانند یک افزودنی خوراکی با قدرت افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پلاسمای منی می‌تواند به‌طور قابل توجهی از باروری خروس‌ها محافظت کند (Nemati et al., 2022). مشخص شده

جدول ۶- اثر اسیدآمینه ال-سیرین و مکمل کولین بر سلامت غشاء اسپرم (درصد) خروس‌های مسن مادرگوشتی

Table 6- The effect of L-serine amino acid and choline supplementation on sperm membrane health (percentage) of old broiler breeder roosters

تیمارها Treatments	هفته week						
	سوم Third	چهارم Fourth	پنجم Five	ششم Six	هفتم Seventh	هشتم Eight	نهم Nine
*S							
0	77.62	75.87 ^b	75.00 ^b	75.62 ^b	76.88 ^b	76.00 ^b	74.37 ^b
0.15	76.25	77.50 ^{ab}	81.37 ^a	82.12 ^a	83.13 ^a	86.75 ^a	86.25 ^a
0.3	76.00	79.37 ^a	81.87 ^a	82.75 ^a	82.50 ^a	86.50 ^a	87.75 ^a
انحراف استاندارد میانگین SEM	0.929	0.951	0.892	0.848	0.945	0.722	0.974
**C							
0	75.75	76.67	78.67	78.08 ^b	79.33 ^b	81.33 ^b	80.58 ^b
470	77.50	78.50	80.17	82.25 ^a	82.33 ^a	84.83 ^a	85.00 ^a
انحراف استاندارد میانگین SEM	0.758	0.777	0.728	0.692	0.771	0.589	0.796
C × S							
0 × 0	76.50	73.50	72.50	70.00 ^b	71.75 ^b	71.00 ^c	68.75 ^c
470 × 0	78.75	78.25	77.50	81.25 ^a	82.00 ^a	81.00 ^b	80.00 ^b
0 × 0.15	75.00	77.50	81.00	81.75 ^a	83.75 ^a	86.75 ^a	85.00 ^a
470 × 0.15	77.50	77.50	81.75	82.50 ^a	82.50 ^a	86.75 ^a	87.50 ^a
0 × 0.3	75.75	79.00	82.50	82.50 ^a	82.50 ^a	86.25 ^a	88.00 ^a
470 × 0.3	76.25	79.75	81.25	83.00 ^a	82.50 ^a	86.75 ^a	87.50 ^a
انحراف استاندارد میانگین SEM	1.313	1.364	1.261	1.199	1.336	1.021	1.378
سطح احتمال معنی‌دار P-value							
S	0.4290	0.0565	<0.0001	<0.0001	0.0003	<0.0001	<0.0001
C	0.1201	0.1127	0.1624	0.0005	0.0132	0.0005	0.0010
S×C	0.7134	0.1940	0.0646	0.0003	0.0007	0.0001	0.0013

S*: درصدسیرین افزوده‌شده به جیره، C**: کولین افزوده‌شده به جیره، میلی گرم در کیلوگرم.

در هر ستون میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($P \leq 0.05$).

S*: Percentage of serine added to the diet, C** mg in kg of choline added to the diet.

In each columns mean with different letters are significantly different ($P \leq 0.05$)

غلظت اسپرم، سلامت غشاء اسپرم، تحرک کل اسپرم، زنده‌مانی اسپرم، تحرک پیش‌رونده اسپرم و کاهش درصد ناهنجاری‌های اسپرم در بیشتر هفته‌های آزمایش بود که نشان‌دهنده هم‌افزایی این دو ترکیب در بهبود کیفیت اسپرم در خروس‌های مسن مولد گوشتی شد و این امر می‌تواند باعث افزایش باروری و بهره‌وری هرچه بیشتر خروس‌های مسن مادرگوشتی در صنعت طیور شود.

تشکر و قدردانی

از مسئولین دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان جهت فراهم‌نمودن امکانات پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

با توجه به اینکه تحرک اسپرم و کم بودن درصد اسپرم‌های ناهنجار، معیاری برای کیفیت و زنده‌مانی اسپرم در ارتباط با باروری در طیور است (Froman *et al.*, 2002; Bowling *et al.*, 2003)، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کاهش درصد اسپرم‌های ناهنجار در تیمارهای حاوی اسیدآمینه سیرین و مکمل کولین باعث افزایش کیفیت منی و در نهایت بهبود کیفیت باروری در این آزمایش شد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که استفاده از اسیدآمینه ال-سیرین و مکمل کولین در جیره می‌تواند باعث افزایش معنی‌دار

جدول ۷- اثر اسیدآمینه ال-سرین و مکمل کولین بر اسپرم‌های ناهنجار (درصد) خروس‌های مسن مادرگوشتی

Table 7- The effect of L-Serine amino acid and choline supplementation on abnormal sperm (percentage) of old broiler roosters

تیمارها Treatments	هفته Week						
	سوم Third	چهارم Fourth	پنجم Five	ششم Six	هفتم Seventh	هشتم Eight	نهم Nine
*S							
0	14.75	14.62	14.62 ^a	14.25	14.37 ^a	14.37	14.12
0.15	14.50	14.50	14.25 ^{ab}	14.12	14.25 ^{ab}	13.75	13.87
0.3	14.50	14.37	13.75 ^b	14.37	13.62 ^b	13.87	13.87
انحراف استاندارد میانگین	0.186	0.177	0.200	0.195	0.212	0.257	0.253
SEM							
**C							
•	14.50	14.58	14.42	14.25	14.08	14.00	14.17
470	14.67	14.42	14.00	14.25	14.08	14.00	13.75
انحراف استاندارد میانگین	0.152	0.144	0.163	0.159	0.173	0.210	0.207
SEM							
C × S							
0 × 0	14.75	15.00	14.75	14.50	14.25	14.50	14.50
470 × 0	14.75	14.25	14.50	14.00	14.50	14.25	13.75
0 × 0.15	14.25	14.50	14.50	14.00	14.50	13.50	14.00
470 × 0.15	14.75	14.50	14.00	14.25	14.00	14.00	13.75
0 × 0.3	14.50	14.25	14.00	14.25	13.50	14.00	14.00
470 × 0.3	14.50	14.50	13.50	14.50	13.75	13.75	13.75
انحراف استاندارد میانگین	0.263	0.250	0.282	0.276	0.300	0.363	0.358
SEM							
سطح احتمال معنی‌دار P-value							
S	0.5594	0.6147	0.0210	0.6703	0.0492	0.2183	0.7272
C	0.4486	0.4249	0.0877	1.0000	1.0000	1.0000	0.1716
S×C	0.5594	0.1435	0.8885	0.3165	0.3743	0.5047	0.7272

S*: درصد سرین افزوده‌شده به جیره، C**: کولین افزوده‌شده به جیره، میلی‌گرم در کیلوگرم.

در هر ستون میانگین‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($P \leq 0.05$).

S*: Percentage of serine added to the diet C** mg in kg of choline added to the diet.

In each columns mean with different letters are significantly different ($P \leq 0.05$).

References

- Abbaspour, B., Sharifi, S. D., Ghazanfari, S., Honarbakhsh, S., & Mohammadi-Sangcheshmeh, A. (2019). The effect of l-arginine and flaxseed on plasma testosterone concentration, semen quality and some testicular histology parameters in old broiler breeder roosters. *Theriogenology*, 128, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.01.034>
- Aitken, R. J. (1994). A free radical theory of male infertility. *Reproduction, Fertility and Development*, 6(1), 19-23. <https://doi.org/10.1071/RD9940019>
- Aitken, R. J. (1995). Free radicals, lipid peroxidation and sperm function. *Reproduction, Fertility and Development*, 7(4), 659-668. <https://doi.org/10.1071/RD9950659>
- Akhlaghi, A., Ahangari, Y. J., Navidshad, B., Pirsaraei, Z. A., Zhandi, M., Deldar, H., & Peebles, E. D. (2014). Improvements in semen quality, sperm fatty acids, and reproductive performance in aged Cobb 500 breeder roosters fed diets containing dried ginger rhizomes (*Zingiber officinale*). *Poultry Science*, 93(5), 1236-1244. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03617>
- Amini, M. R., Kohram, H., Zare Shahaneh, A., Zhandi, M., Sharideh, H., & Nabi, M. M. (2015). The effects of different levels of vitamin E and vitamin C in modified Beltsville extender on rooster post-thawed sperm quality. *Cell and Tissue Banking*, 16, 587-592. <https://doi.org/10.1007/s10561-015-9506-9>
- Andraszek, K., Banaszewska, D., & Biesiada-Drzazga, B. (2018). The use of two staining methods for

- identification of spermatozoon structure in roosters. *Poultry Science*, 97(7), 2575-2581. <https://doi.org/10.3382/ps/pey056>
7. Ansari, M., Zhandi, M., Kohram, H., Zaghari, M., & Sadeghi, M. (2016). The effect of D-aspartic acid on sperm quality of broiler breeder roosters. *Iranian Journal of Animal Science*, 47(1), 165-174. <https://doi.org/10.22059/ijas.2016.61669>
8. Ashizawa, K., Wishart, G. J., Katayama, S., Takano, D., Ranasinghe, A. R. A. H., Narumi, K., & Tsuzuki, Y. (2006). Regulation of acrosome reaction of fowl spermatozoa: evidence for the involvement of protein kinase C and protein phosphatase-type 1 and/or-type 2A. *Reproduction*, 131(6), 1017-1024. <https://doi.org/10.1530/rep.1.01069>
9. Asl, R. S., Shariatmadari, F., Sharafi, M., Torshizi, M. A. K., & Shahverdi, A. (2018). Dietary fish oil supplemented with vitamin E improves quality indicators of rooster cold-stored semen through reducing lipid peroxidation. *Cryobiology*, 84, 15-19. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2018.08.008>
10. Blesbois, E., Douard, V., Germain, M., Boniface, P., & Pellet, F. (2004). Effects of n-3 polyunsaturated dietary supplementation on the reproductive capacity of male turkeys. *Theriogenology*, 61(2-3), 537-549. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(03\)00207-3](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(03)00207-3)
11. Blesbois, E., Grasseau, I., & Hermier, D. (1999). Changes in lipid content of fowl spermatozoa after liquid storage at 2 to 5 C. *Theriogenology*, 52(2), 325-334. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(99\)00132-6](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(99)00132-6)
12. Bowling, E. R., Froman, D. P., Davis, A. J., & Wilson, J. L. (2003). Attributes of broiler breeder males characterized by low and high sperm mobility. *Poultry Science*, 82(11), 1796-1801. <https://doi.org/10.1093/ps/82.11.1796>
13. Cerolini, S., Pizzi, F., Gliozzi, T., Maldjian, A., Zaniboni, L., & Parodi, L. (2003). Lipid manipulation of chicken semen by dietary means and its relation to fertility: a review. *World's Poultry Science Journal*, 59(1), 65-75. <https://doi.org/10.1079/WPS20030003>
14. Cerolini, S., Zaniboni, L., Maldjian, A., & Gliozzi, T. (2006). Effect of docosahexaenoic acid and α -tocopherol enrichment in chicken sperm on semen quality, sperm lipid composition and susceptibility to peroxidation. *Theriogenology*, 66(4), 877-886. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2006.02.022>
15. Chankitisakul, V., Boonkum, W., Kaewkanha, T., Pimprasert, M., Ratchamak, R., Authaida, S., & Thananurak, P. (2022). Fertilizing ability and survivability of rooster sperm diluted with a novel semen extender supplemented with serine for practical use on smallholder farms. *Poultry Science*, 101(12), 102188. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102188>
16. Darin-Bennett, A., Poulos, A., & White, I. G. (1974). The phospholipids and phospholipid-bound fatty acids and aldehydes of dog and fowl spermatozoa. *Reproduction*, 41(2), 471-474. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0410471>
17. Del Vesco, A. P., Gasparino, E., Neto, A. R. O., Rossi, R. M., Soares, M. A. M., & da Silva, S. C. C. (2013). Effect of methionine supplementation on mitochondrial genes expression in the breast muscle and liver of broilers. *Livestock Science*, 151(2-3), 284-291. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.11.005>
18. Do Nascimento, R. C., Souza, C. M. M., Bastos, T. S., Kaelle, G. C. B., de Oliveira, S. G., & Félix, A. P. (2022). Effects of an herbal source of choline on diet digestibility and palatability, blood lipid profile, liver morphology, and cardiac function in dogs. *Animals*, 12(19), 2658. <https://doi.org/10.3390/ani12192658>
19. Douard, V., Hermier, D., & Blesbois, E. (2000). Changes in turkey semen lipids during liquid in vitro storage. *Biology of Reproduction*, 63(5), 1450-1456. <https://doi.org/10.1095/biolreprod63.5.1450>
20. Douard, V., Hermier, D., Labbe, C., Magistrini, M., & Blesbois, E. (2005). Role of seminal plasma in damage to turkey spermatozoa during in vitro storage. *Theriogenology*, 63(1), 126-137. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.03.020>
21. Durape, N. M. (2007). Phytochemicals improve semen quality and fertility. *Mortality*, 3, 2-4b. <https://doi.org/10.22059/jap.2019.280344.623396>
22. Etches, R. J. (1996). Reproduction in poultry. Centre for Agriculture and Biosciences International Wallingford, UK. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20093225492>
23. Fouad, A. M., El-Senousey, H. K., Ruan, D., Xia, W., Chen, W., Wang, S., & Zheng, C. (2020). Nutritional modulation of fertility in male poultry. *Poultry Science*, 99(11), 5637-5646. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.06.083>
24. Froman, D. P., Pizzari, T., Feltmann, A. J., Castillo-Juarez, H., & Birkhead, T. R. (2002). Sperm mobility: Mechanisms of fertilizing efficiency, genetic variation and phenotypic relationship with male status in the domestic fowl, *Gallus gallus domesticus*. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 269(1491), 607-612. <https://doi.org/10.1098/rspb.2001.1925>
25. Fujihara, N., & Howarth Jr, B. (1978). Lipid peroxidation in fowl spermatozoa. *Poultry Science*, 57(6), 1766-1768. <https://doi.org/10.3382/ps.0571766>
26. Guthrie, H. D., Welch, G. R., & Long, J. A. (2008). Mitochondrial function and reactive oxygen species action in relation to boar motility. *Theriogenology*, 70(8), 1209-1215. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.06.017>
27. Hunter, T. (2012). Why nature chose phosphate to modify proteins. *Philosophical Transactions of the Royal*

- Society B: Biological Sciences*, 367(1602), 2513-2516. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0013>
28. Jones, R., & Mann, T. R. R. (1976). Lipid peroxides in spermatozoa; formation, rôle of plasmalogen, and physiological significance. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences*, 193(1113), 317-333. <https://doi.org/10.1098/rspb.1976.0050>
29. Kelso, K. A., Cerolini, S., Noble, R. C., Sparks, N. C., & Speake, B. K. (1996). Lipid and antioxidant changes in semen of broiler fowl from 25 to 60 weeks of age. *Reproduction*, 106(2), 201-206. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1060201>
30. Kelso, K. A., Cerolini, S., Noble, R. C., Sparks, N. H., & Speake, B. K. (1997). The effects of dietary supplementation with docosahexaenoic acid on the phospholipid fatty acid composition of avian spermatozoa. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 118(1), 65-69. [https://doi.org/10.1016/s0305-0491\(97\)00024-2](https://doi.org/10.1016/s0305-0491(97)00024-2)
31. Kheawkanha, T., Chankitisakul, V., Thananurak, P., Pimprasert, M., Boonkum, W., & Vongpralub, T. (2023). Solid storage supplemented with serine of rooster semen enhances higher sperm quality and fertility potential during storage at 5 C for up to 120 h. *Poultry Science*, 102(6), 102648. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102648>
32. Long, J. A., & Conn, T. L. (2012). Use of phosphatidylcholine to improve the function of turkey semen stored at 4 C for 24 hours. *Poultry Science*, 91(8), 1990-1996. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-02028>
33. Masoudi, R., Sharafi, M., Shahneh, A. Z., Towhidi, A., Kohram, H., Zhandi, M., Esmaeili, V., & Shahverdi, A. (2016). Effect of dietary fish oil supplementation on ram semen freeze ability and fertility using soybean lecithin– and egg yolk–based extenders. *Theriogenology*, 86(6), 1583-1588. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.05.018>
34. Metcalf, E. S., Dideon, B. A., Blehr, R., Schlimgen, T., Bertrand, W., Varner, D. D., & Hausman, M. S. (2008). Effects of DMSO and L-Ergothioneine on post-thaw semen parameters in stallions: Preliminary results. *Animal Reproduction Science*, 107(3-4), 332-333. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2009.1646>
35. Nemati, Z., Dehgani, P., Besharati, M., & Amirdahri, S. (2022). Dietary carob fruit (*Ceratonia siliqua* L.) supplementation improves spermatogenesis, semen quality and embryonic death via antioxidant effect in aging broiler breeder roosters. *Animal Reproduction Science*, 239, 106967. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2022.106967>
36. Partyka, A., & Nizański, W. (2021). Supplementation of avian semen extenders with antioxidants to improve semen quality—Is it an effective strategy. *Antioxidants*, 10(12), 1927. <https://doi.org/10.3390/antiox10121927>
37. Romero-Sanchez, H., Plumstead, P. W., Leksrisompong, N., Brannan, K. E., & Brake, J. (2008). Feeding broiler breeder males. 4. Deficient feed allocation reduces fertility and broiler progeny body weight. *Poultry Science*, 87(4), 805-811. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00285>
38. Salem Jr, N., Kim, H. Y., & Yergey, J. A. (1986). Docosahexaenoic acid: Membrane function and metabolism. *Health Effects of Polyunsaturated Fatty Acids in Seafoods*, 15, 263-317. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-644360-8.50019-4>
39. Santiago-Moreno, J., Bernal, B., Perez-Cereales, S., Castano, C., Toledano-Díaz, A., Estes, M.C., Gutiérrez-Adán, A., López-Sebastián, A., Gil, M.G., Woelders, H. and Blesbois, E. (2019). Seminal plasma amino acid profile in different breeds of chicken: Role of seminal plasma on sperm cryoresistance. *PloS one*, 14(1), p.e0209910. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209910>
40. Sarabia Frago, J., Pizarro Díaz, M., Abad Moreno, J. C., Casanovas Infesta, P., Rodríguez-Bertos, A., & Barger, K. (2013). Relationships between fertility and some parameters in male broiler breeders (body and testicular weight, histology and immunohistochemistry of testes, spermatogenesis and hormonal levels). *Reproduction in Domestic Animals*, 48(2), 345-352. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00285>
41. Sim, W. C., Yin, H. Q., Choi, H. S., Choi, Y. J., Kwak, H. C., Kim, S. K., & Lee, B. H. (2015). L-serine supplementation attenuates alcoholic fatty liver by enhancing homocysteine metabolism in mice and rats. *The Journal of Nutrition*, 145(2), 260-267. <https://doi.org/10.3945/jn.114.199711>
42. Steele, M. G., Meldrum, W., Brillard, J. P., & Wishart, G. J. (1994). The interaction of avian spermatozoa with the perivitelline layer *in vitro* and *in vivo*. *Reproduction*, 101(3), 599-603. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1010599>
43. Surai, P. F., Cerolini, S., Wishart, G. J., Speake, B. K., Noble, R. C., & Sparks, N. H. (1998). Lipid and antioxidant composition of chicken semen and its susceptibility to peroxidation. *Poultry and Arian Biolog*, 9(1), 11-23.
44. Surai, P. F., Fujiwara, N., Speake, B. K., Brillard, J. P., Wishart, G. J., & Sparks, N. H. C. (2001). Polyunsaturated fatty acids, lipid peroxidation and antioxidant protection in avian semen-review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 14(7), 1024-1050. <https://doi.org/10.5713/ajas.2001.1024>
45. Surai, P. F., Sparks, N. H. C., & Speake, B. K. (2006). The role of antioxidants in reproduction and fertility of poultry. (September) Xii European Poultry Conference September, pp. 10–14.
46. Surai, P., Kostjuk, I., Wishart, G., Macpherson, A., Speake, B., Noble, R., & Kutz, E. (1998). Effect of vitamin E and selenium supplementation of cockerel diets on glutathione peroxidase activity and lipid peroxidation susceptibility in sperm, testes, and liver. *Biological Trace Element Research*, 64, 119-132. <https://doi.org/10.1007/BF02783329>

47. Tapeh, R. S., Zhandi, M., Zaghari, M., & Akhlaghi, A. (2017). Effects of guanidinoacetic acid diet supplementation on semen quality and fertility of broiler breeder roosters. *Theriogenology*, 89, 178-182. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.11.012>. (In Persian)
48. Thananurak, P., Chuaychu-Noo, N., Thélie, A., Phasuk, Y., Vongpralub, T., & Blesbois, E. (2020). Different concentrations of cysteamine, ergothioneine, and serine modulate quality and fertilizing ability of cryopreserved chicken sperm. *Poultry Science*, 99(2), 1185-1198. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.040>
49. Wang, Q., Sun, L. C., Liu, Y. Q., Lu, J. X., Han, F., & Huang, Z. W. (2016). The synergistic effect of serine with selenocompounds on the expression of SelP and GPx in HepG2 cells. *Biological Trace Element Research*, 173, 291-296. <https://doi.org/10.1007/s12011-016-0665-8>
50. Wishart, G. J. (1984). Effects of lipid peroxide formation in fowl semen on sperm motility, ATP content and fertilizing ability. *Reproduction*, 71(1), 113-118. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0710113>
51. Zamiri, M. J., Khalili, B., Jafaroghli, M., & Farshad, A. (2010). Seasonal variation in seminal parameters, testicular size, and plasma testosterone concentration in Iranian Moghani rams. *Small Ruminant Research*, 94(1-3), 132-136. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.07.013>
52. Zhao, X., Yang, Z. B., Yang, W. R., Wang, Y., Jiang, S. Z., & Zhang, G. G. (2011). Effects of ginger root (*Zingiber officinale*) on laying performance and antioxidant status of laying hens and on dietary oxidation stability. *Poultry Science*, 90(8), 1720-1727. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-01280>
53. Zhou, X., He, L., Zuo, S., Zhang, Y., Wan, D., Long, C., Huang, P., Wu, X., Wu, C., Liu, G. and Yin, Y. (2018a). Serine prevented high-fat diet-induced oxidative stress by activating AMPK and epigenetically modulating the expression of glutathione synthesis-related genes. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*, 1864(2), pp.488-498. <https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2017.11.009>
54. Zhou, X., Zhang, Y., Wu, X., Wan, D., & Yin, Y. (2018b). Effects of dietary serine supplementation on intestinal integrity, inflammation and oxidative status in early-weaned piglets. *Cellular Physiology and Biochemistry*, 48(3), 993-1002. <https://doi.org/10.1159/000491967>

Research Article

Vol. 17, No.4, 2026, p. 491-504



The Effect of Different Sources and Levels of Zinc on the Performance and Retention of Zinc, Copper and Manganese in Laying Hens

Ali Afshar Bakeshlo^{1*}, Behnam Ahmadipour¹, Fariborz Khajali¹, Nasrollah Pirany¹

1- Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

*Corresponding Author's Email: afshar@stu.sku.ac.ir, eng.aliafshar@yahoo.com**How to cite this article:**

Received: 04-07-2025

Revised: 10-10-2025

Accepted: 18-11-2025

Available Online: 03-02-2026

Afshar Bakeshlo, A., Ahmadipour, B., Khajali, F., & Pirany, N. (2026). The effect of different sources and levels of zinc on the performance and retention of zinc, copper and manganese in laying hens. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 17(4), 491-504. (in Persian with English abstract).<https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.94243.1256>

Introduction: Mineral supplements are an important component of the diet of laying hens to improve biochemical processes, embryonic development, and bone structure (Leeson, 2005). Micronutrients are involved in the structure of numerous proteins and hormones as intermediates in metabolism (Tom Dieck et al., 2003). In current commercial practice, micronutrients are added to the diet in inorganic form at levels much higher than those recommended by the National Research Council (NRC) (Leeson, 2005; Bao et al., 2007). Research shows that the addition of micronutrients of organic origin increases the bioavailability of the elements and improves performance due to their insoluble nature and organic complexation (Mézes et al., 2012). Consequently, formulating laying hen diets with trace elements from organic sources due to their higher bioavailability is considered a strategy to reduce the excretion of minerals in the animal's feces. However, these sources are significantly more expensive, making them difficult to access for general use and increasing the cost of the feed. Trace minerals in hydroxychloride form possess several advantages resulting from their unique crystalline structure, such as increased stability and reduced reactivity in feed formulations (Hawthorne & Sokolova, 2002).

Materials and Methods: This experiment was conducted with 240 laying hens of the Hy-Line strain (W-36) from 40 to 50 weeks of age for 10 weeks in a completely randomized design with 8 groups in 5 replications and 6 birds per experimental unit. The experimental groups included: Group 1- negative control (without zinc supplementation), groups 2, 3 and 4, respectively, included the negative control diet with 80, 120 and 160 mg/kg zinc sulfate with a purity of 34%, and groups 5, 6 and 7, respectively, included the negative control diet with 50, 75 and 100 mg/kg zinc hydroxychloride with the chemical formula $\text{Cl}_2\text{H}_2\text{O}$ ($\text{Zn}_5(\text{OH})_8$) with a purity of 55%, and group 8 included the negative control diet with 124 mg/kg zinc-methionine complex with a purity of 22%. The chickens were allocated to 40 metal cages (6 birds per cage) in a completely random manner within the weight range of 1590 ± 25 g. The composition of the basal diet was adjusted based on the guidelines for the (W-36) strain and the age of 40 to 50 weeks according to Table 1. The temperature range of the house was 24 ± 2 °C and the lighting schedule was set to 16 hours of light and 8 hours of darkness throughout the day according to the recommendations of the breeding guideline. Throughout the experimental period, egg mass production, laying rate, percentage of defective eggs, and survival rate were recorded and calculated for each replicate. Serum concentrations of zinc, copper, and manganese were determined using an atomic absorption spectrophotometer according to the method described by Dozier et al. (2003). To determine the bioavailability (retention) of zinc, copper and manganese, one bird from each replicate was randomly selected and slaughtered at the end of the



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

<https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.94243.1256>

experiment. Tissue samples, including breast muscle, liver, and tibia, were collected for mineral analysis. The results were analyzed in a completely randomized design. For this purpose, the GLM procedure of SAS software version 9.4 (2015) was employed, and Duncan's test at a significant level of 0.05 was used to compare the means.

Results and Discussion: The results presented in Table 2 indicate that zinc accumulation in the pectoral muscle increased linearly with increasing dietary zinc supplementation levels. These changes were influenced by both the bioavailability and the dietary levels of the zinc sources used. Similarly, the storage of zinc in the tibia is strongly affected by the levels and type of its source. Therefore, the zinc storage index in the tibia is a better criterion for measuring its bioavailability. An inverse relationship was observed between dietary zinc concentration and copper accumulation in the pectoral muscle. Specifically, supplementation with 160 mg/kg zinc sulfate and 100 mg/kg zinc hydroxychloride resulted in a significant reduction ($P < 0.05$) in copper deposition in muscle tissue. The results of this study agree with the findings that state the level of zinc in the pectoral and tibia muscles depends on the type of source and its levels in the diet, so with increasing it in the diet, its storage in the tissue increases. This increase in the organic form is due to the specific absorption mechanism of the element chelated with the organic peptide (Afshar Bakeshlo et al., 2024; Hu et al., 2022). The results of Table 3 show that the survival rate in the flock was not affected by the source and level of zinc in the diet ($P > 0.05$). Egg mass was not significantly affected by dietary treatments (Table 3). However, a numerically lower laying rate was observed in the negative control group, which may reflect a compensatory physiological response to zinc deficiency. Also, the increase in egg mass, due to the biological limitations of the bird, is more affected by the amount of energy and protein in the diet than by the zinc element. In confirmation of these findings, it has been reported that different sources and levels of zinc, copper and manganese do not affect the production rate and egg weight in laying hens (Chen et al., 2022; Domel et al., 2024).

Conclusion: The use of mineral sources with higher bioavailability and longer tissue retention represents an effective strategy for enhancing the nutritional quality of animal products. Increasing the amount of zinc with conventional inorganic forms, such as zinc sulfate, can reduce copper absorption and lead to negative biological consequences. On the other hand, the use of an organic source, despite retention, is associated with increased production costs and difficulty in supply. Therefore, it is recommended to use a level of 75 mg/kg of zinc hydroxychloride to improve the zinc storage index in eggs, while also enhancing the biological response of the hens.

Keywords: Hydroxychloride, Metabolism, Minerals, Poultry, Supplementation

اثر منابع و سطوح مختلف عنصر روی بر عملکرد و ابقاء عناصر روی، مس و منگنز در مرغ تخم‌گذار

علی افشار بکش‌لو^{۱*}، بهنام احمدی پور^۱، فربرز خواجعلی^۱، نصراله پیرانی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۷

چکیده

با توجه به اهمیت مکمل عنصر روی در متابولیسم پرندگان و مخاطرات زیست‌محیطی دفع روی در فضولات طیور، توصیه‌هایی مبنی بر استفاده از منابع با زیست‌فراهمی بالاتر صورت می‌پذیرد. این آزمایش به‌وسیله اشکال مختلف مکمل روی شامل سطوح مختلف سولفات، هیدروکسی‌کلرید و کمپلکس آلی روی-متیونین، و تأثیر آن بر شاخص‌های عملکردی و ابقاء عناصر روی، مس و منگنز در مرغ تخم‌گذار، از ۴۰ تا ۵۰ هفته‌گی انجام شد. پرنده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی، به هشت تیمار و پنج تکرار (شش پرنده در هر تکرار) تقسیم گردید. تیمارهای آزمایشی شامل تیمار ۱- شاهد منفی (بدون مکمل روی)، تیمار ۲، ۳ و ۴ به‌ترتیب شامل جیره شاهد منفی به همراه ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات روی با خلوص ۳۴ درصد، و تیمار ۵، ۶ و ۷ به‌ترتیب شامل جیره شاهد منفی به همراه ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلرید روی با فرمول شیمیایی $Zn_5(OH)_8C_{12}H_{20}$ با خلوص ۵۵ درصد و تیمار ۸ شامل جیره شاهد منفی به همراه ۱۲۴ میلی‌گرم در کیلوگرم کمپلکس روی-متیونین با خلوص ۲۲ درصد بود. یافته‌های این تحقیق نشان داد که افزایش سطح مکمل روی در شکل سولفات سبب کاهش جذب عنصر مس گردید ($P < 0.05$)، اما بر جذب منگنز بی‌تأثیر بود ($P > 0.05$). نتایج نشان داد که افزودن حداقل ۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم عنصر روی به‌شکل هیدروکسی‌کلرید بدون تأثیر منفی بر جذب مس و منگنز می‌تواند سبب بهبود ابقاء عنصر روی در زرده، کبد، درشت‌نی و افزایش نرخ تخم‌گذاری گردد ($P < 0.05$). همچنین توصیه می‌شود که سطح مکمل روی در جیره با توجه به میزان خلوص منبع و زیست‌فراهمی آن مورد تعدیل و بازنگری قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: طیور، متابولیسم، مکمل، مواد معدنی، هیدروکسی‌کلرید

مقدمه

سیستم اسکلتی قوی به‌طور قابل توجهی بر کیفیت پوسته تخم‌مرغ تأثیر می‌گذارد، تقریباً ۴۰ درصد کلسیم مورد نیاز ساخت پوسته توسط سیستم اسکلتی تأمین می‌شود (Elaroussi et al., 1994). کیفیت پوسته تخم‌مرغ یک نگرانی جدی در صنعت مرغ تخم‌گذار است، به‌طوری که حدود ۱۵ درصد از تخم‌مرغ‌های تولیدشده در مرغداری‌ها به‌دلیل شکستگی از بین می‌روند که منجر به خسارات اقتصادی قابل توجهی می‌شود (Akbari Moghaddam Kakhki et al., 2024). مواد معدنی کم‌نیاز مانند مس، منگنز و روی نقش مهمی در تولید تخم‌مرغ و عملکردهای فیزیولوژیکی طیور دارند. مواد معدنی به‌عنوان اجزاء سازنده متالوآنزیم‌ها در تشکیل غشاء و پوسته تخم‌مرغ نقش ایفا می‌کنند (Mabe et al., 2003). گزارش شده است که افزایش یکی از منابع معدنی کم‌نیاز بر میزان جذب سایر منابع اثر بازدارنده دارد (Domel et al., 2024). منابع معدنی با منشأ آلی می‌توانند به‌جای منابع معدنی با منشأ غیرآلی در جیره جایگزین شوند. مواد معدنی با منشأ آلی توسط لیگاند مربوط به خود از نواحی اسیدی دستگاه گوارش

مکمل عناصر معدنی به‌عنوان جزء مهم جیره مرغ تخم‌گذار برای بهبود فرایندهای بیوشیمیایی، رشد جنینی و همچنین تکمیل ساختار استخوانی به خوراک اضافه می‌شود (Leeson, 2005). عناصر معدنی کم‌نیاز در ساختار صدها پروتئین و هورمون به‌عنوان متابولیسم واسط نقش ایفا می‌کنند (Tom Dieck et al., 2003). امروزه مواد معدنی کم‌نیاز به‌شکل غیرآلی با سطح بسیار بالاتری از میزان توصیه‌شده انجمن تحقیقات بین‌المللی ایالات متحده (NRC) به جیره اضافه می‌گردد (Leeson, 2005). کمبود مواد معدنی به‌خصوص روی، مس و منگنز در کاهش عملکرد کمی و کیفی، رشد جنین و نقص ساختار اسکلتی به‌وضوح قابل مشاهده است (Araújo et al., 2019). یک

۱- گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
(*) نویسنده مسئول: afshar@stu.sku.ac.ir (Email:)

eng.aliafshar@yahoo.com

<https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.94243.1256>

در کیلوگرم سولفات روی با خلوص ۳۴ درصد، و تیمارهای ۵، ۶ و ۷ به ترتیب شامل، جیره شاهد منفی به همراه ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلرید روی $Zn_5(OH_8)C_{12}H_{20}$ با خلوص ۵۵ درصد بود. تیمار ۸ شامل جیره شاهد منفی به همراه ۱۲۴ میلی گرم در کیلوگرم کمپلکس روی - متیونین با خلوص ۲۲ درصد بود. مقادیر خالص عنصر روی در جیره شامل تیمار ۱ جیره شاهد منفی (۳۰ میلی گرم در کیلوگرم)، تیمار ۲، ۵ و ۸ حاوی ۵۷/۲ میلی گرم در کیلوگرم، تیمار ۳ و ۶ حاوی ۷۰/۸ میلی گرم در کیلوگرم و تیمار ۴ و ۷ حاوی ۸۴/۴ میلی گرم در کیلوگرم بود. مرغ‌ها در محدوده وزنی 1590 ± 25 گرم به صورت کاملاً تصادفی به ۴۰ قفس فلزی (شش پرند در هر قفس) منتقل شدند. تکرارها به صورت تصادفی در سه طبقه جانمایی گردید. به منظور سازگاری پرندگان با قفس‌ها و تخلیه ذخایر روی، یک دوره عادت‌پذیری دو هفته پیش از شروع دوره آزمایش اجرا گردید. در این دوره، پرندگان با جیره پایه که مکمل معدنی آن فاقد عنصر روی بود (شاهد) تغذیه شده‌اند. ترکیب جیره پایه براساس راهنمای سویه (W-۳۶) و برای سن ۴۰ تا ۵۰ هفتگی براساس **جدول ۱** تنظیم گردید. محدوده دمای سالن 24 ± 2 درجه سانتی‌گراد بود و برنامه نوردهی ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت خاموشی در طول شبانه‌روز براساس توصیه راهنمای پرورش تنظیم شد. غلظت عنصر روی در منابع آلی و غیرآلی و هیدروکسی مورد استفاده در این آزمایش به وسیله روش طیف‌سنجی جذب اتمی تعیین گردید (AOAC, 1990).

پارامترهای عملکردی

در طی آزمایش، میانگین توده تخم‌مرغ تولیدی، نرخ تخم‌گذاری، درصد تخم‌مرغ معیوب و نرخ زنده‌مانی (درصد بقاء) به شکل هفتگی اندازه‌گیری و میانگین آن در طول دوره گزارش گردید (Farzinpour et al., 2025).

$$\begin{aligned} \text{میانگین وزن تخم مرغ} \times \text{درصد تولید تخم مرغ} &= \text{وزن توده مرغ} \\ \text{میانگین نرخ تخم‌گذاری (درصد)} &= \frac{\text{تعداد تخم مرغ طول دوره}}{\text{میانگین تعداد پرند زنده}} \times 100 \\ \text{میانگین نرخ شکسته (معیوب)} &= \frac{\text{تعداد تخم مرغ شکسته (معیوب)}}{\text{تعداد کل تخم مرغ تولیدی}} \times 100 \\ \text{میانگین تعداد پرند زنده در پایان هفته} &= \frac{\text{میانگین تعداد پرند زنده شروع هفته}}{\text{درصد زنده مانی}} \times 100 \end{aligned}$$

سطوح عناصر روی، مس و منگنز در سرم خون

در روز آخر آزمایش، از هر تکرار سه قطعه مرغ به صورت تصادفی انتخاب و از سیاهرگ زیر بال خون‌گیری به عمل آمد. نمونه‌های سرم

طیور به شکل محافظت‌شده عبور کرده و در روده به نواحی جذب می‌رسند (Bao et al., 2007). تحقیقات نشان می‌دهد که اضافه کردن مواد معدنی کم‌نیاز با منشأ آلی سبب افزایش میزان زیست‌فراهمی عناصر و بهبود عملکرد به دلیل نامحلول بودن و جذب بیشتر می‌گردد (Mézès et al., 2012). در نتیجه، فرموله کردن جیره مرغ تخم‌گذار با عناصر کم‌نیاز با منشأ آلی به دلیل زیست‌فراهمی بالاتر به عنوان یک راهبرد برای کاهش دفع مواد معدنی در مدفوع حیوان مورد توجه قرار دارد. با این حال، این منابع به طور قابل توجهی گران‌تر بوده و دسترسی برای کاربرد عمومی را سخت و قیمت تمام شده خوراک را افزایش می‌دهد.

ساختار هیدروکسی کلرید عناصر معدنی کم‌نیاز به دلیل ساختار ویژه کریستالی دارای مزایای مختلفی می‌باشند (Hawthorne & Sokolova, 2002). پیوندهای کووالانسی قوی بین گروه‌های هیدروکسی و یون‌های کلرید منجر به یک ساختار مولکولی کریستالی می‌شود (Nguyen et al., 2020). این ساختار مولکولی منحصربه‌فرد، آزادسازی تدریجی مواد معدنی را در طی فرآیند گوارش تسهیل می‌کند و منجر به جذب کارآمدتر و در نتیجه کاهش دفع عناصر می‌شود (M'Sadeq et al., 2018). یکی از عوامل کلیدی مؤثر در افزایش اثربخشی منابع هیدروکسی کلرید این است که تنها مقدار حداقلی از این مواد معدنی در آب حل می‌شود، درحالی‌که می‌توانند در شرایط اسیدی به حلالیت کامل برسند (Pang & Applegate, 2006). به علاوه، گزارش شده است که مواد معدنی به شکل هیدروکسی کلراید با ترکیبات غذایی متصل نمی‌شوند و تشکیل کمپلکس‌های غیرقابل هضم را کاهش می‌دهند (Jiang et al., 2021). با توجه به گزارش‌ها و تحقیقات متنوع قبلی در زمینه مواد معدنی کم‌نیاز، هدف این پژوهش بررسی اثر بازدارندگی منابع و سطوح مختلف عنصر روی بر جذب و ابقاء عناصر مس و منگنز در مرغ تخم‌گذار بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش با ۲۴۰ قطعه مرغ تخم‌گذارهای لاین سویه (W-۳۶) از ۴۰ تا ۵۰ هفتگی به مدت ۱۰ هفته در یک طرح کاملاً تصادفی با هشت تیمار در پنج تکرار و شش پرند در هر واحد آزمایشی انجام شد. سطوح مکمل روی در هر گروه آزمایشی براساس میزان خلوص منبع و توجه به سطح توصیه راهنمای پرورش (۸۰ میلی گرم در کیلوگرم شکل سولفات) محاسبه گردید. سطح روی در جیره پایه ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم بود. گروه‌های آزمایشی برای مقایسه منابع آلی (کیلات روی - متیونین) و غیرآلی (سولفات، و نمک هیدروکسی) روی شامل تیمار ۱- شاهد منفی (بدون مکمل روی)، تیمارهای ۲، ۳ و ۴ به ترتیب شامل جیره شاهد منفی به همراه ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی گرم

آنالیز آماری

نتایج به دست آمده در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بدین منظور از رویه GLM نرم افزار SAS 9.4 نسخه ۲۰۱۵ و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح معنی دار ۰/۰۵ استفاده شد. برای رسم معادله رگرسیونی، ابتدا داده‌ها را در یک نمودار پراکنش (scatter plot) رسم و سپس با استفاده از نرم افزار اکسل، خط رگرسیون را روی نمودار پراکنش ترسیم کرده و معادله آن درج گردید. این خط نشان دهنده بهترین برازش خطی است که داده‌ها را توصیف می‌کند.

نتایج و بحث

پارامترهای عملکرد کمی توده تخم مرغ و تولید گله

نتایج گزارش شده در **جدول ۲** نشان می‌دهد که سطوح و منابع عنصر روی تأثیر معنی داری بر توده تخم مرغ نداشت ($P > 0.05$). همچنین **جدول ۲** نشان می‌دهد که شکل آلی عنصر روی در مقایسه با سطح مشابه با اشکال سولفات دارای تفاوت معنی داری در عملکرد می‌باشد ($P < 0.05$). یافته‌ها نشان می‌دهند که کمترین نرخ تخم گذاری مربوط به شاهد منفی است و مکمل کردن روی با منابع و سطوح مختلف سبب افزایش نرخ تخم گذاری شد.

درصد تخم مرغ‌های شکسته و معیوب

همان طور که در **جدول ۲** گزارش گردید، مکمل کردن خوراک با عنصر روی تأثیر معنی داری بر میزان درصد تخم مرغ‌های شکسته در تیمارها دارد ($P < 0.05$). به طوری که در شاهد منفی، نرخ شکستگی و تخم مرغ معیوب به شکل معنی داری افزایش نشان داد. همچنین تیمار حاوی ۱۶۰ میلی گرم در کیلوگرم مکمل سولفات روی، عملکردی همچون شاهد منفی داشت. کمترین نرخ شکستگی تخم مرغ مربوط به تیمار حاوی ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلرید روی و همچنین کمپلکس آلی روی بود ($P < 0.05$). معادله رگرسیونی در **شکل ۱** نشان می‌دهد که افزایش سطوح مکمل سولفات روی سبب افزایش تخم مرغ معیوب گردید ($P < 0.05$)، در حالی که در مورد سطوح مختلف مکمل هیدروکسی کلرید روی این تفاوت معنی دار نبود ($P > 0.05$).

خون جمع آوری و تا زمان آزمایش‌های سروزوژیکی در دمای ۱۸- درجه سانتی گراد نگهداری شد. برای اندازه گیری میزان عناصر روی، مس و منگنز در سرم، ابتدا دو میلی لیتر نمونه سرم با چهار میلی لیتر اسیدنیتریک برای ایجاد خاکستر تر مخلوط شده، سپس عملیات تبخیر انجام گردید. سپس غلظت عناصر روی، مس و منگنز محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی اندازه گیری شد (Dozier et al., 2003).

زیست‌فراهمی (ابقاء عناصر روی، مس و منگنز)

برای اندازه گیری مقدار عناصر روی، مس و منگنز در عضله سینه، کبد و استخوان درشت‌نی، در پایان آزمایش از هر تکرار یک قطعه مرغ به طور تصادفی انتخاب و کشتار گردید. نمونه کبد با وزن مساوی از دو لب کبد و استخوان درشت‌نی پای راست جدا و پس از جدا کردن رطوبت و چربی، در کوره سوزانده و میزان روی، مس و منگنز آن به وسیله دستگاه Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES Analysis) مورد سنجش قرار گرفت. دستگاه ICP از تکنیک طیف‌سنجی نشری استفاده می‌نماید و به این واقعیت تکیه دارد که الکترون‌های برانگیخته در طول موج تابیده شده انرژی از خود ساطع می‌کنند. این برانگیختگی در دستگاه ICP توسط پلاسمای داغ آرگون انجام می‌شود. میزان شدت انرژی تابیده شده در یک طول موج خاص نسبت مستقیم با غلظت حضور آن عنصر در نمونه مورد آنالیز دارد. با تعیین اینکه کدام عنصر در حال نشر در چه طول موجی است و با اندازه گیری شدت آن، مقدار موجود در نمونه اندازه گیری می‌شود. برای آماده سازی نمونه‌ها، ابتدا نمونه‌ها در اسید هضم شده و سپس برای اندازه گیری مقدار عناصر از دستگاه ICP-OES Analyzer SPECTRO ARCOS ساخت کشور آلمان استفاده گردید (Kumaravel & Alagusundaram, 2014).

ذخیره روی، مس و منگنز در زرده و پوسته سخت تخم مرغ

در پایان آزمایش، از هر تکرار سه عدد تخم مرغ به طور تصادفی انتخاب شده و سفیده از زرده جدا گردید. زرده پس از خشک شدن به وسیله تیز آب سلطانی و اسید کلریدریک هضم شده و غلظت عنصر روی، مس و منگنز به وسیله روش ICP-OES Analysis مطابق با دستورالعمل‌های معمول اندازه گیری گردید. با روش فوق، اندازه گیری عناصر روی، مس و منگنز از کل پوسته سخت تخم مرغ‌ها انجام گرفت (Kumaravel & Alagusundaram, 2014).

جدول ۱- اجزاء و ترکیب جیره پایه

Table 1- Ingredient and Composition of base diet

ماده خوراکی Ingredient	درصد %
دانه ذرت Corn grain	54.44
کنجاله سویا (۴۳ درصد) Soybean meal 43%	22.58
دانه گندم Wheat grain	4
کلسیم کربنات Limestone	10.16
روغن سویا Soybean oil	3.47
سیوس گندم Wheat bran	2.7
دی کلسیم فسفات Dicalcium phosphate	1.54
نمک طعام Common salt (NaCl)	0.39
مکمل ویتامینی ^۱ Vitamin premix ¹	0.25
مکمل معدنی ^۲ Mineral premix ²	0.25
دی ال - متیونین DL-methionine	0.14
لازین Lysine	0.08
آنالیز شیمیایی Calculated analysis	
انرژی متابولیسمی (کیلوکالری در کیلوگرم) Metabolizable energy (kcal/kg)	2835
پروتئین خام (درصد) Crude protein (%)	15.90
کلسیم (درصد) Calcium (%)	4.35
فسفر در دسترس (درصد) Available phosphorus (%)	0.45
سدیم (درصد) Na (%)	0.18
متیونین (درصد) Methionine (%)	0.38
متیونین - سیستئین (درصد) Met + cys (%)	0.65
لازین (درصد) Lysine (%)	0.80
آرژنین (درصد) Arginine (%)	0.90
ترئونین (درصد) Threonine (%)	0.58
روی (میلی گرم در کیلوگرم) Zinc (mg/kg)	30

^۱ ترکیب مکمل ویتامینه برای هر کیلوگرم جیره شامل: ۳۲۰۰۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین A، ۱۳۲۰۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین D₃، ۸۰۰ واحد بین المللی ویتامین E، ۹۸۲ میلی گرم B_{۱۲}، ۵ میلی گرم ویتامین K، ۲۲۰۰ میلی گرم ریبوفلاوین، ۳۲۰۰ میلی گرم نیاسین، ۴۰۰ میلی گرم کلین کلراید، ۲۵۰ میلی گرم بیوتین، ۳ میلی گرم تیامین، ۴ میلی گرم پیریدوکسین.

^۲ ترکیب مکمل معدنی برای هر کیلوگرم جیره پایه شامل: ۷۵ میلی گرم منگنز، ۷۵ میلی گرم آهن، ۵ میلی گرم مس، ۸۰/۰ میلی گرم ید، ۳۰/۰ میلی گرم سلنیوم.

مکمل روی به اشکال مختلف (آلی و غیر آلی) در مقادیر مورد آزمایش به جیره غذایی گروه شاهد منفی اضافه شد.

مقادیر خالص روی در جیره شامل: تیمار T1 جیره شاهد منفی (۳۰ میلی گرم در کیلوگرم، تیمار T2، T5 و T8 حاوی ۵۷/۲ میلی گرم در کیلوگرم، تیمار T3 و T6 حاوی ۷۰/۸ میلی گرم در کیلوگرم و تیمار T4 و T7 حاوی ۸۴/۴ میلی گرم در کیلوگرم است.

¹ Vitamin supplement composition for each kilogram of ration includes 3,000,000 international units of vitamin A, 1,300,000 international units of vitamin D₃, 750 international units of vitamin E, 980 mg of B₁₂, 5 mg of vitamin K, 2000 mg riboflavin, 3000 mg niacin, 4 g choline chloride, 250 mg biotin, 3 mg thiamine, and 4 mg pyridoxine.

² Mineral supplement composition for each kilogram of basic ration includes 75 mg of manganese, 75 mg of iron, 5 mg of copper, 0.76 mg of iodine, and 0.1 mg of selenium.

Zinc supplement in different forms (organic and inorganic) was added to the diet of the control group in the amounts tested.

The net zinc levels in the diet were as follows: T1 (30 mg/kg diet), T2, T5, and T8 contained 57.2 mg/kg, T3 and T6 contained 70.8 mg/kg, and T4 and T7 contained 84.4 mg/kg.

نرخ بقاء در گله

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که نرخ بقاء در گله تحت تأثیر منبع و سطح روی در جیره قرار نگرفت ($P>0.05$). همان‌طور که در جدول ۲ مشخص است، توده تخم‌مرغ تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت و به نظر می‌رسد که پرندۀ با کاهش نرخ تخم‌گذاری در شاهد منفی، سعی در جبران کمبود عنصر روی داشته است. همچنین افزایش توده تخم‌مرغ با توجه به محدودیت‌های بیولوژیکی پرندۀ بیش از آنکه تحت تأثیر عنصر روی باشد از میزان انرژی و پروتئین جیره تأثیر می‌پذیرد. در تأیید این یافته‌ها گزارش شده است که منابع و سطوح مختلف عناصر روی، مس و منگنز بر میزان تولید و وزن تخم‌مرغ در مرغ‌های تخم‌گذار بی‌تأثیر است (Domel et al., 2022; al., 2024). چنان‌که مشخص است، افزایش میزان تخم‌مرغ‌های معیوب و شکسته در شاهد منفی و تیمار حاوی مقادیر ۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم شکل سولفات روی مشهود بود. همچنین در تیمارهای حاوی ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم هیدروکسی کلرید روی و تیمار حاوی منبع آلی مکمل، کاهش شکستگی مشاهده شد. کمبود عنصر روی در شاهد منفی و همچنین افزایش میزان سولفات روی در تیمار حاوی ۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از طریق اثر آنتاگونیستی در جذب سایر کاتیون‌های دو ظرفیتی عناصر معدنی سبب اختلال در روند ساخت پوسته شده‌اند. به نظر می‌رسد که منبع هیدروکسی روی با مسیر جذبی متفاوت از عناصر غیرآلی در دستگاه گوارش، این اثر آنتاگونیستی را ایجاد نکرده است. در نهایت، بهبود کیفیت پوسته با

افزایش مقاومت ناشی از بهبود وضعیت کلسیفیکاسیون بر ماتریس پوسته تخم‌مرغ می‌باشد. به‌طور کلی، عناصر روی و منگنز، استفاده از کلسیم را در مرغ‌های تخم‌گذار افزایش داده و مؤلفه‌های کیفی مقاومت پوسته را بهبود می‌بخشد (Mabe et al., 2003). کمبود عنصر روی از طریق ایجاد ممانعت از فعالیت آنزیم کربونیک آنهیدراز، سبب کاهش یون بی‌کربنات و در نتیجه افزایش میزان تخم‌مرغ‌های بدون پوسته یا با پوسته شکسته و معیوب می‌گردد (Mabe et al., Nys et al., 2001; Moreng et al., 1992). نتایج گزارش‌شده مؤید یافته‌های مورنگ و همکاران (2003) بود که بیان کردند، اضافه کردن مکمل عنصر روی با منشأ آلی سبب بهبود شاخص‌های کیفی پوسته می‌شود. همان‌طور که در جدول ۲ مشخص است، نرخ ماندگاری در گله تحت تأثیر تیمارهای مختلف قرار نگرفت. به نظر می‌رسد که بروز تلفات حاصل از کمبود عنصر روی به مدت زمان بیشتری از محرومیت از این عنصر نیاز دارد. با افزایش سن، توانایی جذب مواد معدنی در دستگاه گوارش کاهش یافته و از سوی دیگر، نیاز به عنصر روی با افزایش اندازه تخم‌مرغ افزایش می‌یابد، انتظار می‌رود با کاهش ذخیره عنصر روی در بافت استخوانی تیمار ۱ (فاقد مکمل روی)، شاهد تفاوت بین تیمارها باشیم. در راستای این یافته‌ها، هادسون و همکاران (Hudson et al., 2004) بیان داشتند که عنصر روی از طریق بهبود در سیستم ایمنی و کاهش تنش‌های اکسیداتیو سبب افزایش نرخ زنده‌مانی در جوجه‌های گوشتی گردید.

جدول ۲- اثر منابع و سطوح مختلف عنصر روی بر عملکرد کمی مرغ تخم‌گذار

Table 2- The effect of different sources and levels of zinc on the quantitative performance of laying hens

تیمار ^۱ Treatment ¹	متغیر Variable			
	توده تخم‌مرغ (گرم/مرغ/روز) Egg mass (g/hen/day)	نرخ تخم‌گذاری (درصد) Laying rate (%)	تخم‌مرغ معیوب (درصد) Broken eggs (%)	نرخ زنده‌مانی (درصد) Durability (%)
T1	56.25	87.22 ^b	1.56 ^c	91
T2	55.17	91.23 ^a	0.84 ^{bc}	94
T3	56.58	92.64 ^a	0.79 ^b	97
T4	56.48	90.50 ^a	1.39 ^c	94
T5	56.93	91.71 ^a	0.76 ^b	97
T6	58.69	92.39 ^a	0.57 ^a	94
T7	57.28	92.61 ^a	0.62 ^a	97
T8	56.87	91.74 ^a	0.65 ^a	97
SEM	0.726	0.24	0.039	0.35
P-value	0.0576	0.0082	0.0357	0.7684

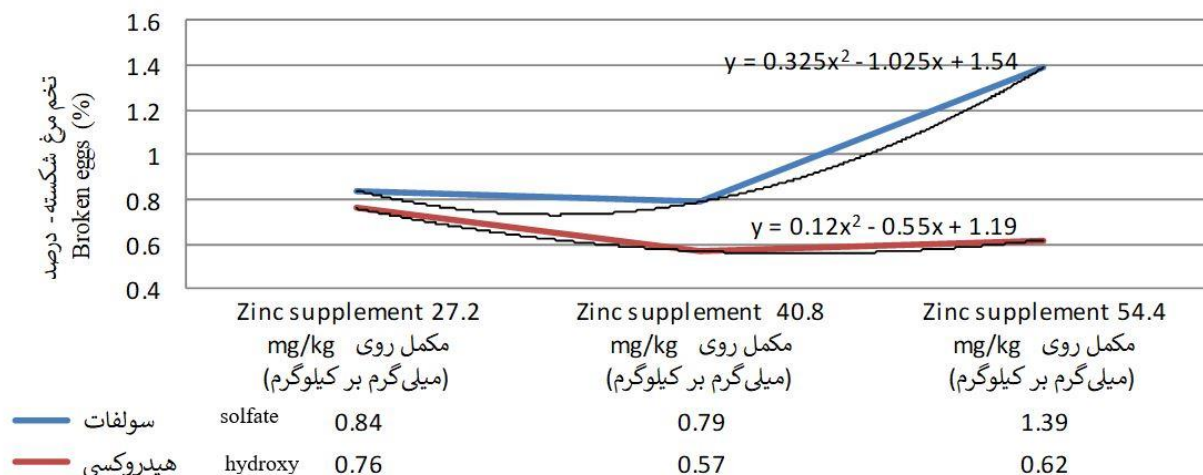
^۱ تیمارهای آزمایشی شامل ۱- شاهد منفی (بدون مکمل روی)، تیمار ۲، ۳ و ۴ به ترتیب شامل جیره شاهد منفی + ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات، تیمار ۵، ۶ و ۷ به ترتیب شامل - جیره شاهد منفی + ۷۵، ۱۰۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلرید روی و تیمار ۸ شامل جیره شاهد + ۱۲۴ میلی‌گرم در کیلوگرم کمپلکس روی - متیونین است. در هر ستون میانگین‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند ($P>0.05$).

SEM: خطای استاندارد میانگین

¹The experimental treatments included: T1- negative control (without zinc supplementation), treatments T2, T3 and T4, respectively, included negative control diet + 80, 120 and 160 mg/kg zinc sulfate, and treatments T5, T6 and T7, respectively, included negative control diet + 50, 75 and 100 mg/kg hydroxychloride, and T8, including negative control diet + 124 mg/kg zinc-methionine complex.

a,b,c: Within columns, mean values with common superscript (s) are not different ($P>0.05$).

Standard error of the mean (SEM).



شکل ۱- معادله رگرسیونی تخم مرغ معیوب و شکسته
Figure 1 - Regression equation for defective and broken eggs

معنی دار ذخیره مس در بافت مشاهده شد. نتایج این پژوهش در توافق یافته‌های است که بیان می‌دارد، سطح روی در عضله سینه و درشتی وابسته به نوع منبع و سطوح آن در جیره است، به‌طوری‌که با افزایش عنصر روی در جیره، ذخیره آن در بافت افزایش می‌یابد. این افزایش در شکل آلی به دلیل سازوکار جذب اختصاصی عنصر کیلات شده با پیتید آلی بیشتر است (Afshar Bakeshlo et al., 2022). با در نظر گرفتن سطح خلوص عنصر مشخص گردید که کمپلکس روی- متیونین سبب افزایش عنصر روی در عضله سینه می‌گردد. در گزارشی بیان شد که دلیل این اختلاف در زیست‌فراهمی به دلیل سازوکار جذب متفاوت بین دو شکل سولفات و منبع آلی می‌باشد (Jahanian et al., 2008). در زمان استفاده از منبع آلی، نیاز به مکمل عنصر روی کاهش می‌یابد و عدم توجه به این موضوع می‌تواند سبب بروز اختلال در جذب مس به دلیل سازوکار آنتاگونیستی این دو عنصر گردد.

ذخیره عناصر در کبد

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که سطوح روی و مس به شکل معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار داشت ($P < 0.05$)، به‌طوری‌که بیشترین مقدار روی مربوط به سطوح مختلف هیدروکسی و شکل آلی روی- متیونین بود. مقدار مس در کبد با سطوح مختلف سولفات روی همبستگی منفی داشت ($P < 0.05$). چنان‌که با افزایش میزان سولفات روی، کاهش مقدار ذخیره مس در کبد مشاهده شد ($P < 0.05$). این تفاوت در سطوح مختلف شکل هیدروکسی معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). مقدار منگنز در کبد تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت ($P > 0.05$). کبد به‌عنوان یکی از فعال‌ترین اعضا در بدن مرغ

با توجه به نقش متابولیسمی روی در بدن و مخاطرات زیست محیطی دفع روی در فضولات طیور، توصیه‌های مبنی بر استفاده از منابع با زیست‌فراهمی بالاتر صورت می‌پذیرد. از طرفی دیگر، سبک زندگی مدرن یک عامل تشدیدکننده در کاهش دسترسی به این عنصر است.

ابقاء عناصر روی، مس و منگنز در ماهیچه سینه

نتایج مربوط به ابقاء عناصر روی، مس و منگنز در ماهیچه سینه در جدول ۳ گزارش شده است. همان‌طور که مشخص است، سطوح و منابع مختلف عنصر روی بر ذخیره آن و عنصر مس تأثیر معنی‌داری دارد ($P < 0.05$)، ولی سطح عنصر منگنز تحت تأثیر تیمارها قرار نگرفت ($P > 0.05$). بیشترین سطح ذخیره روی مربوط تیمار به ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلراید و تیمار آلی روی- متیونین بود. افزودن سطوح مختلف سولفات روی سبب کاهش سطح ذخیره مس در ماهیچه سینه گردید ($P < 0.05$). نتایج ذخیره روی در عضله سینه نشان داد که با افزایش سطوح مکمل روی به جیره، ذخیره آن به‌طور خطی افزایش یافت. این تغییرات تحت تأثیر زیست‌فراهمی منابع و سطوح مختلف آن است، چنان‌که در درشتی نیز مشخص است، ذخیره عنصر روی به‌شدت متأثر از سطوح و نوع منبع آن قرار دارد. بنابراین شاخص ذخیره روی در درشتی، معیار بهتری برای سنجش زیست‌فراهمی آن در بدن است.

مشخص گردید که با افزایش روی در جیره، سطح ذخیره‌ای مس عضله سینه کاهش یافته و همبستگی منفی از خود نشان می‌دهد، به‌طوری‌که با افزایش سطوح ۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم شکل سولفات و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم شکل هیدروکسی، کاهش

در استخوان درشتنی جوجه گوشتی تابعی از نوع منبع و سطح آن در جیره می‌باشد، به‌طوری‌که ذرات به‌شکل نانو سبب ابقاء بیشتر عنصر روی نسبت به شکل سولفات آن در درشتنی می‌گردد (Araújo et al., 2019; Mohammadi et al., 2015; Fatima et al., 2024). یافته‌های شکل ۲ نشان می‌دهد که با افزایش سطح روی به‌شکل سولفات، میزان مس ابقاء‌شده در استخوان درشتنی کاهش می‌یابد ($P < 0.05$). در گزارشی بیان شد که عناصر معدنی دو ظرفیتی با اثرات آنتاگونیستی می‌تواند بر جذب سایر مواد معدنی مؤثر باشد (Yang et al., 2021).

سطوح عناصر معدنی در زرده تخم‌مرغ

همان‌طور که در یافته‌های مندرج در جدول ۳ قابل مشاهده است، در این آزمایش مقدار ابقاء عنصر تابعی از سطح و نوع منبع آن بود. بیشترین مقدار عنصر در زرده مربوط به تیمار هیدروکسی‌کلرید روی به‌میزان ۱۰۰ میلی‌گرم می‌باشد ($P < 0.05$). چنان‌که در شکل ۳ در مقایسه سطوح مختلف روی با منابع سولفات و هیدروکسی‌کلرید، بیشترین مقدار در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلرید روی مشاهده گردید و در مقایسه با سطوح مشابه سطح ابقاء عنصر روی در شکل هیدروکسی به‌شکل معنی‌داری بالاتر بود ($P < 0.05$). همچنین افزایش میزان عنصر روی در شکل سولفات سبب کاهش معنی‌دار میزان ابقاء مس در محتویات تخم‌مرغ گردید ($P < 0.05$). در مورد امکان غنی‌سازی تخم‌مرغ به‌وسیله افزودن عنصر روی به جیره نتایج به‌دست‌آمده با گزارشی که به مقایسه اثر اکسید روی و کیلات آلی روی - متیونین بر عملکرد، کیفیت تخم‌مرغ و زیست‌فراهمی در مرغ تخم‌گذار پرداخت، هم‌خوانی داشت. پژوهشگران بیان داشتند که مکمل کردن روی در جیره مرغ تخم‌گذار تأثیر معنی‌داری بر میزان ذخیره روی در تخم‌مرغ دارد (Behjatian et al., 2021; Esfahani et al., 2021; Megha et al., 2021). نتایج به‌دست آمده در پژوهشی که با موضوع تأثیر استفاده از منابع و سطوح مختلف روی بر غنی‌سازی تخم‌مرغ منتشر گردید، بیان داشتند که سطوح مختلف عنصر روی در خوراک بر میزان ذخیره آن در تخم‌مرغ تأثیر معنی‌دار دارد، به‌طوری‌که بیشترین میزان ذخیره مربوط به سطح ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از عنصر روی با شکل آلی می‌باشد (Bahakaim et al., 2014). افزودن یک یا چند ماده مغذی ضروری به مواد غذایی در سطوحی بالاتر از آنچه که به‌طور طبیعی در آن ممکن است وجود داشته یا نداشته باشد را غنی‌سازی (Fortification) گویند، این عمل به منظور پیشگیری یا جبران کمبود ناشی از یک یا چند ماده مغذی در کل جامعه و یا گروه‌های خاصی از جمعیت صورت می‌پذیرد.

تخم‌گذار، نقش مهمی در ذخیره عنصر روی دارد. البته همان‌طور که مشخص است، منبع اصلی ذخیره عنصر روی بافت استخوان است، اما ذخیره روی در کبد می‌تواند به‌عنوان منبع اولیه تأمین نیاز به‌طور محدود مطرح باشد. افزایش سطوح سولفات روی سبب کاهش ذخیره مس در کبد گردید، این موضوع می‌تواند ناشی از اثر آنتاگونیستی بین سولفات روی و مس در جذب توسط روده می‌باشد. این نتایج در توافق با یافته‌های دیگر محققان است که بیان داشتند افزایش میزان روی در جیره جوجه‌های گوشتی سبب هایپرتروفی کبد و احتباس آب ناشی از عدم تعادل الکترولیتی و کاهش یون کلسیم می‌گردد (Khanam, 2020).

سطوح عناصر روی، مس و منگنز در سرم خونی و استخوان درشتنی

در مورد عناصر روی، مس و منگنز در سرم خون و خاکستر درشتنی نتایج هم‌سویی مشاهده شد. سطح عنصر روی در خون و ابقاء آن در استخوان درشتنی تحت تأثیر منابع و سطوح مختلف عنصر روی قرار داشت ($P < 0.05$). شاهد منفی (فاقد مکمل روی) کمترین مقدار روی را در درشتنی نشان داد. با افزایش روی با منبع سولفات، افزایش ذخیره آن در درشتنی مشاهده گردید. از سوی دیگر، بیشترین مقدار مربوط به تیمار هیدروکسی‌کلرید روی در سطوح ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و کمپلکس آلی روی - متیونین بود ($P < 0.05$). همچنین افزایش سطوح روی به‌شکل سولفات سبب کاهش میزان جذب مس گردید ($P < 0.05$). در مورد میزان منگنز تفاوت بین تیمارها معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). یکی از راهکارهای مشخص نمودن زیست‌فراهمی عناصر معدنی، بررسی ذخایر این عناصر در میزان خاکستر استخوان درشتنی می‌باشد (Smiricky-Tjardes et al., 2024). احتمالاً کیلات روی - متیونین به‌دلیل مسیر متفاوت جذب در بدن دارای زیست‌فراهمی بالاتری نسبت به منابع غیرآلی است. به نظر می‌رسد که ترکیب هیدروکسی‌کلرید روی به‌دلیل پایداری بیشتر در قسمت‌های بالای دستگاه گوارش، از دسترس فیتات در امان مانده و قادر است که در نواحی پایین‌تر دستگاه گوارش جذب گردد. مقادیر ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم هیدروکسی‌کلرید روی سبب کاهش برداشت از ذخایر استخوانی در پیک تولید و ابقاء عنصر در ساختمان استخوانی پرنده گردید ($P < 0.05$). تیمارهای حاوی سطوح مختلف سولفات روی و تیمار حاوی ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی‌کلریدی مشابه داشته و کمترین میزان روی مربوط به شاهد منفی بود ($P < 0.05$). در توافق با این یافته‌ها، گزارشی بیان داشت که با افزایش سطح سولفات روی در مکمل جوجه گوشتی، سطح ذخیره آن در استخوان درشتنی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Tayebi Pour et al., 2025; Kumar et al., 2021).

سطوح روی، مس و منگنز در پوسته سخت

با توجه به داده‌های جدول ۳، میزان ابقاء این عناصر (روی، مس و منگنز) در پوست سخت تخم‌مرغ در تیمارها تحت تأثیر نوع مکمل روی قرار نگرفت. علی‌رغم وجود تفاوت از لحاظ عددی، این تفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ($P>0.05$). پوسته سخت تخم‌مرغ به‌عنوان بخشی از ساختار ذخیره عناصر معدنی مطرح است. نشان داده شده که

با افزایش زیست‌فراهمی یک عنصر، میزان ذخیره آن در ساختمان پوسته سخت افزایش یافت (Zhang et al., 2021). نتایج این پژوهش در توافق با یافته‌های سایر محققان است که بیان داشتند منابع با زیست‌فراهمی بالاتر سبب ابقاء روی در پوسته سخت تخم‌مرغ در مرغ‌های تخم‌گذار تحت تنش حرارتی گردید (Idowu et al., 2011).

جدول ۳- اثر منابع و سطوح مختلف عنصر روی بر ابقاء عناصر روی، مس و منگنز در مرغ تخم‌گذار

Table 3- The effect of different sources and levels of zinc on the retention of zinc, copper, and manganese in laying hens

تیمار Treatment	متغیر Variable								
	عضله سینه (میلی گرم در کیلوگرم)			کبد (میلی گرم در کیلوگرم)			سرم خون		
	Breast (mg/kg)			Liver (mg/kg)			Blood serum		
	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn
T1	24.54 ^c	1.99 ^a	0.11	49.68 ^c	6.54 ^{ab}	2.43	1.52 ^c	30.65	3.914
T2	28.58 ^b	1.64 ^{ab}	0.08	57.47 ^b	5.93 ^{ab}	2.11	1.95 ^b	32.48	4.084
T3	31.62 ^{ab}	1.42 ^{ab}	0.07	61.26 ^b	4.61 ^b	1.34	1.96 ^b	34.97	4.072
T4	30.59 ^{ab}	1.17 ^b	0.06	55.11 ^b	7.28 ^{ab}	3.02	1.90 ^b	38.18	5.117
T5	29.68 ^{ab}	1.85 ^{ab}	0.07	74.94 ^a	8.26 ^a	2.86	1.99 ^b	40.46	4.125
T6	34.23 ^a	1.73 ^{ab}	0.09	69.37 ^{ab}	7.76 ^{ab}	2.67	2.31 ^a	42.73	4.127
T7	35.85 ^a	1.69 ^{ab}	0.10	76.18 ^a	9.27 ^a	3.35	2.34 ^a	39.28	4.128
T8	33.94 ^a	1.82 ^{ab}	0.09	72.54 ^a	8.84 ^a	3.66	2.24 ^a	38.43	5.130
SEM	0.487	0.032	0.004	2.17	0.485	0.091	0.058	0.146	0.124
P-value	0.03254	0.0057	0.0781	0.0029	0.0063	0.0712	0.0442	0.0914	0.999

تیمار Treatment	متغیر Variable								
	درشت نی (میلی گرم در کیلوگرم)			زرده (میلی گرم در کیلوگرم)			پوسته تخم‌مرغ (میلی گرم در کیلوگرم)		
	Tibia (mg/kg)			Yolk (mg/kg)			Eggshell (mg/kg)		
	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn
T1	125 ^c	2.82 ^{ab}	4.91	27.93 ^c	3.46 ^a	0.797	2.56	2.87	1.420
T2	136 ^{bc}	2.61 ^b	4.75	31.53 ^c	3.01 ^a	0.845	3.24	2.42	1.638
T3	150 ^{bc}	2.54 ^{bc}	4.13	30.00 ^c	2.84 ^{ab}	0.784	3.03	2.53	1.334
T4	163 ^{bc}	2.39 ^c	5.48	29.60 ^c	2.57 ^b	0.813	3.14	2.04	1.236
T5	186 ^b	2.97 ^{ab}	5.73	30.73 ^c	3.25 ^a	0.852	3.17	2.67	1.543
T6	277 ^a	2.99 ^{ab}	6.92	41.47 ^b	3.34 ^a	0.911	3.56	2.49	1.841
T7	299 ^a	3.02 ^a	6.07	49.33 ^a	3.42 ^a	0.849	4.36	2.78	1.645
T8	275 ^a	3.01 ^a	5.73	41.20 ^b	3.17 ^a	0.833	3.28	2.36	1.746
SEM	3.52	0.142	0.093	0.938	0.164	0.064	0.203	0.112	0.017
P-value	0.001	0.0491	0.990	0.0001	0.0258	0.9612	0.9665	0.7512	0.8892

تیمارهای آزمایشی شامل ۱- شاهد منفی (بدون مکمل روی)، تیمار ۲، ۳ و ۴ به‌ترتیب شامل جیره شاهد منفی + ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سولفات، تیمار ۵، ۶ و ۷ به‌ترتیب شامل- جیره شاهد منفی + ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلرید روی و تیمار ۸ شامل جیره شاهد + ۱۲۴ میلی‌گرم در کیلوگرم کمپلکس روی- متیونین است.

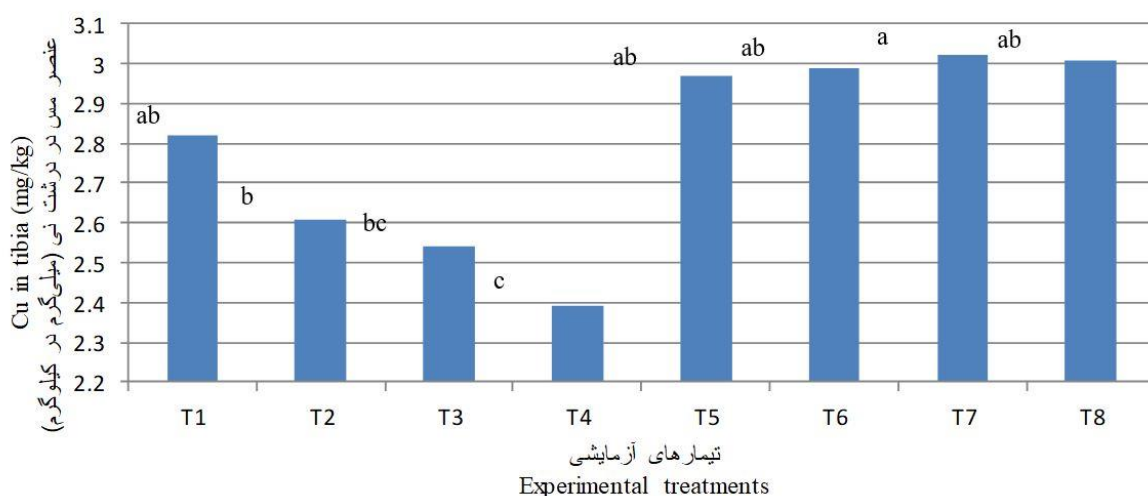
در هر ستون میانگین‌ها با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری ندارند ($P>0.05$).

SEM: خطای استاندارد میانگین

The experimental treatments included: T1- negative control (without zinc supplementation), treatments T2, T3 and T4, respectively, included negative control diet + 80, 120 and 160 mg/kg zinc sulfate, and treatments T5, T6 and T7, respectively, included negative control diet + 50, 75 and 100 mg/kg hydroxychloride, and T8, including negative control diet + 124 mg/kg zinc-methionine complex.

a,b,c: Within columns, mean values with common superscript (s) are not different ($P>0.05$).

Standard error of the mean (SEM)

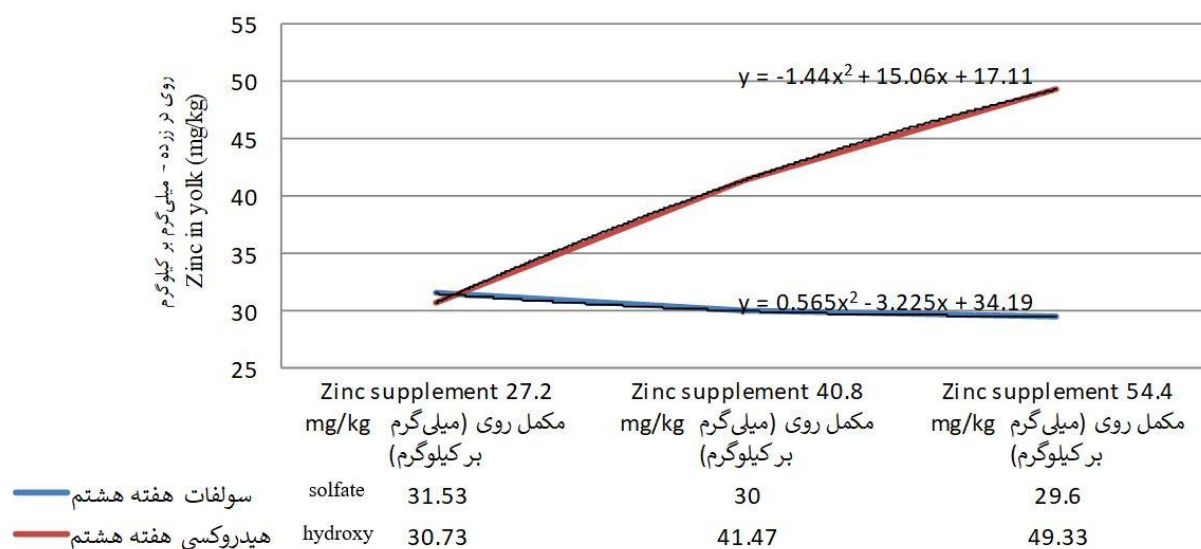


شکل ۲- ابقا عنصر مس در درشت نی مرغ تخمگذار (میلی گرم در کیلوگرم)

Figure 2 - Copper element retention in laying hen tibia (mg/kg)

تیمارهای آزمایشی شامل، ۱- شاهد منفی (بدون مکمل روی)، تیمار ۲، ۳ و ۴ به ترتیب شامل جیره شاهد منفی + ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی گرم در کیلوگرم سولفات روی با خلوص ۳۴ درصد، و تیمار ۵، ۶ و ۷ به ترتیب شامل- جیره شاهد منفی + ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلرید روی و تیمار ۸ شامل جیره شاهد + ۱۲۴ میلی گرم در کیلوگرم کمپلکس روی-متیونین

The experimental treatments included: 1- negative control (without zinc supplementation), treatments 2, 3 and 4, respectively, included negative control diet + 80, 120 and 160 mg/kg zinc sulfate, and treatments 5, 6 and 7, respectively, included negative control diet + 50, 75 and 100 mg/kg hydroxychloride, and treatment 8, including negative control diet + 124 mg/kg zinc-methionine complex.



شکل ۳- معادله رگرسیونی ذخیره روی در تخم مرغ در هفته هشتم

Figure 3 - Regression equation of zinc storage in eggs in the eighth week

قابلیت ابقای بیشتر در بدن پرند، به عنوان یک راهبرد مؤثر برای غنی سازی تولیدات دامی مطرح است. در این مطالعه، منابع غیرآلی مرسوم (مانند سولفات روی) با ایجاد تداخل در جذب مس، پیامدهای

نتیجه گیری کلی

با توجه به نتایج، استفاده از منابع روی با زیست فراهمی بالا و

شاخص ذخیره‌سازی روی در تخم‌مرغ و ارتقای پاسخ بیولوژیکی پرنده، استفاده از سطح ۷۵ میلی گرم در کیلوگرم هیدروکسی کلرید روی در جیره توصیه می‌شود.

بیولوژیک منفی نشان دادند و منابع آلی نیز با وجود مطلوبیت، با هزینه تولید بالا و دشواری تأمین همراه بودند. در این میان، هیدروکسی کلرید روی به عنوان یک منبع غیرآلی با زیست‌فراهمی بهبودیافته، توانست تعادل بهتری ایجاد کند. بنابراین، به منظور بهبود

References

1. Afshar Bakeshlo, A., Ahmadipour, B., Khajali, F., & Pirany, N. (2024). Comparative effects of zinc hydroxy chloride, zinc sulfate, and zinc-methionine on egg quality and quantity traits in laying hens. *Animal Science Journal*, 95, e13996. <https://doi.org/10.1111/asj.13996>
2. Akbari Moghaddam Kakhki, R., Alfonso-Carrillo, C., & Garcia-Ruiz, A. I. (2024). Comparative impact of hydroxychloride and organic sources of manganese, zinc, and copper in rearing diets on pullet growth, tibia traits, egg production, and eggshell quality in lohmann brown birds up to 50 weeks of age. *Veterinary Sciences*, 11(6), 245. <https://doi.org/10.3390/vetsci11060245>
3. AOAC, M. (1990). Association of official analytical chemists. Official methods of analysis. *AOAC:Off Methods Anal*, 1, 69-90.
4. Araújo, C. S. D. S., Hermes, R., Bittencourt, L. C., Silva, C., Araújo, L. F., Granghelli, C. A., Pelissari, P. H., Roque, F. d. A., & Leite, B. G. d. S. (2019). Different dietary trace mineral sources for broiler breeders and their progenies. *Poultry Science*, 98(10), 4716-472. <https://doi.org/10.3382/ps/pez182>
5. Bahakaim, A., Abdel Magied, H., Osman, S., Omar, A., Abdelmalak, N., & Ramadan, N. (2014). Effect of using different levels and sources of zinc in layer's diets on egg zinc enrichment. *Egyptian Poultry Science Journal*, 34(1), 39-56. <https://doi.org/10.21608/epsj.2014.5305>
6. Bao, Y., Choct, M., Iji, P., & Bruerton, K. (2007). Effect of organically complexed copper, iron, manganese, and zinc on broiler performance, mineral excretion, and accumulation in tissues. *Journal of Applied Poultry Research*, 16(3), 448-455. <https://doi.org/10.1093/japr/16.3.448>
7. Behjatian Esfahani, M., Moravej, H., Ghaffarzadeh, M., & Nehzati Paghaleh, G. A. (2021). Comparison the Zn-threonine, Zn-methionine, and Zn oxide on performance, egg quality, Zn bioavailability, and Zn content in egg and excreta of laying hens. *Biological Trace Element Research*, 199(1), 292-304. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02141-8>
8. Chen, X., Ma, X. M., Yang, C. W., Jiang, S. Z., Huang, L. B., Li, Y., Zhang, F., Jiao, N., & Yang, W. R. (2022). Low level of dietary organic trace elements improve the eggshell strength, trace element utilization, and intestinal function in late-phase laying hens. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 903615. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.903615>
9. Domel, J. R., House, G. M., Sobotik, E. B., & Archer, G. S. (2024). Evaluation of egg quality and performance in late-lay hens fed different combinations of copper, manganese, and zinc complexed with sulfate or amino acid ion. *Poultry*, 3(1), 36-46. <https://doi.org/10.3390/poultry3010004>
10. Dozier III, W. A., Davis, A. J., Freeman, M. E., & Ward, T. L. (2003). Early growth and environmental implications of dietary zinc and copper concentrations and sources of broiler chicks. *British Poultry Science*, 44(5), 726-731. <https://doi.org/10.1080/00071660310001643714>
11. Elaroussi, M. A., Forte, L. R., Eber, S. L., & Biellier, H. V. (1994). Calcium homeostasis in the laying hen.: 1. Age and dietary calcium effects. *Poultry Science*, 73(10), 1581-1589. <https://doi.org/10.3382/ps.0731581>
12. Farzinpour, A., Mohammadi, Z., & Alibakhshi, R. (2025). Effect of supplementing diet with nanofertile on egg production performance in post-peak laying hens. *Veterinary Research & Biological Products*, 38(2), 41-52. <https://doi.org/10.22092/vj.2025.367657.2193>
13. Fatima, A., Zaheer, T., Pal, K., Abbas, R. Z., Akhtar, T., Ali, S., & Mahmood, M. S. (2024). Zinc oxide nanoparticles significant role in poultry and novel toxicological mechanisms. *Biological Trace Element Research*, 202(1), 268-290. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-03651-x>
14. Hawthorne, F. C., & Sokolova, E. (2002). Simonkolleite, Zn~5(OH)~8Cl~2(H~2O), a decorated interrupted-sheet structure of the form [Mphi~2]~4. *Canadian Mineralogist*, 40(3), 939-946. <https://doi.org/10.3749/gscanmin.40.3.939>
15. Hu, Y., Wang, C., Wu, W., Qu, Y., Zhang, W., Li, D., Zhu, L., Gao, F., Wu, B., & Zhang, L. (2022). Organic zinc with moderate chelation strength enhances zinc absorption in the small intestine and expression of related transporters in the duodenum of broilers. *Frontiers in Physiology*, 13, 952941. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.952941>
16. Hudson, B., Dozier III, W., Fairchild, B., Wilson, J., Sander, J., & Ward, T. (2004). Live performance and immune responses of straight-run broilers: Influences of zinc source in broiler breeder hen and progeny diets and ambient

- temperature during the broiler production period. *Journal of Applied Poultry Research*, 13(2), 291-301. <https://doi.org/10.1093/japr/13.2.291>
17. Idowu, O., Ajuwon, R., Oso, A., & Akinloye, O. (2011). Effects of zinc supplementation on laying performance, serum chemistry and Zn residue in tibia bone, liver, excreta and egg shell of laying hens. *International Journal of Poultry Science*, 10(3), 225-230 <https://doi.org/10.3923/ijps.2011.225.230>
18. Jahanian, R., Moghaddam, H. N., & Rezaei, A. (2008). Improved broiler chick performance by dietary supplementation of organic zinc sources. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 21(9), 1348-1354. <https://doi.org/10.5713/ajas.2008.70699>
19. Jiang, Q., Sun, J., He, Y., Ma, Y., Zhang, B., Han, Y., & Wu, Y. (2021). Hydroxychloride trace elements improved eggshell quality partly by modulating uterus histological structure and inflammatory cytokines expression in aged laying hens. *Poultry Science*, 100(11), 101453. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101453>
20. Khanam, S. (2020). Toxicological effect of zinc on liver of broiler chicks. *Egyptian Liver Journal*, 10(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s43066-020-00028-w>
21. Kumar, A., Hosseindoust, A., Kim, M., Kim, K., Choi, Y., Lee, S., Lee, S., Lee, J., Cho, H., Kang, W. S., & Chae, B. (2021). Nano-sized zinc in broiler chickens: Effects on growth performance, zinc concentration in organs, and intestinal morphology. *The Journal of Poultry Science*, 58(1), 21-29. <https://doi.org/10.2141/jpsa.0190115>
22. Kumaravel, S., & Alagusundaram, K. (2014). Determination of mineral content in Indian spices by ICP-OES. *Oriental Journal of Chemistry*, 30, 631-636. <https://dx.doi.org/10.13005/ojc/300231>
23. LEESON, S. (2005) Trace mineral requirements of poultry-validity of the NRC recommendations, in: TAYLOR-PICKARD, J.A. & TUCKER, L.A. (Eds) Re-defining Mineral Nutrition, pp. 107-117 (Nottingham, Nottingham University Press).
24. M'Sadeq, S. A., Wu, S. B., Choct, M., & Swick, R. A. (2018). Influence of trace mineral sources on broiler performance, lymphoid organ weights, apparent digestibility, and bone mineralization. *Poultry Science*, 97(9), 3176-3182. <https://doi.org/10.3382/ps/pey197>
25. Mabe, I., Rapp, C., Bain, M., & Nys, Y. (2003). Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese, copper, and zinc from organic or inorganic sources improves eggshell quality in aged laying hens. *Poultry Science*, 82(12), 1903-1913. <https://doi.org/10.1093/ps/82.12.1903>
26. Megha, P., Ramnath, V., Raji, K., Babitha, V., & Chacko, B. (2021). Production of zinc enriched designer eggs through dietary supplementation. *Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 52(1), 77-80. <https://doi.org/10.51966/jvas.2021.52.1.77-80>
27. Mézes, M., Erdélyi, M., & Balogh, K. (2012). Deposition of organic trace metal complexes as feed additives in farm animals. *European Chemical Bulletin*, 1(10), 410-413. <https://doi.org/10.17628/ECB.2012.1.410-413>
28. Mohammadi, V., Ghazanfari, S., Mohammadi-Sangcheshmeh, A., & Nazaran, M. H. (2015). Comparative effects of zinc-nano complexes, zinc-sulphate and zinc-methionine on performance in broiler chickens. *British Poultry Science*, 56(4), 486-493. <https://doi.org/10.1080/00071668.2015.1064093>
29. Moreng, R., Balnave, D., & Zhang, D. (1992). Dietary zinc methionine effect on eggshell quality of hens drinking saline water. *Poultry Science*, 71(7), 1163-1167. <https://doi.org/10.3382/ps.0711163>
30. Nguyen, H., Morgan, N., Roberts, J., Swick, R., & Toghyani, M. (2020). Copper hydroxychloride is more efficacious than copper sulfate in improving broiler chicken's growth performance, both at nutritional and growth-promoting levels. *Poultry Science*, 99(12), 6964-6973. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.053>
31. Nys, Y., Gautron, J., McKee, M., Garcia-Ruiz, J., & Hincke, M. (2001). Biochemical and functional characterisation of eggshell matrix proteins in hens. *World's Poultry Science Journal*, 57(4), 401-413. <https://doi.org/10.1079/WPS20010029>
32. Pang, Y., & Applegate, T. J. (2006). Effects of copper source and concentration on in vitro phytate phosphorus hydrolysis by phytase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(5), 1792-1796. <https://doi.org/10.1021/jf052053b>
33. SAS. 2015. SAS User's Guide: Statistics. Version 9.4 Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC.
34. Smiricky-Tjardes, M., Utterback, P., Blair, J., Drysdale, R., Hack, A., Cristobal, M., Glende, J., Parsons, B., & Parsons, C. (2024). Research note: Relative bioavailability of zinc in zinc hydroxychloride for chicks. *Poultry Science*, 103(2), 103315. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103315>
35. Tayebi Pour, A., Majidzadeh Heravi, R., & Kermanshahi, H. (2025). Investigating the effects of different sources and levels of zinc, copper, manganese, and iron on the performance, blood parameters, and tibia characteristics of broiler chickens during the grower and finisher periods. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 17(1), 49-61. <https://doi.org/10.22067/ijasr.2024.88496.1204>
36. Tom Dieck, H., Döring, F., Roth, H. P., & Daniel, H. (2003). Changes in rat hepatic gene expression in response to zinc deficiency as assessed by DNA arrays. *The Journal of Nutrition*, 133(4), 1004-1010. <https://doi.org/10.1093/jn/133.4.1004>
37. Yang, K., Hu, S., Mu, R., Qing, Y., Xie, L., Zhou, L., Ajuwon, K. M., & Fang, R. (2021). Effects of different

- patterns and sources of trace elements on laying performance, tissue mineral deposition, and fecal excretion in laying hens. *Animals*, 11(4), 1164. <https://doi.org/10.3390/ani11041164>
38. Zhang, K. K., Han, M. M., Dong, Y. Y., Miao, Z. Q., Zhang, J. Z., Song, X. Y., Feng, Y., Li, H. F., Zhang, L. H., Wei, Q. Y., Xu, J. P., Gu, D. C., & Li, J. H. (2021). Low levels of organic compound trace elements improve the eggshell quality, antioxidant capacity, immune function, and mineral deposition of aged laying hens. *Animal*, 15(12), 100401. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100401>

Contents

Ruminant Nutrition

- Comparison of Economic Efficiency and Growth Performance in Baluchi Fattening Lambs Fed Diets Containing High Levels of Whole and Processed Corn versus Whole Barley Grain** 361
Abdul Ghafour Sheikh Jami, Reza Valizadeh, Marzieh Hajmohammadi, Abbasali Naserian
- Effects of Replacing Alfalfa with Different Levels of Camelthorn (*Alhagi maurorum*) on Digestibility and Ruminal Parameters in Arabian Lambs** 375
Mohammad Javad Khosravi, Yadollah Chashnidel, Asdollah Teymouri Yanesari, Radman Bakhtiari

Poultry Nutrition

- Comparison Two Models of Nonlinear Support Vector Mathematical and Cubic Linear Model to Evaluate the Growth Performance, Blood Biochemical Indexes, and Immunity of Broilers Fed with *Capparis spinosa* L. Fruit Powder** 389
Zohreh Seyedi, Seyyed Javad Hosseini-Vashan, Mohammad Ghasem Akbari
- Comparative Effects of Encapsulated and Free Amino Acids on Growth Performance, Blood Biochemical Parameters, and Antibody Titers against Avian Influenza and Newcastle Disease in Arian Broiler Chickens** 409
Seyed Fatemeh Hosseini Darbarzi, Somayeh Farahmand, Seyed Abdollah Hosseini
- Effect of Nano-Encapsulated *Trachyspermum ammi* Essential Oil on Performance and Blood Biochemical Parameters of Broiler Chickens Fed Wheat Based Diets** 427
Shokoufe Ghazanfari, Cyrus Akbari Shadbad, Amir Meimandipour, Seyed Abdollah Hosseini, Shirin Honarbakhsh
- Effects of Adding the Microalgae *Spirulina platensis* to Diets Containing Flaxseed oil on Performance, Antioxidant Status, and Blood Lipid Parameters of Aged Laying Hens** 447
Javad Ghanouni Bostanabad, Sayed Ali Mirghelenj, Mohsen Daneshyar, Ali Hashemi, Sina Payvastegan, Amir Mosayyeb Zadeh
- The Effect of *Allium Sativum* and *Foeniculum Vulgare* Extracts on Performance and Reproductive System Morphology in Layer Breeder Hens** 463
Zeinab Bardel, Ali Asghar Saki, Asghar Mirzaie-Asl, Zahra Gholami Mahmoudian
- Effect of L-Serine Amino Acid and Choline Supplementation on Sperm Quality of Aged Broiler Breeder Roosters** 475
Mahkam Alizadeh, Ali Aghaei, Saleh Tabatabaei Vakili, Mahmoud Nazari
- The Effect of Different Sources and Levels of Zinc on the Performance and Retention of Zinc, Copper and Manganese in Laying Hens** 491
Ali Afshar Bakeshlo, Behnam Ahmadipour, Fariborz Khajali, Nasrollah Pirany

Contents

Ruminant Nutrition

- Comparison of Economic Efficiency and Growth Performance in Baluchi Fattening Lambs Fed Diets Containing High Levels of Whole and Processed Corn versus Whole Barley Grain 361
Abdul Ghafour Sheikh Jami, Reza Valizadeh, Marzieh Hajmohammadi, Abbasali Naserian

- Effects of Replacing Alfalfa with Different Levels of Camelthorn (*Alhagi maurorum*) on Digestibility and Ruminal Parameters in Arabian Lambs 375
Mohammad Javad Khosravi, Yadollah Chashnidel, Asdollah Teymouri Yanesari, Radman Bakhtiari

Poultry Nutrition

- Comparison Two Models of Nonlinear Support Vector Mathematical and Cubic Linear Model to Evaluate the Growth Performance, Blood Biochemical Indexes, and Immunity of Broilers Fed with *Capparis spinosa* L. Fruit Powder 389
Zohreh Seyedi, Seyyed Javad Hosseini-Vashan, Mohammad Ghasem Akbari

- Comparative Effects of Encapsulated and Free Amino Acids on Growth Performance, Blood Biochemical Parameters, and Antibody Titers against Avian Influenza and Newcastle Disease in Arian Broiler Chickens 409
Seyed Fatemeh Hosseini Darbarzi, Somayeh Farahmand, Seyed Abdollah Hosseini

- Effect of Nano-Encapsulated *Trachyspermum ammi* Essential Oil on Performance and Blood Biochemical Parameters of Broiler Chickens Fed Wheat Based Diets 427
Shokoufe Ghazanfari, Cyrus Akbari Shadbad, Amir Meimandipour, Seyed Abdollah Hosseini, Shirin Honarbakhsh

- Effects of Adding the Microalgae *Spirulina platensis* to Diets Containing Flaxseed oil on Performance, Antioxidant Status, and Blood Lipid Parameters of Aged Laying Hens 447
Javad Ghanouni Boşlanabad, Sayed Ali Mirghelenj, Mohsen Daneshyar, Ali Hashemi, Sina Payvaştegan, Amir Mosayyeb Zadeh

- The Effect of *Allium Sativum* and *Foeniculum Vulgare* Extracts on Performance and Reproductive System Morphology in Layer Breeder Hens 463
Zeinab Bardel, Ali Asghar Saki, Asghar Mirzaie-Asl, Zahra Gholami Mahmoudian

- Effect of L-Serine Amino Acid and Choline Supplementation on Sperm Quality of Aged Broiler Breeder Roosters 475
Mahkam Alizadeh, Ali Aghaei, Saleh Tabatabaei Vakili, Mahmoud Nazari

- The Effect of Different Sources and Levels of Zinc on the Performance and Retention of Zinc, Copper and Manganese in Laying Hens 491
Ali Afshar Bakeshlo, Behnam Ahmadipour, Fariborz Khajali, Nasrollah Pirany