

Effects of Buffer and Plant Extracts on Degradability, Gas Production Parameters, and Nutrient Digestibility in Zel Sheep

Fatemeh Rezvani Badeleh¹, Yadollah Chashnidel^{1*}, Asdollah Teymouri Yanesari¹, Radman Bakhtiari¹

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

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

How to cite this article:

Received: 23-06-2025

Revised: 09-10-2025

Accepted: 25-10-2025

Available Online: 04-04-2026

Rezvani Badeleh, F., Chashnidel, Y., Teymouri Yanesari, A., & Bakhtiari, R. (2026). Effects of Buffer and Plant Extracts on Degradability, Gas Production Parameters, and Nutrient Digestibility in Zel Sheep. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 18(1), 1-13. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/ijasr.2025.94142.1252>

Introduction: Buffers are frequently incorporated into high-concentrate diets to mitigate ruminal acidity and stabilize ruminal pH. Their inclusion can augment the acetate-to-propionate ratio and enhance fiber digestibility, thereby promoting dry matter intake. In parallel, plant extracts, owing to their antimicrobial, antioxidant, and biologically active properties, have emerged as promising feed additives. Among these, thyme (*Thymus vulgaris* L.) extract has demonstrated antimicrobial activity under *in vitro* conditions, evidenced by reduced methane production and altered rumen fermentation characteristics. Garlic (*Allium sativum* L.) extract exhibits prebiotic-like effects and possesses antioxidant, antimicrobial, anti-methanogenic, and anti-protozoal properties. Eucalyptus (*Eucalyptus globulus* Labill.) extract contains a mixture of volatile essential oils such as 1, 8-cineole, limonene, and α -terpineol, along with non-volatile phenolic compounds, which may modulate rumen fermentation and inhibit methanogenesis. Given the potential benefits of both buffers and plant extracts, this study aimed to evaluate the effects of supplementing the diet with 2% sodium bicarbonate and plant extracts (thyme, garlic, and eucalyptus) on gas production parameters, ruminal degradability, and the apparent digestibility of nutrients.

Materials and Methods: This study was conducted to evaluate the effects of 2% sodium bicarbonate supplementation, combined with various plant extracts, on *in vitro* gas production kinetics and the *in sacco* ruminal degradability of dry matter (DM), crude protein (CP), and neutral detergent fiber (NDF). Additionally, the apparent nutrient digestibility of the experimental diets was assessed. The treatments were structured as follows: 1) 2% sodium bicarbonate (control); 2) Control + thyme extract (400 mg/kg DM of the diet); 3) Control + garlic extract (300 mg/kg DM); 4) Control + eucalyptus extract (150 mg/kg DM). A fattening diet was formulated using the Small Ruminant Nutrition System (SRNS) software and provided as a Total Mixed Ration (TMR) with a forage-to-concentrate ratio of 30:70 (DM basis). Three 2-year-old Zel ewes (average body weight: 43 $\pm$ 2 kg) were utilized to evaluate ruminal degradability parameters following the approved animal welfare protocols. The animals were housed individually in semi-open, roofed metabolic cages with free access to water. Following an adaptation period, the ewes were fed the experimental diets twice daily at 08:00 and 20:00 h. Rumen fluid was collected from the ruminally cannulated Zel ewes prior to the morning feeding to determine gas production parameters. Apparent nutrient digestibility was determined using the acid-insoluble ash (AIA) method as an internal marker. Twenty male Zel sheep (6–7 months old; 38 $\pm$ 2 kg body weight) were assigned to four dietary treatments (five lambs per treatment) and fed the experimental diets for 42 days. Data were analyzed using the GLM procedure of SAS software, and means were compared using Duncan's multiple range test at a significance level



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.2025.94142.1252>

of $P < 0.05$.

Results and Discussion: The results indicated that gas production potential ($P = 0.0003$) and gas production at 96 h ($P = 0.0002$) were significantly higher in the treatment containing eucalyptus extract compared to the other experimental treatments. Gas production at 24 and 48 h was significantly increased by eucalyptus extract supplementation compared to the other treatments ($P < 0.05$). Organic matter digestibility ($P = 0.0352$), metabolizable energy ($P = 0.0371$), and the concentration of short-chain fatty acids ($P = 0.0482$) were significantly higher in the eucalyptus extract and control groups compared to the thyme extract treatment. The rapidly degradable fraction of DM was significantly increased in the eucalyptus extract treatment compared to the thyme and garlic extract treatments ($P = 0.0137$). The slowly degradable fraction and effective degradability of DM at outflow rates of 0.02, 0.05, and 0.08 tended to be higher in the garlic extract group relative to the control ($P = 0.0828$). The degradation rate constant of DM was significantly higher in the eucalyptus extract treatment compared to the other experimental groups ($P = 0.0218$). None of the ruminal degradability parameters for CP were significantly affected by the experimental treatments ($P > 0.05$). The rapidly degradable fraction of NDF was significantly reduced in all plant extract treatments compared to the control group ($P = 0.0009$), while no significant differences were observed among treatments for the other ruminal degradability parameters of NDF ($P > 0.05$). Dietary supplementation with plant extracts significantly enhanced dry matter ($P = 0.0155$) and organic matter ($P = 0.0041$) digestibility compared to the control diet. The effect of treatments on crude protein digestibility showed a trend toward significance ($P = 0.0874$). Neutral detergent fiber digestibility was significantly higher in the thyme extract treatment compared to the other treatments ($P = 0.0200$). Finally, crude fat digestibility was significantly increased in all plant extract treatments compared to the control group ($P = 0.0406$).

Conclusion: Supplementation with plant extracts distinctly modulated ruminal fermentation and nutrient digestibility in Zel sheep. Eucalyptus extract exhibited the most pronounced positive effects on nutrient digestibility, the rapidly degradable fraction of dry matter, and gas production parameters, whereas thyme and garlic extracts suppressed fermentation due to their strong antimicrobial activity. Despite these differences, all plant extract treatments enhanced apparent nutrient digestibility relative to the control. Overall, eucalyptus extract with sodium bicarbonate proved most effective in enhancing ruminal fermentation efficiency and maintaining pH stability in concentrate-based diets.

Keywords: Eucalyptus extract, Garlic extract, Ruminal fermentation, Sodium bicarbonate, Thyme extract

اثرات بافر و عصاره‌های گیاهی بر فراسنجه‌های تجزیه پذیری، تولید گاز و قابلیت هضم گوسفند زل

فاطمه رضوانی باده^۱، یداله چاشنی دل^{۱*}، اسداله تیموری یانسری^۱، رادمان بختیاری^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۳

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی افزودن سدیم بی کربنات دو درصد و عصاره‌های گیاهی (آویشن (*Thymus vulgaris* L.)، سیر (*Allium sativum* L.) و اکالیپتوس (*Eucalyptus globulus* Labill.)) بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای، تولید گاز و قابلیت هضم در گوسفند زل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل: ۱- سدیم بی کربنات دو درصد (بدون عصاره)؛ ۲- سدیم بی کربنات دو درصد به علاوه عصاره آویشن (۴۰۰ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک جیره)؛ ۳- سدیم بی کربنات دو درصد به علاوه عصاره سیر (۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک جیره) و ۴- سدیم بی کربنات دو درصد به علاوه عصاره اکالیپتوس (۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک جیره) بودند. ظرفیت تولید گاز با روش آزمایشگاهی و تعیین فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری با روش کیسه‌های نایلونی انجام شد. برای تعیین قابلیت هضم، از روش نشانگر داخلی خاکستر نامحلول در اسید استفاده گردید. نتایج نشان داد که پتانسیل تولید گاز و گاز تولیدی در ۹۶ ساعت در تیمار حاوی عصاره اکالیپتوس نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. قابلیت هضم ماده آلی، انرژی قابل متابولیسم و غلظت اسیدهای چرب فرار کوتاه زنجیر در تیمار حاوی عصاره اکالیپتوس و شاهد نسبت به تیمار حاوی عصاره آویشن به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. بخش سریع تجزیه ماده خشک در تیمار حاوی عصاره اکالیپتوس نسبت به تیمارهای حاوی عصاره آویشن و سیر به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی در تمامی تیمارهای حاوی عصاره گیاهی نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌طور کلی، استفاده از عصاره اکالیپتوس به علاوه سدیم بی کربنات می‌تواند به عنوان گزینه‌ای مؤثرتر برای بهبود فرآیند تخمیر شکمبه و افزایش بهره‌وری غذایی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تخمیر شکمبه‌ای، سدیم بی کربنات، عصاره اکالیپتوس، عصاره آویشن، عصاره سیر

مقدمه

نتیجه افزایش مصرف خوراک می‌شود (Ramos et al., 2021). افزودن سدیم بی کربنات ممکن است باعث افزایش فعالیت میکروب‌های سلولولیتیک شود، زیرا آن‌ها نسبتاً حساس به کاهش شدید pH هستند. همان‌طور که در پژوهشی نشان داده شده است، استفاده از بافر سدیم بی کربنات موجب افزایش pH نهایی و افزایش تولید اسیدهای چرب فرار شد (Mao et al., 2017). مطالعاتی وجود دارند که نشان داده‌اند ترکیب افزودنی‌های تنظیم‌کننده با تکنولوژی‌های مختلف (مثلاً مخمر به علاوه عصاره یا عصاره به علاوه بافر) ممکن است نتایج بهتری از هر کدام به تنهایی بدهند (Linville, 2017). در سال‌های اخیر، توجه بیشتری به استفاده از گیاهان دارویی به عنوان جایگزین‌های طبیعی برای آنتی‌بیوتیک‌های محرک رشد در تغذیه دام‌ها جلب شده است، زیرا این گیاهان می‌توانند عملکرد آن‌ها

تغذیه دام‌های نشخوارکننده با جیره‌های حاوی مقدار زیاد کنسانتره اغلب منجر به ناهنجاری‌های متابولیکی می‌شود. بافرها به‌طور گسترده‌ای در جیره‌های حاوی مواد متراکم بالا به منظور پیش‌گیری از اثرات زیان‌بار اسیدیته از طریق پایداری pH شکمبه استفاده می‌شوند (Plaizier et al., 2018). استفاده از بافرها با افزایش نسبت استات به پروپیونات موجب بهبود هضم الیاف و در

۱- گروه علوم دامی، دانشکده دام و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(*) نویسنده مسئول: (Email: yhashmidel@sanru.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/ijasr.2025.94142.1252>

تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شونده خشی به‌روش *in sacco* در میش‌های نژاد زل دارای فیستوله شکمبه‌ای و فراسنجه‌های تولید گاز به‌روش *in vitro* با استفاده از مایع شکمبه‌ای میش‌های ذکرشده بود. مرحله دوم، ارزیابی اثرات تیمارهای آزمایشی بر قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی خوراک به‌روش *in vivo* در گوسفندهای نر نژاد زل بود. در مرحله اول، سطوح مختلف بافر و عصاره‌های گیاهی، آزمایش و بررسی شده و بهترین تیمارها در هر بخش گزارش گردید و در مرحله دوم آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند. تیمارهای آزمایشی شامل ۱- سدیم بی‌کربنات دو درصد (شاهد)، ۲- شاهد + عصاره آویشن (۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک جیره)، ۳- شاهد + عصاره سیر (۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک جیره) و ۴- شاهد + عصاره اکالیپتوس (۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک جیره) بودند. مکمل سدیم بی‌کربنات از شرکت اکسیر شیمی (ایران، تبریز) و عصاره‌های گیاهی مورد آزمایش از شرکت مزرعه مروارید (سبزوار، خراسان رضوی، ایران) تهیه گردید. سدیم بی‌کربنات به‌شکل پودر سفید رنگ کریستالی شفاف به جیره‌های آزمایشی اضافه شد و عصاره‌های گیاهی به‌طور کامل و یکنواخت به کنسانتره مصرفی روزانه دام‌های آزمایشی اسپری و مخلوط گردید. جیره بره‌های پرواری با نرم‌افزار SRNS تنظیم شد و اقلام خوراکی مورد استفاده به‌صورت جیره کاملاً مخلوط (TMR) حاوی علوفه و کنسانتره به‌نسبت ۷۰:۳۰ در اختیار حیوانات مورد آزمایش قرار گرفت. ترکیبات جیره غذایی در جدول (۱) نمایش داده شده است و جهت تعیین مقدار ترکیبات شیمیایی جیره از روش‌های استاندارد (AOAC, 2005; Van Soest *et al.*, 1991) استفاده گردید.

فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای

در این آزمایش، تعداد سه رأس میش نژاد زل دارای فیستوله شکمبه‌ای با میانگین وزن 43 ± 2 کیلوگرم و سن دو سال به‌منظور تعیین فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری در جایگاهی مسقف و نیمه‌باز، در قفس‌های متابولیک با دسترسی آزاد به آب و مکمل معدنی نگهداری شدند. پس از طی دوره عادت‌پذیری، میش‌ها با جیره‌های آزمایشی (جدول ۱) دو بار در روز (۸ صبح و ۲۰ عصر) تغذیه گردید. نمونه‌های جیره‌های آزمایشی پس از خشک شدن با آسیاب دارای الک یک میلی‌متری آسیاب شدند و مقدار چهار گرم نمونه داخل کیسه‌های نایلونی (قطر منافذ ۴۸ میکرومتر و ابعاد 10×15 سانتی‌متر) از جنس الیاف پلی‌استر مصنوعی ریخته شد. کیسه‌ها به‌مدت صفر، ۲، ۴، ۸، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت داخل شکمبه قرار داده شد. پس از خروج کیسه‌های حاوی نمونه از شکمبه بلافاصله با آب سرد شست‌وشو انجام شده، سپس آن‌ها داخل آون قرار داده شدند. با استفاده از معادله ۱ فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری محاسبه گردید.

را بهبود بخشند (Chen *et al.*, 2021). ترکیبات موجود در گیاهان دارویی می‌توانند با افزایش ترشح آنزیم‌های گوارشی و بهبود جذب مواد مغذی، به افزایش وزن و رشد دام کمک کنند (Tao *et al.*, 2019). عصاره‌های گیاهی با توجه به خاصیت ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی و ویژگی‌های بیولوژیکی فعال، تحول عظیمی را در زمینه افزودنی‌های خوراکی به وجود آوردند (Benchaa *et al.*, 2007). این ترکیبات می‌توانند منجر به ممانعت از دامیناسیون اسید آمینه و کاهش نیتروژن آمونیاکی، متان، استات و افزایش غلظت پروپیونات و بوتیرات در شکمبه شوند. عصاره آویشن (*Thymus vulgaris* L.) از جمله عصاره‌های گیاهی است که اخیراً مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته (Ribeiro *et al.*, 2019) و فعالیت ضد میکروبی آن در شرایط آزمایشگاهی با کاهش تولید گاز متان و اثرات آن بر فراسنجه‌های تخمیر شکمبه گزارش شده است (Talebi *et al.*, 2019). عصاره سیر (*Allium sativum* L.) نیز به‌عنوان یک پروبیوتیک عمل کرده و دارای فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی، ضد متان‌زایی و ضد پروتوزوایی است (Sasi *et al.*, 2021). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که مصرف پودر سیر و مشتقات آن می‌تواند تأثیرات مثبتی بر دام‌ها به‌ویژه گوساله‌ها داشته باشد (Chen *et al.*, 2021). همچنین عصاره اکالیپتوس (*Eucalyptus globulus* Labill.) حاوی مجموعه‌ای از اسانس فرار شامل ۱،۸-سینئول، لیمون و α -ترپینئول و ترکیبات فنولی غیر فرار است که ممکن است سبب تعدیل تخمیر شکمبه در جهت مهار متانوژن شوند (Kumar *et al.*, 2022). در پژوهش حاضر، با در نظر گرفتن سطوح مختلف استفاده‌شده در مطالعات اخیر بر روی عصاره‌های آویشن (Khorrami *et al.*, 2015; El-Naggar *et al.*, 2017) (Hassan & Abdel-Raheem, 2013; Hodjatpanah-Montazeri *et al.*, 2014) و اکالیپتوس (Noorian Soroor & Roozbehan, 2014; Akbarian-Tefaghi *et al.*, 2018) و همچنین با انجام پیش‌آزمایش، بهترین سطوح عصاره‌ها انتخاب شد. با توجه به تأثیر مثبت بافرها و عصاره‌های گیاهی بر فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای، هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر سدیم بی‌کربنات دو درصد و عصاره‌های گیاهی در جیره بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای، تولید گاز و قابلیت هضم مواد مغذی خوراک بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه پژوهشی و آزمایشگاه دانشکده علوم دامی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. این آزمایش به‌صورت دو مرحله اجرا گردید. مرحله اول، بررسی اثرات سدیم بی‌کربنات دو درصد همراه با عصاره‌های گیاهی بر فراسنجه‌های

(Orskov & McDonald, 1979).

$$ED = a + \{(b \times c)/(c + k)\} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، ED: فراسنجه تجزیه‌پذیری مؤثر در شکمبه، a: بخش سریع تجزیه (درصد)، b: بخش کند تجزیه (درصد)، c: ثابت نرخ تجزیه و k: ثابت نرخ عبور فرضی هستند.

$$P = a + b(1 - e^{-ct}) \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، P: درصد تجزیه‌پذیری ماده مغذی در زمان t، a: بخش سریع تجزیه (درصد)، b: بخش کند تجزیه (درصد)، c: عدد نپری، e: ثابت نرخ تجزیه و t: زمان انکوباسیون (ساعت) هستند. محاسبه درصد تجزیه‌پذیری مؤثر نمونه‌ها براساس معادله ۲ با نرخ عبور فرضی

جدول ۱- مواد خوراکی و ترکیبات شیمیایی جیره‌های آزمایشی (برحسب درصد ماده خشک جیره یا واحد بیان شده)

Table 1- Ingredients and chemical compounds of experimental diets (% DM or as stated)

اجزاء و ترکیبات شیمیایی جیره Diet Ingredients and chemical composition	تیمار ۱ Treatment 1	تیمار ۲ Treatment 2	تیمار ۳ Treatment 3	تیمار ۴ Treatment 4
سیلاژ ذرت Corn silage	20	20	20	20
کاه گندم Wheat straw	10	10	10	10
دانه ذرت Corn grain	15	15	15	15
دانه جو Barley grain	25	25	25	25
کنجاله سویا Soybean meal	16.2	16.2	16.2	16.2
سبوس گندم Wheat bran	10	10	10	10
نمک معمولی Common salt	0.3	0.3	0.3	0.3
پرمیکس دامی Animal primex	0.5	0.5	0.5	0.5
کلسیم کربنات Calcium carbonat	1	1	1	1
سدیم بی کربنات Sodium bicarbonate	2	2	2	2
عصاره آویشن (میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک جیره) Thyme extract (mg/kg DM of diet)	-	400	-	-
عصاره سیر (میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک جیره) Garlic extract (mg/kg DM of diet)	-	-	300	-
عصاره اکالیپتوس (میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک جیره) Eucalyptus extrac (mg/kg DM of diet)	-	-	-	150
الیاف نامحلول در شوینده خنثی (درصد) Neutral detergent fiber (NDF, %)	36.18	36.18	36.18	36.18
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (درصد) Acid detergent fiber (ADF, %)	22.25	22.25	22.25	22.25
پروتئین خام (درصد) Crude protein (%)	14.02	14.02	14.02	14.02
انرژی متابولیسمی (مگا کالری در کیلوگرم ماده خشک) Metabolizable energy (Mcal/kg DM of diet)	2.45	2.45	2.45	2.45

* تیمارهای آزمایشی: ۱- سدیم بی کربنات دو درصد (شاهد)، ۲- شاهد + عصاره آویشن، ۳- شاهد + عصاره سیر و ۴- شاهد + عصاره اکالیپتوس.

* Experimental treatments: 1- 2% sodium bicarbonate (control); 2- control + Thyme extract; 3- control + Garlic extract; 4- control + Eucalyptus extract.

فراسنجه‌های تولید گاز

گاز تولیدی مطابق با روش منک و استینگس (Menke & Steingass, 1988) اندازه‌گیری شد. مایع شکمبه قبل از خوراک‌دهی صبح از میش‌های نژاد زل دارای فیستولای شکمبه‌ای ذکرشده جمع‌آوری گردید. مقدار ۰/۲ گرم از ماده خشک نمونه‌های آزمایشی آسیاب‌شده در داخل سرنگ‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته و با مایع شکمبه و بزاق مصنوعی (با نسبت ۱ به ۲) در حمام آبی با دمای ثابت ۳۹ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. حجم گاز تولیدی در زمان‌های صفر، ۲، ۴، ۸، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت ثبت شده و داده‌ها با استفاده از معادله ۳ برازش شدند.

$$P = b(1 - e^{-ct}) \quad \text{معادله (۳)}$$

که در آن، P: ظرفیت تولید گاز، b: گاز تولیدشده از بخش قابل تخمیر (میلی‌لیتر)، c: ثابت نرخ تولید گاز (میلی‌لیتر بر ساعت)، t: زمان انکوباسیون (ساعت) و e: عدد نپری است. میزان انرژی قابل متابولیسم با استفاده از معادله ۴ محاسبه شد (Menke et al., 1979).

$$ME \text{ (MJ/kg DM)} = 2.20 + 0.1357GP + 0.0057CP + 0.0002859EE^2 \quad \text{معادله (۴)}$$

که در آن، ME: انرژی قابل متابولیسم (مگاژول در کیلوگرم ماده خشک)؛ GP: حجم گاز تولیدی تصحیح‌شده برای ۲۴ ساعت (میلی‌لیتر به ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)، CP: پروتئین خام (گرم در کیلوگرم ماده خشک) و EE: چربی خام (گرم در کیلوگرم ماده خشک) است. همچنین قابلیت هضم ماده آلی با استفاده از معادله ۵ محاسبه شد (Menke et al., 1979):

$$OMD = 14.88 + 0.889GP + 0.045CP + 0.0651Ash \quad \text{معادله (۵)}$$

که در آن، OMD: قابلیت هضم ماده آلی (گرم در کیلوگرم ماده خشک)، GP: حجم گاز تولیدی تصحیح‌شده برای ۲۴ ساعت (میلی‌لیتر به ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)، CP: پروتئین خام (گرم در کیلوگرم ماده خشک) و Ash: خاکستر (گرم در کیلوگرم ماده خشک) است. برای برآورد اسیدهای چرب کوتاه زنجیر از معادله ۶ (Getachew et al., 1998) استفاده شد.

$$SCFA \text{ (mmol/200 mgDM)} = 0.0239GP - 0.0601 \quad \text{معادله (۶)}$$

که در آن، SCFA: اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (میلی‌مول به ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک) و GP: حجم گاز تولیدی تصحیح‌شده برای ۲۴ ساعت (میلی‌لیتر به ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک) است.

قابلیت هضم مواد مغذی خوراک

جهت اندازه‌گیری قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی خوراک، از روش نشانگر داخلی خاکستر نامحلول در اسید (AIA) استفاده شد (Van Keulen & Young, 1977). به‌منظور انجام این آزمایش، تعداد ۲۰ رأس گوسفند نر نژاد زل (چهار تیمار شامل پنج تکرار) با میانگین وزن 38 ± 2 و سن شش الی هفت ماه به‌مدت ۴۲ روز با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند. نمونه‌گیری از مدفوع و باقی‌مانده‌های خوراک مربوط به دام‌های آزمایشی هر تیمار در پنج روز پایانی آزمایش به‌منظور تعیین خاکستر نامحلول در اسید و میزان ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام و چربی خام براساس روش انجمن تجزیه شیمیادانان (AOAC, 2005) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی به‌روش ون‌سوست و همکاران (Van Soest et al., 1991) انجام گردید. پس از تعیین خاکستر نامحلول در اسید نمونه‌های خوراک و مدفوع، قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی برحسب درصد، با استفاده از معادله ۷ محاسبه شد.

$$D = 100 - \left\{ 100 \times \left(\frac{AIA \text{ feed}}{AIA \text{ fecal}} \times \frac{N \text{ fecal}}{N \text{ feed}} \right) \right\} \quad \text{معادله (۷)}$$

طرح آماری

داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ با مدل آماری زیر (معادله ۸) آنالیز شدند.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij} \quad \text{معادله (۸)}$$

که در آن، Y_{ij} : مقدار هر مشاهده، μ : میانگین جامعه، T_i : اثر تیمارها و e_{ij} : خطای آزمایشی هستند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه‌پذیری مواد مغذی

با توجه به نتایج جدول (۲)، بخش سریع تجزیه ماده خشک تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت ($P=0/0137$). بیشترین مقدار این فراسنجه در تیمار حاوی عصاره اکالیپتوس و کمترین مقدار آن در تیمار حاوی عصاره آویشن مشاهده شد. اثر تیمارهای آزمایشی بر بخش کند تجزیه ماده خشک نیز تمایل به معنی‌داری داشت ($P=0/0828$). تیمار حاوی عصاره سیر دارای بیشترین و شاهد دارای کمترین مقدار بود. ثابت نرخ تجزیه تفاوت معنی‌داری بین تیمارها نشان داد ($P=0/0218$). تیمار حاوی عصاره اکالیپتوس دارای بیشترین و تیمار حاوی عصاره سیر دارای کمترین مقدار بود. مقادیر تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک در نرخ عبور ۰/۰۲، ۰/۰۵ و ۰/۰۸ در بین تیمارهای آزمایشی از نظر آماری تمایل به معنی‌داری داشت ($P=0/08$).

جدول ۲- اثر بافر و عصاره‌های گیاهی بر تجزیه‌پذیری مواد مغذی خوراک

Table 2- Effect of buffer and plant extracts on feed nutrient degradability

تجزیه‌پذیری ماده خشک Degradability of DM	تیمارهای آزمایشی ^۱ Experimental treatments ¹				خطای استاندارد SEM	اثرات معنی‌داری P-value
	تیمار ۱ Treatment 1	تیمار ۲ Treatment 2	تیمار ۳ Treatment 3	تیمار ۴ Treatment 4		
بخش سریع تجزیه (درصد) Fast degradation fraction (%)	11.01 ^{ab}	10.24 ^b	10.35 ^b	11.80 ^a	0.326	0.0137
بخش کند تجزیه (درصد) Potentially degradable fraction (%)	67.46 ^b	70.25 ^{ab}	71.38 ^a	68.22 ^{ab}	1.104	0.0828
بخش بالقوه قابل تجزیه (درصد) Slow degradation fraction (%)	78.47	80.49	81.73	80.02	1.067	0.2302
بخش غیرقابل تجزیه (درصد) Non-degradable fraction (%)	21.52	19.50	18.26	19.97	1.067	0.2302
ثابت نرخ تجزیه (درصد در ساعت) Degradation rate constant (%)	2.38 ^b	2.35 ^b	2.27 ^b	2.82 ^a	0.119	0.0218
تجزیه‌پذیری مؤثر در نرخ عبور (درصد در ساعت) Effective degradation of pass rate (%/h)						
0.02	66.89 ^b	69.65 ^{ab}	70.74 ^a	67.73 ^{ab}	1.075	0.0830
0.05	66.07 ^b	68.78 ^{ab}	69.80 ^a	67.02 ^{ab}	1.033	0.0831
0.08	65.26 ^b	67.93 ^{ab}	68.89 ^a	66.32 ^{ab}	0.993	0.0829
تجزیه‌پذیری پروتئین خام Degradability of CP						
بخش سریع تجزیه (درصد) Fast degradation fraction (%)	11.28	10.55	11.03	11.65	0.311	0.1301
بخش کند تجزیه (درصد) Potentially degradable fraction (%)	72.13	73.14	73.38	72.70	0.476	0.3002
بخش بالقوه قابل تجزیه (درصد) Slow degradation fraction (%)	83.41	83.69	84.42	84.35	0.426	0.2950
بخش غیرقابل تجزیه (درصد) Non-degradable fraction (%)	16.58	16.30	15.57	15.64	0.426	0.2950
ثابت نرخ تجزیه (درصد در ساعت) Degradation rate constant (%)	3.34	3.53	3.31	3.39	0.083	0.3022
تجزیه‌پذیری مؤثر در نرخ عبور (درصد در ساعت) Effective degradation of pass rate (%/h)						
0.02	71.70	72.72	72.94	72.27	0.470	0.2896
0.05	71.06	72.11	72.29	71.64	0.460	0.2742
0.08	70.44	71.51	71.65	71.02	0.452	0.2593
تجزیه‌پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی Degradability of NDF						
بخش سریع تجزیه (درصد) Fast degradation fraction (%)	6.77 ^a	5.43 ^b	5.54 ^b	5.60 ^b	0.206	0.0009
بخش کند تجزیه (درصد) Potentially degradable fraction (%)	48.75	51.09	49.53	49.23	1.049	0.4478
بخش بالقوه قابل تجزیه (درصد) Slow degradation fraction (%)	55.52	56.53	55.07	54.84	1.131	0.7301
بخش غیرقابل تجزیه (درصد) Non-degradable fraction (%)	44.47	42.46	44.92	45.15	1.131	0.7301
ثابت نرخ تجزیه (درصد در ساعت) Degradation rate constant (%)	2.36	2.48	2.55	2.73	0.130	0.2873
تجزیه‌پذیری مؤثر در نرخ عبور (درصد در ساعت) Effective degradation of pass rate (%/h)						
0.02	48.33	50.68	49.13	48.87	1.022	0.4321
0.05	47.72	50.07	48.56	48.34	0.983	0.4076
0.08	47.13	49.47	47.99	47.82	0.946	0.3823

^۱ تیمارهای آزمایشی: ۱- سدیم بی‌کربنات دو درصد (شاهد)، ۲- شاهد+عصاره آویشن، ۳- شاهد + عصاره سیر، ۴- شاهد + عصاره اکالیپتوس.

حروف متفاوت در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار است ($P<0.05$).

¹ Experimental treatments: 1- 2% sodium bicarbonate (control); 2- Control + Thyme extract; 3- control + Garlic extract; 4- control + Eucalyptus extract. Means within same row with different superscripts differ ($P<0.05$).

حاوی ۶۰ درصد علوفه و ۴۰ درصد کنسانتره کاهش داد. به طور کلی، اثر اسانس‌های گیاهی بر تجزیه‌پذیری پروتئین هم به نوع جیره و هم به نوع سوپسترا بستگی دارد (Khorrami et al., 2015). بیان شده است که عدم اثر اسانس‌های گیاهی بر متابولیسم پروتئین در بلندمدت (کشت مداوم) در شرایط برون‌تنی، روش کیسه‌های نایلونی و مطالعه در شرایط درون‌تنی، ممکن است به مدت زمانی که باکتری‌های شکمبه در معرض این اسانس‌ها قرار دارند، مربوط باشد که این امر سبب تغییر در جمعیت میکروبی شکمبه می‌شود. همچنین ممکن است برخی از ترکیبات فعال اسانس‌ها توسط باکتری‌های شکمبه تجزیه شود (Busquet et al., 2005).

فراسنجه‌های تولید گاز

با توجه به نتایج جدول (۳)، اثر تیمارهای آزمایشی بر پتانسیل تولید گاز و گاز تولیدی در ۹۶ ساعت معنی‌دار بود ($P < 0.01$). بیشترین مقادیر مربوط به تیمار حاوی عصاره اکالیپتوس و کمترین آن مربوط به تیمار حاوی عصاره آویشن بود. گاز تولیدی در ۲۴ ساعت ($P = 0.0482$) و ۴۸ ساعت ($P = 0.060$) در تیمارهای حاوی عصاره اکالیپتوس و شاهد نسبت به تیمار حاوی عصاره آویشن به طور معنی‌داری بیشتر بود. قابلیت هضم ماده آلی ($P = 0.0352$)، انرژی قابل متابولیسم ($P = 0.0371$) و غلظت اسیدهای چرب فرار کوتاه زنجیر ($P = 0.0482$) تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند، به طوری که مقدار این فراسنجه‌ها در تیمار حاوی عصاره اکالیپتوس و شاهد بالاترین بود.

سالم و همکاران (Sallam et al., 2009) نشان دادند که افزودن اسانس اکالیپتوس می‌تواند تخمیر شکمبه‌ای را به سمت تولید بیشتر اسیدهای چرب فرار و کاهش تولید متان هدایت کند. این پژوهشگران عنوان کردند که ترکیبات اصلی اکالیپتوس مانند ۱،۸-سینئول و α -پینن می‌توانند به صورت انتخابی برخی از متانوزنها را مهار و در عین حال رشد باکتری‌های سلولولیتیک را حفظ کنند. این اثر تنظیمی ممکن است علت افزایش تولید گاز و اسیدهای چرب فرار کوتاه زنجیر در تیمار اکالیپتوس باشد. در مقابل، افزودن عصاره سیر و آویشن منجر به کاهش تولید گاز، قابلیت هضم و غلظت اسیدهای چرب فرار کوتاه زنجیر شد. این یافته با گزارش‌های پیشین هم‌خوانی دارد که ترکیبات فنولی و آلیسین موجود در این عصاره‌ها می‌توانند اثرات ضد میکروبی داشته باشند (Talebi et al., 2019). به‌ویژه، تیمار آویشن با داشتن بالاترین سطح تیمول و کارواکرول ممکن است سبب مهار رشد میکروب‌های تجزیه‌کننده فیبر شود و در نتیجه تخمیر و تولید گاز را محدود نماید (Castillejos et al., 2006). مطابق با نتایج این پژوهش، برخی پژوهشگران کاهش در مقدار گاز تولید شده

بیشترین تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک مربوط به تیمار حاوی عصاره سیر بود، درحالی‌که کمترین مقدار آن نیز در شاهد مشاهده شد. همچنین هیچ‌کدام از فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری پروتئین خام از نظر آماری تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفتند ($P > 0.05$). بخش سریع تجزیه الیاف نامحلول در شوینده خنثی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها نشان داد ($P = 0.0009$)، به طوری که بیشترین مقدار آن در تیمار شاهد و کمترین مقدار آن در تیمار حاوی عصاره آویشن مشاهده شد. سایر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای الیاف نامحلول در شوینده خنثی تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی نداشتند ($P > 0.05$).

این یافته‌ها می‌تواند با خاصیت بیولوژیکی عصاره اکالیپتوس ارتباط داشته باشد. عصاره اکالیپتوس (به‌خصوص اسانس‌های فرار آن مانند ۱،۸-سینئول) به عنوان یک تنظیم‌کننده تخمیر شناخته شده است. اثر افزایشی تیمار اکالیپتوس بر بخش سریع تجزیه شاید به دلیل تحریک میکروب‌های سریع‌العمل یا اثرات آنتی‌میکروبی انتخابی باشد که شرایط اولیه تخمیر را تسهیل می‌کنند (Sallam et al., 2009). عصاره سیر به عنوان منبع ترکیبات گوگردی فعال (مانند آلیسین) شناخته شده است که می‌تواند فعالیت میکروبی را تنظیم کند (Kekana et al., 2020). در برخی مطالعات، عصاره سیر و ترکیبات گوگردی با افزایش فعالیت آنزیم‌های هیالینی و تحریک میکروب‌ها گزارش شده‌اند (Linville, 2017). آویشن حاوی ترکیبات فنلی و تانن است که می‌تواند با میکروب‌ها و آنزیم‌های میکروبی تأثیرات مهاری داشته باشند یا اتصال به پروتئین یا کربوهیدرات ایجاد کنند و در دسترس‌پذیری آنزیمی را کاهش دهند (Durmic et al., 2014). این ممکن است منجر به مهار برخی فعالیت‌های آنزیمی سریع شود و بنابراین بخش سریع تجزیه را کاهش دهد.

در پژوهشی اثر استفاده از مونسین، اسانس آویشن و دارچین (C. cassia Presl) بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای سیلاژ ذرت مورد بررسی قرار گرفت؛ مقدار بخش سریع تجزیه، کند تجزیه، ثابت نرخ تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر الیاف نامحلول در شوینده خنثی با افزودن اسانس کاهش یافت، اما تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (Khorrami et al., 2015) که موافق با نتایج پژوهش حاضر بود. در همین راستا، در پژوهشی دیگر عدم اثر اسانس‌های گیاهی بر تعداد باکتری‌های سلولولیتیک در گاوهای شیرده گزارش شد (Benchaar et al., 2006). نیوبولد و همکاران (Newbold et al., 2004) گزارش کردند که ترکیب تجاری مخلوط اسانس‌های گیاهی، نرخ تجزیه‌پذیری ماده خشک کنجاله سویا (Glycine max L. Merr.) را در شکمبه گوسفندان کاهش داد، اما اثری بر تجزیه‌پذیری ماده خشک کنجاله کلزا (Brassica napus L.) نداشتند. همچنین تجزیه‌پذیری پروتئین کنجاله سویا را در گوسفندان تغذیه‌شده با جیره

ساعت انکوباسیون شد (Hojatpanah-Montazeri *et al.*, 2014). در مقابل، انصاری و همکاران (Ansari *et al.*, 2012) افزایش میزان گاز تولیدی و قابلیت هضم سوبسترا را در اثر استفاده از سیر گزارش کردند. نوریان و روزبهان (Nooriyan & Rouzbehan, 2017) در پژوهشی دریافتند که افزودن اسانس اکالیپتوس سبب کاهش تعداد پروتوزوآها و کاهش تولید گاز متان در شرایط آزمایشگاهی شد. کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2022) نیز کاهش تولید گاز متان را در تیمارهای حاوی اکالیپتوس گزارش کردند. حسن و شریف (Hassan & Abdel-Raheem, 2013) افزایش در قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی را در تیمار حاوی دو درصد سیر خشک نسبت به شاهد گزارش دادند. به‌طور کلی، نتایج متفاوت ممکن است تحت تأثیر عواملی مانند تفاوت در جیره پایه، غلظت اسانس مورد ارزیابی، نوع اسانس یا منشأ آن، تکنیک برون‌تنی به‌کارگرفته‌شده و همچنین تفاوت در مقدار سوبسترا و حجم بافر مایع شکمبه در سرنگ‌ها قرار بگیرد.

در شرایط آزمایشگاهی را با افزودن سطوح مختلف عصاره آویشن گزارش کرده‌اند (Talebzadeh *et al.*, 2012). یو و همکاران (Xu *et al.*, 2020) در پژوهشی بیان کردند که استفاده از ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر تیمول، میزان کل تولید گاز را کاهش و pH شکمبه را افزایش داد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت. نل و همکاران (Nel *et al.*, 2020) در بررسی اثر استفاده از اسانس‌ها در ترکیب با آنزیم‌های فیبرولیتیک به‌منظور کاهش گاز متان در شرایط آزمایشگاهی دریافتند که افزودن اسانس اثر مثبتی بر کاهش گاز متان داشت. پاورا و همکاران (Pawar *et al.*, 2014) نیز گزارش کردند که افزودن اسانس سیر و دارچین به مخلوط کاه گندم و کنسانتره در شرایط آزمایشگاهی، تولید گاز متان را به‌طور قابل‌توجهی کاهش داد، بدون آنکه بر قابلیت هضم ماده آلی اثر منفی داشته باشد. گزارش شده است که این اثر به فعالیت ضدباکتریایی اسانس سیر به‌دلیل وجود آلیسین و دی‌آلیل سولفید مربوط است. در پژوهشی گزارش شد که افزودن ۸۰ میلی‌گرم اسانس سیر سبب کاهش میزان گاز تولیدی پس از ۹۶

جدول ۳- اثر بافر و عصاره‌های گیاهی بر فراسنجه‌های تولید گاز

Table 3- Effect of buffer and plant extracts on gas production parameters

موارد Parameters	تیمارهای آزمایشی ^۱ Experimental treatments ¹				خطای استاندارد میانگین SEM	اثرات معنی‌داری P-value
	تیمار ۱ Treatment 1	تیمار ۲ Treatment 2	تیمار ۳ Treatment 3	تیمار ۴ Treatment 4		
پتانسیل تولید گاز (میلی‌لیتر) Gas production potential (ml)	35.20 ^b	31.07 ^c	33.68 ^{bc}	39.21 ^a	0.918	0.0003
نرخ تولید گاز (میلی‌لیتر بر ساعت) Gas production rate (ml/h)	0.063	0.056	0.57	0.50	0.004	0.2856
گاز تولیدی در ۲۴ ساعت (میلی‌لیتر) Gas produced in 24 hours (ml)	26.40 ^a	23.10 ^b	25.00 ^{ab}	27.20 ^a	0.495	0.0482
گاز تولیدی در ۴۸ ساعت (میلی‌لیتر) Gas produced in 48 hours (ml)	33.30 ^a	28.00 ^b	31.00 ^{ab}	33.90 ^a	0.544	0.0060
گاز تولیدی در ۹۶ ساعت (میلی‌لیتر) Gas produced in 96 hours (ml)	35.60 ^b	31.50 ^c	33.80 ^{bc}	38.70 ^a	0.882	0.0002
قابلیت هضم ماده آلی (درصد) Organic matter digestibility (%)	45.15 ^a	42.22 ^b	44.30 ^{ab}	46.16 ^a	0.876	0.0352
انرژی قابل متابولیسم (مگاژول/کیلوگرم) Metabolizable energy (MJ/kg)	6.56 ^a	6.11 ^b	6.42 ^{ab}	6.70 ^a	0.133	0.0371
اسیدهای چرب فرار کوتاه زنجیر (میلی‌مول) Short chain VFAs (mmol)	0.58 ^a	0.50 ^b	0.55 ^{ab}	0.59 ^a	0.002	0.0482

^۱ تیمارهای آزمایشی: ۱- سدیم بی‌کربنات دو درصد (شاهد)، ۲- شاهد + عصاره آویشن، ۳- شاهد + عصاره سیر، ۴- شاهد + عصاره اکالیپتوس.

حروف متفاوت در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار است ($P < 0.05$).

¹ Experimental treatments: 1- 2% sodium bicarbonate (control); 2- control + Thyme extract; 3- control + Garlic extract; 4- control + Eucalyptus extract.

Means within same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی

با توجه به نتایج جدول (۴)، قابلیت هضم ماده خشک تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت ($P = 0.0155$). بیشترین قابلیت هضم

ماده خشک مربوط به تیمار حاوی عصاره اکالیپتوس و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد بود. قابلیت هضم ماده آلی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها داشت ($P = 0.0041$)، به‌طوری‌که بیشترین مقدار آن در

پروتئین به آمونیاک جلوگیری کنند (Hodjatpanah-Montazeri et al., 2014). ترکیبات فعال اکالییتوس در سطح پایین می‌توانند رشد باکتری‌های سلولولیتیک را حفظ یا حتی تحریک کنند که منجر به افزایش تجزیه‌پذیری الیاف خام و در نتیجه افزایش قابلیت هضم ماده خشک می‌شود (Noorian Soroor & Roozbehan, 2014). نتایج مطالعات نشان داد که استفاده از عصاره‌ها در تغذیه دام، فراوانی نسبی باکتری‌های تجزیه‌کننده فیبر مانند فیبروباکتر سوکسینوترنز، رومینوکوکوس آلبوس و آر. فلاویفیسینس را در مایع شکمبه گوسفند افزایش داد (Patra & Yu, 2015; Naseri et al., 2022). باین‌حال، اورزونا-اورزونا و همکاران (Orzuna-Orzuna, et al., 2022) در پژوهشی با افزودن اسانس‌های ضروری به جیره کاهش معنی‌داری در قابلیت هضم الیاف نامحلول در شوینده اسیدی مشاهده کردند. دورانتس-ایتوربید و همکاران (Dorantes-Iturbide et al., 2022) دریافتند که افزودن اسانس‌های ضروری به جیره نشخوارکنندگان، قابلیت هضم ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی را افزایش داد، اما قابلیت هضم چربی خام بین تیمارها مشابه بود. موافق با نتایج پژوهش حاضر، یانگ و همکاران (Yang et al., 2007) افزایشی در قابلیت هضم شکمبه‌ای ماده خشک با مکمل کردن جیره با اسانس‌های فرار سیر گزارش کردند.

تیمار حاوی عصاره سیر و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد مشاهده شد. اثر تیمارهای آزمایشی بر قابلیت هضم پروتئین خام تمایل به معنی‌داری داشت ($P=0.0874$) به‌طوری‌که بیشترین مقدار در تیمار حاوی عصاره سیر و کمترین مقدار در شاهد مشاهده شد. مقدار قابلیت هضم الیاف نامحلول در شوینده خنثی نیز تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت ($P=0.0200$). تیمار حاوی عصاره آویشن با قابلیت هضم ۵۰/۲۵ درصد بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد. اثر تیمار بر قابلیت هضم چربی خام نیز معنی‌دار بود ($P=0.0406$)، به‌طوری‌که تیمار حاوی عصاره سیر دارای بیشترین و شاهد دارای کمترین مقدار بود.

برخی اسانس‌های ضروری اثرات مثبتی بر جمعیت قارچ‌های شکمبه و باکتری‌های فیبرولیتیک دارند (Dorantes-Iturbide et al., 2022) که می‌توانند منجر به افزایش قابلیت هضم ماده خشک و الیاف نامحلول در شوینده خنثی شوند. آویشن به‌واسطه ترکیبات فنلی قوی می‌تواند رشد برخی از باکتری‌های آمیلولیتیک و متانوزنها را مهار کرده و تعادل میکروبی را به‌نفع باکتری‌های فیبرولیتیک تغییر دهد، در نتیجه هضم فیبر را بهبود بخشد (Khorrami et al., 2015). ترکیبات گوگردی فعال موجود در سیر نقش مهمی در تعدیل جامعه میکروبی شکمبه دارند؛ این ترکیبات می‌توانند رشد باکتری‌های پروتئولیتیک و لیپولیتیک را افزایش دهند و از تجزیه بیش از حد

جدول ۴- اثر بافر و عصاره‌های گیاهی بر قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی خوراک
Table 4- Effect of buffer and plant extracts on apparent nutrient digestibility of feed

صفت (درصد) Parameter (%)	تیمارهای آزمایشی ^۱ Experimental treatments ¹				خطای استاندارد میانگین SEM	اثرات معنی‌داری P-value
	تیمار ۱ Treatment 1	تیمار ۲ Treatment 2	تیمار ۳ Treatment 3	تیمار ۴ Treatment 4		
ماده خشک Dry matter	63.38 ^b	67.18 ^a	68.00 ^a	68.75 ^a	1.044	0.0155
ماده آلی Organic matter	66.77 ^b	69.97 ^a	71.38 ^a	69.98 ^a	0.708	0.0041
پروتئین خام Crude protein	69.39	72.82	73.70	72.87	0.574	0.0874
الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber	46.76 ^b	50.25 ^a	45.82 ^b	46.05 ^b	0.938	0.0200
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber	36.48	39.18	38.44	38.54	0.876	0.2070
چربی خام Ether extract	80.59 ^b	85.86 ^a	83.52 ^a	82.67 ^a	1.431	0.0406

^۱ تیمارهای آزمایشی: ۱- سدیم بی‌کربنات دو درصد (شاهد)؛ ۲- شاهد + عصاره آویشن؛ ۳- شاهد + عصاره سیر؛ ۴- شاهد + عصاره اکالییتوس.

حروف متفاوت در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار است ($P<0.05$).

¹ Experimental treatments: 1- 2% sodium bicarbonate (control); 2- control + Thyme extract; 3- control + Garlic extract; 4- control + Eucalyptus extract.

Means within same row with different superscripts differ ($P<0.05$).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که نوع عصاره‌های گیاهی تأثیر متفاوتی بر فراسنجه‌های تخمیری و قابلیت هضم مواد مغذی دارد. عصاره اکالیپتوس بیشترین تأثیر مثبت را بر قابلیت هضم و بخش سریع تجزیه ماده خشک و فراسنجه‌های تولید گاز داشت. در مقابل، عصاره‌های آویشن و سیر موجب کاهش معنی‌دار میزان تولید گاز و برخی فراسنجه‌های تخمیری شدند که می‌تواند به خاصیت ضد میکروبی قوی‌تر این ترکیبات علیه باکتری‌های شکمبه مربوط باشد. با وجود این، تمامی تیمارهای حاوی عصاره‌های گیاهی نسبت به شاهد سبب بهبود قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی شدند. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از عصاره اکالیپتوس به‌علاوه سدیم بی‌کربنات می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مؤثرتر برای بهبود فرآیند تخمیر شکمبه، افزایش بهره‌وری غذایی و کاهش نوسانات pH در جیره‌های غنی از کنسانتره در گوسفند زل مورد استفاده قرار گیرد.

در مقابل، نتایج حاصل از پژوهش دیگری نشان داد که افزودن پودر اکالیپتوس و آویشن تأثیر معنی‌داری بر قابلیت هضم ماده خشک جیره آغازین گوساله‌ها نداشت (Akbarian-Tefaghi et al., 2018). ابراهیمی و همکاران (Ebrahimi et al., 2017) نیز در آزمایشی با بررسی اثر افزودن اسانس آویشن و نعناع فلفلی (*Mentha × piperita* L. به جیره آغازین گوساله‌های هلشتاین، گزارش کردند که تفاوت معنی‌داری از نظر قابلیت هضم ماده خشک و پروتئین خام مشاهده نشد. طالب‌زاده و همکاران (Talebzadeh et al., 2012) دریافتند که استفاده از اسانس آویشن در غلظت‌های بالای ۴۵۰ میکروگرم، قابلیت هضم ماده آلی را کاهش داد. این پژوهشگران وجود ترکیبات فنلی در این گیاه را به‌عنوان دلیل اصلی کاهش قابلیت هضم مطرح کردند. خطاب و همکاران (Khattab et al., 2020) در بررسی اثر جایگزینی آنتی‌بیوتیک‌ها با مخلوط آویشن و بذر کرفس (*Apium graveolens* L.) بر قابلیت هضم مواد مغذی دریافتند که تیمار حاوی ۲۰ گرم مخلوط آویشن و بذر کرفس دارای قابلیت هضم بیشتری نسبت به سایر تیمارها بود و هیچ‌گونه اثر منفی بر سلامت دام نداشت.

References

1. Akbarian-Tefaghi, M., Ghasemi, E., & Khorvash, M. (2018). Performance, rumen fermentation and blood metabolites of dairy calves fed starter mixtures supplemented with herbal plants, essential oils or monensin. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(3), 630-638. <https://doi.org/10.1111/jpn.12842>
2. Ansari, A., Taghizadeh, A., & Janmohammadi, H. (2012). Effects of different levels of yeast *Saccharomyces cerevisiae* on ruminal ecosystem and ciliate Protozoa population in Ghizel sheep. *Journal of Animal Science*, 22(1), 53-62. (in Persian with English abstract)
3. AOAC. (2005). Official methods of analysis. 18th Ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
4. Benchaar, C., Chaves, A. V., Fraser, G. R., Beauchemin, K. A., & McAllister, T. A. (2007). Effects of essential oils and their components on *in vitro* rumen microbial fermentation. *Canadian Journal of Animal Science*, 87(3), 413-419. <https://doi.org/10.4141/CJAS07012>
5. Benchaar, C., Petit, H. V., Berthiaume, R., Whyte, T. D., & Chouinard, P. Y. (2006). Effects of addition of essential oils and monensin premix on digestion, ruminal fermentation, milk production, and milk composition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89(11), 4352-4364. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72482-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72482-1)
6. Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Carro, M. D., & Kamel, C. (2005). Effect of garlic oil and four of its compounds on rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*, 88(12), 4393-4404. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73126-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73126-X)
7. Castillejos, L., Calsamiglia, S., & Ferret, A. (2006). Effect of essential oil active compounds on rumen microbial fermentation and nutrient flow in *in vitro* systems. *Journal of Dairy Science*, 89, 2649-2658. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-644>
8. Chen, J., Wang, F., Yin, Y., & Ma, X. (2021). The nutritional applications of garlic (*Allium sativum*) as natural feed additives in animals. *PeerJ*, 9, e11934. <https://doi.org/10.7717/peerj.11934>
9. Dorantes-Iturbide, G., Orzuna-Orzuna, J. F., Lara-Bueno, A., Mendoza-Martínez, G. D., Miranda-Romero, L. A., & Lee-Rangel, H. A. (2022). Essential oils as a dietary additive for small ruminants: A meta-analysis on performance, rumen parameters, serum metabolites, and product quality. *Veterinary Sciences*, 9(9), 475. <https://doi.org/10.3390/vetsci9090475>
10. Durmic, Z., Moate, P. J., Eckard, R., Revell, D. K., Williams, R., & Vercoe, P. E. (2014). *In vitro* screening of selected feed additives, plant essential oils and plant extracts for rumen methane mitigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6), 1191-1196. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6396>

11. Ebrahimi, M., Dehghan-Banadaki, M., Ganjkanlou, M., & Khalilvandi-Behroozyar, H. (2017). Effects of adding thyme and peppermint essential oils in calf starter diet on performance of Holstein calves. *Animal Production Research*, 6(3), 53-62. <https://doi.org/10.22124/ar.2017.2610>
12. El-Naggar, S., Abou-Ward, G. A., Tawila, M. A., Helal, F. I. S., & Ali, A. M. (2017). Performance of lambs fed rations supplemented with thyme essential oil. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 20(2), 189-195. <https://doi.org/10.21608/ejnf.2017.75165>
13. Getachew, G., Blümmel, M., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (1998). In vitro gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 72(3-4), 261-281. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(97\)00189-2](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00189-2)
14. Hassan, E. H., & Abdel-Raheem, S. M. (2013). Response of growing buffalo calves to dietary supplementation of caraway and garlic as natural additives. *World Applied Sciences Journal*, 22(3), 408-414. <http://dx.doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.22.03.7363>
15. Hodjatpanah-Montazeri, A., Mesgaran, M. D., Vakili, A., Ghorbani, B., & Tabatabaie, F. (2014). In vitro effect of garlic oil and turmeric extract on methane production from gas test medium. *Annual Research & Review in Biology*, 4, 1439-1447. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2014/5908>
16. Kekana, T. W., Nherera-Chokuda, V. F., Baloyi, J. J., & Muya, C. M. (2020). Immunoglobulin G response and performance in Holstein calves supplemented with garlic powder and probiotics. *South African Journal of Animal Science*, 50(2), 263-270. <https://doi.org/10.4314/sajas.v50i2.9>
17. Khattab, M. S. A., Kholif, A. E., Abd El Tawab, A. M., Shaaban, M. M., Hadhoud, F. I., El-Fouly, H. A., & Olafadehan, O. A. (2020). Effect of replacement of antibiotics with thyme and celery seed mixture on the feed intake and digestion, ruminal fermentation, blood chemistry, and milk lactation of lactating Barki ewes. *Food & Function*, 11(8), 6889-6898. <https://doi.org/10.1039/D0FO00807A>
18. Khorrami, B., Vakili, S. A. R., & Danesh Mesgaran, M. (2015). The effect of monensin, thyme and cinnamon essential oils on nutrient digestibility, ruminal dry matter and crude protein degradability of some feedstuff and plasma metabolites in Holstein steers. *Research on Animal Production*, 6(11), 71-82. (in Persian with English abstract)
19. Kumar, K., Dey, A., Rose, M. K., & Dahiya, S. S. (2022). Modulating feed digestion and methane production by eucalyptus (*Eucalyptus citriodora*) leaves essential oils in water buffalo (*Bubalus bubalis*). *Buffalo Bulletin*, 41(1), 41-47. <http://dx.doi.org/10.56825/bufbu.2022.4113155>
20. Linville, K. (2017). *The Effects of a Blend of Essential Oils on Rumen Efficiency of Lactating Dairy Cows*. South Dakota State University.
21. Mao, S., Huo, W., Liu, J., Zhang, R., & Zhu, W. (2017). In vitro effects of sodium bicarbonate buffer on rumen fermentation, levels of lipopolysaccharide and biogenic amine, and composition of rumen microbiota. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(4), 1276-1285. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7861>
22. Menke, K. H., & Steingass, H. (1988). Estimation of the energetic feed value from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development*, 28, 7-55.
23. Menke, K. H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D., & Schneider, W. (1979). The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *The Journal of Agricultural Science*, 93(1), 217-222. <https://doi.org/10.1017/S0021859600086305>
24. Naseri, V., Kafilzadeh, F., & Jahani-Azizabadi, H. (2022). Effects of *Pistacia atlantica* gum essential oil on ruminal methanogen, protozoa, selected bacteria species and fermentation characteristics in sheep. *Small Ruminant Research*, 209, 106650. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2022.106650>
25. Nel, T. C., Hassen, A., Akanmu, A. M., & Adejoro, F. A. (2020). Use of essential oils in combination with fibrolytic enzymes to decrease in vitro ruminal methane production. *South African Journal of Animal Science*, 50(5), 686-696. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v50i5.5>
26. Newbold, C. J., McIntosh, F. M., Williams, P., Losa, R., & Wallace, R. J. (2004). Effects of a specific blend of essential oil compounds on rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology*, 114(1-4), 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.12.006>
27. Noorian Soroor, M. E., & Roozbehan, Y. (2014). The influence of *Eucalyptus camaldulensis* leaves on in vitro ruminal fermentation, protozoa population and methane production. *Iranian Journal of Animal Science*, 45(4), 363-374. (in Persian) <https://doi.org/10.22059/ijas.2014.54357>
28. Nooriyan, S. M., & Rouzbehan, Y. (2017). Effect of essential oils of eucalyptus (*Eucalyptus globulus* Labill.) and angelica (*Heracleum persicum* Desf. ex Fischer) on in vitro ruminal fermentation, protozoal population and methane emission using Afshari sheep inoculum. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 19(3), 553-567. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.16807073.2017.19.3.17.6>
29. Orskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92(2), 499-503. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>

30. Orzuna-Orzuna, J. F., Dorantes-Iturbide, G., Lara-Bueno, A., Miranda-Romero, L. A., Mendoza-Martínez, G. D., & Santiago-Figueroa, I. (2022). A meta-analysis of essential oils use for beef cattle feed: Rumen fermentation, blood metabolites, meat quality, performance and, environmental and economic impact. *Fermentation*, 8(6), 254. <https://doi.org/10.3390/fermentation8060254>
31. Patra, A. K., & Yu, Z. (2015). Essential oils affect populations of some rumen bacteria in vitro as revealed by microarray (RumenBactArray) analysis. *Frontiers in Microbiology*, 6, 297. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00297>
32. Pawar, M. M., Kamra, D. N., Agarwal, N., & Chaudhary, L. C. (2014). Effects of essential oils on *in vitro* methanogenesis and feed fermentation with buffalo rumen liquor. *Agricultural Research*, 3, 67-74. <https://doi.org/10.1007/s40003-014-0092-z>
33. Plaizier, J. C., Mesgaran, M. D., Derakhshani, H., Golder, H., Khafipour, E., Kleen, J. L., & Zebeli, Q. (2018). Enhancing gastrointestinal health in dairy cows. *Animal*, 12(S2), S399-S418. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001921>
34. Ramos, S. C., Jeong, C. D., Mamuad, L. L., Kim, S. H., Son, A. R., Miguel, M. A., & Lee, S. S. (2021). Enhanced ruminal fermentation parameters and altered rumen bacterial community composition by formulated rumen buffer agents fed to dairy cows with a high-concentrate diet. *Agriculture*, 11(6), 554. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060554>
35. Ribeiro, A. D. B., Ferraz, M. V. C., Polizel, D. M., Miszura, A. A., Gobato, L. G. M., Barroso, J. P. R., & Pires, A. V. (2019). Thyme essential oil for sheep: Effect on rumen fermentation, nutrient digestibility, nitrogen metabolism, and growth. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 71, 2065-2074. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10792>
36. Sallam, S. M. A., Bueno, I. C. D. S., Brigide, P., Godoy, P. B., Vitti, D. M. S. S., & Abdalla, A. L. (2009). Efficacy of eucalyptus oil on *in vitro* ruminal fermentation and methane production. *Options Méditerranéennes*, 85(85), 267.
37. Sasi, M., Kumar, S., Kumar, M., Thapa, S., Prajapati, U., Tak, Y., & Mekhemar, M. (2021). Garlic (*Allium sativum* L.) bioactives and its role in alleviating oral pathologies. *Antioxidants*, 10(11), 1847. <https://doi.org/10.3390/antiox10111847>
38. Talebi, T., Seifdavati, J., Seifzadeh, S., Mirzaei, F., Abdi Benmar, H., & Seid Sharifi, R. (2019). Effects of adding different levels of thyme powder and garlic cabbage powder in alfalfa, sainfoin and their mixture on digestibility and the amount of *in vitro* gas production. *Animal Science Research*, 29(3), 71-86. (in Persian with English abstract)
39. Talebzadeh, R., Alipour, D., Saharkhiz, M. J., Azarfar, A., & Malecky, M. (2012). Effect of essential oils of *Zataria multiflora* on *in vitro* rumen fermentation, protozoal population, growth and enzyme activity of anaerobic fungus isolated from Mehraban sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 172(3-4), 115-124. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.11.011>
40. Tao, H., Si, B., Xu, W., Tu, Y., & Diao, Q. (2019). Effect of *Broussonetia papyrifera* L. silage on blood biochemical parameters, growth performance, meat amino acids and fatty acids compositions in beef cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(5), 732. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0150>
41. Van Keulen, J. Y. B. A., & Young, B. A. (1977). Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*, 44(2), 282-287. <https://doi.org/10.2527/jas1977.442282x>
42. Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
43. Xu, L., Wen, L., Ge, Y., Wan, G., Qu, M., & Xue, F. (2020). Metagenomic insights into the effects of rare-earth elements supplementation on rumen digestibility and meat quality of beef cattle. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1933. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01933>
44. Yang, W. Z., Benchaar, C., Ametaj, B. N., Chaves, A. V., He, M. L., & McAllister, T. A. (2007). Effects of garlic and juniper berry essential oils on ruminal fermentation and on the site and extent of digestion in lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 90(12), 5671-5681. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0369>