



Chemical Composition, Dry Matter and Crude Protein Degradability, and Gas Production Parameters of Duckweed

Mohammad Hassan Heydari Far¹ | Mohammad Ali Norouzian² | Behzad Khorrami³

1. Department of Animal and Poultry Science, College of Aboureihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran. E-mail: heidari@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Animal and Poultry Science, College of Aboureihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran. E-mail: manorouzian@ut.ac.ir
3. Department of Animal and Poultry Science, College of Aboureihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran. E-mail: bkhorrami@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 14 December 2024
Received in revised form
9 August 2025
Accepted 18 August 2025
Published online 15 October 2025

ABSTRACT

Objective: This study aimed to investigate the chemical composition, dry matter (DM) and crude protein (CP) degradability, and gas production parameters of *Lemna minor* (duckweed) in ruminant nutrition.

Methods: In the first phase, the chemical composition and mineral content, gas production parameters, and degradability of DM and CP of *Lemna minor* (collected from two regions: Rasht and Varamin) as well as alfalfa forage were determined using standard analytical methods. In the second phase, based on the CP content of *Lemna minor*, the fermentative value of gas production was measured for experimental diets consisting of a control group (60% concentrate and 40% alfalfa) and treatments in which alfalfa was replaced with *Lemna minor* at levels of 25%, 50%, 75%, and 100%.

Results: The CP content in whole *Lemna minor* from Varamin was significantly higher than that of whole *Lemna minor* from Rasht and alfalfa forage ($P < 0.05$). The neutral detergent fiber content of whole *Lemna minor* from both Rasht and Varamin was higher than that of alfalfa ($P < 0.05$). Crude ash content in whole *Lemna minor* from Varamin was higher than in the Rasht sample and alfalfa ($P < 0.05$). The concentrations of macro-minerals (calcium, phosphorus, magnesium, and potassium) and micro-minerals (copper, zinc, iron, and manganese) differed between the two *Lemna minor* samples. Across all incubation times, gas production was significantly greater in alfalfa than in *Lemna minor* ($P < 0.05$). Similarly, the potential and rate of gas production, metabolizable energy (ME) content, and organic matter digestibility were all higher in alfalfa compared with *Lemna minor* ($P < 0.05$). Methane gas production from *Lemna minor* was also lower than from alfalfa ($P < 0.05$). The rapidly degradable fraction of DM and CP in *Lemna minor* (32.3% and 27.0%, respectively) was significantly higher than that in alfalfa (22.6% and 25.9%, respectively; $P < 0.05$). However, the slowly degradable fraction, the degradation rate constant, and the effective degradability at passage rates of 0.02, 0.04, and 0.06 per hour for both DM and CP were higher in alfalfa than in *Lemna minor* from Rasht ($P < 0.05$). Replacing alfalfa with *Lemna minor* in the experimental diets significantly reduced gas production at various incubation times, particularly at higher replacement levels ($P < 0.05$). Moreover, the gas production potential parameter (b) and ME content were highest in the control group without *Lemna minor* and lowest in the treatment where alfalfa was completely replaced by *Lemna minor* ($P < 0.05$).

Conclusion: Considering its crude protein content, mineral concentrations, and degradability characteristics, *Lemna minor* has potential as a valuable feed ingredient in ruminant diets. Nevertheless, further studies, especially under practical farm conditions, are recommended before its widespread application.

Keywords:

Alfalfa
Chemical composition
Fermentation
Gas production
Lemna minor

Cite this article: Heydari Far, M. H., Norouzian, M. A., & Khorrami, B. (2025). Chemical Composition, Dry Matter and Crude Protein Degradability, and Gas Production Parameters of Duckweed. *Journal of Animal Production*, 27 (3), 283-294. DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2025.386994.623823>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2025.386994.623823>

Publisher: University of Tehran Press.



بررسی ترکیب شیمیایی، تجزیه پذیری ماده خشک و پروتئین خام و فراسنجه های تولید گاز گیاه عدسک آبی

محمدحسن حیدری^۱ | محمدعلی نوروزیان^۲ | بهزاد خرمی^۳

۱. گروه علوم دام و طیور، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران. رایانامه: heidari@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دام و طیور، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران. رایانامه: manorouzzian@ut.ac.ir
۳. گروه علوم دام و طیور، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران. رایانامه: bkhorrani@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۹/۲۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۷ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۱۹	هدف: این مطالعه با هدف بررسی ترکیب شیمیایی، تجزیه پذیری ماده خشک و پروتئین خام و فراسنجه های تولید گاز گیاه عدسک آبی در تغذیه دام انجام شد. روش پژوهش: در مرحله اول ترکیب شیمیایی، فراسنجه های تولید گاز و تجزیه پذیری ماده خشک و پروتئین خام گیاه عدسک آبی (از دو منطقه رشت و ورامین) و علوفه یونجه به روش های توصیه شده آزمایشگاهی تعیین شد. در مرحله دوم با توجه به پروتئین خام عدسک آبی، ارزش تخمیری تولید گاز نمونه های جیره های آزمایشی شاهد (۶۰ درصد کنسانتره و ۴۰ درصد علوفه) و جایگزینی ۲۵، ۵۰ و ۷۵ و ۱۰۰ درصد یونجه با عدسک آبی اندازه گیری شد. یافته ها: پروتئین خام در گیاه کامل عدسک آبی ورامین بیش تر از گیاه کامل عدسک آبی رشت و علوفه یونجه بود ($P < 0.05$). فیبر نامحلول در شوینده خنثی در گیاه کامل عدسک آبی رشت و ورامین بیش تر از علوفه یونجه بود ($P < 0.05$). خاکستر خام در گیاه کامل عدسک آبی ورامین بیش تر از گیاه کامل عدسک آبی رشت و علوفه یونجه بود ($P < 0.05$). غلظت مواد معدنی پر مصرف (کلسیم، فسفر، منیزیم و پتاسیم) و کم مصرف (مس، روی، آهن و منگنز) بین دو نمونه متفاوت بود. در تمامی ساعت های انکوباسیون، میزان تولید گاز در نمونه یونجه بیش تر از عدسک آبی بود ($P < 0.05$). هم چنین ظرفیت و نرخ تولید گاز، مقدار انرژی قابل سوخت و ساز و گوارش پذیری ماده آلی در نمونه یونجه بیش تر از عدسک آبی به دست آمد ($P < 0.05$). میزان تولید گاز متان عدسک آبی نیز کم تر از یونجه بود ($P < 0.05$). بخش سریع تجزیه ماده خشک و پروتئین خام عدسک آبی (به ترتیب ۳۲/۳ و ۲۷/۰ درصد) به طور معنی داری قابلیت تجزیه سریع تری نسبت به یونجه (به ترتیب ۲۲/۶ و ۲۵/۹ درصد) داشت ($P < 0.05$). هم چنین مقدار بخش کُند تجزیه، نرخ ثابت تجزیه پذیری و تجزیه پذیری مؤثر در نرخ های عبور ۰/۰۲، ۰/۰۴ و ۰/۰۶ در ساعت ماده خشک و پروتئین خام یونجه بالاتر از عدسک آبی رشت بود ($P < 0.05$). جایگزینی یونجه با عدسک آبی در تیمارهای آزمایشی باعث کاهش معنی دار تولید گاز در ساعات مختلف انکوباسیون به ویژه در سطوح بالای جایگزینی شد ($P < 0.05$). هم چنین فراسنجه های ظرفیت تولید گاز (b) و مقدار انرژی قابل سوخت و ساز در گروه شاهد بیش ترین و در تیمار جایگزینی کامل عدسک آبی با یونجه کم ترین بود ($P < 0.05$). نتیجه گیری: با توجه به محتوای پروتئین خام، غلظت مواد معدنی و تجزیه پذیری عدسک آبی، این گیاه می تواند به عنوان منبع ارزشمندی در تغذیه دام استفاده شود. هرچند، نیاز هست آزمایش های بیش تری به ویژه در شرایط مزرعه انجام پذیرد.

کلیدواژه ها:

تخمیر
ترکیب شیمیایی
تولید گاز
عدسک آبی
یونجه

استناد: حیدری فر، محمدحسن؛ نوروزیان، محمدعلی و خرمی، بهزاد (۱۴۰۴). بررسی ترکیب شیمیایی، تجزیه پذیری ماده خشک و پروتئین خام و فراسنجه های تولید گاز گیاه عدسک آبی. نشریه تولیدات دامی، ۲۷ (۳)، ۲۸۳-۲۹۴. DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2025.386994.623823>



۱. مقدمه

افزایش جمعیت جهانی و توسعه صنعت دامپروری نیاز به شناسایی و استفاده از منابع تغذیه‌ای جدید و پایدار را بیش از پیش ضروری کرده است. در حال حاضر، بخش عمده‌ای از خوراک دام از منابعی مانند یونجه و دانه جو، دانه ذرت و کنجاله سویا تهیه می‌شود که تأمین آن‌ها با چالش‌های زیست‌محیطی و اقتصادی مواجه است. این منابع نه تنها هزینه‌های بالایی دارند، بلکه به دلیل وابستگی به منابع طبیعی و تأثیر تغییرات اقلیمی، مشکلاتی در تأمین پایدار آن ایجاد شده است. استفاده از منابع تغذیه‌ای جایگزین و پایدار یکی از راه‌حل‌های کلیدی برای مقابله با این چالش‌هاست.

گیاه عدسک آبی (*Lemna minor*) به عنوان یک منبع تغذیه‌ای جدید با توانایی بالقوه بالا در خوراک دام مطرح شده است. عدسک آبی از خانواده *Lemnaceae* و یک گیاه آبزی چندساله است که در محیط‌های آبی کم‌عمق، آرام و شیرین رشد کرده و دارای ساختار ساده‌ای می‌باشد و این سادگی امکان سازگاری به شرایط مختلف محیطی را داده است. این گیاه دارای ویژگی‌هایی چون تولید سریع زیست‌توده، محتوای بالای پروتئین و خواص گیاه پالایی است. محتوای پروتئین گیاه عدسک آبی به حدود ۴۰ تا ۴۵ درصد وزن ماده خشک آن می‌رسد که این مقدار قابل رقابت با بسیاری از منابع پروتئینی متداول است. این گیاه همچنین دارای اسیدهای آمینه ضروری است که برای رشد و تولید حیوانات حیاتی هستند (Chakrabarti et al., 2018; Goopy & Murray, 2003). علاوه بر این عدسک آبی به دلیل داشتن ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی، خواص آنتی‌اکسیدانی بالایی دارد که می‌توانند با مهار تنش اکسیداتیو و اثرات ضدالتهابی، از سلول‌ها در برابر آسیب‌های اکسیداتیو محافظت کنند (Zhao et al., 2014).

مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از این گیاه می‌تواند در شرایط آزمایشگاهی ترکیبات رادیکال‌های آزاد را کاهش داده و تأثیر پراکسیداسیون لیپیدها را کم نماید (Ritala et al., 2017). عدسک آبی منبع مهمی از ویتامین‌های A و C است که نه تنها سلول‌های اپیتلیال را از آسیب‌های اساسی محافظت می‌کند، بلکه به بهبود دستگاه ایمنی دام نیز کمک می‌نماید (Gulcin et al., 2010). علاوه بر این، عدسک آبی اثر گشادکنندگی رگ‌ها را دارد که گردش خون را بهبود داده و انتقال گرما از عمق به سطح بدن را تسهیل می‌کند. این ویژگی در فصل تابستان یا در گله‌های با تراکم بالا، از طریق کاهش تنش گرمایی، عملکرد دام را بهبود می‌بخشد (Tanuwiria & Mushawwir, 2020). در طیور، جایگزینی عدسک آبی به میزان ۱۵ درصد در جیره تفاوت معنی‌داری در کمیت و کیفیت تخم‌مرغ‌ها نشان نداد (Anderson et al., 2011). در گوسفند استفاده از این گیاه در جیره باعث بهبود عملکرد و کاهش هزینه خوراک (Hassan et al., 2020) و در گاو شیری باعث افزایش تولید شیر و بهبود مقدار چربی و پروتئین شیر و وضعیت آنتی‌اکسیدانی و هماتولوژی خون شد (Tanuwiria & Mushawwir, 2020; Goopy & Murray, 2003).

با توجه به ویژگی‌های تغذیه‌ای و اثرات مثبت عدسک آبی بر عملکرد، این مطالعه با هدف بررسی ترکیب شیمیایی، تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام و فراسنجه‌های تولید گاز عدسک آبی دو منطقه رشت و ورامین انجام شد تا امکان استفاده گسترده‌تر از این منبع ارزشمند در جیره‌های غذایی فراهم گردد.

۲. روش پژوهش

آزمایش حاضر در دو مرحله انجام گرفت. در مرحله اول، ترکیب شیمیایی، فراسنجه‌های تولید گاز و تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام گیاه عدسک آبی دو منطقه رشت و ورامین و همچنین علوفه یونجه اندازه‌گیری شد. در مرحله دوم، تأثیر جایگزینی علوفه یونجه با گیاه عدسک آبی رشت بر فراسنجه‌های تولید گاز بررسی شد. نمونه‌های گیاه عدسک آبی از منطقه سراوان رشت و استخرهای ذخیره آب چال‌تاسیان ورامین جمع‌آوری شد. اگرچه عدسک آبی گونه‌های مختلفی دارد، اما هر دو نمونه

جمع‌آوری شده از گونه *Spirodela polyrhiza* بودند. ترکیب شیمیایی و غلظت عناصر معدنی پرمصرف و کم‌مصرف عدسک آبی به همراه یونجه با روش‌های توصیه‌شده آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. بدین منظور، پروتئین خام با روش کلدال (دستگاه Foss 2033، سوئد)، ماده خشک (۶۰ درجه سانتی‌گراد، ۴۸ ساعت)، خاکستر (۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، سه ساعت) و عصاره اتری با سه تکرار اندازه‌گیری شدند (AOAC, 1990). اندازه‌گیری فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) و خنثی (NDF) با روش Van Soest و همکاران (۱۹۹۱) بدون استفاده از آنزیم آلفا آمیلاز و سولفیت‌سدیم و با حذف خاکستر اندازه‌گیری شد. غلظت مواد معدنی پر مصرف (کلسیم، فسفر، منیزیم و پتاسیم) و کم مصرف (مس، روی، آهن و منگنز) در آزمایشگاه تغذیه مؤسسه تحقیقات علوم دامی کشور با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل PerkinElmer PinAAcle 900T) پس از هضم خشک در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد.

در ادامه مطالعه با توجه به ترکیب شیمیایی و حجم علوفه عدسک آبی در دسترس از نمونه‌های گیاه عدسک آبی رشت برای تعیین فراسنجه‌های تولید گاز استفاده شد (Makkar et al., 1995). حجم گاز تولیدی بعد از انکوباسیون داخل انکوباتور (WTB Binder Labortechnik GmbH, Bergstr. 14, 78532, Germany) با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد و سه تکرار برای هر نمونه و شاهد (مایع شکمبه بدون نمونه برای تصحیح گاز تولیدشده توسط ذرات باقی‌مانده در مایع شکمبه) در فواصل زمانی دو، چهار، شش، هشت، ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت با سه دوره اندازه‌گیری و حجم گاز تصحیح‌شده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$V \text{ (ml / 200 mg DM)} = (200 \times (V_t - V_b) / m) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه، V_t و V_b حجم گاز تولیدی در استوانه‌های شیشه‌ای به‌ترتیب حاوی نمونه و فاقد نمونه (میلی‌لیتر) و m جرم نمونه (میلی‌گرم) است. در آزمایشی جداگانه و همزمان، مقدار گاز متان تولیدشده با روش جذب شیمیایی اندازه‌گیری شد. بر این اساس، پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون، به هر استوانه شیشه‌ای چهار میلی‌لیتر سود ۱۰ مولار اضافه و به‌مدت ۳۰ ثانیه به شدت تکان داده شد. در این روش، گاز دی‌اکسید کربن توسط سود جذب و گاز باقیمانده که به‌عنوان متان در نظر گرفته می‌شود، با سرنگ گازی مدرج اندازه‌گیری گردید (Demeyer et al., 1988). فراسنجه‌های تولید گاز از رابطه نمایی (Orskov & MacDonald, 1979) تصحیح شده (Blümmel and Becker, 1997)، به‌کمک نرم‌افزار فیت‌کرو از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$P = b (1 - e^{-ct}) \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن، P حجم گاز تولیدی از ماده خوراکی در زمان t ، b ظرفیت تولید گاز از بخش نامحلول و کُندتجزیه (میلی‌لیتر بر ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک خوراک)، e عدد نپر، c ثابت نرخ تولید گاز در هر ساعت برای بخش b و t زمان انکوباسیون (ساعت) است.

میزان انرژی قابل سوخت‌وساز (مگاژول در کیلوگرم ماده خشک؛ رابطه ۳) و درصد قابلیت هضم ماده آلی (رابطه ۴) از مقدار گاز ۲۴ ساعت برآورد شد (Menke & Steingass, 1988).

$$\text{انرژی قابل‌متابولیسم} = \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$= 0.136 + 0.00029 \times (\text{پروتئین خام}) + 0.057 \times (\text{پروتئین خام}) + 0.00029 \times (\text{پروتئین خام})^2$$

$$\text{درصد قابلیت هضم ماده آلی} = \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$= 0.1489 + 0.00029 \times (\text{پروتئین خام}) + 0.045 \times (\text{پروتئین خام}) + 0.00029 \times (\text{خاکستر})$$

نمونه‌های آزمایشی عدسک آبی رشت و یونجه جهت تعیین تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام به‌روش کیسه‌های نایلونی، ابتدا در آون ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توسط آسیاب چکشی با الک دو میلی‌متر آسیاب شدند. برای هر زمان انکوباسیون، سه تکرار در نظر گرفته شد، به‌طوری که برای هر نمونه، مقدار چهار گرم از ماده خشک شده در کیسه‌های نایلونی

استاندارد (ابعاد ۱۰×۲۰ سانتی‌متر، قطر منافذ ۵۰ میکرون) توزین و قرار داده شد. کیسه‌ها در داخل شکمبه سه رأس گاو نر فیستوله‌شده برای دوره‌های زمانی دو، چهار، شش، هشت، ۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت انکوبه شدند. پس از خارج‌سازی، کیسه‌ها با آب سرد شست‌وشو داده شدند و در آن ۶۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند تا باقی‌مانده ماده خشک و پروتئین محاسبه گردد. برای تعیین فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام از مدل نمایی $P = a + b(1 - e^{-ct})$ (Orskov & MacDonald, 1979) استفاده شد که در آن P درصد ناپدیدشدن ماده مغذی در زمان t بخش سریع تجزیه (مواد محلول در زمان صفر)، b بخش کندتجزیه، c ثابت سرعت تجزیه بخش b و e عدد نپر می‌باشد. برازش منحنی و محاسبه فراسنجه‌های مدل با استفاده از نرم‌افزار فیت‌کرو انجام گردید.

در مرحله دوم آزمایش با توجه به ترکیب پروتئین خام عدسک آبی در جایگزینی با یونجه و با تیمارهای زیر، ارزش تخمیری آن با روش آزمون گاز اندازه‌گیری شد (جدول ۱). میزان گاز تولیدی از نمونه‌های آزمایشی شامل تیمارهای ۱- جیره شاهد (۶۰ درصد کنسانتره و ۴۰ درصد علوفه)، ۲- جیره حاوی ۲۵ درصد گیاه عدسک آبی رشت جایگزین‌شده با یونجه (۷/۵ درصد کل جیره)، ۳- جیره حاوی ۵۰ درصد گیاه عدسک آبی رشت جایگزین‌شده با یونجه (۱۵ درصد کل جیره)، ۴- جیره حاوی ۷۵ درصد گیاه عدسک آبی رشت جایگزین‌شده با یونجه (۲۲/۵ درصد کل جیره)، ۵- جیره حاوی ۱۰۰ درصد گیاه عدسک آبی رشت جایگزین‌شده با یونجه (۳۰ درصد کل جیره) به روش توصیه‌شده (Menke & Steingass, 1988) اندازه‌گیری شد. داده‌های حاصل با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۴) برای مدل (۱) تجزیه و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد مقایسه شدند.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij} \quad \text{مدل (۱)}$$

که در این رابطه، Y_{ij} مقدار مشاهده تیمار i ام در تکرار j ام، μ اثر میانگین، T_i اثر تیمار i ام و e_{ij} اثر خطای آزمایشی مربوط به تیمار i ام در تکرار j ام است.

جدول ۱. اقلام خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی

تیمارهای آزمایشی*					فراسنجه
۱۰۰ درصد عدسک	۷۵ درصد عدسک	۵۰ درصد عدسک	۲۵ درصد عدسک	شاهد	
اقلام خوراکی (درصد ماده خشک)					
۰	۷/۵	۱۵	۲۲/۵	۳۰	یونجه
۳۰	۲۲/۵	۱۵	۷/۵	۰	عدسک آبی رشت
۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	کاه
۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	ذرت
۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	جو
۴	۴	۴	۴	۴	کنجاله سویا
۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	سبوس
۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	مکمل
۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	نمک
ترکیب شیمیایی (درصد ماده خشک)					
۹۵/۳	۹۵/۱	۹۵/۳	۹۵/۴	۹۵/۸	ماده خشک (درصد)
۱۵/۲۹	۱۵/۲۲	۱۵/۱۵	۱۵/۰۸	۱۵/۰۲	پروتئین خام
۳۸/۵	۳۹/۷	۴۰/۳	۴۱/۱	۴۳/۱	فیبر نامحلول در شوینده خنثی
۲۲/۷	۲۳/۴	۲۵/۹	۲۸/۴	۳۰/۵	فیبر نامحلول در شوینده اسیدی
۹/۵	۸/۹	۸/۴	۷/۶	۶/۹	خاکستر خام
۴/۵	۴/۷	۴/۶	۴/۶	۴/۸	عصاره اتری
۰/۶۱	۰/۶۵	۰/۶۸	۰/۷۲	۰/۷۵	کلسیم
۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۴۶	فسفر

* تیمارهای آزمایشی شامل: شاهد؛ فاقد عدسک آبی و ۳۰ درصد یونجه، ۲۵ درصد عدسک؛ ۲۵ درصد عدسک آبی و ۷۵ درصد یونجه، ۵۰ درصد عدسک؛ ۵۰ درصد عدسک آبی و ۵۰ درصد یونجه، ۷۵ درصد عدسک؛ ۷۵ درصد عدسک آبی و ۲۵ درصد یونجه، ۱۰۰ درصد عدسک؛ ۱۰۰ درصد عدسک آبی و فاقد یونجه بود.

۳. یافته‌های پژوهش

ترکیب شیمیایی گیاه عدسک آبی و علوفه یونجه در جدول (۲) گزارش شده است. پروتئین خام گیاه کامل عدسک آبی ورامین (۲۳/۴ درصد) بیش‌تر از گیاه کامل عدسک آبی رشت (۱۸/۸ درصد) و علوفه یونجه (۱۷/۹ درصد) بود. فیبر نامحلول در شوینده خنثی در گیاه کامل عدسک آبی رشت (۵۳/۴ درصد) و ورامین (۵۲/۵ درصد) بیش‌تر از علوفه یونجه (۴۶/۵ درصد) بود. خاکستر خام در گیاه کامل عدسک آبی ورامین (۱۸/۴ درصد) بیش‌تر از گیاه کامل عدسک آبی رشت (۹/۶ درصد) و علوفه یونجه (۸/۳ درصد) بود. کربوهیدرات غیر فیبری در گیاه کامل عدسک آبی رشت (۱۱/۹ درصد) بیش‌تر از گیاه کامل عدسک آبی ورامین (۲/۵۳ درصد) و کم‌تر از علوفه یونجه (۲۵/۷ درصد) به‌دست آمد. هم‌چنین غلظت عناصر معدنی پرمصرف و کم‌مصرف (جدول ۳) نشان‌دهنده تفاوت زیاد مقادیر آن‌ها بین دو نمونه عدسک آبی بود. به‌طوری‌که نمونه ورامین مقادیر کلسیم و فسفر و نمونه رشت مقادیر پتاسیم و منیزیم بیش‌تری داشت. هم‌چنین غلظت آهن در نمونه ورامین و غلظت منگنز در نمونه رشت بیش‌تر بود.

جدول ۲. ترکیب شیمیایی گیاه عدسک آبی و علوفه یونجه

فراسنجه (درصد ماده خشک)	گیاه کامل عدسک آبی رشت	گیاه کامل عدسک آبی ورامین	علوفه یونجه	خطای استاندارد	p-value
ماده خشک (درصد)	۷/۱۴ ^b	۴/۰ ^c	۹۰/۱ ^a	۰/۷۸	<۰/۰۰۱
پروتئین خام	۱۸/۸ ^b	۲۳/۴ ^a	۱۷/۹ ^b	۱/۱	<۰/۰۰۱
ماده آلی	۹۰/۳ ^a	۸۱/۵ ^b	۹۱/۶ ^a	۰/۷۵	<۰/۰۰۱
فیبر نامحلول در شوینده خنثی	۵۳/۴ ^a	۵۲/۵ ^a	۴۶/۵ ^b	۱/۲	۰/۰۰۳
فیبر نامحلول در شوینده اسیدی	۲۸/۲ ^a	۲۸/۳ ^a	۲۵/۶ ^b	۰/۹۸	<۰/۰۰۱
عصاره اتری	۶/۱۰ ^a	۳/۰۹ ^b	۱/۴۶ ^c	۰/۲۵	<۰/۰۰۱
خاکستر خام	۹/۶۹ ^b	۱۸/۴۱ ^a	۸/۳۶ ^c	۰/۳۹	<۰/۰۰۱
کربوهیدرات غیر فیبری ^۱	۱۱/۹ ^b	۲/۵۳ ^c	۲۵/۷ ^a	۰/۷۶	<۰/۰۰۱

a, b, c تفاوت ارقام در هر ردیف با حروف نامشابه معنی‌دار است ($P < 0.05$).

1. NFC = 100% - (CP% + NDF% + EE% + Ash%)

جدول ۳. غلظت مواد معدنی نمونه‌های عدسک آبی

نمونه	کلسیم	فسفر	منیزیم	پتاسیم	مس	روی	آهن	منگنز
عدسک آبی رشت	۲/۴۴	۰/۳۰	۰/۶۶	۲/۵۲	۵/۰	۷۶/۴	۳۱۶۵	۳۷۸۳
عدسک آبی ورامین	۴/۶۷	۰/۵۴	۰/۷۱	۲/۲۹	۱/۴	۵۷/۴	۳۵۵۰	۱۴۷/۹

میزان تولید گاز (میلی‌لیتر) عدسک آبی رشت و یونجه در زمان‌های مختلف انکوباسیون (جدول ۴) و فراسنجه‌های تولید گاز (جدول ۵) نشان داد که در تمامی ساعت‌های انکوباسیون، میزان تولید گاز در نمونه یونجه بیش‌تر از عدسک آبی رشت بود. هم‌چنین ظرفیت و نرخ تولید گاز در نمونه یونجه بیش‌تر از عدسک آبی رشت به‌دست آمد. مقدار انرژی قابل سوخت‌وساز و گوارش‌پذیری ماده آلی نیز برای یونجه بیش‌تر از عدسک آبی رشت بود. میزان تولید گاز متان عدسک آبی رشت نیز کم‌تر از یونجه بود (جدول ۵).

مقادیر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام نمونه‌های آزمایشی در جدول (۶) نشان داده شده است. بخش سریع تجزیه ماده خشک و پروتئین خام عدسک آبی رشت (به‌ترتیب ۳۲/۳ و ۲۷/۰ درصد) به‌طور معنی‌داری قابلیت تجزیه سریع‌تری نسبت به یونجه (به‌ترتیب ۲۲/۶ و ۲۵/۹ درصد) داشت. هم‌چنین مقدار بخش کُندتجزیه، نرخ ثابت تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر در نرخ عبور ۰/۰۲، ۰/۰۴ و ۰/۰۶ در ساعت ماده خشک و پروتئین خام یونجه بالاتر از عدسک آبی رشت بود.

جدول ۴. میزان تولید گاز تجمعی (میلی لیتر) عدسک آبی و یونجه در زمان‌های مختلف انکوباسیون

زمان انکوباسیون	تیمارهای آزمایشی		خطای استاندارد میانگین	سطح معنی داری
	عدسک آبی رشت	یونجه		
۲	۱/۵۵ ^b	۴/۷۴ ^a	۰/۵۰	۰/۰۱
۴	۳/۵۸ ^b	۱۰/۲۷ ^a	۰/۷۱	<۰/۰۱
۶	۴/۳۶ ^b	۱۴/۰۶ ^a	۰/۷۰	<۰/۰۱
۸	۵/۹۱ ^b	۱۸/۸۰ ^a	۰/۷۰	<۰/۰۱
۱۲	۷/۴۷ ^b	۲۷/۶۵ ^a	۰/۹۰	<۰/۰۱
۲۴	۱۲/۹۳ ^b	۴۰/۶۰ ^a	۰/۶۶	<۰/۰۱
۴۸	۱۸/۰۷ ^b	۴۸/۱۸ ^a	۱/۰۱	<۰/۰۱
۷۲	۲۰/۸۷ ^b	۵۰/۷۱ ^a	۱/۲۱	<۰/۰۱
۹۶	۲۱/۸۱ ^b	۵۱/۹۷ ^a	۱/۰۲	<۰/۰۱

a, b: تفاوت ارقام در هر ردیف با حروف نامشابه معنی دار است ($P < 0.05$).

جدول ۵. فراسنجه‌های تولید گاز و میزان متان علوفه‌های آزمایشی

فراسنجه	تیمارهای آزمایشی		خطای معیار میانگین‌ها	سطح معنی داری
	عدسک آبی رشت	یونجه		
ظرفیت تولید گاز (b میلی لیتر)	۲۲/۴۷ ^b	۵۱/۸۹ ^a	۱/۱۸	<۰/۰۱
نرخ تولید گاز (c میلی لیتر بر ساعت)	۰/۰۳۵ ^b	۰/۰۵۹ ^a	۰/۰۰۲	<۰/۰۱
انرژی قابل سوخت‌وساز (مگا کالری بر کیلوگرم ماده خشک)	۱/۲۵ ^b	۲/۱۳ ^a	۰/۰۲۲	<۰/۰۱
گوارش پذیری ظاهری ماده آلی (گرم بر کیلوگرم ماده خشک)	۴۱۱/۱ ^b	۶۴۴/۴ ^a	۵/۹۲	<۰/۰۱
متان (میلی لیتر)	۴/۳ ^b	۶/۳ ^a	۰/۳۴	<۰/۰۱

a, b: تفاوت ارقام در هر ردیف با حروف نامشابه معنی دار است ($P < 0.05$).

جدول ۶. فراسنجه‌های تجزیه پذیری ماده خشک و پروتئین خام عدسک آبی و یونجه

فراسنجه	عدسک آبی رشت		خطای معیار میانگین‌ها	سطح معنی داری
	یونجه	عدسک آبی رشت		
ماده خشک				
بخش سریع تجزیه (a درصد)	۲۲/۶ ^b	۳۲/۳ ^a	۳/۵	<۰/۰۱
بخش کند تجزیه (b درصد)	۴۵/۰ ^a	۲۸/۷ ^b	۴/۳	<۰/۰۱
نرخ ثابت تجزیه (c درصد در ساعت)	۰/۰۸ ^a	۰/۰۴ ^b	۰/۰۲	<۰/۰۱
تجزیه پذیری مؤثر (درصد) در				
نرخ عبور ۰/۰۲ در ساعت	۵۸/۱ ^a	۵۱/۵ ^b	۱/۰	۰/۰۱
نرخ عبور ۰/۰۴ در ساعت	۵۲/۱ ^a	۴۶/۷ ^b	۰/۹۵	<۰/۰۱
نرخ عبور ۰/۰۶ در ساعت	۴۷/۸ ^a	۴۳/۸ ^b	۰/۸۸	۰/۰۲
پروتئین خام				
بخش سریع تجزیه (a درصد)	۲۵/۹ ^b	۳۷/۰ ^a	۱/۷	۰/۰۲
بخش کند تجزیه (b درصد)	۴۵/۸ ^a	۳۵/۳ ^b	۱/۹	۰/۰۲
نرخ ثابت تجزیه (c درصد در ساعت)	۰/۰۶ ^a	۰/۰۴ ^b	۰/۰۰۸	۰/۰۲
تجزیه پذیری مؤثر (درصد) در				
نرخ عبور ۰/۰۲ در ساعت	۶۰/۳ ^a	۵۰/۶ ^b	۱/۱	<۰/۰۱
نرخ عبور ۰/۰۴ در ساعت	۵۳/۴ ^a	۴۴/۸ ^b	۱/۰	<۰/۰۱
نرخ عبور ۰/۰۶ در ساعت	۴۸/۸ ^a	۴۱/۳ ^b	۰/۹۷	۰/۰۱

a, b: تفاوت ارقام در هر ردیف با حروف نامشابه معنی دار است ($P < 0.05$).

جایگزینی یونجه با عدسک آبی رشت در تیمارهای آزمایشی باعث کاهش معنی‌دار تولید گاز در ساعات مختلف انکوباسیون به‌ویژه در سطوح بالای ۵۰ درصد جایگزینی شد ($P < 0.05$; جدول ۷). همچنین ظرفیت تولید گاز (b) و مقدار انرژی قابل سوخت‌وساز در گروه شاهد بیش‌ترین مقدار و در تیمار جایگزینی کامل عدسک آبی رشت با یونجه کم‌ترین مقدار بود ($P < 0.05$; جدول ۸). در عین حال، نرخ تولید گاز و میزان گوارش‌پذیری ظاهری ماده آلی در تیمار جایگزین کامل یونجه با عدسک آبی رشت کم‌ترین مقدار بود ولی تفاوت معنی‌داری در سایر تیمارها مشاهده نشد.

جدول ۷. میزان تولید گاز تجمعی (میلی لیتر) تیمارهای آزمایشی در زمان‌های مختلف انکوباسیون

زمان انکوباسیون	شاهد	تیمارهای آزمایشی*				خطای معیار میانگین‌ها	سطح معنی‌داری
		۲۵ درصد عدسک	۵۰ درصد عدسک	۷۵ درصد عدسک	۱۰۰ درصد عدسک		
۲	۴/۵۶	۵/۰۳	۵/۴۸	۴/۸۶	۳/۹۱	۰/۵۹۹	۰/۴۷
۴	۱۰/۸۷ ^a	۱۰/۸۴ ^a	۱۰/۶۴ ^a	۱۰/۱۹ ^a	۸/۲۹ ^b	۰/۵۲۹	۰/۰۳
۶	۱۶/۳۸ ^a	۱۶/۰۳ ^a	۱۶/۱۳ ^a	۱۵/۰۵ ^a	۱۳/۱۵ ^b	۰/۵۸۹	۰/۰۱
۸	۲۳/۳۱ ^a	۲۳/۱۱ ^a	۲۲/۶۹ ^a	۲۱/۴۷ ^a	۱۹/۲۵ ^b	۰/۵۹۳	< ۰/۰۱
۱۲	۳۱/۹۷ ^a	۳۱/۶۰ ^a	۳۰/۶۷ ^{ab}	۲۹/۱۵ ^b	۲۵/۵۳ ^c	۰/۶۱۸	< ۰/۰۱
۲۴	۴۶/۳۰ ^a	۴۵/۴۳ ^{ab}	۴۴/۴۴ ^{ab}	۴۲/۹۴ ^b	۳۸/۵۱ ^c	۰/۷۵۸	< ۰/۰۱
۴۸	۵۷/۶۴ ^a	۵۶/۱۳ ^{ab}	۵۴/۹۳ ^{ab}	۵۴/۲۳ ^{ab}	۴۸/۸۳ ^c	۰/۹۰۴	< ۰/۰۱
۷۲	۶۲/۳۷ ^a	۶۰/۳۷ ^{ab}	۵۹/۳۱ ^{ab}	۵۸/۹۳ ^{ab}	۵۳/۵۳ ^c	۰/۹۸۷	< ۰/۰۱
۹۶	۶۳/۳۱ ^a	۶۱/۴۷ ^{ab}	۶۰/۴۱ ^{ab}	۶۰/۰۳ ^b	۵۴/۷۸ ^c	۰/۹۲۴	< ۰/۰۱

a, b: تفاوت ارقام در هر ردیف با حروف نامشابه معنی‌دار است ($P < 0.05$).

- جیره‌های آزمایشی شامل شاهد: فاقد عدسک آبی و ۳۰ درصد یونجه، ۲۵ درصد عدسک: ۲۵ درصد عدسک آبی و ۷۵ درصد یونجه، ۵۰ درصد عدسک: ۵۰ درصد عدسک آبی و ۵۰ درصد یونجه، ۷۵ درصد عدسک: ۷۵ درصد عدسک آبی و فاقد یونجه بود.

جدول ۸. فراسنجه‌های تولید گاز تیمارهای آزمایشی

مقدار P	خطای استاندارد میانگین	تیمارهای آزمایشی				فراسنجه
		۲۵ درصد عدسک	۵۰ درصد عدسک	۷۵ درصد عدسک	۱۰۰ درصد عدسک	
< ۰/۰۱	۰/۹۴	۶۳/۳ ^a	۶۱/۳۷ ^{ab}	۶۰/۲۱ ^b	۵۴/۹۶ ^c	ظرفیت تولید گاز (b میلی لیتر)
۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۵۴ ^a	۰/۰۵۵ ^a	۰/۰۵۵ ^a	۰/۰۴۹ ^b	نرخ تولید گاز (c میلی لیتر بر ساعت)
< ۰/۰۱	۰/۰۲	۲/۲۹ ^a	۲/۲۶ ^{ab}	۲/۲۳ ^{ab}	۲/۰۳ ^c	انرژی قابل متابولیسم (مگا کالری بر کیلوگرم ماده خشک)
< ۰/۰۱	۶/۷	۶۷۲/۸ ^a	۶۶۹/۹ ^a	۶۶۶/۶ ^a	۶۲۱/۶ ^b	گوارش‌پذیری ظاهری ماده آلی (گرم بر کیلوگرم ماده خشک)

a, b, c: تفاوت ارقام در هر ردیف با حروف نامشابه معنی‌دار است ($P < 0.05$).

*: جیره‌های آزمایشی شامل شاهد: فاقد عدسک آبی و ۳۰ درصد یونجه، ۲۵ درصد عدسک: ۲۵ درصد عدسک آبی و ۷۵ درصد یونجه، ۵۰ درصد عدسک: ۵۰ درصد عدسک آبی و ۵۰ درصد یونجه، ۷۵ درصد عدسک: ۷۵ درصد عدسک آبی و فاقد یونجه بود.

۴. بحث

نتایج این مطالعه تفاوت معنی‌داری در ترکیب شیمیایی نمونه‌های عدسک آبی رشت و ورامین با هم و بین آن‌ها و علوفه یونجه نشان داد. این تفاوت می‌تواند ناشی از تفاوت در نوع گیاه، شرایط آب‌وهوایی، محیط کشت و سایر عوامل محیطی باشد. در مطالعه‌ای با کنترل شرایط رشد و استفاده از کشت پیوسته عدسک آبی، پروتئین خام آن ۱۶ درصد ماده خشک گزارش شد (Maciejewska-Potapczyk, 1975). همچنین در پژوهشی دیگر برای یافتن جایگزین منابع پروتئین رایج مانند کنجاله سویا در تغذیه دام مقادیر مواد مغذی بالایی برای این گیاه شامل ۲۳/۴ درصد پروتئین خام، ۳/۹ درصد چربی خام، ۲۹/۹ درصد فیبر خام و ۲۳/۶ درصد خاکستر گزارش شد (Herawati et al., 2020). به‌طور کلی، این نتایج نشان می‌دهد که این گیاه قابلیت بالایی

در جذب و بازیافت مواد مغذی از محیط رشد خود به‌ویژه پساب‌های کشاورزی دارد و می‌تواند منبع خوراکی با محتوای پروتئین ۳۰ تا ۳۵ درصد تولید کند (Devlamynck *et al.*, 2021). مقدار ماده آلی عدسک آبی از یونجه کم‌تر و خاکستر، پروتئین خام و NDF آن بیش‌تر بود. غلظت‌های خاکستر، فیبر (ADF و NDF) و لیگنین ارتباط منفی با انرژی خالص شیردهی دارند، زیرا فیبر، به طور متوسط قابلیت هضم کم‌تری نسبت به مواد غیر فیبری دارد و لیگنین قابل هضم نیست. علاوه بر این، خاکستر انرژی تولید نمی‌کند و بنابراین ماده آلی قابل هضم را دقیق می‌کند (Molavian *et al.*, 2020).

تفاوت زیاد بین مواد معدنی دو نمونه عدسک آبی (جدول ۳)، احتمالاً ناشی از اختلاف در ترکیب آب و محیط کشت، شرایط اقلیمی و خصوصیات ژنتیکی نمونه‌های مختلف عدسک آبی است (Leng *et al.*, 1995). با توجه به مقادیر بسیار بالای کلسیم و آهن در نمونه ورامین، این گیاه می‌تواند به‌عنوان یک منبع طبیعی ارزشمند برای تأمین این عناصر در جیره دام موردتوجه قرار گیرد (Underwood & Suttle, 1999). هرچند باید توجه داشت که مقادیر بسیار بالای منگنز در نمونه رشت ممکن است خطرات سمیت را به‌همراه داشته باشد و نیاز به بررسی‌های تکمیلی در این زمینه ضروری است (NRC, 2005).

با وجود آن‌که بخش محلول (a) ماده خشک و پروتئین خام در عدسک آبی رشت بالاتر از یونجه بود، تجزیه‌پذیری مؤثر یونجه مقادیر بالاتری را نشان داد. احتمال وجود ترکیبات بازدارنده یا اجزای با قابلیت تخمیر کم در عدسک آبی نظیر پلی‌فنول‌ها، ترکیبات فنولی محلول یا نشاسته‌های مقاوم می‌تواند مانع از دسترسی کامل میکروب‌های شکمبه به سوبسترای قابل تخمیر گردد. این ترکیبات با اتصال به پروتئین‌ها، آن‌ها را از دسترس آنزیم‌های میکروبی خارج کرده و موجب کاهش حالیت، کاهش نرخ تخمیر و در نهایت کاهش قابلیت تجزیه شکمبه‌ای پروتئین‌ها می‌شوند (Makkar, 2003). همچنین، فنول‌ها می‌توانند به دیواره سلولی گیاهان متصل شوند و ساختار فیبری را در برابر فعالیت آنزیم‌های سلولولیتیک مقاوم‌تر کنند، که این امر کاهش تجزیه‌پذیری ماده خشک را در پی دارد (Mueller-Harvey, 2006).

نتایج تولید گاز نمونه‌های علوفه آزمایشی نشان داد که یونجه در مقایسه با عدسک آبی، ظرفیت و نرخ تولید گاز بالاتری دارد. این روند کاهش تولید گاز در تیمارهای جایگزینی عدسک آبی با یونجه نیز مشاهده شد. همچنین مقدار تولید گاز متان نمونه‌های عدسک آبی نیز کم‌تر از یونجه بود. حجم کل تولید گاز نشان‌دهنده الگوی بازده تخمیر در شکمبه است. در شرایط بی‌هوازی در روش تولید گاز هر ماده خوراکی که بیش‌تر هضم شود گاز بیش‌تری تولید می‌کند (Menke & Steingass, 1988). زمانی که مواد خوراکی با مایع شکمبه در شرایط آزمایشگاهی مورد انکوباسیون قرار می‌گیرند به‌طور عمده کربوهیدرات‌ها به اسیدهای چرب کوتاه زنجیر و گازها (به‌طور عمده دی‌اکسیدکربن و متان) تبدیل می‌شوند (Beuvink *et al.*, 1992) و تولید گاز ناشی از تخمیر پروتئین در مقایسه با تخمیر کربوهیدرات‌ها نسبتاً کم بوده و سهم چربی نیز در تولید گاز اندک است (Getachew *et al.*, 1998; Menke & Steingass, 1988). بنابراین، با وجود مقدار بالاتر پروتئین خام عدسک آبی اما به‌دلیل میزان بالاتر کربوهیدرات‌های غیرفیبری در یونجه گاز بیش‌تری در شرایط آزمایشگاهی تولید شد. از سوی دیگر، کاهش تولید گاز کل و متان، در تیمارهای حاوی عدسک آبی ممکن است علاوه بر میزان کم‌تر کربوهیدرات‌های قابل تخمیر، به‌دلیل وجود ترکیبات فنولی باشد (Zhao *et al.*, 2014) که مانع از فعالیت میکروب‌های تولیدکننده متان در نشخوارکنندگان می‌شوند بطوری که مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از عدسک آبی در جیره نشخوارکنندگان می‌تواند تولید متان را ۱۸-۲۷ درصد کاهش دهد (Hassan *et al.*, 2020). این اثرات ضد متانوژیک عمدتاً ناشی از وجود سه تا هشت درصد تانن‌های متراکم در ماده خشک عدسک آبی است که از طریق مهار آنزیم متیل‌کوآنزیم M ردوکتاز و اختلال در زنجیره انتقال الکترون متانوژن‌ها عمل می‌کنند (Patra & Saxena, 2010). ترکیبات فنولی عصاره این گیاه نیز با تشکیل یون‌های فنولیک موجب تخریب انتخابی غشای سلولی آرکئال‌های متانوژن می‌شوند (Chauychuwong *et al.*, 2013). از سوی دیگر، کاهش ۱۴-۱۸ درصد در کربوهیدرات‌های قابل تخمیر نسبت

به یونجه و افزایش نسبت پروپیونات به استات در کشت‌های در شرایط برون‌تنی با عدسک آبی (Zhao et al., 2014) از دیگر سازوکارهای کاهش متان گزارش شده است. همچنین در گاو شیری، مطالعات مزرعه‌ای نشان داده‌اند که جایگزینی ۳۰ درصد کنسانتره با عدسک آبی موجب کاهش ۱۶ درصدی تولید متان و بهبود هفت درصدی ضریب تبدیل خوراک می‌شود (Dou et al., 2022).

۵. نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که گیاه عدسک آبی با دارا بودن سطوح بالای پروتئین خام و مواد معدنی ضروری مانند کلسیم، فسفر، منیزیم، پتاسیم، مس، روی، آهن و منگنز می‌تواند به عنوان منبع غذایی ارزشمندی در تغذیه دام مورد استفاده قرار گیرد. با وجود پایین‌تر بودن فراسنجه‌های تخمیری نسبت به یونجه، جایگزینی تا سطح ۷۵ درصدی (۲۲/۵ درصد کل جیره) تأثیر معنی‌داری بر بیش‌تر فراسنجه‌های تخمیری نداشت. با این حال، با توجه به توانایی بالای این گیاه در جذب و تجمع فلزات به‌ویژه عناصر سنگین از محیط، انجام مطالعات بیش‌تر در این زمینه و نیز ارزیابی اثرات بلندمدت مصرف آن بر عملکرد و سلامت دام و نیز توسعه روش‌های بهینه کشت و فرآوری آن ضروری به نظر می‌رسد.

۶. ملاحظات اخلاقی

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

۷. مشارکت نویسندگان

محمدحسن حیدری‌فر: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج؛
محمدعلی نوروزیان: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، تهیه مقاله، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله؛
بهزاد خرمی: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. تشکر و قدردانی

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران به‌خاطر حمایت مالی در اجرای پژوهش حاضر، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۱۰. منابع

- AOAC. (1990). Official methods of analysis: Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
 Anderson, K. E., Lowman, Z., Stomp, A. M., & Chang, J. (2011). Duckweed as a feed ingredient in laying hen diets and its effect on egg production and composition. *International Journal of Poultry Science*, 10 (1), 4-7.

- Beuvink, J. W. M., Spoelstra, S. F., & Hogendorp, R. J. (1992). An automated method for measuring time-course of gas production of feedstuffs incubated with buffered rumen fluid. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 40 (4), 401-407.
- Blümmel, M., & Becker, K. (1997). The degradability characteristics of fifty-four roughages and roughage neutral-detergent fibres as described by *in vitro* gas production and their relationship to voluntary feed intake. *British Journal of Nutrition*, 77, 757-768.
- Chakrabarti, R., Clark, W. D., Sharma, J. G., Goswami, R. K., Shrivastav, A. K., & Tocher, D. R. (2018). Mass production of *Lemna minor* and its amino acid and fatty acid profiles. *Frontiers in Chemistry*, 6, 479.
- Chauchuwong, N., Chantorn, S., Ruangwong, P., & Wongnen, C. (2013). Inhibitory effects of plant phenolic compounds on methanogenic archaea and rumen microbial community. *Journal of Applied Microbiology*, 115(2), 511-520.
- Demeyer, D., DeMeulemeester, M., DeGraeve, K., & Gupta, B. W. (1988). Effect of fungal treatment on nutritive value of straw. *Journal of the Medical Faculty of Landbouww, Rijksuniversiteit Gent*, 53, 1811-1819.
- Devlamynck, R., de Souza, M. F., Leenknecht, J., Jacxsens, L., Eeckhout, M., & Meers, E. (2021). *Lemna minor* cultivation for treating swine manure and providing micronutrients for animal feed. *Plants*, 10(6), 1124.
- Dou, Z., Wang, Y., Xu, H., Liu, L., & Liu, J. (2022). Duckweed (*Lemna minor*) supplementation reduces enteric methane emission in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 292, 115424.
- Gulcin, I., Kirecci, E., Akkemik, E., Topal, F., & Hisar, O. (2010). Antioxidant, antibacterial, and anticandidal activities of an aquatic plant: duckweed (*Lemna minor* L. Lemnaceae). *Turkish Journal of Biology*, 34(2), 175-188.
- Getachew, G., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (1998). Tropical browses: contents of phenolic compounds, *in vitro* gas production and stoichiometric relationship between short chain fatty acid and *in vitro* gas production. *The Journal of Agricultural Science*, 139(3), 341-352.
- Goopy, J. P., & Murray, P. J. (2003). A review on the role of duckweed in nutrient reclamation and as a source of animal feed. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 16(2), 297-305.
- Hassan, M. R., Chakraborty, S., Saha, C. K., Alam, M. M., & Khan, M. J. (2020). Nutritional and environmental evaluation of duckweed as sustainable livestock feed. *Journal of Cleaner Production*, 275, 122882.
- Herawati, V. E., Pinandoyo, P., Darmanto, Y. S., Rismaningsih, N., Windarto, S., & Radjasa, O. K. (2020). The effect of fermented duckweed (*Lemna minor*) in feed on growth and nutritional quality of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 21(7).
- Leng, R.A., Stambolie, J.H., Bell, R. (1995). Duckweed - A potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. *World Animal Review*, 84: 90-97.
- Maciejewska-Potapczyk, W., Konopska, L., & Olechnowicz, K. (1975). Protein in *Lemna minor* L. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen*, 167(1): 105-108.
- Makkar, H.P.S. (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.
- Makkar, H.P.S., Blümmel, M., & Becker, K. (1995). Formation of complexes between polyvinyl pyrrolidones or polyethylene glycols and tannins, and their implication in gas production and true digestibility in *in vitro* techniques. *British Journal of Nutrition*, 73(6), 897-913.
- 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.
- Molavian, M., Ghorbani, G. R., Rafiee, H., & Beauchemin, K. A. (2020). Substitution of wheat straw with sugarcane bagasse in low-forage diets fed to mid-lactation dairy cows: Milk production, digestibility, and chewing behavior. *Journal of Dairy Science*, 103(9), 8034-8047.
- Mueller-Harvey, I. (2006). Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(13), 2010-2037.
- National Research Council (NRC). (2005). Mineral Tolerance of Animals (2nd revised ed.). National Academies Press: Washington, DC. ISBN: 978-0-309-54719-5.
- Orskov, E. R., & MacDonald, M. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to the rate of passage. *Journal of Agricultural Science, (Camb)* 92, 499-503.

- Patra, A. K., & Saxena, J. (2010). A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*, 71(11-12), 1198-1222.
- Ritala, A., Häkkinen, S. T., Toivari, M., & Wiebe, M. G. (2017). Single cell protein-state-of-the-art, industrial landscape and patents 2001–2016. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2009. doi: 10.3389/fmicb.2017.02009
- Tanuwiria, U. H., & Mushawwir, A. (2020). Hematological and antioxidants responses of dairy cow fed with a combination of feed and duckweed (*Lemna minor*) as a mixture for improving milk biosynthesis: The effects of feed duckweed. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 21(10).
- Underwood, E. J., & Suttle, N. F. (1999). The mineral nutrition of livestock (3rd ed.). CABI Publishing.
- Van Soest, P. J., 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, 3583-3597.
- Zhao, Y., Fang, Y., Jin, Y., Huang, J., Bao, S., Fu, T., & Zhao, H. (2014). Pilot-scale comparison of four duckweed strains from different genera for potential application in nutrient recovery from wastewater and valuable biomass production. *Plant Biology*, 17, 82-90.