

The Effects of Palm Oil, Camelina Oil, and Whole Camelina Seeds Supplementation on Antioxidant Indices, Immune Responses and Vital Signs in Fattening Lambs

Ali Tohidi ^{1*} , Taghi Ghoorchi ² , Abdolhakim Toghdori ³ 

1. Corresponding Author, Ph.D. Student, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2. Professor, Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

3. Associate Professor, Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

E-mail: ali.tohidi_s02@gau.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/IJASR.98299.1305>

Introduction:

Fast growth during the fattening period in lambs is typically associated with increased metabolic activity and more production of reactive oxygen species (ROS), which can potentially disrupt the balance between oxidant generation and antioxidant defense mechanisms. This imbalance leads to oxidative stress, resulting in lipid peroxidation, protein oxidation, and potential impairment of immune function. Nutritional interventions using natural antioxidant-rich feed ingredients have gained considerable attention as a strategy to enhance oxidative stability and modulate immune responses in ruminants.

Camelina sativa, a promising oilseed crop, is known for its high content of polyunsaturated fatty acids (especially omega-3 fatty acids) as well as biologically active compounds such as tocopherols and phenolic antioxidants. These components contribute to reducing free radical activity, inhibiting lipid peroxidation, and supporting the overall antioxidant capacity, thereby contributing to the animal's antioxidant defense system. In contrast, palm oil, though commonly used in animal feeding systems for its energy density, contains relatively low levels of antioxidant compounds. Given the limited comparative information regarding the effects of palm oil, camelina oil, and whole camelina seeds on oxidative and immune responses and vital signs in fattening lambs, the present study was designed to evaluate their influence on key antioxidant indicators, immune markers, and physiological parameters. The main objective was to investigate whether camelina-based dietary sources—particularly whole camelina seeds—could improve oxidative balance and immune function compared with palm oil supplementation.

Materials and Methods: Thirty-two healthy male lambs (average age 3.5 months; initial body weight 23.89 ± 0.48 kg) were used in an 84-day feeding trial using a completely randomized design (CRD) with 4 treatments (control, 1.5% palm oil, 1.5% camelina oil, and 5% whole camelina seeds) and with 8 lambs per treatment. The experimental diets included: (1) a basal diet without oil supplement (control), (2) a basal diet supplemented with 1.5% palm oil, (3) a basal diet supplemented with 1.5% camelina oil, and (4) a basal diet supplemented with 5% whole camelina seeds. All Diets were formulated to meet or exceed the nutrient requirements of fattening lambs according to NRC(2007).

At the end of the feeding period, blood samples were collected from the jugular vein before morning feeding. Serum was separated and used to measure glutathione peroxidase (GPX) activity, malondialdehyde (MDA) concentration, and total antioxidant capacity (TAC). Specifically, GPX activity was used as an indicator of enzymatic antioxidant defense, MDA as an indicator of lipid peroxidation, and TAC as an indicator of the overall antioxidant capacity.

of serum. Additionally, immune-related cytokines, including interleukin-2 (IL-2), interleukin-6 (IL-6), and interleukin-10 (IL-10), were quantified using ELISA kits.

Vital signs, including rectal temperature, respiration rate, and heart rate, were recorded weekly. Data were analyzed using the GLM procedure of SAS software, and Treatment means were compared using Duncan's multiple range test (DMRT), and statistical significance was declared at $P < 0.05$.

Results and Discussion: Dietary treatments significantly affected the measured antioxidant indices. Lambs receiving whole camelina seeds had the greatest GPX activity and TAC among all groups, indicating an enhanced antioxidant defense capacity. The increase in GPX activity may reflect enhanced enzymatic antioxidant defense against oxidative stress, while elevated TAC values demonstrate a greater availability of non-enzymatic antioxidants in the serum. Camelina oil supplementation also improved GPX and TAC relative to the control group; however, the magnitude of improvement was consistently lower than that observed in the whole seed treatment.

Notably, GPX activity in the palm oil group was higher than in the camelina oil group, yet this was accompanied by the highest MDA concentration, suggesting that the elevated GPX in palm oil-fed lambs may represent a compensatory response to increased oxidative stress rather than an improved antioxidant status. The concentration of MDA followed an inverse pattern, with the palm oil group exhibiting the greatest level of lipid peroxidation (3.15 ng/L), suggesting a greater degree of lipid peroxidation. In contrast, both camelina oil and particularly camelina seed treatments resulted in significantly reduced MDA concentrations, highlighting the superior antioxidant protection offered by camelina-derived bioactive compounds.

Cytokine analysis revealed notable differences in immune response across treatments. Levels of IL-6, a pro-inflammatory cytokine associated with stress and inflammatory processes, were significantly higher in lambs fed whole camelina seeds (34.03 ng/L) compared to control and palm oil groups. IL-2 concentrations did not differ significantly among treatments. In contrast, IL-10 concentrations, representing anti-inflammatory immune activity, were lowest in the camelina seed treatment, further suggesting a shift toward a more pro-inflammatory cytokine profile under the conditions of the present study.

These findings suggest that camelina-derived dietary treatments may enhance antioxidant defense without uniformly attenuating inflammatory responses; rather, it exerts a complex, context-dependent immune modulation. The underlying mechanisms remain unclear and may involve the high polyunsaturated fatty acid content or other bioactive compounds in camelina seeds. This increase may indicate a shift toward a more pro-inflammatory cytokine profile under the conditions of the present study. This response may be related to the high polyunsaturated fatty acid content or other bioactive compounds in camelina seeds, although the underlying mechanisms remain unclear.

Vital signs, including rectal temperature, respiration rate, and heart rate, remained within normal physiological ranges throughout the experiment, and no significant differences were observed among treatments ($P > 0.05$). Vital signs were not affected by dietary treatments ($P > 0.05$); mean rectal temperature ranged from 38.8 to 38.9 °C, respiration rate from 26 to 28 breaths/min, and heart rate from 89 to 92 beats/min, all within normal physiological ranges for sheep throughout the experiment. This confirms that all dietary interventions were well tolerated.

The superior antioxidant performance of whole camelina seeds compared with camelina oil may be related to the presence of additional bioactive components retained in the whole seed but reduced or absent after oil extraction. This synergistic combination likely contributes to enhanced antioxidant effects beyond those provided by camelina oil alone. However, it should be noted that the comparison between whole camelina seeds (5%) and camelina oil (1.5%) was not strictly iso-lipidic or iso-fatty acid, because whole seeds also contributed protein, fiber, and

additional bioactive compounds. Therefore, the observed differences may partly reflect variations in nutrient intake beyond the oil fraction. Overall, palm oil, despite contributing extra dietary energy, did not improve oxidative parameters and was consistently associated with higher oxidative stress indicators compared to camelina treatments. The results collectively emphasize the antioxidant value of camelina-based ingredients but also reveal a dissociation between antioxidant capacity and anti-inflammatory action in fattening lambs.

Conclusions: The findings of this study demonstrate that supplementation with camelina sources—particularly whole camelina seeds—effectively enhances serum antioxidant markers in fattening lambs, as evidenced by increased glutathione peroxidase (GPX) activity and total antioxidant capacity (TAC), alongside reduced malondialdehyde (MDA) concentrations. Camelina oil also improved antioxidant markers, although to a lesser extent than whole seeds. In contrast, palm oil supplementation was associated with higher oxidative stress markers and provided no apparent benefit in the immune parameters evaluated. However, whole camelina seeds also increased the pro-inflammatory cytokine IL-6 and decreased the anti-inflammatory IL-10, whereas IL-2 remained unchanged, suggesting that the immune effects of camelina are not uniformly anti-inflammatory. However, contrary to initial expectations, whole camelina seeds significantly increased the pro-inflammatory cytokine IL-6 and decreased the anti-inflammatory IL-10, suggesting a shift toward a more pro-inflammatory cytokine profile. Interleukin-2 (IL-2) remained unaffected by dietary treatments. However, contrary to initial expectations, whole camelina seeds significantly increased the pro-inflammatory cytokine IL-6 and decreased the anti-inflammatory IL-10, suggesting a shift toward a more pro-inflammatory cytokine profile; IL-2 was not significantly affected by dietary treatments. Camelina oil also improved antioxidant markers, although to a lesser extent than whole seeds. In contrast, palm oil supplementation was associated with higher oxidative stress markers and provided no apparent benefit in the immune parameters evaluated. These results suggest that camelina seeds can improve serum antioxidant markers (increased GPX and TAC, reduced MDA), but their effects on cytokine balance were not uniformly anti-inflammatory. Vital signs, including rectal temperature, respiration rate, and heart rate, remained within normal physiological ranges and did not differ significantly among treatments, confirming that the dietary interventions were well tolerated by the animals. These results suggest that while camelina seeds can serve as a valuable natural feed ingredient to support oxidative stability, their immune effects are not uniformly anti-inflammatory and warrant further investigation into optimal inclusion levels and long-term health outcomes in fattening lambs. It should be noted that the comparison between whole camelina seeds (5%) and camelina oil (1.5%) was not strictly iso-lipidic or iso-fatty acid, because whole seeds also contributed protein, fiber, and additional bioactive compounds. Therefore, the superior antioxidant effects observed with whole seeds may partly reflect differences in nutrient intake beyond the oil fraction. Further studies with matched fat and fatty acid levels are warranted to isolate the specific effect of the oil form and to determine optimal inclusion levels for long-term health outcomes. Overall, while camelina seeds can serve as a valuable natural feed ingredient to support oxidative stability in fattening lambs, their complex immune-modulating effects warrant further investigation. Future studies with matched fat and fatty acid levels are necessary to isolate the specific effect of the oil fraction and to determine optimal inclusion levels for long-term health outcomes.

Keywords: cytokines, fatty acids, lipid peroxidation, nutrition, oxidative stress, sheep

اثر روغن پالم، روغن و دانه کاملینا بر شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی، پاسخ ایمنی و علائم حیاتی در بره‌های پرواری

علی توحیدی^{۱*}، تقی قورچی^۲، عبدالحکیم توغدیری^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۲۲

۱. نویسنده مسئول و دانشجوی دکتری، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲. استاد گروه تغذیه دام طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۳. دانشیار گروه تغذیه دام طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

ali.tohidi_s02@gau.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/IJASR.98299.1305>

چکیده

این مطالعه به منظور مقایسه تأثیر روغن پالم، روغن کاملینا و دانه کاملینا بر شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی، پاسخ ایمنی و علائم حیاتی در بره‌های پرواری انجام شد. تعداد ۳۲ رأس بره نر (با میانگین سن ۳/۵ ماه و میانگین وزن اولیه $\pm 0/48$ کیلوگرم) در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار و ۸ تکرار به مدت ۸۴ روز پروار شدند. تیمارها شامل: ۱- جیره پایه بدون مکمل روغن (جیره شاهد)، ۲- جیره پایه حاوی ۱/۵ درصد روغن پالم، ۳- جیره پایه حاوی ۱/۵ درصد روغن کاملینا، و ۴- جیره پایه حاوی ۵ درصد دانه کاملینا بودند. در پایان دوره، نمونه‌های خون از ورید و داج گرفته شد و فعالیت گلوکاتایون پراکسیداز (GPX)، غلظت مالون‌دی‌آلدهید (MDA) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (TAC) در سرم اندازه‌گیری شد. غلظت سرمی اینترلوکین-۲ (IL-2)، اینترلوکین-۶ (IL-6) و اینترلوکین-۱۰ (IL-10) با روش الایزا تعیین گردید. نتایج نشان داد که فعالیت گلوکاتایون پراکسیداز (GPX) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (TAC) در تیمار دانه کاملینا به طور معنی‌داری بالاتر از سایر تیمارها بود. غلظت مالون‌دی‌آلدهید (MDA) در تیمار روغن پالم (۳/۱۵) نانوگرم در لیتر) بیشترین و در تیمارهای حاوی کاملینا کمترین مقدار را داشت. غلظت اینترلوکین-۶ (IL-6) به عنوان یک سیتوکین پیش‌التهابی در تیمار دانه کاملینا (۳۴/۰۳ نانوگرم در لیتر) به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد و روغن پالم بود. در حالی که اینترلوکین-۱۰ (IL-10) به عنوان سیتوکین ضدالتهابی در تیمار شاهد بالاترین مقدار و در تیمارهای حاوی چربی کاهش یافت. به طور کلی، در این مطالعه، مصرف دانه کاملینا وضعیت آنتی‌اکسیدانی را بهبود داد؛ با این حال، افزایش غلظت اینترلوکین-۶ (IL-6) و کاهش اینترلوکین-۱۰ (IL-10) در این تیمار نشان می‌دهد که اثرات ایمنی آن ممکن است صرفاً ضدالتهابی نباشد و این موضوع به بررسی‌های بیشتری نیاز دارد. علائم حیاتی در تمام تیمارها در محدوده طبیعی بود و تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: استرس اکسیداتیو، اسیدهای چرب، پراکسیداسیون لیپیدی، تغذیه، سیتوکین‌ها، گوسفند

مقدمه

دوره پرواربندی با سرعت رشد بالا، همواره با استرس‌های متابولیک و اکسیداتیو همراه است. افزایش تولید رادیکال‌های آزاد و عدم تعادل بین تولید و خنثی‌سازی آن‌ها منجر به استرس اکسیداتیو شده که می‌تواند به لیپیدها، پروتئین‌ها و DNA سلول‌ها آسیب رسانده و عملکرد سیستم ایمنی را مختل کند (Celi, 2011). از این رو، استفاده از ترکیبات دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی در جیره برای تقویت سیستم دفاعی بدن و حفظ سلامت دام‌های در حال رشد ضروری به نظر می‌رسد.

روغن پالم به‌عنوان یک منبع چربی اشباع، به‌دلیل پایداری بالا و هزینه نسبتاً پایین، در تغذیه دام کاربرد گسترده‌ای دارد (Tomkins and Drackley, 2010). در مقابل گیاه کاملینا ساتیوا (*camelina sativa*) علاوه بر محتوای بالای اسیدهای چرب غیراشباع (به ویژه امگا-۳)، منبع غنی از ترکیبات زیست‌فعال با خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی است و به دلیل نیاز آبی کم، با شرایط آب و هوایی ایران سازگار است (Juodka et al., 2022). این دانه روغنی حاوی مقادیر قابل توجهی توکوفرول (به ویژه گاما-توکوفرول) و ترکیبات فنولیک می‌باشد که می‌توانند با خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد، از پراکسیداسیون لیپیدها جلوگیری کنند و وضعیت آنتی‌اکسیدانی خون را بهبود بخشد (Riaz, Ahmed, Sizmaz, & Ahsan, 2022). اسیدهای چرب امگا-۳ همچنین پیش‌ساز ایکوزانوئیدهای ضدالتهابی بوده و می‌توانند از طریق تنظیم بیان ژن‌های دخیل در التهاب، پاسخ‌های ایمنی را بهبود دهد (Calder, 2006). علاوه بر اسیدهای چرب غیر اشباع و ترکیبات زیست‌فعال، خود دانه کاملینا منبع قابل توجهی از پروتئین خام محسوب می‌شود. میزان پروتئین خام در دانه کاملینا تحت تأثیر رقم، شرایط محیطی و میزان کود نیتروژن مصرفی متغیر است و به طور کلی در محدوده ۲۵ تا ۴۵ درصد وزن دانه گزارش شده است (Zubr and Matthäus, 2002).

شاخص‌هایی نظیر فعالیت آنزیم گلو تاتیون پراکسیداز (GPX) به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان درون‌زاد، غلظت مالون‌دی‌آلدهید (MDA) به‌عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدها، و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (TAC) به‌عنوان معیاری از توان کلی آنتی‌اکسیدانی پلاسما، ابزارهای مفیدی برای ارزیابی وضعیت اکسیداتیو دام هستند (Lobo, Patil, Phatak, & Chandra, 2010). همچنین، اندازه‌گیری سیتوکین‌های التهابی (مانند IL-6) و ضدالتهابی (مانند IL-10) می‌تواند تصویر دقیقی از وضعیت سیستم ایمنی ارائه دهد. علاوه بر این، ثبت علائم حیاتی (دمای بدن، تعداد تنفس و ضربان قلب) به‌عنوان شاخص‌های سلامت عمومی و سازگاری دام با جیره و شرایط محیطی، اطلاعات ارزشمندی را فراهم می‌آورد (Marai, El-Darawany, Fadiel, & Abdel-Hafez, 2007).

از دیدگاه اقتصادی و دسترس‌پذیری، روغن پالم عمدتاً وارداتی بوده و قیمت آن تحت تأثیر نوسانات بازار جهانی و نرخ ارز قرار دارد. در مقابل، گیاه کاملینا به‌دلیل نیاز آبی کم، تحمل به خشکی و امکان کشت در اراضی کم‌بازده، پتانسیل تولید داخلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران را دارد (Juodka et al., 2022). بنابراین توسعه کشت و فرآوری کاملینا می‌تواند ضمن کاهش وابستگی به واردات روغن، دسترس‌پذیری پایدار به یک منبع چربی و پروتئین بومی را فراهم کند. از نظر هزینه، استفاده از دانه کاملینا در جیره ممکن است در مقایسه با روغن استخراج شده اقتصادی‌تر باشد؛ زیرا هزینه‌های روغن‌کشی و تصفیه را حذف می‌کند و هم‌زمان بخشی از پروتئین و فیبر جیره را تأمین می‌نماید. هرچند در حال حاضر قیمت تمام‌شده دانه کاملینا ممکن است به‌دلیل سطح محدود تولید داخلی نسبت به روغن پالم وارداتی بالاتر باشد، اما با گسترش کشت و ایجاد زنجیره تأمین، مزیت اقتصادی آن بهبود خواهد یافت. بنابراین مقایسه صرف قیمت اولیه بدون در نظر گرفتن هزینه‌های غیرمستقیم (مانند اثرات سلامت و عملکرد دام) ممکن است گمراه‌کننده باشد و انجام تحلیل‌های اقتصادی جامع در شرایط هر منطقه توصیه می‌شود.

با توجه به کمبود اطلاعات در زمینه اثرات مقایسه‌ای روغن پالم و اشکال مختلف کاملینا بر این شاخص‌ها در برهه‌های پرواری، مطالعه حاضر با هدف بررسی این موضوع طراحی و اجرا گردید. با توجه به پتانسیل بالای کاملینا در کاهش

استرس اکسیداتیو و پاسخ‌های ایمنی، این مطالعه با هدف مقایسه تأثیر روغن پالم، روغن کاملینا و دانه کاملینا بر شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی، ایمنی و علائم حیاتی در بره‌های پرواری انجام شد.

مواد و روش‌ها

محل اجرا و دام‌های آزمایشی

این پژوهش در مزرعه آموزشی هنرستان کشاورزی امام رضا (ع) اسفراین، استان خراسان شمالی، در سال ۱۴۰۴ انجام شد. تعداد ۳۲ رأس بره پرواری نژاد مغانی (با میانگین سن ۳/۵ ماه و میانگین وزن اولیه $23/89 \pm 0/48$ کیلوگرم) در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار و ۸ تکرار استفاده شدند. بره‌ها از روز اول در جایگاه‌های انفرادی با ابعاد طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۱۵۰، ۱۰۰، ۱۰۰ سانتی‌متر و شرایط یکسان نگهداری و پرورش داده شدند. هر جایگاه مجهز به یک آخور و یک آبخوری جداگانه بود تا امکان ثبت دقیق خوراک مصرفی به صورت انفرادی فراهم گردد. کف جایگاه‌ها از جنس بتن با شیب ملایم جهت تخلیه ادرار بود و با بستر ضخیم از کاه کلش پوشانده شد که به صورت روزانه تعویض و ضدعفونی می‌گردید. سالن محل نگهداری دارای سیستم تهویه طبیعی بود. دو هفته قبل از شروع آزمایش، بره‌ها بر علیه آنتروتوکسمی واکسینه شدند و به آن‌ها داروی ضد انگل خورانیده شد. پس از آن، بره‌ها به مدت ۱۴ روز دوره عادت‌پذیری با جیره پایه را سپری کردند. همه بره‌ها در طول دوره آزمایش دسترسی آزاد به آب داشتند.

تیمارهای آزمایشی و جیره‌ها

تیمارهای آزمایشی شامل: ۱- جیره پایه بدون مکمل روغن (جیره شاهد) ۲- جیره پایه حاوی ۱/۵ درصد روغن پالم، ۳- جیره پایه حاوی ۱/۵ درصد روغن دانه کاملینا، و ۴- جیره پایه حاوی ۵ درصد دانه کاملینا سالم و بدون آسیاب بودند. سطح ۱/۵ درصد برای روغن‌ها (پالم و کاملینا) بر اساس مطالعات پیشین به عنوان سطحی مؤثر و ایمن برای افزایش تراکم انرژی بدون اثرات منفی شدید بر تخمیر شکمبه انتخاب شد (Ferreira et al., 2014). سطح ۵ درصد برای دانه کاملینا نیز با توجه به محتوای روغن آن (حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد) و پروتئین (حدود ۲۴ تا ۳۱ درصد) انتخاب شد که معادل ۱/۵ تا ۲ درصد روغن بوده و به منظور مقایسه اثر شکل فیزیکی ارائه چربی (روغن آزاد در برابر دانه کاملینا) که ساختار دانه به عنوان سامانه محافظی طبیعی عمل می‌نماید و با استناد به مطالعات داخلی که مصرف سطوح بالاتر کنجاله کاملینا را مجاز دانسته‌اند (شیرنگار و همکاران، ۱۴۰۲)، تعیین گردید. لازم به ذکر است که دانه کاملینا به صورت سالم (بدون آسیاب) به جیره افزوده شد تا ساختار دانه از چربی در برابر تخریب سریع شکمبه‌ای محافظت نموده و الگوی رهاسازی اسیدهای چرب در شکمبه به صورت تدریجی انجام گیرد. جیره پایه (شاهد) از نظر ترکیبات یکسان بود و تیمارها با جایگزینی بخشی از کنجاله سویا و کود مرغی با منابع چربی، از نظر انرژی و پروتئین خام نزدیک به هم تنظیم شدند. ترکیب مواد خوراکی و مواد مغذی جیره‌های آزمایشی در جدول (۱) آمده است. ترکیبات شیمیایی جیره‌ها بر اساس جداول انجمن ملی تحقیقات گوسفند (NRC، ۲۰۰۷) و آنالیز آزمایشگاهی (AOAC، ۲۰۰۵) تعیین گردید و انرژی قابل متابولیسم جیره‌ها بین ۲/۳۵ تا ۲/۴۴ مگا کالری بر کیلوگرم ماده خشک متغیر بود. جیره‌ها به صورت کاملاً مخلوط (TMR) و در دو نوبت (صبح و عصر) در اختیار دام‌ها قرار داده شد.

جدول ۱- ترکیب مواد خوراکی و مواد مغذی جیره‌های آزمایشی مورد استفاده (برحسب درصد ماده خشک)

Table 1- Composition of feed ingredients and chemical/nutrient composition of experimental diets (percentage of dry matter basis)

تیمارهای آزمایشی (بر اساس درصد ماده خشک)	اقلام خوراکی
--	--------------

Feed ingredients	Experimental treatments (based on % dry matter)				
	شاهد Control	روغن پالم Palm Oil	روغن کاملینا Camelina Oil	دانه کاملینا Camelina Seed	
کاه Straw	10.00	10.00	10.00	10.00	
یونجه Alfalfa	20.00	20.00	20.00	20.00	
دانه جو Barley Seed	15.00	15.00	15.00	15.00	
دانه ذرت Corn Seed	16.00	16.00	16.00	16.00	
سبوس گندم Wheat Bran	8.00	8.00	8.00	8.00	
تقاله چغندر Sugar beet pulp	8.00	8.00	8.00	8.00	
کنجاله سویا Soybean Meal	8.00	8.50	8.50	6.90	
کود مرغی Poultry manure	14.00	12.00	12.00	10.10	
دانه کاملینا Camelina seed	0.00	0.00	0.00	5.00	
روغن پالم Palm Oil	0.00	1.50	0.00	0.00	
روغن کاملینا Camelina Oil	0.00	0.00	1.50	0.00	
مکمل ویتامینی و معدنی Vitamin-mineral supplement	1.00	1.00	1.00	1.00	
ترکیبات شیمیایی (بر اساس درصد ماده خشک) Chemical composition (as % of dry matter)					
ترکیب Component	واحد Unit	شاهد Control	روغن پالم Palm Oil	روغن کاملینا Camelina Oil	دانه کاملینا Camelina Seed
ماده خشک Dry Matter	%	89.95	89.93	89.93	90.00
انرژی قابل متابولیسم Metabolizable Energy	Mcal/kg	2.35	2.44	2.44	2.40
پروتئین خام Crude Protein	%	15.94	15.58	15.58	15.77
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber	%	18.66	18.35	18.35	18.55
الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber	%	37.05	36.52	36.52	37.05
عصاره اتری Ether extract	%	3.81	5.07	5.07	8.30
خاکستر Ash	%	8.70	8.30	8.30	8.02
کربوهیدرات غیر فیبری Non-fiber carbohvdrates	%	34.50	34.53	34.53	30.86

مکمل ویتامین و مواد معدنی به ازای هر کیلوگرم: ۸/۵ گرم کلسیم، ۵/۵ گرم فسفر، ۲ گرم منیزیم، ۲/۵ گرم گوگرد، ۶۰ میلی گرم منگنز، ۴۰ میلی گرم روی، ۱۲ میلی گرم مس، ۰/۵ میلی گرم کبالت، ۸۰ میلی گرم آهن، ۰/۳ میلی گرم سلنیوم، ۳۰ میلی گرم نیاسین، ویتامین A ۸۰۰۰، ویتامین D ۱۵۰۰ و ویتامین E ۵۰ واحد بین‌المللی و ۱۰ گرم نمک آنیونی.

پروتئین خام + الیاف نامحلول در شوینده خنثی + عصاره اتری + خاکستر) - ۱۰۰ = کربوهیدرات غیر فیبری (NFE)

Vitamin and mineral supplement per kilogram: 8.5 g calcium, 5.5 g phosphorus, 2 g magnesium, 2.5 g sulfur, 60 mg manganese, 40 mg zinc, 12 mg copper, 0.5 mg cobalt, 80 mg iron, 0.3 mg selenium, 30 mg niacin, vitamin A 8000 IU, vitamin D 1500 IU, vitamin E 50 IU, and 10 g anionic salt.

Non-fiber carbohydrate (NFE) = 100 - (crude protein + neutral detergent fiber + ether extract + ash).

نمونه‌گیری خون:

در پایان دوره پروار بندی (روز ۸۴) و پیش از خوراک‌دهی صبح (به مدت ۱۲ ساعت ناشتا)، نمونه‌های خون از ورید وداج تمامی بره‌ها جمع‌آوری گردید. خون در لوله‌های خلا بدون ضد انعقاد (برای جداسازی سرم) گرفته شد. نمونه‌ها بلافاصله در کنار یخ به آزمایشگاه منتقل شدند. لوله‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای اتاق قرار داده شدند تا خون لخته شود. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۳۰۰۰ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شده و سرم جدا شده تا زمان انجام آزمایشات در دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی:

فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز (GPX) در سرم با استفاده از کیت تجاری (شرکت پارس آزمون، ایران) و بر اساس روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم بر حسب واحد در لیتر (U/L) بیان گردید. سطح مالون‌دی‌آلدهید (MDA) با استفاده از روش تیوباربیتریک اسید (TBA) و با کیت تجاری تعیین شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۳۵ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر خوانده شد و غلظت MDA بر حسب نانومول در میلی‌لیتر (nmol/mL) گزارش گردید. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (TAC) با استفاده از روش FRAP و کیت تجاری اندازه‌گیری و نتایج بر حسب میلی‌مول در لیتر (mmol/L) بیان شد.

اندازه‌گیری پاسخ‌های ایمنی:

غلظت سرمی اینترلوکین-۲ (IL-2)، اینترلوکین-۶ (IL-6) و اینترلوکین-۱۰ (IL-10) با استفاده از کیت‌های اختصاصی الایزا (ELISA) برای گوسفند (شرکت زلبایو، آلمان) و مطابق روش کارورس و همکاران (Caroprese et al, 2012) اندازه‌گیری شد. کلیه مراحل انکوباسیون، شستشو و خواندن جذب در طول موج ۴۵۰ نانومتر توسط دستگاه الایزا ریدر انجام و غلظت سیتوکین‌ها بر حسب پیکوگرم در میلی‌لیتر (pg/mL) با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه گردید.

ثبت علائم حیاتی:

علائم حیاتی شامل دمای رکتوم، نرخ تنفس و ضربان قلب به صورت هفتگی و در یک روز مشخص، بین ساعات ۰۹:۰۰ و ۱۵:۰۰ در طول دوره آزمایش روی ۴ رأس بره از هر یک از چهار تیمار آزمایشی (مجموعاً ۱۶ رأس بره) اندازه‌گیری شد.

یکی از شاخص‌های سنجش سلامت، دام‌ها، اندازه‌گیری دمای رکتوم می‌باشد، که برای اندازه‌گیری دمای رکتوم از دماسنج دیجیتال استفاده شد؛ که در عمق ۸ تا ۱۰ سانتی متری رکتوم حیوان، به مدت ۳ تا ۴ دقیقه قرار داده شد و سپس بلافاصله دمای آن یادداشت می‌گردید. تعداد ضربان قلب به وسیله قرار دادن گوشی پزشکی در ناحیه سینه دام‌ها مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. تعداد تنفس با مشاهده چشمی تعداد بالا و پایین رفتن پهلوی دام در مدت یک دقیقه مورد ارزیابی قرار گرفت (Badakhshan & Abshenas, 2015).

تجزیه و تحلیل آماری:

داده‌های جمع‌آوری شده در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار SAS (ویرایش ۴/۹) تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین تیمارها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید. مدل آماری مورد استفاده

به صورت $y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$ بود که در آن y_{ij} : فراسنجه مورد اندازه‌گیری، μ : میانگین کل، T_i : اثر تیمار، e_{ij} : خطای تصادفی است.

نتایج و بحث

شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی:

نتایج مربوط به شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی در جدول ۲ ارائه شده است. فعالیت گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX) در تیمار دانه کاملینا (۱۳۵/۵۰ واحد در لیتر) به طور معنی‌داری بالاتر از سایر تیمارها بود ($P < 0.001$). تیمار روغن پالم (۱۳۱/۲۵ واحد در لیتر) نیز فعالیت گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX) بالاتری نسبت به شاهد و روغن کاملینا نشان داد. غلظت مالون‌دی‌آلدهید (MDA) در تیمار روغن پالم (۳/۱۵ نانوگرم در لیتر) بیشترین مقدار را داشت و در تیمارهای روغن کاملینا و دانه کاملینا به طور معنی‌داری کاهش یافت. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (TAC) در تیمار دانه کاملینا (۴۹/۸۰ میلی‌مول در لیتر) بالاترین و در تیمار روغن پالم (۴۴/۲۵ میلی‌مول در لیتر) کمترین بود.

جدول ۲- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی بره‌های پرواری

Table 2- The effect of Experimental treatments on Antioxidant Indices in Fattening Lambs

فراسنجه ها Parameters (نانوگرم در لیتر) (ng/l)	تیمارهای آزمایش Experimental treatments				خطای استاندارد SEM	سطح احتمال P-Value
	شاهد Control	روغن پالم Palm Oil	روغن کاملینا Camelina Oil	دانه کاملینا Camelina Seed		
گلوکوتاتیون پراکسیداز Glutathione peroxidase	118.75 ^d	131.25 ^b	125.50 ^c	135.50 ^a	1.168	< 0.0001
مالون دی-آلدهید Malondialdehyde	2.55 ^b	3.15 ^a	2.30 ^c	2.15 ^c	0.059	< 0.0001
ظرفیت آنتی اکسیدانی کل Total antioxidant capacity	47.38 ^b	44.25 ^c	48.75 ^{ab}	49.80 ^a	0.419	< 0.0001

میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد ($P < 0.05$).

SEM: خطای استاندارد از میانگین

Means in rows with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$)

SEM: Standard error of means

افزایش معنی‌دار فعالیت گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (TAC) در تیمار دانه کاملینا نشان‌دهنده ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر این منبع غذایی است. دانه کاملینا حاوی مقادیر قابل توجهی توکوفرول (به‌ویژه گاما-توکوفرول) و ترکیبات فنولیک است که به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل می‌کنند (Riaz et al, 2022). این ترکیبات با خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد و تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی بدن، باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX) می‌شوند (Kumar, Kumar, & Prakash, 2008).

کاهش معنی‌دار مالون‌دی‌آلدهید (MDA) در تیمارهای حاوی کاملینا نشان‌دهنده کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و استرس اکسیداتیو است. مالون‌دی‌آلدهید (MDA) محصول نهایی پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع غشای سلولی است و غلظت آن به عنوان شاخص آسیب اکسیداتیو در نظر گرفته می‌شود (Halliwell & Chirico, 1993). حضور آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی در دانه و روغن کاملینا احتمالاً با مهار پراکسیداسیون لیپیدها، غلظت مالون‌دی‌آلدهید

(MDA) را کاهش داده است. این نتایج با یافته‌های گوبرت و همکاران (Gobert et al, 2009) همخوانی دارد که نشان دادند منابع غذایی غنی از امگا-۳ همراه با آنتی‌اکسیدان‌ها می‌توانند پراکسیداسیون لیپیدی را کاهش دهند. افزایش مالون‌دی‌آلدهید (MDA) در تیمار روغن پالم می‌تواند ناشی از غلبه اسیدهای چربی اشباع (عمدتاً اسید پالمیتیک با حدود ۴۰-۴۴ درصد) و عدم وجود آنتی‌اکسیدان‌های کافی در این منبع در مقایسه با روغن کاملینا باشد. اگرچه روغن پالم حاوی توکوفرول و توکوترینول است، اما مقادیر آن‌ها برای مقابله با استرس اکسیداتیو ناشی از مصرف چربی کافی نبوده است.

تفاوت قابل توجه بین اثربخشی دانه کاملینا و روغن کاملینا بر شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی را می‌توان به ترکیب متفاوت این دو منبع نسبت داد. دانه کامل کاملینا علاوه بر روغن، حاوی ترکیبات زیست‌فعال دیگری مانند گلوکوزینولات‌ها، سیناپین، لیگنان‌ها، فیبر و بخش قابل توجهی از پلی‌فنول‌های قطبی است که در فرآیند روغن‌کشی عمدتاً در کنجاله باقی می‌مانند یا تخریب می‌شوند (Riaz et al., 2022). این ترکیبات می‌توانند از طریق فعال‌سازی مسیر Nrf2 (یک فاکتور رونویسی است که نقش اصلی را در تنظیم بیان ژن‌های آنتی‌اکسیدانی و محافظت سلولی در برابر استرس اکسیداتیو ایفا می‌کند) و القای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی درون‌زاد مانند گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX) و نیز افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، اثر هم‌افزایی ایجاد کنند. روغن کاملینا عمدتاً حاوی توکوفرول‌ها و بخش لیپوفیل فنول‌هاست و فاقد این ترکیبات قطبی و فیبر همراه است. علاوه بر این، ماتریکس دانه کامل ممکن است از ترکیبات فعال در برابر تخریب سریع شکمبه‌ای محافظت کرده و رها‌سازی تدریجی آن‌ها را به بخش تحتانی دستگاه گوارش و گردش خون تسهیل کند.

در مورد بالاتر بودن فعالیت گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX) در تیمار روغن پالم نسبت به روغن کاملینا، باید توجه داشت که گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX) یک آنزیم درون‌زاد است و فعالیت آن می‌تواند هم در پاسخ به ترکیبات آنتی‌اکسیدانی جیره افزایش یابد و هم به صورت جبرانی در مواجهه با استرس اکسیداتیو بالا تنظیم شود. در تیمار روغن پالم، غلظت مالون‌دی‌آلدهید (MDA) به‌طور معنی‌داری بیشترین بود که نشان‌دهنده افزایش پراکسیداسیون لیپیدی است. بنابراین افزایش گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX) در این تیمار به احتمال یک پاسخ سازگاری به استرس اکسیداتیو ناشی از چربی اشباع و کمبود آنتی‌اکسیدان کافی بوده است، نه لزوماً بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی. در مقابل، روغن کاملینا با دارا بودن توکوفرول و اسیدهای چرب امگا-۳، مستقیماً پراکسیداسیون لیپیدی را کاهش داد (مالون‌دی‌آلدهید (MDA) پایین‌تر) و در نتیجه نیاز به افزایش جبرانی گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX) کمتر بود. اما دانه کاملینا علاوه بر کاهش مالون‌دی‌آلدهید (MDA)، از طریق ترکیبات فنولی و گلوکوزینولاتی خود، مسیرهای سیگنالینگ آنتی‌اکسیدانی را نیز فعال کرد و باعث افزایش هم‌زمان گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (TAC) شد. به بیان دیگر، افزایش گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX) در دانه کاملینا با کاهش مالون‌دی‌آلدهید (MDA) همراه بود (وضعیت مطلوب)، در حالی که افزایش گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX) در روغن پالم با افزایش مالون‌دی‌آلدهید (MDA) همراه بود (وضعیت استرس جبران‌شده).

بنابراین مقایسه صرف فعالیت گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX) بدون در نظر گرفتن مالون‌دی‌آلدهید (MDA) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (TAC) می‌تواند گمراه‌کننده باشد. ترکیب «گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX) بالا + مالون‌دی‌آلدهید (MDA) پایین» در دانه کاملینا نشان‌دهنده یک ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کارآمد است، در حالی که «گلوکوتاتیون پراکسیداز (GPX) بالا + مالون‌دی‌آلدهید (MDA) بالا» در روغن پالم به احتمال زیاد پاسخ دفاعی به آسیب اکسیداتیو است. این تفسیر با نتایج مطالعات قبلی نیز سازگار است که نشان داده‌اند افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی همیشه معادل بهبود

وضعیت اکسیداتیو نیست و باید همراه با شاخص‌های آسیب سلولی مانند مالون‌دی‌آلدهید (MDA) ارزیابی شود (Halliwell & Chirico, 1993).

پاسخ‌های ایمنی:

نتایج مربوط به سیتوکین‌های ایمنی در جدول ۳ ارائه شده است. غلظت اینترلوکین-۲ (IL-2) بین تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$). غلظت اینترلوکین-۶ (IL-6) به عنوان یک سیتوکین پیش‌التهابی در تیمار دانه کاملینا (۳۴/۰۳ نانوگرم در لیتر) به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد (۲۹/۴۳) و روغن پالم (۳۰/۲۰) بود ($P < 0.001$). اینترلوکین-۶ (IL-6) در تیمار روغن کاملینا (۳۳/۰۳ نانوگرم در لیتر) نیز به طور معنی‌داری بالاتر از تیمار شاهد بود. غلظت اینترلوکین-۱۰ (IL-10) به عنوان سیتوکین ضدالتهابی در تیمار شاهد (۱۲/۰۳ نانوگرم در لیتر) بالاترین مقدار را داشت و در تیمارهای حاوی چربی کاهش یافت، به طوری که کمترین مقدار مربوط به دانه کاملینا (۱۰/۵۰) بود.

جدول ۳- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر پاسخ‌های ایمنی در بره‌های پرواری

Table 3- The effect of Experimental treatments on Immune Response in Fattening Lambs

فراسنج‌ها Parameters (نانوگرم در لیتر) (ng/l)	تیمارهای آزمایش				استاندارد SEM	سطح احتمال P-Value
	شاهد Control	روغن پالم Palm Oil	روغن کاملینا Camelina Oil	دانه کاملینا Camelina seed		
اینترلوکین-۲ interleukin-2 (IL-2)	45.05	45.43	45.88	46.45	0.439	0.1965
اینترلوکین-۶ interleukin-6 (IL-6)	29.43 ^c	30.20 ^c	33.03 ^b	34.03 ^a	0.316	< 0.0001
اینترلوکین-۱۰ interleukin-10 (IL-10)	12.03 ^a	10.68 ^b	10.63 ^b	10.50 ^b	0.196	0.0004

میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد ($P < 0.05$).

SEM: خطای استاندارد از میانگین

Means in rows with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$)

SEM: Standard error of means

عدم تغییر اینترلوکین-۲ (IL-2) بین تیمارها نشان می‌دهد که منابع چربی تأثیر چندانی بر تکثیر و تمایز لنفو سیت‌های T (ایمنی سلولی) نداشته‌اند. اینترلوکین-۲ (IL-2) عمدتاً توسط لنفو سیت‌های T فعال شده ترشح می‌شود و نقش کلیدی در پاسخ‌های ایمنی سلولی دارد (Tizard, 2000).

اینترلوکین-۶ (IL-6) یک سیتوکین پیش‌التهابی است که در پاسخ به التهاب و عفونت افزایش می‌یابد (Mogharnasi, 2009). اینترلوکین-۶ (IL-6) به عنوان یک سیتوکین پیش‌التهابی، تیمار دانه کاملینا (۳۴/۰۳ نانوگرم در لیتر) به طور معنی‌داری بیشترین غلظت را نشان داد ($P < 0.001$) که نسبت به تیمار شاهد (۲۹/۴۳) و روغن پالم (۳۰/۲۰) افزایش یافته بود. تیمار روغن کاملینا نیز مقدار اینترلوکین-۶ (IL-6) بالاتری نسبت به شاهد داشت (۳۳/۰۳). این یافته برخلاف انتظار اولیه مبنی بر اثر ضدالتهابی امگا-۳ است. هر چند مطالعات پیشین نشان داده‌اند که اسیدهای چرب امگا-۳ از طریق مکانیسم‌هایی مانند تغییر ترکیب غشای سلولی، مهار مسیر سیگنالینگ NF- κ B و تولید ایکوزانوئیدهای ضدالتهابی می‌توانند تولید سیتوکین‌های پیش‌التهابی را کاهش دهند (Calder, 2006)، اما در مطالعه حاضر چنین اثری مشاهده نشد. در عوض، مصرف دانه کاملینا با افزایش اینترلوکین-۶ (IL-6) همراه بود که ممکن است به دلایل زیر باشد:

پیش از بررسی علل افزایش اینترلوکین-6 (IL-6)، لازم به ذکر است که این یافته با نتایج مثبت آنتی اکسیدانی گزارش شده برای دانه کاملینا (افزایش TAC و GPX و کاهش MDA) نه تنها در تضاد نیست، بلکه بیانگر پیچیدگی اثرات این دانه بر سطوح مختلف فیزیولوژیک بدن است. نکته در این است که شاخص های آنتی اکسیدانی اندازه گیری شده در خون محیطی، بیانگر وضعیت کلی سیستمیک دام هستند و لزوماً منعکس کننده ریز محیط سلول های ایمنی در گردش خون نمی باشند. به عبارت دیگر، ترکیبات آنتی اکسیدانی موجود در دانه کاملینا (از جمله توکوفرول ها و ترکیبات فنولی) در سطح سیستمیک می توانند استرس اکسیداتیو کلی را کاهش داده و باعث بهبود شاخص هایی مانند MDA شوند (همان گونه که در بخش پیشین نیز به آن اشاره شد). با این حال، در سطح سلول های ایمنی خاص، اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه (PUFA) موجود در دانه کاملینا، در غیاب غلظت کافی آنتی اکسیدان های موضعی در غشای سلولی، ممکن است به عنوان بستر پراکسیداسیون لیپیدی عمل کرده و محصولات ثانویه پیش التهابی تولید کنند. افزون بر این، افزایش اینترلوکین-6 (IL-6) می تواند مستقل از مکانیسم پراکسیداسیون لیپیدی و از طریق مسیرهای سیگنالینگ دیگری نظیر تحریک مستقیم سلول های ایمنی توسط ترکیبات زیست فعال ثانویه (مانند گلوکوزینولات ها در غلظت های بالا) ایجاد شده باشد. بنابراین، اثرات کاملینا بر سیستم ایمنی و وضعیت آنتی اکسیدانی، دو روی یک سکه هستند که به طور هم زمان و از طریق مکانیسم های مجزا، ولی نه لزوماً متضاد، رخ می دهند و نشان دهنده اثرات پلئوتروپیک (چندگانه) این دانه روغنی بر متابولیسم و ایمنی دام است.

۱. پراکسیداسیون لیپیدی ناشی از اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه: دانه کاملینا سرشار از امگا-۳ است، اما در غیاب آنتی اکسیدان های کافی در سطح سلولی، این اسیدهای چرب می توانند بستر پراکسیداسیون لیپیدی قرار گرفته و محصولات ثانویه پیش التهابی (مانند ایزومرهای حلقوی و آلدهیدهای واکنش پذیر) تولید کنند. هر چند در این مطالعه ظرفیت آنتی اکسیدانی کل (TAC) و فعالیت GPX در تیمار دانه کاملینا افزایش یافته بود، اما این افزایش ممکن است برای مهار کامل التهاب ناشی از لیپوپروکسیداسیون کافی نبوده باشد.

یافته های مشابهی در مورد افزایش بیان ژن اینترلوکین-6 (IL-6) با مصرف کنجاله کاملینا در گاوهای شیری هلشتاین نیز گزارش شده است (Rezamand et al., 2016)؛ که نشان می دهد این پدیده منحصر به بره های پرواری نبوده و ممکن است به نوع فرآورده مصرفی (دانه یا کنجاله) وابسته باشد.

۲. اثرات دوگانه ترکیبات ثانویه گیاه کاملینا: دانه کاملینا حاوی ترکیبات زیست فعالی مانند گلوکوزینولات ها و برخی فنول ها است (Pagliari et al., 2024; Zanetti et al., 2021) هرچند گلوکوزینولات های کاملینا عمدتاً با خواص آنتی اکسیدانی و ضد التهابی شناخته شده اند (Pagliari et al., 2024) اما در غلظت های بالا ممکن است اثر تحریکی بر سلول های ایمنی داشته باشند. مطالعات قبلی نشان داده اند که بسیاری از ترکیبات ثانویه گیاهی بسته به دوز، هم خاصیت ضد التهابی و هم پیش التهابی از خود نشان می دهند (Medrano-Padial et al., 2026; Esteve, 2020).

در مقابل، مطالعه ای روی خوک های پرواری نشان داد که مصرف کنجاله کاملینا (۱۲ درصد) باعث کاهش بیان پروتئین و ژن سایتوکاین های پیش التهابی از جمله IL-6 در طحال می شود (Taranu et al., 2014). این تناقض ممکن است ناشی از تفاوت در گونه دامی، نوع فرآورده (دانه کامل در مقابل کنجاله روغن کشی شده)، دوز مصرفی یا بافت مورد بررسی (خون محیطی در مطالعه حاضر در مقابل طحال در مطالعه خوک) باشد.

کاهش اینترلوکین-10 (IL-10) در تیمارهای حاوی چربی نسبت به شاهد ممکن است نشان دهنده کاهش نیاز به پاسخ های ضد التهابی به دلیل کاهش التهاب زمینه ای باشد. اینترلوکین-10 (IL-10) یک سیتوکین ضد التهابی است که پاسخ های ایمنی را تعدیل و از التهاب بیش از حد جلوگیری می کند. کاهش همزمان اینترلوکین-6 (IL-6) و اینترلوکین-10 (IL-10) در تیمارهای کاملینا می تواند نشان دهنده یک وضعیت ایمنی متعادل تر باشد.

با این حال، مطالعه‌ای روی گوسفندان شیرده نشان داد که مصرف دانه کاملینا (به ویژه در سطح ۶ درصد) باعث افزایش بیان ژن اینترلوکین-۱۰ (IL-10) در نوتروفیل‌ها می‌شود (Christodoulou et al., 2022). این تفاوت با یافته‌های مطالعه حاضر ممکن است به تفاوت در وضعیت فیزیولوژیک دام (پرورار در مقابل شیردهی)، سن، یا مدت زمان تغذیه با کاملینا مربوط باشد.

در مجموع، اگرچه دانه کاملینا وضعیت آنتی‌اکسیدانی را به طور چشمگیری بهبود بخشید (افزایش GPX و TAC، کاهش MDA)، اما اثر آن بر سیستم ایمنی یک‌سویه و صرفاً مفید نبود. افزایش اینترلوکین-۶ (IL-6) و کاهش اینترلوکین-۱۰ (IL-10) در این تیمار نشان می‌دهد که پاسخ ایمنی در شرایط مصرف دانه کاملینا ممکن است به سمت التهاب با درجه پایین سوق پیدا کند. این یافته لزوم احتیاط در تجویز دانه کاملینا در سطوح بالا را نشان می‌دهد و پژوهش‌های بیشتری را برای بررسی دوز-پاسخ، مکانیسم‌های مولکولی و پیامدهای بلندمدت آن بر سلامت بره‌های پرواری طلب می‌کند.

علائم حیاتی:

نتایج تاثیر تیمارهای آزمایشی بر شاخص‌های علائم حیاتی در جدول ۴ ارائه شده است. دمای رکتوم، تعداد تنفس و ضربان قلب در تمام روزهای اندازه‌گیری در محدوده طبیعی برای گوسفند قرار داشت و تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد ($P > 0.05$). میانگین دمای رکتوم حدود ۳۸/۸ تا ۳۸/۹ درجه سانتی‌گراد، تعداد تنفس حدود ۲۶ تا ۲۸ بار در دقیقه و ضربان قلب حدود ۸۹ تا ۹۲ بار در دقیقه بود.

جدول ۴- تاثیر تیمارهای آزمایشی بر شاخص‌های علائم حیاتی در بره‌های پرواری

Table 4- The effect of Experimental treatments on vital signs in Fattening Lambs

فراسنجه‌ها Parameters	تیمارهای آزمایش Experimental treatments				استاندارد SEM	سطح احتمال P-Value
	شاهد Control	روغن پالم Palm Oil	روغن کاملینا Camelina Oil	دانه کاملینا Camelina seed		
دمای رکتوم (سانتی‌گراد) Rectal temperature (centigrade)						
روز صفر Day 0	38.79	38.73	38.91	38.73	0.125	0.6898
روز ۲۸ Day 28	38.93	38.95	39.00	38.81	0.164	0.8757
روز ۵۶ Day 56	38.90	38.96	39.01	38.88	0.150	0.9188
روز ۸۴ Day 84	38.93	38.84	38.85	38.86	0.130	0.9669
تعداد تنفس (بار در دقیقه) Respiration Rate (per/minute)						
روز صفر Day 0	28.13	28.13	28.13	28.00	0.436	0.9959
روز ۲۸ Day 28	27.75	27.63	28.75	28.63	0.780	0.6646
روز ۵۶ Day 56	26.75	27.13	27.00	27.00	0.590	0.9751
روز ۸۴ Day 84	26.63	27.13	27.00	27.13	0.581	0.9213
ضربان قلب (بار در دقیقه) Heart rate (per/minute)						
روز صفر	87.50	90.13	90.13	90.13	1.435	0.4993

Day 0						
روز ۲۸	90.88	93.00	89.00	91.88	1.630	0.3811
Day 28						
روز ۵۶	89.25	90.75	90.50	89.25	1.748	0.9195
Day 56						
روز ۸۴	89.75	91.63	90.63	89.50	1.637	0.7951
Day 84						

میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد ($P < 0.05$).

SEM: خطای استاندارد از میانگین

Means in rows with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$)

SEM: Standard error of means

عدم تغییر علایم حیاتی بین تیمارها نشان‌دهنده این است که منابع چربی مورد استفاده در سطوح به کار رفته، اثر منفی بر سلامت عمومی و هموستاز بدن نداشته‌اند. تمامی مقادیر در محدوده طبیعی برای گوسفند قرار داشتند (Blood & Studdert, 1999). این یافته با گزارشات قبلی مبنی بر عدم تأثیر چربی‌ها بر دمای بدن و سایر علایم حیاتی در شرایط طبیعی همخوانی دارد (Marai et al, 2007).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که منابع کاملینا به ویژه دانه کاملینا با بهبود وضعیت آنتی‌اکسیدانی (افزایش گلوتاتیون پراکسیداز (GPX) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (TAC) و کاهش مالون‌دی‌آلدهید (MDA) در بره‌های پرواری، نقش مؤثری در کاهش استرس اکسیداتیو دارند. با این حال، بر خلاف انتظار، دانه کاملینا باعث افزایش غلظت اینترلوکین-۶ (IL-6) یک سیتوکین پیش‌التهابی و کاهش اینترلوکین-۱۰ (IL-10) یک سیتوکین ضدالتهابی شد که نشان‌دهنده یک پاسخ ایمنی پیچیده و وابسته به شرایط است. روغن پالم با افزایش مالون‌دی‌آلدهید (MDA) و عدم بهبود معنی‌دار شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی، عملکرد ضعیف‌تری در این زمینه داشت. استفاده از دانه کاملینا به عنوان منبع غنی از اسیدهای چرب امگا ۳ و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی باید با آگاهی از اثرات دوگانه آن بر ایمنی همراه باشد. در این مطالعه علایم حیاتی در تمام تیمارها در محدوده طبیعی قرار داشت و تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده نشد. با این حال، عدم تغییر علایم حیاتی به تنهایی برای تأیید ایمنی کامل منابع چربی، کافی نیست و اندازه‌گیری فراسنجه‌های بیوشیمیایی مرتبط با سلامت کبد و کلیه (مانند آنزیم‌های ALT، AST و غلظت کراتینین) برای نتیجه‌گیری قطعی‌تر توصیه می‌شود.

از منظر کاربردی و اقتصادی، هرچند روغن پالم به عنوان منبع چربی ارزان و در دسترس است، اما نتایج این مطالعه نشان داد که این منبع چربی تأثیر مثبتی بر شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی و ایمنی نداشته و حتی با افزایش پراکسیداسیون لیپیدی همراه بود. در مقابل، استفاده از دانه کاملینا به عنوان یک منبع داخلی با قابلیت کشت در مناطق کم‌آب ایران، علاوه بر بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، می‌تواند بخشی از پروتئین جیره را نیز تأمین کند و از این طریق هزینه خوراک را تا حدی جبران نماید. بنابراین در مناطقی که امکان کشت و فرآوری کاملینا وجود دارد، استفاده از دانه کاملینا نسبت به روغن استخراج شده و روغن پالم وارداتی از نظر اقتصادی و پایداری تولید ارجحیت دارد. با این حال، توصیه می‌شود در پژوهش‌های آینده تحلیل هزینه-فایده کامل با در نظر گرفتن قیمت منطقه‌ای منابع خوراکی، هزینه‌های فرآوری و اثرات بلندمدت بر عملکرد و سلامت دام انجام شود. در کوتاه‌مدت، برای مزارعی که دسترسی آسان به دانه کاملینا ندارند، روغن کاملینا در سطح ۱/۵ درصد می‌تواند گزینه مناسبی باشد، اما اولویت اصلی با دانه کامل به دلیل مزایای تغذیه‌ای و اقتصادی بیشتر است.

References

1. AOAC International. (2005). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists (15th ed.). USA.
2. Badakhshan, Y., & Abshenas, J. (2015). Changes in body temperature, respiration, heart rate and certain serum biochemical parameters of sheep during summer heat stress in Jiroft. *Journal of Veterinary Research*, 70(3), 333-339. <https://doi.org/10.22059/jvr.2015.55278>
3. Blood, D. C., & Studdert, V. P. (1999). *Saunders comprehensive veterinary dictionary*. Saunders Ltd.
4. Calder, P. C. (2006). Polyunsaturated fatty acids, inflammation, and immunity. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 83(6), 1505S-1519S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/83.6.1505S>
5. Caroprese, M., Albenzio, M., Marino, R., Santillo, A., & Sevi, A. (2012). Immune response and milk production of dairy cows fed graded levels of rumen-protected glutamine. *Research in Veterinary Science*, 93, 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2011.07.015>
6. Celi, P. (2011). Oxidative stress in ruminants. In L. Mandelker & P. Vajdovich (Eds.), *Oxidative stress in applied basic research and clinical practice* (pp. 191-231). Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-61779-071-3_13
7. Christodoulou, C., Mavrommatis, A., Simoni, M., Righi, F., & Prandini, A. (2022). The amino acid profile of *Camelina sativa* seeds correlates with the strongest immune response in dairy ewes. *Animal*, 16 (9), 100621. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100621>
8. Esteve, M. (2020). Mechanisms underlying biological effects of cruciferous glucosinolate-derived isothiocyanates/indoles: A focus on metabolic syndrome. *Frontiers in Nutrition*, 7, 111. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00111>
9. Ferreira, E.M., Pires, A.V., Susin, I., Gentil, R.S., Parente, M.O.M., Nolli, C.P., Meneghini, R.C.M., Mendes, C.Q., and Ribeiro, C.V.D.M. (2014). Growth, feed intake, carcass characteristics, and meat fattyacid profile of lambs fed soybean oil partially replacedby fish oil blend. *Journal of Animal Feed Science and Technology*. 187: 9– 18. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.09.016>
10. Gobert, M., Martin, B., Ferlay, A., Chilliard, Y., Graulet, B., Pradel, P., Bauchart, D., & Durand, D. (2009). Plant polyphenols associated with vitamin E can reduce plasma lipoperoxidation in dairy cows given n-3 polyunsaturated fatty acids. *Journal of Dairy Science*, 92, 6095–6104. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2087>
11. Halliwell, B., & Chirico, S. (1993). Lipid peroxidation: Its mechanism, measurement, and significance. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 57(5), 715S-724S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/57.5.715S>
12. Juodka, R.; Nainienė, R.; Juškienė, V.; Juška, R.; Leikus, R.; Kadžienė, G.; Stankevičienė, D. (2022). Camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) as Feedstuffs in Meat Type Poultry Diet: A Source of Protein and n-3 Fatty Acids. *Animals*, 12, 295. <https://doi.org/10.3390/ani12030295>
13. Kumar, S., Kumar, D., & Prakash, O. (2008). Evaluation of antioxidant potential, phenolic and flavonoid contents of *Hibiscus tiliaceus* flowers. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 7(4), 2863-2871.

14. Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*, 4, 118-126. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.70902> (PMID: 22228951; PMCID: PMC3249911)
15. Marai, I. F. M., El-Darawany, A. A., Fadiel, A., & Abdel-Hafez, M. A. M. (2007). Physiological traits as affected by heat stress in sheep - A review. *Small Ruminant Research*, 71, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.10.003>
16. Medrano-Padial, C., et al. (2026). Bioaccessible Sulforaphane Drives Macrophage Migration and Differentiation by Reprogramming the Interleukin Profile in Intestinal Inflammation. *Biofactors*. <https://doi.org/10.1002/biof.70101>
17. Mogharnasi, M., Gaeini, A. A. D., & Sheikholeslami Vatani, D. (2009). Comparing the effects of two training methods of aerobic and anaerobic on some pre-inflammatory cytokines in adult male rats. *Iranian Journal of Endocrinology and Metabolism*, 11, 191-198.
18. National Research Council. (2007). *Nutrient requirements of small ruminants*. National Academy Press.
19. Pagliari, S., Domínguez-Rodríguez, G., Cifuentes, A., Ibáñez, E., Labra, M., & Campone, L. (2024). Pressurized green liquid extraction of glucosinolates from *Camelina sativa* (L.) Crantz by-products: Process optimization and biological activities of green extracts. *Food Chemistry: X*. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101325>
20. Rezamand, P., Hatch, B. P., Carnahan, K. G., & McGuire, M. A. (2016). Effects of α -linolenic acid-enriched diets on gene expression of key inflammatory mediators in immune and milk cells obtained from Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99 (suppl. 1), 1-10 [10.1017/S0022029915000709](https://doi.org/10.1017/S0022029915000709)
21. Riaz, R., Ahmed, I., Sizmaz, O., & Ahsan, U. (2022). Use of *Camelina sativa* and by-products in diets for dairy cows: A review. *Animals*, 12(9), 1082. <https://doi.org/10.3390/ani12091082>
22. Shirangar, Z., Hojbari, F., and Norian Soroor, M.E. (2023). Replacement of soybean meal with *Camelina sativa* meal in diet of fattening lambs: effect on performance, some blood and rumen fermentation parameters. *Journal of Animal Production*. 25(3), 255-266. <https://doi.org/10.22059/jap.2023.354050.623726>. (in Persian).
23. Taranu, I., Gras, M. A., Pistol, G. C., Lefter, N., Palade, M., Ropota, M., Sanda Chedea, V., & Marin, D. E. (2014). ω -3 PUFA rich camelina oil by-products improve the systemic metabolism and spleen cell functions in fattening pigs. *PLoS ONE*, 9 (10), e110186. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110186>
24. Tizard, I. R. (2000). *Veterinary immunology: An introduction* (6th ed.). W.B. Saunders Company.
25. Tomkins, T., and Drackley, J. K. (2010). Applications of palm oil in animal nutrition. *Journal of Oil Palm Research*, 22, 835-845.
26. Zanetti, F., Alberghini, B., Marjanović, J., & Monti, A. (2021). *Camelina sativa* (Cranz.) from minor crop to potential breakthrough. In *Studies in Natural Products Chemistry* (Vol. 68, pp. 1-32). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-90537-4.00025-9>
27. Zubr, J., and Matthäus, B. (2002). Effects of growth conditions on fatty acids and tocopherols in *Camelina sativa* oil. *Industrial Crops and Products*. 15(2): 155-162. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(01\)00106-6](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(01)00106-6)