

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 فنیل آلانین، 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 به‌طور 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، Agilent Technologies) 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

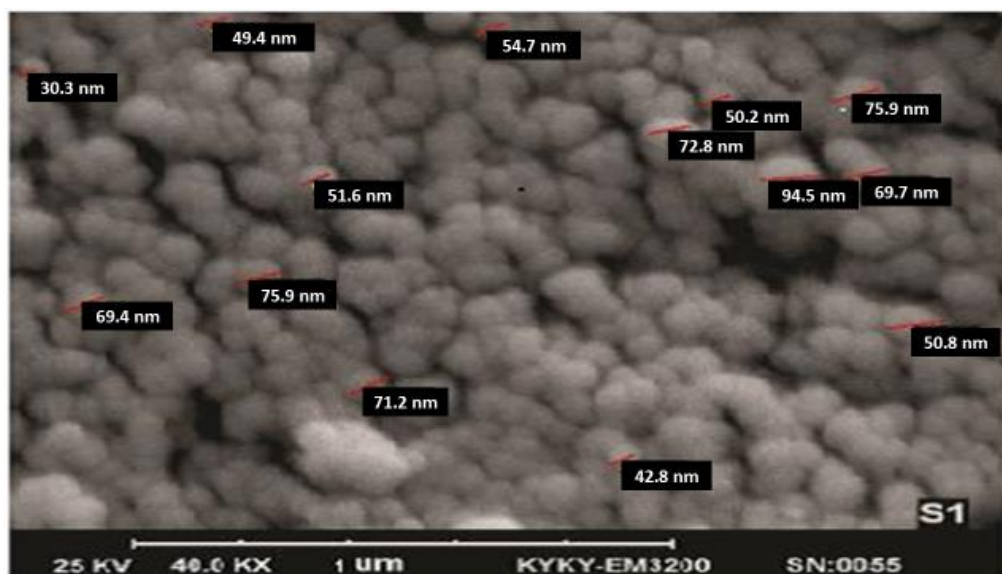
ترکیب اسانس زنیان

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 لپياز و آميلاز پانكراس را افزايش دادند. عملکرد بهبوديافته اسانس‌های گیاهی کپسوله‌شده را می‌توان به افزايش 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 افزايش مصرف خوراک، افزايش وزن بدن و بهبود ضریب تبدیل خوراک نسبت به شاهد شد. غضنفری و همکاران (Ghazanfari et al., 2015) بیان کردند که افزايش 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 افزايش 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 (افزايش 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 افزايش 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 افزايش 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، افزايش وزن جوجه‌های گوشتی را در روزهای ۰ تا ۱۰ به‌طور معنی‌داری افزايش 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 افزايش ترشح آنزیم‌های گوارشی است. در مطالعه حاضر، جوجه‌های گوشتی تغذیه‌شده با جیره ذرت-گندم، افزايش 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، افزايش وزن کمتری داشتند ($P < 0.01$). باین‌حال، در کل دوره، اثر افزودن اسانس در بهبود افزايش 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)				دوره رشد (d 11 to 24)				دوره پایانی (d 25 to 42)			
	افزایش وزن (گرم در دوره) Weight gain (g/period)	مصرف خوراک (گرم در دوره) Feed intake (g/period)	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	افزایش وزن (گرم در دوره) Weight gain (g/period)	مصرف خوراک (گرم در دوره) Feed intake (g/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	افزایش وزن (گرم در دوره) Weight gain (g/period)
نوع جیره × سطح اسانس زنیان (میلی گرم بر کیلوگرم) Diet type × AEO ¹ content (mg/kg)												
• × ذرت Corn × 0	227	266	1.17	788	1038	1.32	1358 ^{ab}	3309 ^b			2.44 ^b	
• × ذرت Corn × 150	223	257	1.10	784	1019	1.30	1361 ^a	3374 ^{ab}			2.48 ^b	
• × ذرت Corn × 300	237	248	1.04	809	1000	1.24	1397 ^a	3344 ^{ab}			2.39 ^b	
• × ذرت-گندم Corn -wheat × 0	224	261	1.16	840	1059	1.26	1237 ^b	3504 ^{ab}			2.89 ^a	
• × ذرت-گندم Corn -wheat × 150	241	270	1.12	833	1065	1.28	1434 ^a	3337 ^{ab}			2.33 ^b	
• × ذرت-گندم Corn -wheat × 300	239	262	1.09	812	1066	1.31	1405 ^a	3575 ^a			2.55 ^b	
میانگین خطای استاندارد Standard error of the mean	4.3	12.6	0.05	17.3	23.2	0.02	30.1	59.7			0.08	
نوع جیره Diet type												
ذرت Corn	232	257	1.10	794 ^b	1019 ^b	1.29	1372	3342 ^b			2.44 ^b	
ذرت-گندم Corn -wheat	235	264	1.13	828 ^a	1063 ^a	1.28	1358	3472 ^a			2.59 ^a	
میانگین خطای استاندارد Standard error of the mean	2.5	7.3	0.02	10.0	13.4	0.01	17.4	34.5			0.05	
سطح اسانس زنیان (میلی گرم بر کیلوگرم) AEO content (mg/kg)												
0	226 ^b	264	1.17	814	1048	1.29	1297 ^b	3406			2.66 ^a	
150	237 ^a	264	1.11	809	1042	1.29	1397 ^a	3356			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					
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 کلسترول‌از‌مشت 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 & Rezaeipour, 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 پی‌پی ام 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 پی‌پی ام) با افزایش تلفات همراه بود که نشان‌دهنده محدوده سمیت احتمالی است. بر این اساس، سطح ۱۵۰ پی‌پی ام 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., & Zibae, 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>