

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

Fatemeh Rezvani Badeleh, Yadollah Chashnidel, Asdollah Teymouri Yanesari, Radman Bakhtiari

1-MSc in animal nutrition, Department of Animal Nutrition, Faculty of Animal Sciences and Fisheries, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

2-Associate Professor, Department of Animal Nutrition, Faculty of Animal Sciences and Fisheries, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

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

4- Ph.D. Student in animal nutrition, Department of Animal Nutrition, Faculty of Animal Sciences and Fisheries, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

yhashnidel2002@yahoo.com

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

Introduction and Objective: Buffers are commonly incorporated into high-concentrate diets to mitigate the adverse effects of ruminal acidity by stabilizing rumen pH. Their inclusion can increase the acetate-to-propionate ratio and improve fiber digestibility, ultimately enhancing feed intake. In parallel, plant extracts, owing to their antimicrobial, antioxidant, and biologically active properties, have emerged as promising feed additives. Among these, thyme extract has demonstrated antimicrobial activity under *in vitro* conditions, evidenced by reduced methane production and altered rumen fermentation characteristics. Garlic extract functions as a probiotic and possesses antioxidant, antimicrobial, anti-methanogenic, and anti-protozoal properties. Eucalyptus 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 investigated the effects of 2% sodium bicarbonate combined with various plant extracts on *in vitro* gas production, ruminal degradability parameters of dry matter (DM), crude protein (CP), and neutral detergent fiber (NDF) using the *in sacco* method, as well as the apparent nutrient digestibility of the diet. The experimental treatments included: 1) 2% sodium bicarbonate (control); 2) Control + thyme extract (400 mg/kg DM of the diet); 3) Control + garlic extract (300 mg/kg DM of the diet); 4) Control + eucalyptus extract (150 mg/kg DM of the diet). A fattening lamb diet was formulated using SRNS software and offered as a total mixed ration (TMR) consisting of forage and concentrate at a 30:70 ratio. To determine ruminal degradability parameters, three rumen-fistulated Zel ewes (average body weight: 43 ± 2 kg; age: 2 years) were used. The animals were housed individually in semi-open, roofed metabolic cages with free access to water. Following an adaptation period, the ewes received the experimental diets twice daily at 08:00 and 20:00 h. Rumen fluid was collected from the rumen-fistulated Zel ewes prior to the morning feeding to assess 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 ± 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 SAS software, and means were compared using Duncan's multiple range test.

Results: 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 h ($P = 0.0482$) and 48 h ($P = 0.0060$) was significantly higher in the eucalyptus extract and control treatments compared to the thyme extract treatment. Organic matter digestibility ($P = 0.0352$), metabolizable energy ($P = 0.0371$), and the concentration of short-chain volatile 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 showed a trend toward significance in the garlic extract treatment compared to the control group ($P = 0.0828$). 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 ($P > 0.05$). Dry matter digestibility ($P = 0.0155$) and organic matter digestibility ($P = 0.0041$) were significantly increased in all plant extract treatments compared to the control. 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 differentially affected 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 تجزیه‌پذیری، تولید گاز و قابلیت هضم گوسفند زل

فاطمه رضوانی بادله^۱، یداله چاشنی دل^{۲*}، اسداله تیموری یانسری^۳، رادمان بختیاری^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد تغذیه دام، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- دانشیار گروه علوم دامی، دانشکده دام و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- استاد گروه علوم دامی، دانشکده دام و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی افزودن بیکربنات سدیم ۲ درصد و عصاره‌های گیاهی (آویشن، سیر و اکالیپتوس) بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای، تولید گاز و قابلیت هضم در گوسفند‌های زل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل: (۱) بیکربنات سدیم ۲ درصد (بدون عصاره)؛ (۲) بیکربنات سدیم ۲ درصد به علاوه عصاره آویشن (۴۰۰ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک جیره)؛ (۳) بیکربنات سدیم ۲ درصد به علاوه عصاره سیر (۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک جیره) و (۴) بیکربنات سدیم ۲ 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 شد. نتایج نشان داد پتانسیل تولید گاز و گاز تولیدی در ۹۶ ساعت در تیمار حاوی عصاره اکالیپتوس نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی به طور معنی داری بالاتر بود. قابلیت هضم ماده آلی، انرژی قابل متابولیسم و غلظت اسیدهای چرب فرار کوتاه زنجیر در تیمار حاوی عصاره اکالیپتوس و تیمار شاهد نسبت به تیمار حاوی عصاره آویشن به طور معنی داری بیشتر بود. بخش سریع تجزیه ماده خشک در تیمار حاوی عصاره اکالیپتوس نسبت به تیمارهای حاوی عصاره آویشن و سیر به طور معنی داری افزایش یافت. قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی در تمامی تیمارهای حاوی عصاره گیاهی نسبت به تیمار شاهد به طور معنی داری افزایش یافت. به طور کلی، استفاده از عصاره اکالیپتوس به علاوه بیکربنات سدیم می‌تواند به عنوان گزینه‌ای مؤثرتر برای بهبود فرآیند تخمیر شکمبه و افزایش بهره‌وری غذایی مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: بیکربنات سدیم، تخمیر شکمبه‌ای، عصاره اکالیپتوس، عصاره آویشن، عصاره سیر

مقدمه

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 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 (Benchaar et al., 2007). این ترکیبات می‌توانند منجر به ممانعت از

تغذیه دام‌های نشخوارکننده با جیره‌های حاوی مقدار زیاد کنسانتره اغلب منجر به ناهنجاری‌های متابولیکی می‌شود. بافرها به طور 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 نتیجه افزایش مصرف خوراک می‌شود (Ramos et al., 2021). افزودن بیکربنات سدیم 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 بیکربنات سدیم موجب افزایش pH نهایی و افزایش تولید اسیدهای چرب فرار شد (Mao et al., 2017). مطالعاتی وجود دارند که نشان

انجام شد. این آزمایش به صورت دو مرحله انجام شد: مرحله اول، بررسی اثرات بیکرنات سدیم ۲ درصد همراه با عصاره‌های گیاهی بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک، پروتئین خام و لیاف نامحلول در شوینده خنثی به روش *in sacco* در میش‌های نژاد زل دارای فیستوله شکمبه‌ای و فراسنجه‌های تولید گاز به روش *in vitro* با استفاده از مایع شکمبه میش‌های ذکر شده بود. مرحله دوم، ارزیابی اثرات تیمارهای آزمایشی بر قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی خوراک به روش *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 شدند و در مرحله دوم آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند. تیمارهای آزمایشی شامل (۱) بیکرنات سدیم ۲ درصد (شاهد؛ ۲) شاهد + عصاره آویشن (۴۰۰ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک جیره؛ ۳) شاهد + عصاره سیر (۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک جیره) و (۴) شاهد + عصاره اکالیپتوس (۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک جیره) بودند. مکمل بیکرنات سدیم از شرکت اکسیر شیمی (ایران، تبریز) و عصاره‌های گیاهی مورد آزمایش از شرکت مزرعه مروارید (ایران، خراسان رضوی، سبزوار) تهیه شدند. بیکرنات سدیم به شکل پودر سفید رنگ کریستالی شفاف به جیره‌های آزمایشی اضافه شد و عصاره‌های گیاهی به طور کامل و یکنواخت به کنسانتره مصرفی روزانه دام‌های آزمایشی اسپری و مخلوط شدند. جیره بره‌های پرواری با نرم افزار SRNS تنظیم شد و اقلام خوراکی مورد استفاده به صورت جیره کاملاً مخلوط (TMR) حاوی علوفه و کنسانتره به نسبت 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 شد.

دآمیناسیون اسیدآمینه و کاهش نیتروژن آمونیاکی، متان، استات و افزایش غلظت پروپیونات و بوتیرات در شکمبه شوند. عصاره آویشن 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 نیز به عنوان یک پروبیوتیک عمل کرده و دارای فعالیت‌های آنتی اکسیدانی، 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، به ویژه گوساله‌ها داشته باشد (Chen et al., 2021). همچنین عصاره اکالیپتوس حاوی مجموعه‌ای از اسانس فرار شامل ۱۰۸-سینئول، لیمون و α -ترپینئول و ترکیبات فنولی غیر فرار است که ممکن است سبب تعدیل تخمیر شکمبه در جهت مهار متانوژن‌ز شوند (Kumar et al., 2022). در پژوهش حاضر، با در نظر گرفتن سطوح مختلف استفاده شده در مطالعات اخیر بر روی عصاره‌های آویشن (Khorrami et al., 2015; El-Naggar et al., 2017)، سیر (Hassan and Sherief, 2013; Hodjatpanah-Montazeri et al., 2014; Noorian Soroor and Roozbehan, 2018; Akbarian-Tefaghi et al., 2014) و همچنین با انجام پیش آزمایش، 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 بیکرنات سدیم ۲ 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

جدول ۱- مواد خوراکی و ترکیبات شیمیایی جیره‌های آزمایشی (بر حسب 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 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
کربنات کلسیم Calcium carbonat	1	1	1	1
بیکربنات سدیم 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) بیکربنات سدیم ۲ 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 تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای

در این آزمایش تعداد ۳ رأس میش نژاد زل دارای فیستوله شکمبه‌ای با میانگین وزن 43 ± 2 کیلوگرم و سن ۲ سال به منظور 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 شدند.

نمونه‌های جیره‌های آزمایشی پس از خشک‌شدن با آسیاب دارای الک ۱ میلی‌متری آسیاب شدند و مقدار ۴ گرم نمونه داخل کیسه‌های نایلونی (قطر منافذ ۴۸ میکرومتر و ابعاد 15×10 سانتی‌متر) از جنس الیاف پلی‌استر مصنوعی ریخته شد. کیسه‌ها به مدت 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 داده شده، سپس آن‌ها داخل آون قرار داده

شدند. با استفاده از رابطه (۱) فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری محاسبه شدند (Orskov and McDonald, 1979).

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

در رابطه (۱)، P: درصد تجزیه‌پذیری ماده مغذی در زمان t؛ a: بخش سریع تجزیه (درصد)؛ b: بخش کند تجزیه (درصد)؛ c: عدد نپری؛ t: زمان آنکوباسیون (ساعت) هستند. محاسبه درصد تجزیه‌پذیری مؤثر نمونه‌ها بر اساس رابطه (۲) با نرخ عبور فرضی ۰/۰۲، ۰/۰۵ و ۰/۰۸ درصد در ساعت انجام شد:

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

در رابطه (۲)، ED: فراسنجه تجزیه‌پذیری مؤثر در شکمبه؛ a: بخش سریع تجزیه (درصد)؛ b: بخش کند تجزیه (درصد)؛ c: ثابت نرخ تجزیه؛ k: ثابت نرخ عبور فرضی. هستند.

فراسنجه‌های تولید گاز

گاز تولیدی مطابق با روش منک و استینگس (Menke and Steingass, 1988) اندازه‌گیری شد. مایع شکمبه قبل از خوراک‌دهی صبح از میش‌های نژاد زل دارای فیستولای شکمبه‌ای ذکر شده 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 رابطه (۳) برازش شدند:

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

در رابطه (۳)، P: ظرفیت تولید گاز؛ b: گاز تولیدشده از بخش قابل تخمیر (میلی‌لیتر)؛ c: ثابت نرخ تولید گاز (میلی‌لیتر بر ساعت)؛ t: زمان آنکوباسیون (ساعت) و e: عدد نپری است. میزان انرژی قابل متابولیسم از رابطه (۴) محاسبه شد (Menke et al., 1979):

$$ME \text{ (MJ/kg DM)} = 2.20 + \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$0.1357GP + 0.0057CP + 0.0002859EE^2$$

در رابطه (۴)، ME: انرژی قابل متابولیسم (مگاژول در کیلوگرم ماده خشک)؛ GP: حجم گاز تولیدی تصحیح‌شده

برای ۲۴ ساعت (میلی‌لیتر به‌ازای 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 رابطه (۵) محاسبه شد (Menke et al., 1979):

$$OMD = 14.88 + 0.889GP + \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$0.045CP + 0.0651Ash$$

در رابطه (۵)، OMD: قابلیت هضم ماده آلی (گرم در کیلوگرم ماده خشک)؛ GP: حجم گاز تولیدی تصحیح‌شده برای ۲۴ ساعت (میلی‌لیتر به‌ازای 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 رابطه (۶) (Getachew et al., 1998) استفاده شد:

$$SCFA \text{ (mmol/200 mgDM)} = \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$0.0239GP - 0.0601$$

در رابطه (۶)، SCFA: اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (میلی‌مول به‌ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک) و GP: حجم گاز تولیدی تصحیح‌شده برای ۲۴ ساعت (میلی‌لیتر به‌ازای 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 and Young, 1977). به‌منظور انجام این آزمایش، تعداد ۲۰ رأس گوسفند نر نژاد زل (۴ تیمار شامل ۵ تکرار) با میانگین وزن 38 ± 2 و سن ۶ الی ۷ ماه به‌مدت ۴۲ روز با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند. نمونه‌گیری از مدفوع و باقی‌مانده‌های خوراک مربوط به دام‌های آزمایشی هر تیمار در ۵ روز پایانی آزمایش به‌منظور تعیین خاکستر نامحلول در اسید و میزان ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام و چربی خام بر اساس 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 شد. پس از

تعیین خاکستر نامحلول در اسید نمونه‌های خوراک و مدفوع، قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی بر حسب درصد، با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شد:

$$D = 100 - \left\{ 100 \times \left(\frac{AIA_{feed}}{AIA_{fecal}} \times \frac{N_{fecal}}{N_{feed}} \right) \right\} \quad \text{رابطه (۷)}$$

طرح آماری

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

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

در رابطه (۸)، Y_{ij} : مقدار هر مشاهده؛ μ : میانگین جامعه؛ T_i : اثر تیمارها؛ 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 تیمار 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 ($P=0/08$). بیشترین تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک مربوط به تیمار حاوی

عصاره سیر بود، در حالی که کمترین مقدار آن نیز در تیمار 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 ($P=0/0009$)، به‌طوری‌که 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 (مخصوصاً روغن‌های 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 به‌عنوان 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 فنولی و تانن است که می‌توانند 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.

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 میانگین 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) بیکربنات سدیم ۲ درصد (شاهد); ۲) شاهد+عصاره آویشن; ۳) شاهد+عصاره سیر; ۴) شاهد+عصاره اکالیپتوس. حروف متفاوت در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار است ($P<0.05$).

^{۱)} 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 ($P<0.05$).

در پژوهشی اثر استفاده از مونسین، اسانس آویشن و دارچین 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 را در شکمبه گوسفندان کاهش داد، اما اثری بر تجزیه‌پذیری ماده خشک کنجاله کلزا نداشتند. همچنین تجزیه‌پذیری پروتئین کنجاله سویا را در گوسفندان تغذیه‌شده با جیره حاوی ۶۰ درصد علوفه و ۴۰ درصد کنسانتره کاهش داد. به‌طور 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 بلند مدت (کشت مداوم) در شرایط برون‌تنی، روش کیسه‌های نایلونی و مطالعه در شرایط درون‌تنی، ممکن است به‌مدت 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 ($P = 0.0060$) در تیمارهای حاوی عصاره

اکالیپتوس و شاهد نسبت به تیمار حاوی عصاره آویشن به‌طور 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، به‌طوری‌که مقدار این فراسنجه‌ها در تیمار حاوی عصاره اکالیپتوس و تیمار شاهد بالاترین بود.

سالم و همکاران (Sallam et al., 2009) نشان دادند که افزودن روغن اکالیپتوس می‌تواند تخمیر شکمبه‌ای را به سمت تولید بیشتر اسیدهای چرب فرار و کاهش تولید متان هدایت کند. این پژوهشگران عنوان کردند ترکیبات اصلی اکالیپتوس مانند ۱،۸-سینئول و α -پینن می‌توانند به‌صورت انتخابی برخی از متانوژن‌ها 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 آلکالین 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 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 ما 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 روغن سیر و دارچین به مخلوط کاه گندم و کنسانتره در شرایط آزمایشگاهی، تولید گاز متان را به طور قابل توجهی کاهش داد، بدون آن که بر قابلیت هضم ماده آلی اثر منفی داشته باشد. گزارش شده است که این اثر به فعالیت ضدباکتریایی روغن سیر به دلیل وجود آلیسین و دی آلیل سولفید مربوط است. در پژوهشی گزارش شد افزودن ۸۰ میلی گرم روغن سیر سبب کاهش میزان گاز تولیدی پس از ۹۶ 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 and

اثر مثبتی بر کاهش گاز متان داشت. پاورا و همکاران (Pawar et al., 2014) نیز گزارش کردند که افزودن روغن سیر و دارچین به مخلوط کاه گندم و کنسانتره در شرایط آزمایشگاهی، تولید گاز متان را به طور قابل توجهی کاهش داد، بدون آن که بر قابلیت هضم ماده آلی اثر منفی داشته باشد. گزارش شده است که این اثر به فعالیت ضدباکتریایی روغن سیر به دلیل وجود آلیسین و دی آلیل سولفید مربوط است. در پژوهشی گزارش شد افزودن ۸۰ میلی گرم روغن سیر سبب کاهش میزان گاز تولیدی پس از ۹۶ 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 and

جدول ۳- اثر بافر و عصاره های گیاهی بر فراسنجه های 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 معنی داری P-value
	تیمار ۱	تیمار ۲	تیمار ۳	تیمار ۴		
	Treatment 1	Treatment 2	Treatment 3	Treatment 4		
پتانسیل تولید گاز (میلی لیتر) Gas production potential (ml)	35.20 ^b	31.07 ^c	33.68 ^{bc}	39.21 ^a	0.918	0.0003
نرخ تولید گاز (میلی لیتر بر ساعت) Gas production rate (ml/h)	0.063	0.056	0.57	0.50	0.004	0.2856
گاز تولیدی در ۲۴ ساعت (میلی لیتر) 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 (میلی لیتر) 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 (میلی لیتر) 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 (میلی مول) Short chain VFAs (mmol)	0.58 ^a	0.50 ^b	0.55 ^{ab}	0.59 ^a	0.002	0.0482

^۱ تیمارهای آزمایشی: ۱) بیکنرنت سدیم ۲ درصد (شاهد: ۲) شاهد+عصاره آویشن: ۳) شاهد+عصاره سیر: ۴) شاهد+عصاره اکالیپتوس. حروف متفاوت در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی دار است ($P<0.05$).

^۱ 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 ($P<0.05$).

عصاره اکالیپتوس و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد بود. قابلیت هضم ماده آلی تفاوت معنی داری بین تیمارها داشت ($P=0.0041$)، به طوری که بیشترین مقدار آن در تیمار حاوی عصاره سیر و کمترین مقدار آن در تیمار

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

شاهد مشاهده شد. اثر تیمارهای آزمایشی بر قابلیت هضم پروتئین خام تمایل به معنی‌داری داشت ($P=0/0874$) که در تیمار حاوی عصاره سیر بیشترین در تیمار شاهد کمترین مقدار بود. 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 $50/25$ درصد بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد. اثر تیمار بر قابلیت هضم چربی خام نیز معنی‌دار بود ($P=0/0406$)، به‌طوری که تیمار حاوی عصاره سیر دارای بیشترین و تیمار شاهد دارای کمترین مقدار بود.

برخی روغن‌های 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 فنولی قوی می‌تواند رشد برخی از باکتری‌های آمیلولیتیک و متانوژن‌ها را مهار کرده و تعادل میکروبی را به نفع 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 پروتئین به آمونیاک جلوگیری کنند (Hodjatpanah-Montazeri et al., 2014). ترکیبات فعال اکالیپتوس 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 and Roozbehan, 2014). نتایج مطالعات نشان داد که استفاده از عصاره‌ها در تغذیه دام فراوانی نسبتی باکتری‌های تجزیه‌کننده فیبر مانند فیبروباکتر سوکسینوژنز، رومینوکوکوس آلبوس و آر. فلاویفیسینس را در مایع شکمبه گوسفند افزایش می‌دهد (Patra and

Yu, 2015; Naseri et al., 2022). با این حال، اورزونا-اورزونا و همکاران (Orzuna-Orzuna, et al., 2022) در پژوهشی با افزودن روغن‌های 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 روغن‌های 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 روغن‌های فرار سیر گزارش کردند. در مقابل، نتایج حاصل از پژوهش دیگری نشان داد 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 نعنای فلفلی به جیره آغازین گوساله‌های هلشتاین، گزارش کردند که تفاوت معنی‌داری در 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 450 میکروگرم، قابلیت هضم ماده آلی را کاهش داد. این پژوهشگران وجود ترکیبات فنولیک در این گیاه را به‌عنوان دلیل اصلی کاهش قابلیت هضم مطرح کردند. خطاب و همکاران (Khatab et al., 2020) در بررسی اثر جایگزینی آنتی‌بیوتیک‌ها با مخلوط آویشن و بذر کرفس بر قابلیت هضم مواد مغذی دریافتند که تیمار حاوی 20 گرم مخلوط آویشن و بذر کرفس دارای قابلیت هضم بیشتری نسبت به سایر تیمارها بود و هیچ‌گونه اثر منفی بر سلامت دام نداشت.

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

صفات (درصد) Parameter (%)	تیمارهای آزمایشی ^۱ Experimental treatments ¹				خطای استاندارد	اثرات
	تیمار ۱ Treatment 1	تیمار ۲ Treatment 2	تیمار ۳ Treatment 3	تیمار ۴ Treatment 4	میانگین SEM	معنی‌داری P-Value
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 NDF	46.76 ^b	50.25 ^a	45.82 ^b	46.05 ^b	0.938	0.0200
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF	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) بیکربنات سدیم ۲ درصد (شاهد); ۲) شاهد+عصاره آویشن; ۳) شاهد+عصاره سیر; ۴) شاهد+عصاره اکالیپتوس. حروف متفاوت در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار است ($P<0.05$).

¹Experimental 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

خاصیت ضد میکروبی قوی‌تر این ترکیبات علیه باکتری‌های شکمبه مربوط باشد. با وجود این، تمامی تیمارهای حاوی عصاره‌های گیاهی نسبت به تیمار شاهد سبب بهبود قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی شدند. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از عصاره اکالیپتوس به‌علاوه بیکربنات سدیم 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.

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 در میزان تولید گاز و برخی فراسنجه‌های تخمیری شدند که می‌تواند به

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)
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. Delgado, D. L. C., Caceres, L. L. C., Gómez, S. A. C., & Odio, A. D. (2023). Effect of dietary garlic (*Allium sativum*) on the zootechnical performance and health indicators of aquatic animals: A mini-review. *Veterinary World*, 16(5), 965. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.965-976>
10. 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>
11. 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>
12. Ebrahimi, M., Dehghan-Banadaki, M., Ganjkhanelou, M. and 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>
13. 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>
14. 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)
15. 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>
16. 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>

17. 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>
18. 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>
19. 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)
20. 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>
21. Linville, K. (2017). *The Effects of a Blend of Essential Oils on Rumen Efficiency of Lactating Dairy Cows*. South Dakota State University.
22. 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>
23. 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.
24. 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>
25. 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>
26. 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). <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v50i5.5>
27. 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>
28. 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. <https://doi.org/10.22059/ijas.2014.54357>

29. 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>
30. 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>
31. 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>
32. 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>
33. 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>
34. 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>
35. 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>
36. 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>
37. 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 Mediterraneennes*, 85(85), 267.
38. 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>
39. 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)
40. 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>

41. 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>
42. 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>
43. 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)
44. 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>
45. 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>