



The effect of replacing alfalfa hay and wheat straw with *Moringa oleifera* leaves on *in vitro* digestibility, ruminal fermentation parameters and antioxidant capacity

Mahdi Nasrabadi¹ | Zahra Ghanbarian²

1. Corresponding Author, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Bu-Ali Sina, Hamedan, Iran E-mail: m.nasrabadi@agr.basu.ac.ir
2. Expert of Chaltasian Agri.-Animal Production Complex, Varamin, Tehran, Iran. E-mail: zahra.ghanbarian95@alum.semnan.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received 16 April 2025 Received in revised form 23 August 2025 Accepted 26 August 2025 Published online 11 October 2025 Keywords: Antioxidant capacity Digestibility Gas production <i>Moringa oleifera</i> leaves Protozoa	Objective: Limited access to high-quality forages such as alfalfa is a major challenge in improving production efficiency in Iran's livestock industry. Despite efforts in recent years to identify and replace cost-effective plant species, no suitable and reliable alternative plant has been introduced so far. This study was designed and conducted to evaluate the potential of <i>Moringa oleifera</i> leaves (MOL) as an alternative forage source. For this purpose, the chemical composition of MOL was determined, and the effect of including different levels of this plant in the diet on <i>in vitro</i> digestibility and fermentation parameters was investigated. Methods: The chemical composition of MOL and alfalfa hay (<i>Medicago sativa</i>) was determined using standard methods. Subsequently, the experimental diets were formulated with four levels of MOL inclusion (0, 15, 30, and 45% of dietary DM) to meet the requirements of growing sheep, balanced with a 55:45 forage to concentrate ratio. Dry matter and organic matter digestibility were measured using the two-stage procedure of Tilley and Terry method, and other parameters such as gas production, microbial biomass production, ammonia-N and volatile fatty acids (VFA) concentrations, antioxidant capacity, and protozoa population were evaluated using the gas production technique. Results: The results indicated that MOL had higher crude protein (CP), ash, ether extract (EE), calcium, and phosphorus, and lower cell NDF, ADF, and lignin compared to alfalfa hay ($P<0.05$), so that the CP, ash, and EE of MOL were 48.3%, 25.8%, and 33.3% higher than those of alfalfa, respectively. The amounts of non-fibrous carbohydrates and metabolizable energy (ME) of the two plants did not differ. In diets containing MOL, digestibility, ME, gas production volume, truly degraded substrate, and microbial biomass production increased linearly ($P<0.05$), while partitioning factor and microbial biomass production efficiency did not change. Also, the use of MOL in the diet significantly increased the concentration of ruminal VFA and antioxidant capacity and reduced the concentration of rumen ammonia-N ($P<0.05$), while the mentioned plant had no effect on pH and the ratio of VFA. On the other hand, the inclusion of MOL in the diet caused a significant reduction in the total population and subfamilies of protozoa ($P<0.05$). Conclusions: Based on the obtained results, <i>Moringa oleifera</i> leaves can be considered as a potential alternative for the forage part of the diet and can be recommended up to 45% of the diet, with the aim of meeting livestock nutritional requirements, improve ruminal fermentation and antioxidant status. However, <i>in vivo</i> studies are needed to further explore the performance effects of <i>Moringa oleifera</i> leaves.

Cite this article: Nasrabadi, M., & Ghanbarian, Z. (2025). The effect of replacing alfalfa hay and wheat straw with *Moringa oleifera* leaves on *in vitro* digestibility, ruminal fermentation parameters and antioxidant capacity. *Journal of Animal Production*, 27 (3), 321-333. DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2025.393585.623841>





تأثیر جایگزینی یونجه و کاه با برگ مورینگا اولیفا بر گوارش پذیری، فراسنجه‌های تخمیر و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شکمبه در شرایط برون‌تنی

مهدی نصرآبادی^۱ | زهرا قنبریان^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: m.nasrabadi@agr.basu.ac.ir

۲. کارشناس شرکت کشاورزی و دامپروری چالتاسیان، ورامین، تهران، ایران. رایانامه: zahra.ghanbarian95@alum.semnan.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۱۹

هدف: محدودیت دسترسی به علوفه‌های با کیفیت نظیر یونجه، چالشی اساسی در راستای ارتقای بهره‌وری تولید در صنعت دامپروری ایران محسوب می‌گردد. باوجود تلاش‌های صورت گرفته در سال‌های اخیر به‌منظور شناسایی و جایگزینی گونه‌های گیاهی مقرون‌به‌صرفه، تاکنون گیاه جایگزین مناسب و قابل‌انکابی معرفی نشده است. این پژوهش با هدف ارزیابی پتانسیل استفاده از برگ مورینگا (گونه *Moringa oleifera*) به‌عنوان یک منبع علوفه‌ای جایگزین طراحی و اجرا گردید. بدین منظور، ترکیب شیمیایی برگ مورینگا تعیین شده و تأثیر گنجاندن سطوح مختلف گیاه مذکور در جیره بر گوارش‌پذیری و فراسنجه‌های تخمیر در شرایط برون‌تنی موردبررسی قرار گرفت.

روش پژوهش: ابتدا ترکیب شیمیایی برگ مورینگا و یونجه با استفاده از روش‌های استاندارد تعیین شد. سپس جیره‌های آزمایشی با چهار سطح برگ مورینگا (صفر، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد ماده خشک) در حد نیاز گوسفندان در حال رشد و با نسبت علوفه به کنسانتره ۵۵ به ۴۵ متوازن گردید. در این آزمایش، گوارش‌پذیری ماده خشک و ماده آلی به‌روش دو مرحله‌ای تلی‌وتری، و فراسنجه‌های دیگری مانند تولید گاز، تولید توده میکروبی، غلظت نیتروژن آمونیاکی، اسیدهای چرب فرار، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و جمعیت پروتوزوایی شکمبه با استفاده از آزمون تولید گاز اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که برگ مورینگا پروتئین خام، خاکستر، عصاره اتری، کلسیم و فسفر بیش‌تر و اجزای دیواره سلولی (ADF، NDF و لیگنین) کم‌تری نسبت به یونجه خشک داشتند ($P < 0.05$)، به گونه‌ای پروتئین خام، خاکستر و عصاره اتری برگ مورینگا به‌ترتیب ۴۸/۳، ۲۵/۸ و ۳۳/۳ درصد بیش‌تر از یونجه بود. مقادیر کربوهیدرات‌های غیرفیبری و انرژی قابل متابولیسم دو گیاه متفاوت نبود. در جیره‌های حاوی برگ مورینگا، گوارش‌پذیری، انرژی قابل متابولیسم، حجم گاز تولیدی، سوبسترای تجزیه‌شده حقیقی و تولید توده میکروبی به‌طور خطی افزایش یافت ($P < 0.05$) و شاخص تفکیک و بازده تولید توده میکروبی تغییری نکرد. هم‌چنین استفاده از برگ مورینگا در جیره غلظت اسیدهای چرب فرار و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شکمبه را به میزان قابل‌توجهی افزایش و غلظت نیتروژن آمونیاکی شکمبه را کاهش داد ($P < 0.05$)، درحالی‌که گنجاندن گیاه مذکور در جیره تأثیری بر میزان pH و نسبت اسیدهای چرب فرار نداشت. از سوی دیگر، گنجاندن برگ مورینگا در جیره سبب کاهش معنی‌داری در تعداد کل و و زیرخانواده‌های پروتوزوایی شد ($P < 0.05$).

نتیجه‌گیری: با نتایج به‌دست‌آمده روی ترکیب شیمیایی و آزمایش‌های برون‌تنی، برگ مورینگا را می‌توان جایگزین بالقوه‌ای برای بخش علوفه‌ای جیره در نظر گرفت و تا ۴۵ درصد جیره با هدف تأمین نیاز دام، بهبود تخمیر و وضعیت آنتی‌اکسیدانی شکمبه قابل توصیه است. هرچند، تأیید نتایج این مطالعه مستلزم اجرای پژوهش‌های درون‌تنی است.

کلیدواژه‌ها:

پروتوزوا

تولید گاز

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

علوفه مورینگا

گوارش‌پذیری

استناد: نصرآبادی، مهدی و قنبریان، زهرا (۱۴۰۴). تأثیر جایگزینی یونجه و کاه با برگ مورینگا اولیفا بر گوارش‌پذیری، فراسنجه‌های تخمیر و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شکمبه در شرایط برون‌تنی. *نشریه تولیدات دامی*، ۲۷ (۳)، ۳۳۱-۳۳۳. DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2025.393585.623841>



۱. مقدمه

در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، تولید محصولات دامی به دلیل محدودیت در دسترسی به منابع خوراکی با کیفیت بالا تحت تأثیر قرار گرفته است. در ایران، شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک کشور موجب تشدید این محدودیت‌ها و کاهش توان تولیدی در بخش دامداری گردیده است. به‌ویژه، استفاده از علوفه‌های با کیفیت پایین و محصولات جانبی کشاورزی، نظیر کاه غلات، که حاوی پروتئین پایین و ترکیبات لیگنوسلولزی بالا هستند، از جمله مشکلات عمده در تأمین نیازهای غذایی دام‌ها محسوب می‌شود. این شرایط به کاهش مصرف خوراک و در نتیجه کاهش عملکرد دام‌ها منجر می‌شود. بنابراین، شناسایی و بهره‌برداری بهینه از گونه‌های گیاهی با ارزش غذایی مناسب در سیستم‌های پرورش دام، به‌ویژه با هدف بهبود کیفیت جیره‌های غذایی و افزایش بهره‌وری تولیدی، به‌عنوان یک راه‌کار مؤثر در این راستا مطرح است (Venskutonis & Kraujalis, 2013).

سرزمین ایران به‌واسطه تنوع اقلیمی و جغرافیایی، زیستگاه گیاهان مقاوم و پایدار است که توانایی سازگاری با شرایط محیطی مختلف را دارند. این گیاهان علاوه بر دارا بودن ویژگی‌های زیست‌محیطی خاص در هر رویشگاه، ارزش غذایی مناسبی برای تغذیه دام‌ها ارائه می‌دهند. بسیاری از این گیاهان به دلیل داشتن ترکیبات مؤثر فعال، همچون مواد آنتی‌اکسیدانی و درمانی، می‌توانند به بهبود سلامت و عملکرد دام‌ها کمک نمایند (Wang et al., 2024). از این‌رو، شناخت و تحلیل دقیق مواد مغذی موجود در این گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ارزیابی کمی و کیفی گیاهان موجود در اکوسیستم‌های طبیعی و مراتع کشور می‌تواند منجر به شناسایی گونه‌های گیاهی ارزشمند و کم‌تر شناخته‌شده‌ای گردد که علاوه بر تأمین نیازهای تغذیه‌ای دام‌ها، قادر به تبدیل شدن به منابع علوفه‌ای پایدار و رایج باشند و در بهبود بهره‌وری سیستم‌های پرورش دام نقش مؤثری ایفا کنند. از جمله گیاهان قابل توجه در این زمینه می‌توان به مورینگا اولیفر (*Moringa oleifera*) اشاره نمود که در جنوب ایران با نام "گز روغنی" شناخته می‌شود. مورینگا یک گیاه مقاوم به خشکی با سرعت رشد بالاست، به گونه‌ای که در سیستم‌های کشت متراکم تا ۳۵ تن علوفه خشک در هکتار (Cohen-Zinder et al., 2016) تولید می‌کند. برگ مورینگا منبع خوبی از پروتئین با کیفیت با آمینواسیدهای ضروری مانند لیزین و متیونین، اسیدهای چرب غیراشباع، مواد معدنی و ویتامین‌هاست (Amin et al., 2024). برگ‌های این گیاه غنی از ترکیبات زیست‌فعال مانند روغن‌های ضروری، ترکیبات فنولی و تانن است که با داشتن خصوصیات ضد التهابی، ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی موجب بهبود مصرف خوراک، عملکرد حیوانات و همچنین عطر و طعم شیر می‌شود (Nepolean et al., 2009).

ترکیب شیمیایی مورینگا می‌تواند بسته به مرحله بلوغ، گونه گیاهی، نسبت ساقه به برگ و زمان نمونه‌برداری از گیاه به‌طور قابل توجهی متفاوت باشد. در پژوهش Kholif و همکاران (۲۰۱۵) مقادیر پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF)، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)، لیگنین، عصاره اتری، خاکستر، ترکیبات فنولی و تانن در برگ مورینگا به ترتیب ۲۴/۱، ۳۳/۷، ۲۷/۵، ۸/۱۶، ۴/۷۳، ۱۱/۱ و ۴/۵۲ درصد گزارش شد. همچنین، گوارش‌پذیری ماده آلی و انرژی قابل متابولیسم برون تنی گیاه مذکور به ترتیب ۶۲ درصد ماده خشک و ۲/۱۱ مگا کالری در کیلوگرم ماده خشک بود (حسینی، ۱۳۹۷). طبق پژوهش‌های صورت گرفته، آثار مثبت برگ مورینگا بر تولید شیر، نمره وضعیت بدنی و پروفایل متابولیکی خون گاوهای زبو (Worku et al., 2025) گزارش شده است، هرچند پژوهش‌های بیش‌تری باید انجام شود.

باوجود پژوهش‌های مختلف، یافته‌های چندانی درباره ارزش غذایی برگ مورینگای موجود در کشور به‌عنوان یک منبع پروتئینی در بخش علوفه بر متابولیسم و تخمیر مواد مغذی در شکمبه در دسترس نیست. تعیین ارزش غذایی برگ مورینگا و تأثیر آن بر گوارش‌پذیری، فراسنجه‌های تخمیر و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در شکمبه این امکان را می‌دهد که با شناخت دقیق بتوان از آن در جیره دام استفاده نمود. به‌نظر می‌رسد برگ مورینگا به دلیل ارزش غذایی بالا اثر مثبتی بر هضم میکروبی شکمبه

داشته باشد. بنابراین، هدف از اجرای پژوهش حاضر، بررسی ترکیب شیمیایی برگ مورینگا/ولیفرا و تأثیر سطوح مختلف آن در جیره بر گوارش پذیری، فراسنجه‌های تخمیر، ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی و جمعیت پروتوزوآ با روش برون‌تنی بود.

۲. روش پژوهش

۲.۱. جمع‌آوری و بررسی ترکیب شیمیایی برگ گیاه مورینگا

برگ گیاه مورینگا در تیرماه ۱۴۰۱ از چند نقطه جداگانه از اراضی روستای سرمشهد واقع در دهستان دادین در شهرستان کازرون (استان فارس) جمع‌آوری و سایه خشک شد. منطقه در موقعیت طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۷۰ دقیقه شرقی، و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی، ارتفاع ۸۲۰ متری از سطح دریا و مجموع بارندگی سالانه ۴۰۵ میلی‌متر می‌باشد. نمونه‌های گیاهی به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در آون مجهز به هواکش خشک و سپس با استفاده از الک یک میلی‌متری آسیاب (Wiley mill, Swedesboro, USA) شدند. غلظت پروتئین خام نمونه‌ها توسط دستگاه کدال (Buchi، سوییس)، غلظت خاکستر خام با سوزاندن در کوره الکتریکی (شیماز، ایران) و عصاره اتری به وسیله روش سوکسله (Behr، آلمان) به ترتیب مطابق با روش‌های شماره ۹۸۸/۰۵، ۹۲۴/۰۵ و ۹۲۰/۳۹ ارائه شده توسط AOAC (2012) اندازه‌گیری شد. میزان الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) به ترتیب با جوشاندن نمونه‌ها در محلول شوینده خنثی و محلول شوینده اسیدی به مدت یک ساعت تعیین شد. غلظت لیگنین با افزودن اسیدسولفوریک ۷۲ درصد به نمونه‌های ADF (به مدت سه ساعت) و حل شدن سلولز موجود در آن به دست آمد (AOAC, 2012). مقادیر کلسیم و فسفر نمونه‌ها به ترتیب با استفاده از روش جذب اتمی و اسپکتروفتومتری با روش مولبیدات-وانادات (Chapman & Pratt, 1961) اندازه‌گیری شد. در نهایت میزان کربوهیدرات‌های غیر فیبری (NFC) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{NFC} = 100 - (\text{NDF g/kg DM} + \text{CP g/kg DM} + \text{EE g/kg DM} + \text{ash g/kg DM})$$

پس از اندازه‌گیری ترکیب شیمیایی، جیره‌های آزمایشی با چهار سطح برگ مورینگا (صفر، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد ماده خشک) و با نسبت علوفه به کنسانتره ۵۵ به ۴۵ متوازن گردید. اجزای خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی در جدول (۱) آورده شده است.

۲.۲. فراسنجه‌های گوارش پذیری

برای تعیین ضرایب گوارش پذیری و انرژی قابل متابولیسم جیره‌های آزمایشی از آزمون هضم دمرحله‌ای Tilley & Terry (۱۹۶۳) با پنج تکرار به‌ازای هر تیمار و سه تکرار به‌عنوان بلانک استفاده شد. بدین منظور، مایع شکمبه پیش از خوراک‌دهی وعده صبح، از سه رأس گوسفند نر نژاد شال توسط پمپ خلا جمع‌آوری و با یک فلاسک در شرایط بی‌هوازی به آزمایشگاه منتقل شد. مایع شکمبه با چهار لایه پارچه تنظیف صاف شده و به نسبت یک به چهار با بزاق مصنوعی برای تهیه محیط کشت مخلوط گردید. میزان ۰/۵ گرم از جیره‌های آسیاب شده به داخل ویال‌های آزمایشی ریخته شد و ۵۰ میلی‌لیتر مخلوط مایع شکمبه-بزاق مصنوعی اضافه گردید. سپس، جریان CO₂ برای ایجاد شرایط بی‌هوازی به آرامی در محلول برقرار گردید و ویال‌ها در انکوباتور با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از گذشت ۴۸ ساعت انکوباسیون، محتویات داخل ویال‌ها به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید تا مایع روبی جدا گردد. در ادامه، به مواد باقیمانده هر ویال ۵۰ میلی‌لیتر محلول پپسین اسیدی اضافه شد و دوباره به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد انکوباسیون گردید.

جدول ۱. مواد خوراکی، ترکیب شیمیایی (درصد) و انرژی قابل متابولیسم (مگا کالری در کیلوگرم ماده خشک) جیره‌های آزمایشی				
سطح برگ مورینگا در جیره (درصد ماده خشک)				
صفر	۱۵	۳۰	۴۵	
مواد خوراکی				
برگ مورینگا اولیفر	صفر	۱۵/۰	۳۰/۰	۴۵/۰
یونجه خشک	۴۰/۰	۲۷/۰	۱۳/۰	۱/۵
کاه گندم	۱۵/۰	۱۳/۰	۱۲/۰	۸/۵
سبوس گندم	۳/۰	۳/۵	۳/۵	۰
دانه ذرت	۱۴/۶	۱۶/۰	۱۷/۰	۲۰/۰
دانه جو	۱۴/۲	۱۴/۸	۱۶/۰	۱۷/۰
کنجاله سویا	۵/۳	۲/۵۵	۱/۰	۰
کنجاله کلزا	۴/۰	۲/۵۵	۱/۰	۰
تفاله چغندر قند	۲/۷	۴/۴	۵/۳	۶/۸
مکمل ویتامینه- معدنی	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰
نمک	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
ترکیب شیمیایی				
ماده خشک	۹۱/۷	۹۲/۴	۹۱/۵	۹۲/۱
ماده آلی	۹۲/۲	۹۱/۶	۹۱/۲	۹۰/۸
پروتئین خام	۱۳/۳۲	۱۳/۴۱	۱۳/۵۸	۱۳/۸۳
الیاف نامحلول در شوینده خنثی	۳۹/۷	۳۸/۱	۳۵/۹	۳۴/۲
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی	۲۵/۱	۲۲/۶	۱۹/۷	۱۶/۲
عصاره اتری	۳/۰۶	۳/۲۸	۳/۴۷	۳/۶۹
کربوهیدرات‌های غیر فیبری	۳۶/۰	۳۶/۸	۳۸/۲	۳۹/۱
انرژی قابل متابولیسم	۲/۳۲	۲/۳۵	۲/۳۶	۲/۳۸

پس از پایان انکوباسیون، محتویات ویال‌ها با استفاده از کاغذ صافی بدون خاکستر فیلتر شد. بقایا به همراه کاغذ صافی به ترتیب در آون و کوره الکتریکی خشک و سوزانده شد تا ضرایب هضمی ماده خشک و ماده آلی گردد. همچنین، میزان ماده آلی قابل هضم در ماده خشک و انرژی قابل متابولیسم با استفاده از روابط (۲) و (۳) تخمین زده شد (Alderman et al., 1993).

رابطه ۲) $DOMD = OMD \times OM$

رابطه ۳) $ME = 0.0157 \times DOMD$

در روابط بالا، DOMD، ماده آلی قابل هضم در ماده خشک (درصد)؛ OMD، گوارش پذیری ماده آلی (درصد)؛ OM، ماده آلی (درصد) و ME، انرژی قابل متابولیسم (مگاژول در کیلوگرم ماده خشک) است.

۳.۲. فراسنجه‌های تولید گاز

برای تعیین فراسنجه‌های تخمیر شکمبه از آزمون تولید گاز ۲۴ ساعته استفاده شد. میزان ۲۰۰ میلی گرم نمونه به داخل سرنگ‌های شیشه‌ای ریخته شد و ۳۰ میلی لیتر مخلوط مایع شکمبه-بازاق مصنوعی تحت شرایط بی‌هوازی به داخل سرنگ‌ها تزریق گردید. سرنگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد انکوباسیون شدند. پس از پایان انکوباسیون، حجم کل گاز تولیدی ۲۴ ساعته در هر سرنگ ثبت گردید و به منظور محاسبه سوبسترای تجزیه شده حقیقی

(TDS)، محتویات داخل هر سرنگ به مدت یک ساعت با محلول شوینده خنثی جوشانده، صاف و در آون خشک گردید. در انتها، اختلاف وزن نمونه اولیه (وزن ماده خشک پیش از انکوباسیون) با وزن بقایای موجود در کاغذ صافی به عنوان سوبسترای تجزیه شده حقیقی در نظر گرفته شد. شاخص تفکیک (PF) و تولید توده میکروبی (MBP) نیز به کمک روابط (۴) و (۵) محاسبه شدند (Blümmel et al., 1997):

$$\text{PF (mg/ml)} = \text{TDS / GP} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$\text{MBP (mg/g DM)} = \text{TDS} - (\text{GP} \times 2.2) \quad \text{رابطه ۵}$$

در روابط بالا، PF، شاخص تفکیک (mg/mL)؛ TDS، سوبسترای تجزیه شده حقیقی (mg/g DM)؛ GP، گاز تولیدی در ۲۴ ساعت (mL/g DM)؛ MBP، تولید توده میکروبی (mg/g DM) و ۲/۲ برابر با ضریب استوکیومتری است.

۴.۲. فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای

میزان pH مایع شکمبه با استفاده از pH متر دیجیتالی (Sartorius، آلمان) اندازه‌گیری شد. میزان پنج میلی‌لیتر مایع شکمبه صاف‌شده با یک میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۰/۲ نرمال مخلوط شده و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان اندازه‌گیری غلظت نیتروژن آمونیاکی با روش فنل-هیپوکلریت ذخیره شد (Galyean, 2010). جهت تعیین غلظت اسیدهای چرب فرار، حجم پنج میلی‌لیتر مایع شکمبه با ۰/۱ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۵۰ درصد مخلوط و به فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شد. پس از یخ‌گشایی و سانتریفیوژ نمونه‌ها در آزمایشگاه، غلظت اسیدهای چرب فرار توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی (UNICAM 4600، انگلستان) و با استفاده از ۲-اتیل بوتیریک اسید به عنوان استاندارد داخلی تعیین گردید. توان آنتی‌اکسیدانتی کل با روش FRAP (توان احیاکنندگی آهن فریک پلاسما) ارائه شده توسط Benzie & Strain (۱۹۹۶) اندازه‌گیری شد. به منظور شمارش جمعیت پروتوزوایی نیز مایع شکمبه به نسبت مساوی با محلول فرمالین ۵۰ درصد به آرامی مخلوط و در یخچال با دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سپس، با استفاده لام هموسیتومتر (Hawksley، انگلستان) و میکروسکوپ نوری (Jenus، چین) جمعیت کل پروتوزوا و زیرخانواده‌های آن شمارش شد (Dehority, 2003).

۵.۲. تجزیه آماری

داده‌های حاصل با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۴) طبق رابطه (۶) تجزیه و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد مقایسه شدند. همچنین، از مقایسه مستقل چندگانه (Polynomial contrast) برای بررسی روند تغییرات تیمارها (تأثیر درجه اول و دوم سطوح افزایشی برگ مورینگا در جیره) استفاده شد.

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + e_{ij} + e_{ijk} \quad \text{رابطه ۶}$$

در این رابطه، Y_{ijk} مقدار صفت مشاهده شده؛ μ میانگین کل؛ T_i اثر تیمار؛ e_{ij} خطای آزمایشی و e_{ijk} خطای نمونه‌برداری بود.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

۳.۱. ترکیب شیمیایی علوفه‌های آزمایشی

همانگونه که در جدول (۲) نشان داده شده است، برگ مورینگا مقادیر پروتئین خام، خاکستر، عصاره اتری، کلسیم و فسفر بیش‌تری نسبت به یونجه خشک داشت، اما دارای اجزای دیواره سلولی (NDF، ADF و لیگنین) کم‌تری بود.

($P < 0.05$). مقادیر DM، NFC و ME دو گیاه نیز متفاوت نبود. ترکیب شیمیایی برگ مورینگا در پژوهش حاضر تقریباً مشابه با سایر پژوهش‌ها (Kholif *et al.*, 2015) بود. اما غلظت گزارش شده برای پروتئین خام (۳۱/۵ درصد؛ توسط Yusuf و همکاران، ۲۰۱۸) و NDF (۵۰/۶ درصد؛ توسط Reyes-Sánchez و همکاران، ۲۰۰۶) بسیار بیش‌تر از پژوهش حاضر بوده است. میزان پروتئین خام برگ مورینگا ۴۸/۳ درصد بیش‌تر از یونجه خشک بود، که در هر دو گیاه بیش‌تر از حداقل میزان لازم (هفت درصد ماده خشک) برای تولید آمونیاک مورد نیاز میکروب‌های شکمبه برای رشد و فعالیت میکروبی بود (Sampaio *et al.*, 2010). ترکیب شیمیایی برگ مورینگا به‌ویژه مقدار پروتئین خام نشان می‌دهد که در صورت گنجاندن در جیره دام‌های پرتولید می‌تواند بخش مناسبی از نیاز به مکمل‌های پروتئینی را کاهش دهد.

جدول ۲. ترکیب شیمیایی (درصد) و انرژی قابل متابولیسم (مگا کالری در کیلوگرم ماده خشک) علوفه‌های آزمایشی

یونجه	برگ مورینگا	SEM	P-value	
۹۰/۵	۹۱/۸	۰/۴۹	۰/۲۸	ماده خشک
۱۴/۷ ^b	۲۱/۸ ^a	۰/۵۳	<۰/۰۰۱	پروتئین خام
۸/۲۷ ^b	۱۰/۴ ^a	۰/۲۵	۰/۰۰۴	خاکستر
۴۷/۳ ^a	۳۳/۷ ^b	۱/۱۲	۰/۰۰۲	NDF
۳۴/۱ ^a	۱۶/۳ ^b	۰/۶۶	<۰/۰۰۱	ADF
۵/۹۴ ^a	۲/۶۸ ^b	۰/۰۸	<۰/۰۰۱	لیگنین
۳/۲۷ ^b	۴/۳۶ ^a	۰/۲۴	۰/۰۳	عصاره اتری
۲۶/۵	۲۹/۷	۱/۳۹	۰/۱۸	NFC
۱/۶۹ ^b	۲/۷۵ ^a	۰/۱۱	۰/۰۰۲	کلسیم
۰/۳۴۸ ^b	۰/۴۳۱ ^a	۰/۰۱	۰/۰۰۵	فسفر
۱/۹۷	۲/۲۸	۰/۱۳	۰/۱۵	انرژی قابل متابولیسم

NDF: الیاف نامحلول در شوینده خنثی، ADF: الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، NFC: کربوهیدرات‌های غیر فیبری، SEM: انحراف استاندارد میانگین‌ها. ab تفاوت ارقام در هر ردیف با حروف نامشابه معنی‌دار است ($P < 0.05$).

۲.۳. فراسنجه‌های تولید گاز و گوارش‌پذیری

براساس نتایج جدول (۳)، افزایش خطی برگ مورینگا در جیره موجب بهبود فراسنجه‌های تولید گاز و ضرایب گوارش‌پذیری شد ($P < 0.05$)، به‌گونه‌ای که تولید گاز، گوارش‌پذیری ماده خشک و ماده آلی در جیره حاوی ۴۵ درصد برگ گیاه مورینگا نسبت به شاهد به‌ترتیب ۷/۵۱، ۹/۴۳ و ۸/۵۴ درصد افزایش یافت. بهبود در تولید گاز و گوارش‌پذیری با نتایج پژوهش Parra-Garcia و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت داشت. عواملی زیادی بر هضم‌پذیری جیره اثر گذارند. یکی از دلایل را می‌توان به هضم بهتر برگ مورینگا در مقایسه با مخلوط یونجه و کاه نسبت داد و گنجاندن آن می‌تواند موجب تجزیه‌پذیری بهتر جیره شود (Dey *et al.*, 2014). زیرا پروتئین و NFC بیش‌تر، و لیگنین کم‌تر در برگ مورینگا در بهبود روند تخمیرپذیری جیره‌ها مؤثر بود. لیگنین دارای رابطه منفی با هضم‌پذیری خوراک است و NFC تأثیر مثبتی بر نرخ هضم و تخمیر دارد و تغییرات مذکور اثرات مثبتی بر گوارش‌پذیری جیره دارند (McDonald *et al.*, 2011). افزایش گوارش‌پذیری ممکن است در نتیجه حضور ترکیبات ثانویه گیاهی (مانند تانن‌ها، ساپونین‌ها، فلاوونوئیدها، استروئیدها و ترپن‌ها) در برگ مورینگا مرتبط باشد که با مهار میکروب‌های مضر و تأثیر مثبت بر فعالیت فلور میکروبی مفید باعث کاهش اتلاف مواد مغذی به‌ویژه انرژی و نیتروژن جیره به صورت متان و آمونیاک شده که در نهایت بازده تخمیر شکمبه و گوارش‌پذیری افزایش می‌یابد (Patra, 2011). همچنین به‌نظر می‌رسد غلظت تانن در برگ مورینگا کم‌تر از حد سمیت باشد، زیرا گزارش شده که مقدار تانن در سطح بیش‌تر از پنج درصد ماده خشک جیره با ممانعت از فعالیت آنزیم‌های خارج سلولی میکروب‌های شکمبه، تأثیر منفی بر تخمیر شکمبه دارد (Frutos *et al.*, 2004).

براساس داده‌های این جدول، میزان سوسترای تجزیه‌شده حقیقی در جیره‌های حاوی برگ مورینگا افزایش پیدا کرد که با نتایج به‌دست‌آمده برای تولید گاز و ضرایب گوارش‌پذیری هم‌راستا بود. هم‌چنین گنجاندن برگ مورینگا در جیره موجب روند افزایشی در تولید توده میکروبی در شرایط برون‌تنی شد ($P < 0.05$)، در صورتی‌که میزان شاخص تفکیک و بازده تولید توده میکروبی، بین تیمارهای آزمایشی یکسان بود ($P < 0.05$).

همانگونه که اشاره شد، برگ مورینگا به دلیل داشتن ترکیبات مؤثره گیاهی با مهار و کاهش جمعیت پروتوزوایی (اشاره به جدول ۵) موجب مصرف بهتر آمونیاک برای تولید توده میکروبی می‌شود. پروتوزوای شکمبه با بلعیدن و شکار باکتری‌ها از آن‌ها به عنوان منبع غذایی استفاده می‌کند و مهار جمعیت پروتوزوای با کاهش چرخه نیتروژن بین باکتری‌ها و پروتوزوای، تولید توده میکروبی را افزایش می‌دهد. یکی دیگر از عوامل مهم بهبود تولید توده میکروبی را می‌توان به افزایش گوارش‌پذیری جیره‌های حاوی برگ مورینگا نسبت داد. زیرا افزایش ماده آلی تخمیرشده در شکمبه و احتمالاً همزمانی بهتر تخمیر منابع نیتروژن و انرژی جیره باعث بهبود فعالیت باکتریایی شکمبه، کاهش اتلاف منابع نیتروژنی و در نهایت افزایش تولید توده میکروبی در شکمبه شده است. علاوه بر این، سطح بالای پروتئین قابل تجزیه شکمبه‌ای موجود در برگ مورینگا و تأمین نیتروژن کافی برای میکروب‌های شکمبه عامل دیگر افزایش گوارش‌پذیری و تولید توده میکروبی در شکمبه می‌باشد (Wu, 2018).

در پژوهش حاضر، میزان شاخص تفکیک در محدوده فیزیولوژیکی مطلوب (۲/۷ تا ۴/۴ میلی گرم در میلی لیتر) قرار دارد. شاخص تفکیک شاخصی از بازده تولید توده میکروبی است که از تفریق سوبسترای تجزیه شده حقیقی بر تولید گاز به دست می آید و عدم تغییر آن بدین معنی است که میزان سوبسترای تجزیه شده حقیقی و تولید گاز هم‌راستا با یکدیگر تغییر کردند. همچنین، بازده تولید توده میکروبی به ازای هر واحد گاز تولیدی و به ازای هر واحد سوبسترای تجزیه شده حقیقی تفاوتی بین تیمارهای آزمایشی نداشت که با نتایج شاخص تفکیک مطابقت دارد (Blümmel et al., 1997).

جدول ۳. اثر جیره‌های حاوی سطوح برگ مورینگا اولیفرا بر فراسنجه‌های تولید گاز و گوارش پذیری در شرایط برون تنی

P-value		SEM	سطح برگ مورینگا در جیره (درصد)			
درجه دو	خطی		۴۵	۳۰	۱۵	صفر
۰/۶۵	۰/۰۰۹	۲/۳۹	۲۲۹ ^a	۲۲۳ ^{ab}	۲۱۷ ^{bc}	۲۱۳ ^c
۰/۹۱	۰/۰۰۲	۷/۳۲	۷۹۳ ^a	۷۸۶ ^a	۷۵۸ ^b	۷۲۸ ^c
۰/۶۵	۰/۲۲	۰/۰۵۵	۳/۴۶ ^{ab}	۳/۵۳ ^a	۳/۴۹ ^{ab}	۳/۴۳ ^b
۰/۷۵	۰/۰۲۶	۹/۸۲	۲۸۹ ^{ab}	۲۹۴ ^a	۲۸۱ ^{ab}	۲۵۹ ^b
۰/۶۸	۰/۲۲	۰/۰۵۵	۱/۲۶	۱/۳۲	۱/۳۰	۱/۲۲
۰/۶۹	۰/۲۲	۰/۰۱۱	۰/۳۶۴	۰/۳۷۴	۰/۳۷۰	۰/۳۵۶
۰/۷۸	<۰/۰۰۱	۸/۲۷	۷۸۹ ^a	۷۸۰ ^a	۷۴۸ ^b	۷۲۱ ^c
۰/۷۵	۰/۰۰۴	۹/۵۷	۷۷۵ ^a	۷۶۲ ^{ab}	۷۳۶ ^{bc}	۷۱۴ ^c
۰/۷۳	۰/۰۱	۸/۷۵	۷۰۳ ^a	۶۹۵ ^{ab}	۶۷۲ ^{bc}	۶۵۸ ^c
۰/۷۲	۰/۰۱	۰/۱۳۷	۱۱/۱ ^a	۱۰/۹ ^{ab}	۱۰/۶ ^{bc}	۱۰/۳ ^c

GP24: گاز تولیدی در انکوباسیون ۲۴ ساعته (TDS: (mL/g DM سوپسترای تجزیه شده حقیقی (PF: (mg/g DM شاخص تفکیک (MBP: (mg TDS/mL GP) تولید توده میکروبی (EMBP: (mg/g DM) بازده تولید توده میکروبی (EMBP: (mg MBP/mg TDS)؛ بازده تولید توده میکروبی (MD: (mg MBP/mg TDS)؛ گوارش‌پذیری ماده خشک (گرم در کیلوگرم ماده خشک)؛ OMD: (g/g)؛ گوارش‌پذیری ماده آلی (گرم در کیلوگرم ماده آلی)؛ DMD: (g/g)؛ گوارش‌پذیری ماده آلی (در ماده خشک (گرم در کیلوگرم ماده خشک)؛ ME: انرژی قابل متابولیسم (MJ/Kg DM)؛ SEM: انحراف استاندارد میانگین‌ها. (p<۰/۰۵).

۳.۳. فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای

نتایج مربوط به تأثیر تیمارهای آزمایشی بر pH، غلظت نیتروژن آمونیاکی، اسیدهای چرب فرار و توان آنتی‌اکسیدانتی مایع شکمبه در جدول (۴) ارائه شده است. میزان pH شکمبه در دامنه بهینه تعریف شده (بین شش تا هفت؛ Dehority, ۲۰۰۳) برای میکروب‌ها قرار داشت و بین تیمارهای آزمایشی یکسان بود. pH شکمبه تحت تأثیر عواملی نظیر گوارش‌پذیری مواد آلی و تولید فرآورده‌های تخمیری شکمبه مانند نیتروژن آمونیاکی (دریافت یون هیدروژن شکمبه برای تولید آمونیوم) و اسیدهای چرب فرار (کاهش‌دهنده pH) قرار دارد (McDonald et al., 2011). اما به نظر می‌رسد تغییرات ایجاد شده در تغییرات مذکور به‌ویژه اسیدهای چرب فرار به گونه‌ای نبوده که بتواند تأثیر معنی‌داری بر pH شکمبه ایجاد کند. از سوی دیگر، ظرفیت بافری علوفه‌ها و غلظت اسید لاکتیک در شکمبه از عوامل تأثیرگذار بر pH هستند که در پژوهشی حاضر اندازه‌گیری نشدند.

مقدار نیتروژن آمونیاکی در تمامی گروه‌های آزمایشی در دامنه طبیعی برای رشد میکروب‌های شکمبه (۸/۵ تا ۳۰ میلی‌گرم در دسی‌لیتر) گزارش شده توسط McDonald و همکاران (۲۰۱۱) بود. مقدار نیتروژن آمونیاکی با گنجاندن برگ مورینگا کاهش یافت ($P < 0.05$). از عوامل کاهش نیتروژن آمونیاکی در پژوهش حاضر می‌توان به کاهش جمعیت پروتوزوا و بهبود تولید توده میکروبی در شکمبه اشاره کرد. ارتباط مثبتی بین جمعیت پروتوزوایی شکمبه با غلظت نیتروژن آمونیاکی وجود دارد و کاهش پروتوزوا موجب کاهش هدرروی نیتروژن خوراک به‌صورت آمونیاک می‌شود. از سوی دیگر، بهبود مشاهده شده در تولید توده میکروبی نشان‌دهنده این است که با گنجاندن برگ مورینگا در جیره، همزمانی آزادسازی منابع انرژی و نیتروژن جیره در شکمبه بهتر اتفاق افتاده و باعث شده بخش بیش‌تری از آمونیاک در ساختار میکروبی برای تولید پروتئین به‌کار برده شود (Wu, 2018).

در برخی مطالعات، کاهش غلظت نیتروژن آمونیاکی شکمبه‌ای در اثر مواد مؤثره و متابولیت‌های ثانویه موجود در گیاهان مرتعی-دارویی و اسانس‌های آن‌ها مشاهده شده است (Banakar et al., 2019). درحالی‌که عدم تأثیر برخی عصاره‌های گیاهان دارویی بر غلظت نیتروژن آمونیاکی نیز گزارش شده است (Khateri et al., 2017). بنابراین، پژوهش‌گران معتقدند که تأثیر مواد مؤثره گیاهی بر متابولیسم نیتروژن در شکمبه ممکن است به عواملی مانند ماهیت شیمیایی اجزای فعال اسانس و دوز مصرفی آن‌ها بستگی داشته باشد. در توافق با نتایج پژوهش حاضر، تغذیه گوساله‌های گاو میش با سطوح افزایشی برگ مورینگا (صفر، ۱۵ و ۲۰ درصد ماده خشک)، کاهش نیتروژن آمونیاکی را به دنبال داشت (Abdel-Raheem & Hassan, 2021).

از نتایج دیگر پژوهش حاضر، افزایش خطی غلظت کل VFA در جیره‌های حاوی برگ مورینگا نسبت به شاهد بود ($P < 0.05$). بهبود تولید VFA هم‌راستا با افزایش گوارش‌پذیری ماده آلی و سوبسترای تجزیه‌شده حقیقی بود که باعث شده ماده آلی تخمیری بیش‌تری در دسترس میکروب‌های شکمبه قرار گیرد (McDonald et al., 2011). از سوی دیگر، روند کاهشی نسبت استات به پروپیونات با افزایش سطح برگ مورینگا در جیره مشاهده شد که علت احتمالی آن افزایش غلظت NFC جیره و تغییر الگوی تخمیر شکمبه به سمت تولید پروپیونات می‌باشد (Khademi et al., 2022). علاوه بر این، پروتوزوای شکمبه به‌عنوان انتقال‌دهنده هیدروژن به آرکایای متانوزن عمل می‌کند و تشکیل پروپیونات می‌تواند نتیجه کاهش جمعیت پروتوزوایی و انحراف نسبی در متابولیسم هیدروژن از متانوزن‌ها به سمت پروپیونات باشد که در نهایت کاهش نسبت استات به پروپیونات را به دنبال داشت (Ebeid et al., 2020).

از سوی دیگر، کاهش نسبی استات در پژوهش حاضر ممکن است با اثر مهارکنندگی متابولیت‌های ثانویه گیاهی بر رشد باکتری‌های گرم مثبت مانند باکتری‌های تولیدکننده استات مرتبط باشد. باکتری‌های گرم مثبت در مقایسه با

باکتری‌های گرم منفی حساسیت بیشتری نسبت به اسانس‌ها و خواص ضد میکروبی آن‌ها دارند. زیرا باکتری‌های گرم منفی علاوه بر غشای سلول، دارای یک دیواره سلولی آب‌دوست هستند که اجازه عبور مواد چربی‌دوست مانند روغن‌های ضروری و اسانس‌های گیاهی به غشای سلول را نمی‌دهد (Calsamiglia et al., 2007).

همانگونه که در جدول (۴) مشاهده می‌شود، افزودن برگ مورینگا به جیره در شرایط برون‌تنی باعث افزایش قابل‌توجهی در ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی شکمبه شد، به گونه‌ای که میزان آن در جیره حاوی ۴۵ درصد برگ مورینگا نسبت به جیره شاهد تا ۸۰/۷ درصد افزایش یافت. مطالعات نشان داده است که برگ مورینگا غنی از آنتی‌اکسیدانت‌های طبیعی فعال مانند پلی‌فنول‌ها، پلی‌ساکاریدها، آلکالوئیدها و ویتامین‌ها هستند (Nepolean et al., 2009). همچنین خاصیت آنتی‌اکسیدانتی گیاهان دارویی و اسانس‌های حاوی متابولیت‌های ثانویه در پژوهش‌های مختلف، در توافق با نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر بود (Nasrabadi et al., 2022). آنتی‌اکسیدانت‌ها قادرند با مهار رادیکال‌های آزاد، گونه‌های اکسیژن فعال (که منجر به مرگ سلولی می‌شوند)، فعالیت کلات‌های فلزی و حفظ سلول‌ها در برابر عفونت بر سیستم ایمنی حیوان تأثیرگذار باشند (Zhao et al., 2014). بنابراین با گنجاندن گیاهانی مانند برگ مورینگا در جیره می‌توان از مزایای آن‌ها در ارتقای سلامت دام بهره برد.

جدول ۴. اثر جیره‌های حاوی سطوح برگ مورینگا اولیفا بر pH، نیتروژن آمونیاکی، اسیدهای چرب فرار و ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی کل در شرایط برون‌تنی

P-value		SEM	سطح برگ مورینگا در جیره (درصد)				
درجه دو	خطی		صفر	۱۵	۳۰	۴۵	
۰/۶۸	۰/۱۱	۰/۰۸	۶/۶۲	۶/۵۷	۶/۴۳	۶/۳۵	pH
۰/۷۱	۰/۰۰۱	۰/۷۶	۲۱/۵	۱۸/۸	۱۶/۹	۱۶/۳	نیتروژن آمونیاکی (mg/dL)
۰/۷۵	۰/۰۳	۱/۳۸	۷۴/۵	۷۶/۳	۷۹/۱	۸۰/۲	کل اسیدهای چرب فرار (mmol/L)
							نسبت اسیدهای چرب فرار (درصد)
۰/۴۰	۰/۱۷	۰/۸۴	۵۷/۷	۵۶/۰	۵۵/۹	۵۴/۸	استات
۰/۹۲	۰/۱۵	۰/۷۱	۲۲/۷	۲۳/۶	۲۴/۳	۲۴/۹	پروپیونات
۰/۱۱	۰/۵۹	۰/۲۵	۱۱/۰	۱۱/۶	۱۱/۲	۱۱/۵	بوتیرات
۰/۱۳	۰/۵۸	۰/۱۷	۴/۸۵	۵/۱۱	۴/۷۲	۴/۹۴	ایزوبوتیرات
۰/۹۶	۰/۶۷	۰/۱۱	۱/۱۴	۱/۱۹	۱/۲۱	۱/۱۹	والرات
۰/۶۷	۰/۷۸	۰/۱۳	۲/۵۵	۲/۵۲	۲/۶۱	۲/۶۳	ایزووالرات
۰/۷۰	۰/۱۴	۰/۱۰	۲/۵۶	۲/۴۰	۲/۳۳	۲/۲۳	استات:پروپیونات
۰/۱۶	<۰/۰۰۱	۴۹/۸	۱۰۴۷	۱۴۷۶	۱۷۳۶	۱۸۹۲	TAC

TAC: ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی کل (mmol Fe²⁺/L); SEM: انحراف استاندارد میانگین‌ها. *تفاوت ارقام در هر ردیف با حروف نامشابه معنی‌دار است (P<۰/۰۵).

جمعیت کل پروتوزوا و زیر خانواده‌های پروتوزوا در شرایط برون‌تنی در جدول (۵) گزارش شده است. همان‌گونه که اشاره شد، کاهش کل پروتوزوا باعث کاهش اتلاف منابع انرژی و نیتروژن خوراک در شکمبه می‌شود و می‌تواند اثرات مثبتی بر تولید توده میکروبی ایجاد کند (Dehority, 2003). در پژوهش حاضر، کاهش جمعیت پروتوزوا با کاهش نیتروژن آمونیاکی، بهبود تولید توده میکروبی و کاهش نسبت استات به پروپیونات همراه بود، که بهره‌وری جیره را بهبود می‌دهد. کاهش پروتوزوا ممکن است به وجود متابولیت‌های ثانویه مانند پلی‌فنول‌ها، فلاوونوئیدها، ترپن‌ها و ساپونین‌ها مرتبط باشد که باعث تخریب غشای سلولی پروتوزوا و تداخل در مسیرهای متابولیسمی آن‌ها می‌شود (Abdel-Raheem & Hassan, 2021). سایر پژوهش‌گران نیز اثرات ضدپروتوزوایی گیاهان دارویی معطر و اسانس‌های حاوی ترکیبات ثانویه را مشاهده کردند (حسینی، ۱۳۹۷).

جدول ۵. اثر جیره‌های حاوی سطوح برگ مورینگا اولیفرا بر شمارش پروتوزوای شکمبه در شرایط برون تنی (×۱۰۵ در هر میلی‌لیتر)

درجه دو	خطی	P-value	SEM	سطح برگ مورینگا در جیره (درصد)			
				صفر	۱۵	۳۰	۴۵
۰/۹۱	<۰/۰۰۱	۰/۱۶۶	۷/۲۵ ^c	۸/۴۳ ^b	۷/۶۵ ^c	۷/۲۵ ^c	۷/۲۵ ^c
۰/۱۵	۰/۰۰۲	۰/۰۵۷	۱/۰۴ ^b	۱/۲۱ ^b	۱/۱۵ ^b	۱/۰۴ ^b	۱/۰۴ ^b
۰/۹۱	۰/۰۰۱	۰/۱۵۵	۴/۳۸ ^b	۵/۰۳ ^a	۴/۵۱ ^b	۴/۳۸ ^b	۴/۳۸ ^b
۰/۲۸	۰/۰۰۲	۰/۰۳۸	۱/۰۹ ^b	۱/۲۹ ^a	۱/۱۳ ^b	۱/۰۹ ^b	۱/۰۹ ^b
۰/۹۳	۰/۴۶	۰/۰۶۵	۰/۷۴۶	۰/۹۰۴	۰/۸۶۳	۰/۷۴۶	۰/۷۴۶

SEM: انحراف استاندارد میانگین‌ها. Ab: تفاوت ارقام در هر ردیف با حروف نامشابه معنی‌دار است (P<۰/۰۵).

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از برگ مورینگا به‌عنوان یک گیاه مرتعی-دارویی تا سطح ۴۵ درصد جیره در شرایط برون تنی امکان‌پذیر است و می‌تواند انرژی متابولیسمی و پروتئین معادل را تأمین کند. گنجاندن جیره‌ای برگ گیاه مذکور موجب بهبود گوارش‌پذیری جیره، کاهش اتلاف نیتروژن به شکل آمونیاک، بهبود تولید توده میکروبی و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی شد که با هدف بهبود بازده مواد مغذی، عملکرد حیوان و سلامت اکسیداتیو قابل توصیه است. با این حال، این جایگزینی سطح فیبر نامحلول در شوینده خنثی جیره را کاهش می‌دهد که در شرایط دورن تنی باید متوازن گردد و لذا نظر قطعی در این خصوص نیازمند پژوهش‌های گسترده و بیش‌تری در شرایط مزرعه است.

۵. ملاحظات اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌هاست.

۶. مشارکت نویسندگان

مهدی نصرآبادی و زهرا قنبریان: جمع‌آوری داده‌ها و تهیه گزارش پژوهش؛

مهدی نصرآبادی: تحلیل داده‌ها.

۷. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۸. تشکر و قدرانی

از کلیه زحمات و حمایت‌های دکتر مجید قنبری، پسادکتری رشته فیزیولوژی گیاهان زراعی از دانشگاه تربیت مدرس، تشکر و قدرانی می‌گردد.

۹. منابع

حسینی، سید محسن؛ رضائی، جواد؛ روزبهان، یوسف (۱۳۹۷). تجزیه شیمیایی و گوارش‌پذیری برخی گیاهان مرتعی و تأثیر آن‌ها بر فراسنجه‌های تخمیر شکمبه با روش برون تنی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد تغذیه دام، گروه علوم دامی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

References

- Abdel-Raheem, S. M., & Hassan, E. H. (2021). Effects of dietary inclusion of *Moringa oleifera* leaf meal on nutrient digestibility, rumen fermentation, ruminal enzyme activities and growth performance of buffalo calves. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(8), 4430-4436. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.04.037>.
- Alderman, G., & Cottrill, B. R. (1993). The Agricultural and Food Research Council (AFRC). Energy and protein requirements of ruminants. CABI Publ., Wallingford, UK.
- Amin, M. F., Ariwibowo, T., Putri, S. A., & Kurnia, D. (2024). *Moringa oleifera*: A review of the pharmacology, chemical constituents, and application for dental health. *Pharmaceuticals*, 17(1), 142. <https://doi.org/10.3390/ph17010142>.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2012). *Official methods of analysis*, 19th ed. AOAC, Washington DC, USA.
- Aregheore, E. M. (2002). Intake and digestibility of *Moringa oleifera*-batiki grass mixtures by growing goats. *Small Ruminant Research*, 46 (1), 23-28. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(02\)00178-5](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(02)00178-5).
- Banakar, P. S., Sarkar, S., Tyagi, B., Vinay, V. V., Chugh, T., Kumar, S., Tyagi, N., & Tyagi, A. K. (2019). Effect of dietary plant secondary metabolites on rumen fermentation and microbial community: a review. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 36(2), 107-112. <https://doi.org/10.5958/2231-6744.2019.00020.3>.
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of blood (FRAP) as a measure of antioxidant power: the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.
- Blümmel, M., Steingäß, H., & Becker, K. (1997). The relationship between in vitro gas production, in vitro microbial biomass yield and 15N incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. *British Journal of Nutrition*, 77(6), 911-921. <https://doi.org/10.1079/BJN19970089>.
- Calsamiglia, S., Busquet, M., Cardozo, P.W., Castillejos, L., & Ferret, A. (2007). Invited review: essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*, 90(6), 2580-2595. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-644>.
- Cohen-Zinder, M., Leibovich, H., Vaknin, Y., Sagi, G., Shabtay, A., Ben-Meir, Y., Nikbachat, M., Portnik, Y., Yishay, M., & Miron, J. (2016). Effect of feeding lactating cows with ensiled mixture of *Moringa oleifera*, wheat hay and molasses, on digestibility and efficiency of milk production. *Animal Feed Science and Technology*, 211, 75-83. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.11.002>.
- Dehority, B. A. (2003). *Rumen Microbiology*. 1st ed. Nottingham University Press, Nottingham, UK.
- Dey, A., Paul, S. S., Pandey, P., & Rathore, R. (2014). Potential of *Moringa oleifera* leaves in modulating in vitro methanogenesis and fermentation of wheat straw in buffalo. *Indian Journal of Animal Science*, 84(5), 533-538. <https://doi.org/10.56093/ijans.v84i5.40667>.
- Ebeid, H. M., Mengwei, L., Kholif, A. E., Hassan, F. U., Lijuan, P., Xin, L., & Chengjian, Y. (2020). *Moringa oleifera* oil modulates rumen microflora to mediate in vitro fermentation kinetics and methanogenesis in total mix rations. *Current Microbiology*, 77, 1271-1282. <https://doi.org/10.1007/s00284-020-01935-2>.
- Frutos, P., Hervás, G., Giráldez, F. J., & Mantecón, A. R. (2004). Review. Tannins and ruminant nutrition. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2, 191-202. <https://doi.org/10.5424/sjar/2004022-73>.
- Galyean, M. L. (2010). Laboratory Procedures in Animal Nutrition Research. *Department of Animal Food Science*. Texas Tech University, Lubbock, Texas, USA.
- Hosseini, S. M., Rezaei, J., & Rouzbehan, Y. (2018). *Chemical analysis and digestibility of some pasture fodders and their effects on in vitro ruminal fermentation parameters*. Thesis of master degree. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Persian).
- Khademi, A. R., Hashemzadeh, F., Khorvash, M., Mahdavi, A. H., Pazoki, A., & Ghaffari, M. H. (2022). Use of exogenous fibrolytic enzymes and probiotic in finely ground starters to improve calf performance. *Scientific Reports*, 12(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16070-0>.
- Khateri, N., Azizi, O., & Jahani-Azizabadi, H. (2017). Effects of a specific blend of essential oils on apparent nutrient digestion, rumen fermentation and rumen microbial populations in sheep fed a 50:50 alfalfa hay: concentrate diet. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30(3), 370-378. <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0865>.
- Kholif, A. E., Gouda, G. A., Morsy, T. A., Salem, A. Z. M., López, S., & Kholif, A. M. (2015). *Moringa oleifera* leaf meal as a protein source in lactating goat's diets: feed intake, digestibility, ruminal fermentation, milk yield and composition, and its fatty acids profile. *Small Ruminant Research*, 129, 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.05.007>.

- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, R. G. (2011). *Animal nutrition*, 7th ed. Prentice Hall, Essex, UK.
- Nasrabadi, M., Rouzbehan, Y., Fazaeli, H., & Rezaei, J. (2022). Influence of partial replacement of alfalfa with two *Salicornia* forages on digestion, rumen variables, blood biochemistry metabolites and antioxidant capacity in sheep. *Small Ruminant Research*, 214, 106744. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2022.106744>.
- Nepolean, P., Anitha, J., & Emilin, R. R. (2009). Isolation, analysis and identification of phytochemicals of antimicrobial activity of *Moringa oleifera* Lam. *Current Biotica*, 3(1), 33-37.
- Parra-Garcia, A., Elghandour, M. M. M. Y., Greiner, R., Barbabosa-Pliego, A., Camacho-Diaz, L. M., & Salem, A. Z. M. (2019). Effects of *Moringa oleifera* leaf extract on ruminal methane and carbon dioxide production and fermentation kinetics in a steer model. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 15333-15344. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04963-z>.
- Patra, A. K. (2011). Effects of essential oils on rumen fermentation, microbial ecology and ruminant production. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 6, 416-428. <https://doi.org/10.3923/ajava.2011.416.428>.
- Reyes-Sánchez, N., Spörndly, E., & Ledin, I. (2006). Effect of feeding different levels of foliage of *Moringa oleifera* to creole dairy cows on intake, digestibility, milk production and composition. *Livestock Science*, 101(1-3), 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.09.010>.
- Sampaio, C. B., Detmann, E., Paulino, M. F., Valadares Filho, S. C., de Souza, M. A., Lazzarini, I., Paulino, P. V. R., & de Queiroz, A. C. (2010). Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Tropical Animal Health and Production*, 42(7), 1471-1479. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9581-7>.
- Tilley, J. M. A., & Terry, D. R. (1963). A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Grass and Forage Science*, 18(2), 104-111. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x>.
- Venskutonis, P. R., & Kraujalis, P. (2013). Nutritional components of amaranth seeds and vegetables: a review on composition, properties, and uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(4), 381-412. <https://doi.org/10.12691/ajfst-2-2-5>.
- Wang, J., Deng, L., Chen, M., Che, Y., Li, L., Zhu, L., Chen, G., & Feng, T. (2024). Phytogetic feed additives as natural antibiotic alternatives in animal health and production: A review of the literature of the last decade. *Animal Nutrition*, 17, 244-264. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.01.012>.
- Worku, K., Kechero, Y., & Janssens, G. P. (2025). Effects of Supplementing Different Quantities of *Moringa stenopetala* Leaves on Plasma Metabolite and Acylcarnitine Profile, Body Condition Score and Milk Yield Performance in Zebu (*Bos indicus*) Cattle. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 109(1), 162-169. <https://doi.org/10.1111/jpn.14043>.
- Wu, G. (2018). *Principles of animal nutrition*, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Yusuf, A. O., Mlambo, V., & Iposu, S. O. (2018). A nutritional and economic evaluation of *Moringa oleifera* leaf meal as a dietary supplement in West African Dwarf goats. *South African Journal of Animal Science*, 48(1), 81-87. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v48i1.10>.