

Research Article

Vol. 17, No.4, 2026, p. 375-387



Effects of Replacing Alfalfa with Different Levels of Camelthorn (*Alhagi maurorum*) on Digestibility and Ruminal Parameters in Arabian Lambs

Mohammad Javad Khosravi¹, 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

Received: 23-06-2025
Revised: 27-09-2025
Accepted: 04-10-2025
Available Online: 03-02-2026

How to cite this article:

Khosravi, M. J., Chashnidel, Y., Teymouri Yanesari, A., & Bakhtiari, R. (2026). Effects of replacing alfalfa with different levels of camelthorn (*Alhagi maurorum*) on digestibility and ruminal parameters in Arabian lambs. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 17(4), 375-387. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ijasr.2025.94141.1251>

Introduction: The identification and utilization of regionally available feed resources are essential, particularly given the substantial influence of environmental and climatic factors on the quality and nutritional composition of forage crops. Under conditions of increasing water scarcity and the limited availability of conventional forages, the use of drought- and salinity-tolerant plant species such as camelthorn (*Alhagi maurorum*) has attracted growing interest. Camelthorn is considered a promising alternative forage owing to its relatively high concentration of digestible protein and a wide array of essential nutrients, contributing to its classification as a functional feed ingredient. Previous research has demonstrated that the partial substitution of traditional forages with camelthorn, particularly during their vegetative or flowering stages, does not adversely affect ruminal fermentation, nutrient digestibility, or overall animal performance. Although camelthorn hay is widely available in arid and semi-arid regions of Iran and has the potential to meet the nutritional demands of grazing livestock, its comprehensive nutritional profile remains insufficiently studied. Moreover, information regarding the use and nutritive value of halophytic plants in ruminant nutrition is generally scarce. Accordingly, the present study aimed to investigate the effects of replacing alfalfa hay with graded levels of camelthorn hay on apparent nutrient digestibility, ruminal fermentation characteristics, microbial protein synthesis, and ruminal papillae morphology in fattening lambs.

Materials and Methods: This experiment was conducted using 20 male Arabian lambs, aged 3-4 months, with an average initial body weight of 22.4 ± 1.5 kg. The study lasted 84 days, comprising a 14-day adaptation period followed by 70 days of experimental feeding. Lambs were individually housed and randomly assigned to one of four dietary groups in a completely randomized design, with five lambs per group. The experimental groups were as follows: 1) Control diet containing alfalfa hay without camelthorn hay; 2) diet with 33.3% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; 3) diet with 66.6% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; and 4) diet with 100% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay. All diets were formulated using the Small Ruminant Nutrition System (SRNS) software and offered as total mixed rations (TMR) with a forage-to-concentrate ratio of 30:70, designed to meet the nutritional requirements of fattening lambs. Apparent nutrient digestibility was assessed using acid-insoluble ash as an internal marker. On day 84 of the study, rumen fluid samples were collected three hours after the morning feeding to analyze protozoal populations and volatile fatty acid (VFA) profiles. During the final week of the trial, urine was collected to estimate microbial protein synthesis using the purine derivatives excretion



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.2025.94141.1251>

method. At the end of the trial, after slaughter, samples were taken from the rumen wall to evaluate the morphological characteristics of the rumen epithelium.

Results and Discussion: Apparent dry matter digestibility was significantly higher in the group receiving 33.3% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay compared to the 66.6% and 100% replacement groups ($P < 0.05$). Apparent digestibility of acid detergent fiber (ADF) also differed significantly among groups ($P < 0.05$), with the highest value recorded in the control group (100% alfalfa; 45.67%) and the lowest in the 100% camelthorn group (32.63%). The apparent digestibility of non-fiber carbohydrates (NFC) was significantly higher in the group receiving 33.3% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay and control groups compared to the other experimental groups ($P < 0.05$). Total volatile fatty acid (VFA) and acetate proportion were significantly elevated in all camelthorn-containing diets relative to the control ($P < 0.05$). Conversely, the molar proportion of ruminal propionate was significantly greater in the control and 33.3% replacement groups compared to the 66.6% and 100% camelthorn groups ($P < 0.05$). Protozoal populations in the rumen fluid were significantly higher in lambs fed the diets with 66.6% and 100% camelthorn substitution ($P < 0.05$). Furthermore, urinary excretion of allantoin, total purine derivatives, and estimated microbial protein synthesis were significantly increased in all camelthorn-supplemented groups compared to the control ($P < 0.05$). With respect to rumen morphology, papillae height was significantly greater in the 66.6% and 100% camelthorn groups than in the 33.3% and control groups ($P < 0.05$). Papillae density also significantly increased in all camelthorn groups relative to the control diet ($P < 0.05$).

Conclusion: The results of this study indicate that the graded substitution of alfalfa hay with camelthorn hay significantly influenced nutrient digestibility parameters, ruminal fermentation characteristics, and microbial protein synthesis in fattening lambs. Notably, the 33.3% replacement level preserved favorable digestibility while enhancing specific fermentation indices, suggesting it may be the optimal inclusion level. Given the increasing global demand for alfalfa, camelthorn offers a viable, cost-effective alternative forage in fattening lamb diets, warranting its consideration as a sustainable feed resource.

Keywords: Camelthorn hay, Fermentation, Microbial protein, Rumen papillae, Volatile fatty acids

اثرات جایگزینی یونجه با سطوح مختلف خارشتر بر قابلیت هضم و فراسنجه‌های شکمبه‌ای بره‌های عربی

محمد جواد خسروی^۱، یداله چاشنی دل^{۱*}، سداله تیموری یانسری^۱، رادمان بختیاری^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۲

چکیده

پژوهشی به منظور بررسی اثرات جایگزینی یونجه خشک با سطوح مختلف خارشتر (*Alhaji maurorum*) بر قابلیت هضم، فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای، تولید پروتئین میکروبی و ریخت‌شناسی پرزهای شکمبه بره‌های نر پرواری نژاد عربی انجام شد. از تعداد ۲۰ رأس بره با سن سه الی چهار ماه و میانگین وزن بدن 22.4 ± 1.5 کیلوگرم به مدت ۸۴ روز در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تیمار آزمایشی با سطوح مختلف علوفه خشک خارشتر در مرحله دانه‌دهی (صفر، ۳۳/۳، ۶۶/۶ و ۱۰۰ درصد جایگزین علوفه یونجه) استفاده گردید. برای تعیین قابلیت هضم، از روش نشانگر داخلی خاکستر نامحلول در اسید استفاده شد. در انتهای دوره، جمع‌آوری مایع شکمبه، ادرار و نمونه‌گیری از دیواره شکمبه انجام گردید. قابلیت هضم ظاهری ماده خشک در تیمار ۳۳/۳ درصد جایگزینی خارشتر نسبت به تیمارهای ۶۶/۶ و ۱۰۰ درصد جایگزینی خارشتر به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. قابلیت هضم ظاهری الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در تمامی سطوح جایگزینی علوفه خارشتر نسبت به گروه شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. مقادیر کل اسیدهای چرب فرار، اسیداستیک، آلتوتئین ادرار، کل مشتقات پورینی دفع‌شده، تولید پروتئین میکروبی و تراکم پرزهای شکمبه در تمامی تیمارهای حاوی سطوح مختلف علوفه خارشتر نسبت به گروه شاهد به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. ارتفاع پرزهای شکمبه در تیمارهای حاوی ۶۶/۶ و ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خارشتر نسبت به تیمارهای حاوی ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خارشتر و شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. به‌طور کلی، جایگزینی بخشی از یونجه با خارشتر می‌تواند موجب بهبود برخی از شاخص‌های تخمیر شکمبه‌ای شود، هرچند سطوح بالای جایگزینی می‌تواند بر قابلیت هضم الیاف اثر منفی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: اسید چرب فرار، پرزهای شکمبه، پروتئین میکروبی، تخمیر، علوفه خارشتر

مقدمه

با توجه به روند روبه‌رشد تقاضای جهانی برای کشت گیاهان زراعی راهبردی، تصمیم به استفاده از گیاهان غیرمتعارف در مراتع و زمین‌های کشاورزی می‌تواند در کاهش هزینه‌های تغذیه در صنعت دام مؤثر باشد (Beigh et al., 2020). با در نظر گرفتن محدودیت‌های منابع آب و کمبود منابع علوفه‌ای، استفاده از گونه‌های علوفه‌ای مقاوم به خشکی و شوری مانند خارشتر از اهمیت زیادی برخوردار است (Abbasi Soltani & Salamat Doost, 2013). تیره بقولات (Leguminosae) یکی از بزرگ‌ترین تیره‌های گیاهی بوده و شامل حدود ۵۵۰ جنس و بیش از ۱۳۰۰۰ گونه می‌باشد. گیاه خارشتر

(*Alhagi maurorum*) یکی از گونه‌های این تیره و متعلق به زیرتیره Papilionoideae است که به‌صورت بوته‌ای، چندساله و علفی رشد کرده و در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران پراکنش دارد (Asghari et al., 2016). زمان مناسب برداشت این علوفه برای حصول بالاترین کیفیت علوفه، اواسط مرحله گل‌دهی یا حدود ۵۰ درصد گل‌دهی است (Kazemi & Bezdi, 2021). اگرچه گزارش شده است که خارشتر می‌تواند به‌عنوان یک گیاه وحشی رشد کند (Pirasteh-Anosheh et al., 2020)، اما گزارش شده است که گیاه خارشتر برای بز و گوسفند خوش‌خوراک است و می‌توان آن را به‌عنوان یک علوفه ارزان در جیره نشخوارکنندگان کوچک برای کاهش هزینه‌های تولید و نگهداری استفاده کرد (El Shaer & Attia-Ismail, 2016). خارشتر به‌دلیل وجود مقادیر زیاد پروتئین قابل هضم به‌همراه انواع دیگر مواد زیستی و مواد معدنی ضروری به‌عنوان یک ماده غذایی کاربردی مورد توجه قرار گرفته است

۱- گروه علوم دامی، دانشکده دام و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
(*) نویسنده مسئول: (Email: yhashnidel@sanru.ac.ir)

داده شده است و جهت تعیین مقدار ترکیبات شیمیایی جیره‌ها از روش‌های استاندارد (AOAC, 2005; Van Soest et al., 1991) استفاده شد. ترکیبات شیمیایی علوفه‌های خارشتر و یونجه مورد استفاده در جیره‌های آزمایشی در جدول (۲) ارائه شده است.

جمع‌آوری نمونه‌ها و تجزیه آزمایشگاهی

برای تعیین قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی خوراک، از روش نشانگر داخلی خاکستر نامحلول در اسید (AIA) استفاده شد (Van Keulen & Young, 1977). نمونه‌های مدفوع و باقی‌مانده‌های خوراک دام‌های آزمایشی هر تیمار در طی پنج روز پایانی دوره آزمایش جمع‌آوری گردید. این نمونه‌ها پس از آماده‌سازی برای تعیین خاکستر نامحلول در اسید و اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی شامل ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام و چربی خام براساس روش‌های استاندارد انجمن رسمی تجزیه شیمیایی (AOAC, 2005) مورد تجزیه قرار گرفتند. همچنین مقادیر الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) به روش ون‌سوست و همکاران (Van Soest et al., 1991) اندازه‌گیری شد. پس از تعیین خاکستر نامحلول در اسید نمونه‌های خوراک و مدفوع، قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی بر حسب درصد با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد:

معادله (۱)

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

در هفته آخر آزمایش، مایع شکمبه قبل و سه ساعت پس از مصرف خوراک صبحگاهی با استفاده از سوند مری و پمپ خلاء جمع‌آوری شد. اندازه‌گیری pH مایع شکمبه، بعد از صاف کردن مایع با پارچه چهارلایه، بلافاصله با کمک دستگاه pH متر دیجیتالی (مدل ۸۲۷ مترون) انجام گردید. در این آزمایش، پس از صاف کردن مایع شکمبه به میزان پنج میلی‌لیتر از هر نمونه، مستقیم در دستگاه تقطیر کلدال قرار داده شد. به‌وسیله محلول ۰/۲ مولار سدیم بورات (۱۲/۴ گرم اسیدبوریک و چهار گرم سود سوزآور با آب مقطر به حجم یک لیتر برسد) که به‌جای اسیدبوریک دو درصد استفاده می‌شود، تقطیر شده و پس از تیتراسیون محلول جمع‌آوری‌شده، میزان نیتروژن آمونیاکی نمونه‌ها با استفاده از روش انجمن رسمی تجزیه شیمیایی (AOAC, 2005) محاسبه شد. برای اندازه‌گیری ترکیب اسیدهای چرب فرار نیز ۲۵ میلی‌لیتر از مایع شکمبه صاف شده، با ۱/۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک شش نرمال مخلوط گردید، سپس بلافاصله در ظرف درب‌دار ریخته شده و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایش نگهداری گردید.

(Muhammad et al., 2015). ترکیبات شیمیایی به‌ویژه میزان پروتئین خام گیاه خارشتر حتی با علوفه شبدر و یونجه قابل مقایسه است و قابلیت هضم آن برای کلیه مواد مغذی نیز در حد قابل قبولی قرار دارد (Towhidi et al., 2011; Bashtini, 2015). این علوفه با داشتن مواد مغذی و ترکیبات شیمیایی ارزشمند برای تغذیه نشخوارکنندگان به‌ویژه شتر، گوسفند و بز در مناطق خشک و نیمه‌خشک قابل استفاده بوده و جایگزینی آن با بخشی از علوفه جیره برای تأمین احتیاجات نگهداری، آبستنی و شیردهی دام‌ها امکان‌پذیر است (Ghavanpanje et al., 2022). در پژوهشی، پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و کربوهیدرات غیرالیافی خارشتر به‌ترتیب ۱۱/۵، ۴۹/۵، ۳۲/۹ و ۳۰/۲ درصد از ماده خشک گزارش شد (Towhidi et al., 2011). گیاه خارشتر که در مناطق وسیعی از کشور وجود دارد، به‌عنوان منبع علوفه می‌تواند احتیاجات دام‌های چراکننده را فراهم کند. با این حال، نتایج متفاوتی از ارزش تغذیه‌ای و تأثیر آن بر عملکرد رشد، قابلیت هضم و فراسنجه‌های شکمبه‌ای در گوسفند به دست آمده است (Karamshahi Amjazi et al., 2017; Kazemi & Bezdi, 2021; Mokhtarpour & Jahantigh, 2023). لذا در این پژوهش، تأثیر مصرف سطوح مختلف علوفه خارشتر در جایگزینی با علوفه یونجه بر قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی، فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای، تولید پروتئین میکروبی و ریخت‌شناسی پرزهای شکمبه در بره‌های عربی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات دامپروری دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. بدین منظور، از تعداد ۲۰ رأس بره نر نژاد عربی با سن سه تا چهار ماه و میانگین وزن بدن $22/4 \pm 1/5$ کیلوگرم به‌مدت ۸۴ روز (۱۴ روز عادت‌پذیری و ۷۰ روز آزمایش) استفاده گردید. بره‌ها با شروع دوره اصلی آزمایش، وزن‌کشی شده و سپس به‌طور تصادفی به چهار تیمار (هر تیمار شامل پنج بره) در قفس‌های انفرادی در قالب طرح کاملاً تصادفی تقسیم‌بندی شدند. در پژوهش حاضر، سطوح مختلف علوفه خشک خارشتر در مرحله دانه‌دهی جایگزین علوفه خشک یونجه در تیمارهای آزمایشی گردید. تیمارهای آزمایشی شامل: ۱- جیره شاهد (کنترل) حاوی علوفه خشک یونجه و بدون خارشتر؛ ۲- جیره با ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خشک خارشتر با علوفه یونجه؛ ۳- جیره با ۶۶/۶ درصد جایگزینی علوفه خشک خارشتر با علوفه یونجه؛ ۴- جیره با ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خشک خارشتر با علوفه یونجه بودند. جیره بره‌های پروراری 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

جدول ۱- مواد خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی (برحسب درصد ماده خشک جیره یا واحد بیان شده)
Table 1- Ingredients and chemical composition of experimental diets (% DM or as stated)

اجزاء و ترکیب شیمیایی جیره Ingredients and chemical composition	جیره های آزمایشی Experimental diets			
	۱ 1	۲ 2	۳ 3	۴ 4
یونجه Alfalfa hay	30.00	20.00	10.00	0.00
خارشتر Camelthorn	0.00	10.00	20.00	30.00
دانه جو Barley grain	23.00	23.00	22.00	22.00
دانه ذرت Corn grain	21.00	21.00	20.50	19.25
سبوس گندم Wheat bran	12.00	10.50	10.00	10.00
کنجاله سویا Soybean meal	10.00	11.50	13.50	14.75
بی‌کربنات سدیم Sodium bicarbonate	1.00	1.00	1.00	1.00
کربنات کلسیم Calcium carbonate	1.00	1.00	1.00	1.00
نمک طعام Common salt	0.50	0.50	0.50	0.50
پرمیکس دامی ^۱ Livestock premix ¹	0.50	0.50	0.50	0.50
بتونیت Bentonite	1.00	1.00	1.00	1.00
ماده خشک Dry matter (DM)	92.51	92.49	92.44	92.65
پروتئین خام Crude protein (CP)	15.29	14.28	15.40	15.53
الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber (NDF)	42.50	44.50	45.50	45.50
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber (ADF)	34.15	33.86	35.80	36.27
عصاره اتری Ether extract (EE)	5.11	4.27	5.12	5.26
خاکستر خام Ash	8.09	8.54	8.03	7.66
کربوهیدرات غیرالیافی Non-fiber carbohydrate (NFC)	29.00	28.40	25.94	26.04
انرژی قابل متابولیسم (مگا کالری در کیلوگرم) Metabolizable energy (Mcal/kg)	2.56	2.54	2.55	2.54

* تیمارهای آزمایشی شامل: تیمار ۱- جیره شاهد حاوی علوفه خشک یونجه و بدون علوفه خارشتر؛ ۲- جیره حاوی ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه؛ ۳- جیره حاوی ۶۶/۶ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه و ۴- جیره حاوی ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه.

^۱ هر کیلوگرم از مکمل شامل ۵۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A، ۱۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D₃ و ۱/۰ گرم ویتامین E. هر کیلوگرم از مکمل شامل ۱۸۰ گرم کلسیم، ۹۰ گرم فسفر، ۲۰ گرم منیزیم، ۶۰ گرم سدیم، دو گرم منگنز، سه گرم آهن، ۰/۳ گرم مس، سه گرم روی، ۱/۰ گرم کبالت، ۱/۰ گرم سلنیوم، ۱/۰ گرم ید، سه گرم آنتی‌اکسیدانت.

* Experimental treatments: 1- control diet containing alfalfa hay without camelthorn; 2- diet with 33.3% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; 3- diet with 66.6% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; and 4- diet with 100% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay.

¹ Every kg of supplement contained 500000 IU vitamin A, 100000 IU vitamin D₃, 1.0 IU vitamin E, every Kg of supplement contained 180 g Ca, 90 g P, 20 g Mn, 60 g Na, 2 g Mg, 3 g Fe, 0.3 g Cu, 3 g Zn, 1.0 Co, 1.0 Se, 1.0 g I, 3 g Antioxidant.

جدول ۲- ترکیب شیمیایی علوفه‌های خشک خارشتر و یونجه مورد استفاده در جیره‌های آزمایشی (درصد ماده خشک)

Table 2- Chemical composition of camelthorn and alfalfa hay used in the experimental diets (% DM basis)

اقلام خوراکی Feed ingredients	ترکیب شیمیایی Chemical Composition						
	ماده خشک DM	پروتئین خام CP	الیاف نامحلول در شوینده خنثی NDF	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF	عصاره اتری EE	خاکستر خام Ash	کربوهیدرات غیرالیافی NFC
یونجه خشک Alfalfa hay	88.48±0.50	16.98±0.20	51.08±1.28	28.97±0.52	2.68±0.52	12.10±1.30	17.16±1.69
خارشتر Camelthorn	93.29±0.17	9.39±0.21	48.50±1.50	42.00±1.00	4.75±0.25	10.10±0.06	27.27±1.47

DM: Dry matter; CP: Crude protein; NDF: Neutral detergent fiber; ADF: Acid detergent fiber; EE: Ether extract; NFC: Non-fiber carbohydrate.

درصد قرار گرفت و در چهار درجه سانتی‌گراد تا زمان برش نمونه‌ها نگهداری شدند. نمونه‌ها بعد از چند مرحله آبگیری با استفاده از اتانول، در پارافین قرار داده شدند و با استفاده از دستگاه میکروتوم برش‌هایی به عرض شش میکرومتر روی دیواره شکمبه ایجاد شد. سپس نمونه‌ها با استفاده از هماتوکسیلین و اتوزین بلافاصله رنگ‌آمیزی شدند و خصوصیات ریخت‌شناسی شکمبه اندازه‌گیری گردید (Górka et al., 2011).

داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ با مدل آماری زیر (معادله ۲) آنالیز شدند.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، Y_{ij} : مقدار هر مشاهده، μ : میانگین جامعه، T_i : اثر تیمارها و e_{ij} : خطای آزمایشی هستند. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام شد. نرمال بودن داده‌ها با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لوین ارزیابی گردید. توان آزمون جهت ارزیابی کفایت تعداد تکرارها محاسبه و داده‌ها پیش از تحلیل نهایی به وسیله نرم‌افزار Fit Curve استانداردسازی شدند.

نتایج و بحث

قابلیت هضم ظاهری

با توجه به نتایج جدول (۳)، قابلیت هضم ظاهری ماده خشک در تیمار ۳۳/۳ درصد جایگزینی خارشتر نسبت به تیمارهای ۶۶/۶ و ۱۰۰ درصد جایگزینی خارشتر به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P=0/02$). قابلیت هضم ظاهری ماده آلی، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی تفاوت آماری معنی‌داری در بین تیمارهای آزمایشی نداشت. قابلیت هضم ظاهری الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در تمامی سطوح جایگزینی علوفه خارشتر نسبت به گروه شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($P=0/02$). قابلیت هضم ظاهری کربوهیدرات غیرالیافی در تیمارهای ۳۳/۳ درصد جایگزینی

تعیین الگوی اسیده‌های چرب فرار مایع شکمبه (استیک، پروپیونیک، بوتیریک، والریک و ایزوالریک) با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی (GC-2014-Shimadzu، ساخت ژاپن) انجام شد. به‌منظور بررسی جمعیت پروتوزوآهای مایع شکمبه، پس از اخذ مایع شکمبه از دام‌ها در پایان دوره آزمایش، پس از تثبیت با حجم مساوی از فرم‌آلدهید (فرمالین ۱۸ درصد) و رنگ‌آمیزی با رنگ متیلن‌بلو، شمارش به‌صورت غلظت (تعداد پروتوزوآ در هر میلی‌لیتر از مایع شکمبه) با استفاده از رابطه دهورتی (Dehority, 2003) انجام شد. برای برآورد ساخت پروتئین میکروبی از روش پیشنهادشده توسط چن و گومز (Chen & Gomes, 1992) استفاده شد. اساس این روش، اندازه‌گیری دفع مشتقات پورینی (گزانترین، هیپوگزانتین، آلانتوئین و اسیداوریک) از ادرار است. لذا جمع‌آوری ادرار دام‌های آزمایشی برای پنج روز متوالی صورت گرفت تا اثر تغییرات روزانه حذف شود. حجم ادرار تولیدشده توسط هر حیوان به‌طور روزانه ثبت شده و سپس نمونه‌ای به‌حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر تهیه و پس از رقیق‌سازی به‌میزان سه برابر، با اسیدسولفوریک ۱۰ درصد، pH آن زیر سه حفظ گردید. میزان گزانترین، هیپوگزانتین و آلانتوئین به‌روش رنگ‌سنجی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، مقدار اسیداوریک به‌روش آنزیمی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد. لذا برای برآورد کل مشتقات پورینی، ابتدا دفع هرکدام از این مشتقات براساس میلی‌مول در روز محاسبه شد. سپس از کل مشتقات پورینی دفع‌شده در روز برای برآورد پروتئین میکروبی ساخته‌شده در شکمبه استفاده شد.

در پایان آزمایش، تعداد ۱۶ رأس بره (چهار تکرار از هر تیمار) بعد از محرومیت ۱۲ ساعت از مصرف خوراک، به‌طور کاملاً تصادفی انتخاب شدند و پس از کشتار و ذبح، نمونه‌گیری از دیواره شکمبه به‌منظور بررسی خصوصیات ریخت‌شناسی دیواره شکمبه شامل ارتفاع، عرض و تراکم پرزهای شکمبه با استفاده از روش لسمیستر و هینریچس (Lesmeister & Heinrichs, 2004) انجام شد. بعد از شست‌وشوی نمونه‌ها در سرم فیزیولوژیک، نمونه‌ها در فرمالین ۱۰

خارشتر و شاهد نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی به طور معنی داری بیشتر بود ($P=0/02$).

اکثر مطالعات کیفیت علوفه بر قابلیت هضم، ارزش تغذیه‌ای، مصرف داوطلبانه و اثرات عوامل ضدتغذیه‌ای متمرکز شده‌اند (Cheng et al., 2022). علوفه‌هایی با قابلیت هضم بالاتر، انرژی بیشتری را به‌ازای هر واحد ماده خشک مصرفی تأمین می‌کنند (Collins et al., 2017). در پژوهشی گزارش شد که قابلیت هضم کمتر خارشتر در مقایسه با یونجه ممکن است به محتوای بالاتر الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی و لیگنین آن مربوط باشد (Karamshahi Amjazi et al., 2017). در همین راستا، در پژوهشی گزارش شد که تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای علوفه خارشتر در مقایسه با علوفه یونجه کم‌تر بود (Jayanegara et al., 2015). همچنین مشاهده شده است که میزان تجزیه‌پذیری ماده خشک با کربوهیدرات‌های دیواره سلولی همبستگی منفی دارد (Getachew et al., 2011). در پژوهش حاضر، پروتئین محلول بیشتر موجود در علوفه یونجه ممکن است هضم مواد مغذی را بهبود بخشد. در پژوهشی با بررسی اثر جایگزینی سطوح ۱۵ و ۳۰ درصد خارشتر با یونجه و کاه گندم در جیره بره‌های بلوچی گزارش شد که قابلیت هضم مواد مغذی تحت تأثیر جیره‌ها قرار نگرفت، اما با افزایش سطح خارشتر، قابلیت هضم NDF به‌صورت خطی کاهش یافت (Mokhtarpour & Jahantigh, 2023). زکی و

همکاران (Zaki et al., 2024) بیان کردند که ضرایب هضم تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند گونه‌های جانوری، فعالیت میکروب‌های شکمبه، اجزای خوراک و اثرات مرتبط با آن قرار دارند. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که گیاه خارشتر به‌دلیل دارا بودن ترکیبات لیگنوسلولزی تحت شرایط محیطی سخت نظیر شوری و خشکی بالا، از قابلیت هضم مطلوب و ظرفیت تولید قابل‌قبولی برخوردار است و می‌تواند به‌عنوان یک منبع علوفه‌ای مناسب در تغذیه دام مورد استفاده قرار گیرد (El Shaer, 2010). در پژوهشی گزارش شد که جایگزینی نسبی علوفه جیره با خارشتر در مراحل رویشی یا گل‌دهی به اندازه ۲۵۰ گرم در روز هیچ اثر نامطلوبی بر قابلیت هضم برخی از مواد مغذی (ماده خشک و ماده آلی) نداشت (Kazemi & Bezdi, 2021). در پژوهشی گزارش شد که استفاده از علوفه سیلوشده خارشتر تا ۲۱۰ گرم در کیلوگرم در جیره گوسفندان نر کرمانی، تأثیر سوئی بر عملکرد رشد ایجاد نکرد، بااین‌حال قابلیت هضم ظاهری ماده خشک و پروتئین خام با گنجاندن سیلاژ خارشتر در جیره غذایی گوسفند کاهش یافت (Karamshahi Amjazi et al., 2017). همچنین در پژوهش قوی‌یونجه و همکاران (Ghavipanjanje et al., 2022)، قابلیت هضم ماده آلی گیاه خارشتر کمتر از علوفه خشک یونجه برآورد شد.

جدول ۳- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر قابلیت هضم ظاهری مواد مغذی خوراک

Table 3- Effect of experimental treatments on apparent digestibility of dietary nutrients

صفات (درصد) Parameter (%)	تیمارهای آزمایشی ^۱ Experimental treatments ¹				خطای استاندارد میانگین SEM	اثرات معنی‌داری P-value
	۱ 1	۲ 2	۳ 3	۴ 4		
ماده خشک Dry matter	72.46 ^{ab}	74.91 ^a	69.10 ^b	70.90 ^b	0.602	0.0279
ماده آلی Organic matter	74.16	72.13	70.52	71.42	0.881	0.1533
پروتئین خام Crude protein	53.66	52.77	51.83	51.52	1.007	0.1019
الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber	39.16	38.61	36.79	36.90	0.876	0.1552
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber	45.67 ^a	36.89 ^b	38.53 ^b	32.63 ^c	0.886	0.0278
کربوهیدرات غیرالیافی Non-fiber carbohydrate	77.46 ^a	79.31 ^a	74.10 ^b	75.90 ^b	0.805	0.0279

^۱ تیمارها به‌ترتیب: ۱- جیره شاهد حاوی علوفه خشک یونجه و بدون علوفه خارشتر؛ ۲- جیره حاوی ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه؛ ۳- جیره حاوی ۶۶/۶ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه و ۴- جیره حاوی ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه.

* میانگین‌هایی که در هر ردیف با حروف لاتین متفاوت نشان داده شده است دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($P<0/05$).

¹ Experimental treatments: 1- control diet containing alfalfa hay without camelthorn; 2- diet with 33.3% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; 3- diet with 66.6% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; and 4- diet with 100% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay.

* The averages shown in different Latin letters in each row indicate statistically significant differences ($P<0.05$).

فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای

با توجه به نتایج جدول (۴)، مقادیر نیتروژن آمونیاکی، pH مایع شکمبه و غلظت اسیدهای چرب بوتیریک، والریک و ایزووالریک در بین تیمارهای آزمایشی تفاوت آماری معنی‌داری نداشتند. کل اسیدهای چرب فرار ($P=0.03$) و اسیداستیک ($P=0.01$) در تمامی تیمارهای حاوی سطوح مختلف علوفه خارشتر نسبت به گروه شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بالاترین غلظت کل اسیدهای چرب فرار و اسیداستیک مایع شکمبه در تیمار ۴ حاوی ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه و پایین‌ترین مقدار آن در

گروه شاهد مشاهده شد. درصد اسیدپروپیونیک مایع شکمبه در تیمار حاوی ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خارشتر و گروه شاهد نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی به‌طور معنی‌داری بالاتر بود ($P=0.02$). بالاترین و پایین‌ترین غلظت اسیدپروپیونیک به‌ترتیب در تیمار ۲ حاوی ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه و تیمار ۴ حاوی ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه وجود داشت. جمعیت پروتوزوای مایع شکمبه در تیمارهای حاوی ۶۶/۶ و ۱۰۰ درصد جایگزینی خارشتر نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی به‌طور معنی‌داری بیشتر بود ($P=0.01$).

جدول ۴- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای مایع شکمبه

Table 4- Effect of experimental treatments on fermentation characteristics of rumen fluid

متغیر Variable	تیمارهای آزمایشی ^۱ Experimental treatments ¹				خطای استاندارد میانگین SEM	اثرات معنی‌داری P-value
	۱ 1	۲ 2	۳ 3	۴ 4		
pH مایع شکمبه قبل از تغذیه pH (before feeding)	6.48	6.43	6.51	6.46	0.021	0.6978
pH مایع شکمبه سه ساعت پس از تغذیه pH (3 h post-feeding)	5.58	5.60	5.61	5.60	0.018	0.9358
نیتروژن آمونیاکی قبل از تغذیه (میلی گرم/دسی لیتر) NH ₃ -N before feeding (mg/dl)	3.52	3.41	3.50	3.29	0.032	0.1963
نیتروژن آمونیاکی سه ساعت پس از تغذیه NH ₃ -N (3 h post-feeding, mg/dl)	3.61	3.65	3.54	3.60	0.064	0.9416
جمعیت پروتوزوا ($\times 10^4$ × تعداد در هر میلی لیتر) Protozoa ($\times 10^4$ ml ⁻¹ rumen fluid)	5.56 ^b	5.88 ^b	6.24 ^a	6.43 ^a	0.11	0.010
کل اسیدهای چرب فرار سه ساعت پس از تغذیه T-VFA (3 h post-feeding, mMol/L)	83.13 ^b	92.02 ^a	90.03 ^a	92.08 ^a	2.58	0.031
اسیدهای چرب فرار (درصد) Volatile fatty acids (%)						
اسیداستیک Acetic acid	56.01 ^b	63.85 ^a	64.57 ^a	66.51 ^a	2.06	0.010
اسیدپروپیونیک Propionic acid	18.78 ^a	19.50 ^a	16.10 ^b	15.94 ^b	0.72	0.023
اسیدبوتیریک Butyric acid	6.39	6.68	7.22	7.38	0.35	0.246
اسیدوالریک Valeric acid	1.32	1.35	1.48	1.52	0.07	0.659
اسیدایزوالریک Isovaleric acid	0.62	0.63	0.66	0.73	0.04	0.830

^۱ تیمارها به ترتیب: ۱- جیره شاهد حاوی علوفه خشک یونجه و بدون علوفه خارشتر؛ ۲- جیره حاوی ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه؛ ۳- جیره حاوی ۶۶/۶ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه و ۴) جیره حاوی ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه.

* میانگین‌هایی که در هر ردیف با حروف لاتین متفاوت نشان داده شده است دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($P<0.05$).

¹ Experimental treatments: 1- control diet containing alfalfa hay without camelthorn; 2- diet with 33.3% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; 3- diet with 66.6% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; and 4- diet with 100% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay.

* The averages shown in different Latin letters in each row indicate statistically significant differences ($P<0.05$).

پژوهش‌های قبلی نشان دادند که ماهیت علوفه بر ترکیب میکروبیوم شکمبه تأثیر می‌گذارد (Vahidi et al., 2021). خوراک

علوفه یونجه در جیره تفاوت معنی داری در مقادیر اسیداوریک، گزانتین و هیپوگزانتین ادرار نسبت به گروه شاهد مشاهده نشد. مقادیر آلانتوئین دفعی ادرار ($P=0/03$)، کل مشتقات پورینی دفع شده ($P=0/02$) و تولید پروتئین میکروبی ($P=0/01$) در تمامی تیمارهای حاوی سطوح مختلف علوفه خارشتر نسبت به گروه شاهد به طور معنی داری افزایش یافت.

با افزایش مصرف کربوهیدرات‌های محلول، انرژی مورد نیاز ریزجاندانان شکمبه تأمین شده و در نتیجه کارایی استفاده از پروتئین جیره بهبود می‌یابد. در این شرایط، آمونیاک تولیدی به طور مؤثرتری توسط باکتری‌ها مصرف و سنتز پروتئین میکروبی افزایش می‌یابد (*Castillo et al., 2001*). افزایش مصرف علوفه خشبی مثل خارشتر در مقایسه با یونجه موجب افزایش ماندگاری خوراک در شکمبه، افزایش نشخوار و کاهش نرخ عبور می‌شود؛ این کاهش نرخ عبور می‌تواند در تولید پروتئین میکروبی مؤثر باشد (*Guo et al., 2022*). مطالعات نشان داده‌اند که خارشتر دارای درصد بالایی از کربوهیدرات‌های غیرالیافی است که به عنوان منبع انرژی قابل تخمیر برای ریزجاندانان شکمبه عمل می‌کنند؛ این ترکیبات به تولید اسیدهای چرب فرار و در نتیجه تولید پروتئین میکروبی کمک می‌کنند (*Ghaviapanje et al., 2022*). در مطالعه‌ای روی بره‌های بلوچی، افزایش سطح خارشتر در جیره منجر به افزایش خطی تولید اسیداستیک شد؛ اسیداستیک یکی از اسیدهای چرب فرار اصلی است که انرژی مورد نیاز برای رشد ریزجاندانان را تأمین می‌کند و به تولید پروتئین میکروبی کمک می‌کند (*Mokhtarpour & Jahantigh, 2023*). در پژوهش حاضر، هرچند بین تیمارها از نظر مقادیر نیتروژن آمونیاکی و pH تفاوتی مشاهده نشد، اما افزایش معنی دار غلظت کل اسیدهای چرب فرار، اسیداستیک و جمعیت پروتوزوآها در جیره‌های حاوی خارشتر نسبت به شاهد بیانگر بهبود تخمیر شکمبه‌ای و کارایی استفاده از نیتروژن و انرژی می‌باشد. با وجود اینکه سطح پروتئین خام در همه تیمارهای آزمایشی مشابه است، ممکن است نسبت پروتئین عبوری و پروتئین قابل هضم در تیمارهای آزمایشی متفاوت باشد که می‌تواند بر تولید پروتئین میکروبی مؤثر باشد. همزمان سازی فراهمی انرژی و پروتئین سبب افزایش کارایی فرآیندهای متابولیکی نشخوارکنندگان مانند ساخت پروتئین میکروبی می‌شود (*Haj Mohammadi et al., 2019*). در پژوهشی گزارش شد که افزودن کربوهیدرات خالص مانند نشاسته و ساکاروز به جیره سبب افزایش ابقاء نیتروژن و تولید پروتئین میکروبی در شکمبه شد (*Guo et al., 2024*).

خشبی مانند علوفه خارشتر با تأمین فیبر مؤثر فیزیکی باعث تحریک نشخوار و ترشح بزاق می‌شود که ضمن تثبیت pH شکمبه و تقویت رشد باکتری‌های شکمبه، نسبت استات به پروپیونات را ارتقاء داده و درصد چربی شیر را بهبود می‌بخشد (*Zhou et al., 2022*). مطابق با نتایج این پژوهش، در پژوهشی با بررسی اثر جایگزینی سطوح ۱۵ و ۳۰ درصد خارشتر با یونجه و کاه گندم در جیره بره‌های بلوچی گزارش کردند که افزودن خارشتر موجب افزایش خطی غلظت استات شد، بدون آنکه تغییری در غلظت کل اسیدهای چرب فرار مشاهده شود. همچنین با افزایش سطح خارشتر، غلظت پروپیونات به صورت خطی کاهش یافت (*Mokhtarpour & Jahantigh, 2023*). در پژوهش حاضر، با وجود کاهش در قابلیت هضم ظاهری ماده خشک و ADF، غلظت کل اسیدهای چرب فرار و استات با افزایش سطح خارشتر در جیره نسبت به شاهد به طور معنی داری افزایش یافتند. این موضوع می‌تواند ناشی از هیدرولیز گلیکوزیدها و تجزیه حلقه‌های هتروسیکلیک ترکیبات فنلی توسط ریزجاندانان شکمبه به استات و بوتیرات باشد (*Patra & Saxena, 2011*). همچنین در پژوهشی دیگر گزارش شد که متابولیت‌های اسیدگالیک تولیدشده در شکمبه شامل پایروگالول، رزورسینول و فلوروگلوسینول هیدرولیز شده و به استات و بوتیرات تبدیل می‌شوند (*Aboagye et al., 2019*). در پژوهشی مشاهده شد که تفاوت در غلظت نیتروژن آمونیاکی شکمبه در بین تیمارها با تفاوت در محتوای پروتئین خام در علوفه‌های مختلف همبستگی داشت (*Zhang et al., 2022*). همچنین این پژوهشگران گزارش کردند که سطح تولید آمونیاک به طور مستقیم با حلالیت نیتروژن منابع خوراک و نسبت پروتئین کل جیره مرتبط است. از آنجایی که گیاه خارشتر پروتئین مناسب‌تری در مقایسه با علوفه‌های خشبی دیگر دارد و سطح پروتئین خام در تمام تیمارهای آزمایشی نزدیک به هم تنظیم شد، لذا انتظار می‌رود که استفاده از گیاه خارشتر باعث حفظ غلظت نیتروژن آمونیاکی در محیط شکمبه شود. مرده‌کتانی و همکاران (*Mordeh Katani et al., 2019*) با بررسی قابلیت هضم چند گیاه از جمله خارشتر در شرایط آزمایشگاهی نشان دادند که کل اسیدهای چرب فرار و نیتروژن آمونیاکی در گیاه خارشتر نسبت به علوفه یونجه اختلاف معنی داری نداشت. با وجود کاهش در قابلیت هضم ظاهری ماده خشک در سطوح بالای جایگزینی خارشتر نسبت به شاهد، افزایش جمعیت پروتوزوآهای شکمبه در این تیمار می‌تواند ناشی از ترکیبات خاص خارشتر و الگوی تخمیر آن باشد؛ گیاه خارشتر حاوی الیاف قابل تخمیر و ترکیبات فنلی است که ممکن است باعث تحریک رشد برخی از گونه‌های پروتوزوآها شود، حتی در شرایطی که قابلیت هضم کلی ماده خشک پایین تر است (*Makkar, 2003*).

تولید پروتئین میکروبی

نتایج دفع مشتقات پورینی ادرار و تولید پروتئین میکروبی در جدول (۵) نشان داد که با افزایش سطح جایگزینی علوفه خارشتر با

جدول ۵- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر دفع مشتقات پورینی ادرار و تولید پروتئین میکروبی

Table 5- Effect of experimental treatments on the excretion of purine derivatives and Microbial Protein Production

موارد Parameters	تیمارهای آزمایشی ^۱ Experimental treatments ¹				خطای استاندارد میانگین SEM	اثرات معنی‌داری P-value
	۱	۲	۳	۴		
	1	2	3	4		
آلانتوئین (میلی مول/روز) Allantoin (mMol/d)	8.12 ^b	11.10 ^a	11.24 ^a	11.45 ^a	0.98	0.032
اسیداوریک (میلی مول/روز) Uric acid (mMol/d)	0.43	0.55	0.58	0.56	0.06	0.236
گزانتین + هیپوگزانتین (میلی مول/روز) Xanthine+Hypoxanthine (mMol/d)	2.10	2.11	2.38	2.43	0.74	0.530
کل مشتقات پورینی دفع شده (میلی مول/روز) Excreted purine derivatives (mMol/d)	10.66 ^b	13.75 ^a	14.20 ^a	14.45 ^a	0.80	0.022
تولید پروتئین میکروبی (گرم/روز) Microbial protein (g/d)	60.59 ^b	67.41 ^a	69.44 ^a	71.45 ^a	2.19	0.010

^۱ تیمارها به ترتیب: ۱- جیره شاهد حاوی علوفه خشک یونجه و بدون علوفه خارشتر؛ ۲- جیره حاوی ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه؛ ۳- جیره حاوی ۶۶/۶ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه و ۴- جیره حاوی ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه.

* میانگین‌هایی که در هر ردیف با حروف لاتین متفاوت نشان داده شده است دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($P < 0.05$).

¹ Experimental treatments: 1- control diet containing alfalfa hay without camelthorn; 2- diet with 33.3% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; 3- diet with 66.6% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; and 4- diet with 100% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay.

*The averages shown in different Latin letters in each row indicate statistically significant differences ($P < 0.05$).

خصوصیات ریخت‌شناسی بافت شکمبه

گروه شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود ($P = 0.02$). تراکم پرزهای شکمبه در تمامی سطوح جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه نسبت به گروه شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P = 0.01$). همچنین بیشترین و کمترین تراکم پرزهای شکمبه به ترتیب در تیمار ۳ حاوی ۶۶/۶ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه (۸۸/۱۲ سانتی‌مترمربع) و گروه شاهد (۷۶/۱۰ سانتی‌مترمربع) وجود داشت.

نتایج خصوصیات ریخت‌شناسی پرزهای شکمبه در جدول (۶) نشان داد که تفاوت معنی‌داری از نظر ارتفاع و تراکم پرزهای شکمبه بین تیمارهای آزمایشی وجود داشت ($P < 0.05$). ارتفاع پرزهای شکمبه در تیمارهای حاوی ۶۶/۶ و ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خارشتر نسبت به تیمار حاوی ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خارشتر و

جدول ۶- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر خصوصیات ریخت‌شناسی پرزهای شکمبه

Table 6- Effect of experimental treatments on the morphological features of rumen papillae

موارد Parameters	تیمارهای آزمایشی ^۱ Experimental treatments ¹				خطای استاندارد میانگین SEM	اثرات معنی‌داری P-value
	۱	۲	۳	۴		
	1	2	3	4		
ارتفاع پرزهای شکمبه (میلی‌متر) Papillae height (mm)	4.02 ^b	4.66 ^b	5.58 ^a	5.79 ^a	0.26	0.025
قطر پرزهای شکمبه (میلی‌متر) Papillae diameter (mm)	2.42	2.55	2.75	2.72	0.15	0.123
تراکم پرزها (تعداد/سانتی‌مترمربع) Papillae density (number/cm ²)	76.10 ^b	85.23 ^a	88.12 ^a	86.66 ^a	2.89	0.013

^۱ تیمارها به ترتیب: ۱- جیره شاهد حاوی علوفه خشک یونجه و بدون علوفه خارشتر؛ ۲- جیره حاوی ۳۳/۳ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه؛ ۳- جیره حاوی ۶۶/۶ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه و ۴- جیره حاوی ۱۰۰ درصد جایگزینی علوفه خارشتر با علوفه یونجه.

* میانگین‌هایی که در هر ردیف با حروف لاتین متفاوت نشان داده شده است دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند ($P < 0.05$).

¹ Experimental treatments: 1- control diet containing alfalfa hay without camelthorn; 2- diet with 33.3% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; 3- diet with 66.6% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay; and 4- diet with 100% replacement of alfalfa hay with camelthorn hay.

*The averages shown in different Latin letters in each row indicate statistically significant differences ($P < 0.05$).

دادند که زیاد بودن چربی و قند ساکارز در گیاه خارشتر سبب افزایش خوش خوراکی آن در دام‌های نشخوارکننده می‌شود که به دنبال آن توسعه بافت‌های شکمبه در اثر تولید اسیدهای چرب فرار بالاتر رخ می‌دهد (Ziaei, 2010). بافت پوششی شکمبه نقش مهمی در جذب مواد مغذی و سلامت شکمبه دارد، با این حال اینکه آیا نوع علوفه بر ریخت‌شناسی اپیتلیال شکمبه تأثیر می‌گذارد، نامشخص است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که جایگزینی تدریجی علوفه خارشتر با علوفه یونجه تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های هضمی، تخمیر شکمبه‌ای و تولید پروتئین میکروبی در بره‌های پروراری نژاد عربی دارد. به‌ویژه سطح ۳۳/۳ درصد جایگزینی با حفظ قابلیت هضم مطلوب و بهبود برخی شاخص‌های تخمیر، احتمالاً می‌تواند به عنوان سطح بهینه استفاده از خارشتر در جیره مطرح شود و با توجه به روند روبه‌رشد تقاضای جهانی برای علوفه یونجه، استفاده از علوفه خارشتر به عنوان یک علوفه ارزان در جیره بره‌های پروراری توصیه می‌شود.

افزایش ارتفاع و تراکم پرزهای شکمبه می‌تواند به بهبود توانایی جذب مواد مغذی و افزایش کارایی هضمی کمک کند. طبق گزارش‌ها، توسعه ریخت‌شناسی شکمبه مانند افزایش ارتفاع پرزها و عمق کریپت‌ها به‌طور مستقیم با سطح تماس بیشتر مواد غذایی با اپیتلیوم و جذب بهتر مواد مغذی در ارتباط است (Francis, 2023). در همین راستا، در پژوهشی گزارش شد که تغییر در ترکیب علوفه‌ای جیره می‌تواند از طریق اثر بر تخمیر شکمبه‌ای، تولید اسیدهای چرب فرار (VFAs) و تحریک تکثیر سلول‌های اپیتلیالی بر رشد ساختاری شکمبه مؤثر باشد (Liu et al., 2022). در این مطالعه، تیمارهای حاوی سطوح بالای خارشتر موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع و تراکم پرزهای شکمبه شدند که نشان‌دهنده اثرگذاری مؤثر این گیاه در توسعه و تکامل پرزهای شکمبه در بره‌های پروراری بود. یکی از دلایل این اثر می‌تواند ویژگی‌های خاص گیاه خارشتر مانند محتوای بالای ترکیبات فنلی، آنتی‌اکسیدانی و الیاف قابل تخمیر باشد که باعث تحریک رشد میکروبی شکمبه و در نتیجه افزایش تولید اسیدهای چرب فرار به‌ویژه اسیدبوتیریک می‌شود (Wei et al., 2021) که این اسید چرب فرار نقش کلیدی در رشد و تمایز سلول‌های اپیتلیالی شکمبه ایفا می‌کند (Muhammad et al., 2015). پژوهش‌ها نشان

References

- Abbasi Soltani, V., & Salamat Doost, R. (2013). Evaluation of the nutritional value of *Alhagi maurorum* and its role in ruminant nutrition phase I: Feasibility of ensiling *Alhagi maurorum* and comparison of its nutritional value with dried *Alhagi* and Dried alfalfa. National Congress of New Technologies in Animal Sciences, pp. 3-1. <https://civilica.com/doc/1061865>
- Aboagye, I. A., Oba, M., Koenig, K. M., Zhao, G. Y., & Beauchemin, K. A. (2019). Use of gallic acid and hydrolyzable tannins to reduce methane emission and nitrogen excretion in beef cattle fed a diet containing alfalfa silage. *Journal of Animal Science*, 97(5), 2230-2244. <https://doi.org/10.1093/jas/skz101>
- AOAC. (2005). Official Methods of Analysis. 18th Ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
- Asghari, M. H., Fallah, M., Moloudizargari, M., Mehdikhani, F., Sepehrnia, P., & Moradi, B. (2016). A systematic and mechanistic review on the phytopharmacological properties of *Alhagi* species. *Ancient Science of Life*, 36(2), 65-71. https://doi.org/10.4103/asl.ASL_37_16
- Bashtini, J. (2015). Effect of camelthorn forage feeding on the performance of Baluchi sheep. *Research Journal of Livestock Science*, 28(106), 169-178. <https://doi.org/10.22092/asj.2015.101358>
- Beigh, Y. A., Ganai, A. M., Ahmad, H. A., Khan, H. M., & Mir, M. S. (2020). Chemical composition and nutritional evaluation of Elm (*Ulmus wallichiana*) as browse for Bakerwal goats (*Capra hircus*). *Agroforestry Systems*, 94, 1367-1379. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0314-7>
- Castillo, A. R., Kebreab, E., Beever, D. E., Barbi, J. H., Sutton, J. D., Kirby, H. C., & France, J. (2001). The effect of protein supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. *Journal of Animal Science*, 79(1), 247-253. <https://doi.org/10.2527/2001.791247x>
- Chen, X. B., & Gomes, M. J. (1992). Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives: An overview of the technical details. International Feed Resources Unit, Rowett Research Institute.
- Cheng, M., McCarl, B., & Fei, C. (2022). Climate change and livestock production: A literature review. *Atmosphere*, 13(1), 140. <https://doi.org/10.3390/atmos13010140>
- Collins, M., Nelson, C. J., Moore, K. J., & Barnes, R. F. (Eds.). (2017). Forages (Vol. 1): An Introduction to Grassland Agriculture. 7th ed. Wiley-Blackwell.
- Dehority, B. A. (2003). Rumen microbiology. Nottingham, UK: Nottingham University Press, 372 pp.
- El Shaer, H. M. (2010). Halophytes and salt-tolerant plants as potential forage for ruminants in the Near East

- region. *Small Ruminant Research*, 91(1), 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.01.010>
13. El Shaer, H. M., & Attia-Ismail, S. A. (2016). Halophytic and salt-tolerant feedstuffs in the Mediterranean Basin and Arab region: An overview. In H. M. El Shaer & V. R. Squires (Eds.), *Halophytic and salt-tolerant feedstuffs: Impacts on nutrition, physiology and reproduction of livestock* (pp. 21-36). Boca Raton, FL, USA: CRC Press. <http://dx.doi.org/10.1201/b19862-4>
14. Francis, F. L. (2023). *Feeding strategies to improve gastrointestinal health and growth performance of confinement-fed ruminants* (PhD dissertation). Brookings, SD, USA: Department of Animal Science, South Dakota State University.
15. Getachew, G., Ibáñez, A. M., Pittroff, W., Dandekar, A. M., McCaslin, M., Goyal, S., & Putnam, D. H. (2011). A comparative study between lignin down regulated alfalfa lines and their respective unmodified controls on the nutritional characteristics of hay. *Animal Feed Science and Technology*, 170(3-4), 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.09.009>
16. Ghavipanje, N., Hosseini, S. A., aghashahi, A., & Afshin, M. (2022). Comparison of chemical composition, gas production parameters and digestibility of *Alhagi camelorum* plant and alfalfa hay using nylon bag and gas production techniques. *Journal of Animal Production*, 24(3), 329-339. <https://doi.org/10.22059/jap.2022.336134.623665>
17. Górka, P., Kowalski, Z. M., Pietrzak, P., Kotunia, A., Jagusiak, W., Holst, J. J., & Zabielski, R. (2011). Effect of method of delivery of sodium butyrate on rumen development in newborn calves. *Journal of Dairy Science*, 94(11), 5578-5588. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4166>
18. Guo, C., Wu, Y., Li, S., Cao, Z., Wang, Y., Mao, J., & Xu, X. (2022). Effects of different forage types on rumen fermentation, microflora, and production performance in peak-lactation dairy cows. *Fermentation*, 8(10), 507. <https://doi.org/10.3390/fermentation8100507>
19. Guo, W., Na, M., Liu, S., Li, K., Du, H., Zhang, J., & Na, R. (2024). Rumen-degradable starch improves rumen fermentation, function, and growth performance by altering bacteria and its metabolome in sheep fed alfalfa hay or silage. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 15(1), 34. <https://doi.org/10.3390/ani15010034>
20. Haj Mohammadi, M., Tahmasbi, R., Dayani, O., & Khezri, A. (2019). Effect of feeding different levels of *Ferula ovina* on microbial protein and rumen parameters in Kermani sheep. *Research Journal of Livestock Science*, 32(123), 17-30. <https://doi.org/10.22092/asj.2018.120791.1643>
21. Jayanegara, A., Goel, G., Makkar, H. P., & Becker, K. (2015). Divergence between purified hydrolysable and condensed tannin effects on methane emission, rumen fermentation and microbial population *in vitro*. *Animal Feed Science and Technology*, 209, 60-68. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.002>
22. Karamshahi Amjazi, K., Dayani, O., Tahmasbi, R., & Khezri, A. (2017). The effect of feeding *Alhagi* with waste date palm silage on dry matter intake, nutrients digestibility and blood parameters of sheep. *Research in Animal Production*, 8, 103-10. <https://doi.org/10.29252/rap.8.16.103>
23. Kazemi, M., & Bezdi, K. G. (2021). An investigation of the nutritional value of camelthorn (*Alhagi maurorum*) at three growth stages and its substitution with part of the forage in Afshari ewes' diets. *Animal Feed Science and Technology*, 271, 114762. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114762>
24. Lesmeister, K. E., & Heinrichs, A. J. (2004). Effects of corn processing on growth characteristics, rumen development, and rumen parameters in neonatal dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 87(10), 3439-3450. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73479-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73479-7)
25. Liu, T., Li, F., Wang, W., Wang, X., Ma, Z., Li, C., & Zheng, C. (2022). Early feeding strategies in lambs affect rumen development and growth performance, with advantages persisting for two weeks after the transition to fattening diets. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 925649. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.925649>
26. Makkar, H. P. (2003). Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. *Small Ruminant Research*, 49(3), 241-256. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(03\)00142-1](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(03)00142-1)
27. Mokhtarpour, A., & Jahantigh, M. (2023). Feed intake, ruminal fermentation, blood metabolites and growth performance of lambs fed on camelthorn (*Alhagi Camelorum* Fisch.) based diets. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 88(2), 157-164. <https://orcid.org/0000-0002-5706-9063>
28. Mordeh Katani, A., Safari, R., Sheikhlloo, M. R., & Nemati, Z. (2019). Gas production and biodegradability of four salinity plant species, Cobra, Halkennum, Salsula, and Kharshter under laboratory conditions. In Proceedings of the Fifth National Conference on Livestock, Poultry and Aquaculture Management. Tehran, Iran. (in Persian)
29. Muhammad, G., Hussain, M. A., Anwar, F., Ashraf, M., & Gilani, A. H. (2015). *Alhagi*: A plant genus rich in bioactives for pharmaceuticals. *Phytotherapy Research*, 29(1), 1-13. <https://doi.org/10.1002/ptr.5222>
30. Patra, A. K., & Saxena, J. (2011). Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(1), 24-37. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4152>
31. Pirasteh-Anosheh, H., Ranjbar, G. H., & Parnian, A. (2020). Forage resources in arid and saline environments of central Iran: Production potential and phenology of *Alhagi maurorum*. *Journal of Natural Resource Conservation and Management*, 1(2), 125-130. <https://doi.org/10.51396/ANRCM.1.2.2020.125-130>

32. Towhidi, A., Saberifar, T., & Dirandeh, E. (2011). Nutritive value of some herbage for dromedary camels in the central arid zone of Iran. *Tropical Animal Health and Production*, 43, 617-622. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9741-9>
33. Vahidi, M. F., Gharechahi, J., Behmanesh, M., Ding, X. Z., Han, J. L., & Salekdeh, G. H. (2021). Diversity of microbes colonizing forages of varying lignocellulose properties in the sheep rumen. *PeerJ*, 9, e10463. <https://doi.org/10.7717/peerj.10463>
34. 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>
35. 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)
36. Wei, F., Yang, X., Pang, K., & Tang, H. (2021). Traditional uses, chemistry, pharmacology, toxicology and quality control of *Alhagi sparsifolia* Shap: A review. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 761811. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.761811>
37. Zaki, M. G., Baraka, T. A., Elkhayat, M. A., Younis, M. R., & Tayeb, F. A. E. F. (2024). The influence of season and sex on rumen fluid and hematobiochemical constituents of alpacas (*Vicugna pacos*) in Egypt. *Comparative Clinical Pathology*, 33(2), 309-316. <https://doi.org/10.1007/s00580-024-03552-y>
38. Zhang, Z., Wei, W., Yang, S., Huang, Z., Li, C., Yu, X., & Zhang, X. (2022). Regulation of dietary protein solubility improves ruminal nitrogen metabolism *in vitro*: Role of bacteria–protozoa interactions. *Nutrients*, 14(14), 2972. <https://doi.org/10.3390/nu14142972>
39. Zhou, J., Xue, B., Hu, A., Yue, S., Wu, M., Hong, Q., & Xue, B. (2022). Effect of dietary peNDF levels on digestibility and rumen fermentation, and microbial community in growing goats. *Frontiers in Microbiology*, 13, 950587. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.950587>
40. Ziaei, N. (2010). The effect of dietary *Alhagi* (camel grass) ensiled with different levels of low-quality date pulm on apparent nutrient digestion coefficients in Kermani sheep. *Research Journal Biological Science*, 5, 314-3. <http://dx.doi.org/10.3923/rjbsci.2010.314.317>