Vol 28, No. 2, Summer 2026

University of Tehran Press

Journal of Animal Production

Online ISSN: 2382-994X

Homepage: https://jap.ut.ac.ir/

The effect of the ratio of whole crop barley to forage pea on fermentation quality and digestibility of whole barley-pea mixed crop silage

Faezeh Khani[1] | Ali Assadi-Alamouti[2]✉ | Behzad Khorrami[3]

1. Department of Animal and Poultry Sciences, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: Khani.faezeh@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Animal and Poultry Sciences, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: a.alamouti@ut.ac.ir
3. Department of Animal and Poultry Sciences, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: bkhorrami@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 22 July 2025
Received in revised form
27 February2026
Accepted 7 March2026
Published online 30 June 2026

Keywords:
In vitro gas production
Mixed silage
Winter-sown forage
Pea (Pisum arvense L.)

ABSTRACT

Objective: Due to increasingly adverse climatic conditions, livestock producers in Iran are experiencing challenges with forage supply. Barley (*Hordeum vulgare*) is a suitable cereal crop for intercropping with forage pea (*Pisum arvense* L.), as it can supply a significant portion of the protein demand for growing livestock and dairy cows with a reasonable protein yield per hectare. Given the benefits of legume-cereal forage intercropping and the national trend toward winter cropping for forage production, the legume-cereal ratio in forage crop mixtures is critical to achieving maximum agronomic performance, water use efficiency, nutritional value, and livestock utilization. Thus, the objective of this study was to evaluate the impact of various proportions of whole-crop barley to forage pea on silage fermentation quality and digestibility.

Methods: Whole crop barley and forage pea were harvested at specific growth stages (early dough stage for barley and mid-flowering to late flowering/early pod formation for forage pea). The experiment comprised four treatments: 1- 100% barley silage, 2- 80% barley+ 20% forage pea silage, 3- 70% barley+ 30% forage pea silage, and 4- 60% barley+ 40% forage pea silage, each with three replicates in a completely randomized design.

Result: Increasing the proportion of forage pea led to a reduction in dry matter and an increase in pH, and significantly increased crude protein and crude ash contents, while not affecting the values of crude fat, acid detergent fiber, neutral detergent fiber, lignin, and acid detergent insoluble nitrogen. Also, increasing the proportion of forage pea significantly elevated the percentage of ammonia nitrogen in the silage. The acetic, propionic, and butyric acid concentrations of all silages were not significantly different and were within the range of well-fermented silages. A mixed silage of 20% forage pea had a higher gas production volume, organic matter digestibility, metabolizable energy, and short-chain fatty acids compared with forage barley ensiled as the sole crop ($P<0.05$).

Conclusions: The results showed that the addition of forage pea to barley silage increased crude protein and reduced fiber, while maintaining the dry matter and water-soluble carbohydrates advantage of barley forage. This method may be an economically viable method in hot climates to enhance feed quality, reduce costs, and be environmentally sustainable. The results of the present study indicated that a 20% inclusion level of forage pea mixed with barley forage is recommended; however, the optimal intercropping ratio of barley-pea forage will be confirmed by further research on the animal performance in conjunction with the results of the agronomic performance of the mixed-crop silages.

Cite this article: Khani, F., Assadi-Alamouti, A., & Khorrami, B. (2026). The effect of the ratio of whole crop barley to forage pea on fermentation quality and digestibility of whole barley-pea mixed crop silage. *Journal of Animal Production*, 28 (2), 167-180. DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2026.399215.623860

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2026.399215.623860

دوره بیست و هشتم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۵

انتشارات دانشگاه تهران

تولیدات دامی

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۲-۹۹۴x

Homepage: https://jap.ut.ac.ir/

تأثیر نسبت علوفه کامل جو به نخود علوفه‌ای بر کیفیت تخمیر و قابلیت هضم سیلوی مخلوط علوفه جو–نخود

فائزه خانی[۱] | علی اسدی الموتی[۲]✉ | بهزاد خرمی[۳]

۱. گروه علوم دام و طیور، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: khani.faezeh@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دام و طیور، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: a.alamouti@ut.ac.ir

۳. گروه علوم دام و طیور، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: bkhorrami@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۳۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۹

کلیدواژه‌ها:
تولید گاز برون‌تنی
سیلاژ مخلوط
علوفه زمستان‌کاشت
نخود علوفه‌ای

چکیده

هدف: با توجه به تغییرات اقلیمی، پرورش‌دهندگان دام در کشور هر ساله در زمینه تأمین علوفه دام با چالش بیش‌تری مواجه خواهند بود. کشت مخلوط علوفه جو با نخود علوفه‌ای با عملکرد پروتئینی قابل‌قبول در هکتار می‌تواند بخش مهمی از نیاز پروتئینی دام‌های در حال رشد و گاوهای شیرده را تأمین نماید. با توجه به مزایای کشت مخلوط لگوم–غلات علوفه‌ای و شدن متداول‌شدن استفاده از روش زمستان‌کاری برای تأمین علوفه در کشور به‌ویژه منطقه ورامین، به‌نظر می‌رسد برای بهره گیری از بیش‌ترین عملکرد زراعی، بازده مصرف آب، ارزش تغذیه‌ای و قابلیت مصرف در دام، ابتدا باید نسبت بهینه لگوم–غله را در علوفه‌های کشت‌شده تعیین و این نسبت را در مراحل مختلف بلوغ گیاه مطالعه کرد. بنابراین، هدف از انجام این آزمایش مطالعه اثر مخلوط علوفه کامل جو با نخود علوفه‌ای با نسبت‌های مختلف بر کیفیت سیلوشدن و قابلیت هضم سیلاژ تولید شده است.

روش پژوهش: علوفه جو و نخود در یک مرحله از رشد (مرحله خمیری نرم برای جو و اواخر گلدهی– اوایل تشکیل غلاف برای نخود علوفه‌ای) برداشت شدند. آزمایش شامل چهار تیمار ۱– سیلاژ ۱۰۰ درصد علوفه جو، ۲– سیلاژ ۸۰ درصد علوفه جو و ۲۰ درصد نخود علوفه‌ای، ۳– سیلاژ ۷۰ درصد علوفه جو و ۳۰ درصد نخود علوفه‌ای و ۴– سیلاژ ۶۰ درصد علوفه جو و ۴۰ درصد نخود علوفه‌ای و در سه تکرار به‌صورت طرح کاملاً تصادفی بود.

یافته‌ها: با افزایش نسبت نخود علوفه‌ای، ماده خشک کاهش و pH افزایش یافت. هم‌چنین با اضافه‌شدن نخود علوفه‌ای در مخلوط، محتوای پروتئین خام و خاکستر خام تمایل به افزایش معنی‌دار داشت. با این وجود، مقدار چربی خام، ADF وNDF، لیگنین و نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی، تحت تأثیر نسبت علوفه قرار نگرفت. هم‌چنین با افزایش نسبت نخود علوفه‌ای، درصد نیتروژن آمونیاکی سیلاژ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در بین سیلاژها از نظر اسیدهای استیک، پروپیونیک و بوتیریک تفاوتی مشاهده نشد و مقادیر این اسیدهای چرب فرّار در تمامی سیلاژها در محدوده سیلاژهایی با کیفیت تخمیر مطلوب قرار داشت. سیلاژ مخلوط حاوی ۲۰ درصد نخود، حجم گاز تولیدی، قابلیت هضم ماده آلی، انرژی قابل‌متابولیسم و اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر بالاتری نسبت به سیلاژ جو به‌تنهایی داشت ($P<0/05$).

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، نتایج نشان دادند مزایای استفاده از نخود علوفه‌ای به‌منظور بهبود ارزش تغذیه‌ای سیلاژ مخلوط با علف جو، از جمله افزایش پروتئین خام و کاهش محتوای الیاف ساختمانی، در کنار ویژگی‌های علوفه جو نظیر ماده خشک و قند محلول بالاتر می‌تواند به‌عنوان یک راه‌کار اقتصادی در اقلیم‌های گرم، منجر به بهبود کیفیت تغذیه، کاهش هزینه‌ها و حفظ محیط زیست گردد. نتایج این آزمایش، سطح ۲۰ درصد نخود علوفه‌ای را برای اختلاط با علف جو پیشنهاد می‌کند، با این‌حال، نتایج آزمایش عملکردی روی دام در کنار نتایج حاصل از عملکرد زراعی مخلوط این دو علوفه به یافتن سطح مطلوب اختلاط این دو علف در شرایط مزرعه‌ای کمک خواهد کرد.

استناد: خانی، فائزه؛ اسدی الموتی، علی و خرمی، بهزاد (۱۴۰۵). تأثیر نسبت علوفه کامل جو به نخود علوفه‌ای بر کیفیت تخمیر و قابلیت هضم سیلوی مخلوط علوفه جو–نخود. *نشریه تولیدات دامی*، ۲۸ (۲)، ۱۶۷–۱۸۰. DOI: https://doi.org/10.22059/jap.2026.399215.623860

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

علوفه یکی از اقلام مهم تشکیل‌دهنده جیره نشخوارکنندگان می‌باشد که به اشکال گوناگون همچون علوفه تازه، خشک‌شده، سیلاژ و هایلاژ به مصرف دام می‌رسد. به‌دلیل اتلاف در مواد مغذی طی خشک‌کردن و فساد و کپک‌زدگی که طی نگهداری علوفه به شکل تازه رخ می‌دهد، از سیلوکردن جهت نگهداری و استفاده از آن در فصولی که آن محصول وجود ندارد، استفاده می‌شود. با توجه به تغییرات نامساعد اقلیمی، پرورش‌دهندگان دام در کشور، هر ساله در زمینه تأمین علوفه برای دام‌ها با چالش بیش‌تری مواجه خواهند بود. غلات زمستانه برای مقابله با این موانع، جایگزین مهمی هستند. علاوه بر استفاده به‌عنوان غله، می‌توان علوفه غلات را به‌صورت علوفه کامل در مراحل برداشت شیری–خمیری، سیلو نمود. مهم‌ترین علوفه برای سیلوکردن پس از غلات، لگوم‌ها هستند. سیلوی لگوم‌ها به‌صورت گیاه کامل، علاوه بر این که یک منبع پروتئین و نشاسته برای دام فراهم کرده و می‌تواند باعث کاهش نیاز به خرید کنسانتره شود، غنی از فسفر، کلسیم، ویتامین‌ها به‌ویژه ویتامین‌های A و D می‌باشند (Blagojević *et al*., 2017).

برداشت علوفه جو برای تهیه سیلاژ چند سالی است که در کشور به‌عنوان یک راه‌کار تأمین علوفه از طریق زمستان‌کاری مورد استقبال قرار گرفته و سازگار با شرایط اقلیمی به‌ویژه در منطقه ورامین می‌باشد. کشت مخلوط علوفه جو با نخود علوفه‌ای با عملکرد پروتئینی قابل‌قبول در هکتار می‌تواند بخش مهمی از نیاز پروتئینی دام‌های در حال رشد و گاوهای شیرده را تأمین نماید. با توجه به مزایای کشت مخلوط لگوم–غلات علوفه‌ای و شدن متداول‌شدن استفاده از روش زمستان‌کاری برای تأمین علوفه، به‌نظر می‌رسد برای بهره‌گیری از بیش‌ترین عملکرد زراعی، بازده مصرف آب، ارزش تغذیه‌ای و قابلیت مصرف در دام، ابتدا باید نسبت بهینه لگوم–غله را در علوفه کشت شود. بنابراین هدف از انجام این پژوهش، تعیین اثر مخلوط علوفه کامل جو با نخود علوفه‌ای با نسبت‌های مختلف بر کیفیت سیلوشدن و قابلیت هضم سیلاژ تولید شده بود.

۲. پیشینهٔ پژوهش

علوفه نقش مهمی در تأمین انرژی و پروتئین برای دام‌ها بر عهده دارند. در سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی مانند کاهش بارندگی و خشک‌سالی‌های طولانی، منجر به کاهش تولید و کیفیت ذرت شده است. از طرف دیگر، تقاضای روزافزون آب برای فعالیت‌های غیرکشاورزی مانند مصارف شهری، استفاده از آب در بخش کشاورزی را تحت فشار فزاینده‌ای قرار داده است. در نتیجه، برای تأمین نیازهای صنعت گاو شیری، به منابع خوراکی جایگزین یا مکمل ذرت سیلوشده نیاز است. در این میان، کشت غلات زمستانه نظیر گندم، جو و تریتیکاله به میزان آب کم‌تری احتیاج داشته و از طرف دیگر، علوفه جو نسبت به خشک‌سالی مقاوم‌تر است، زیرا در فصلی رشد می‌کند که بارندگی همچنان زیاد است (Migliorati *et al*., 2017). سیلاژ گیاه کامل غلات دانه‌ریز منبع علوفه‌ای خوش‌خوراک، پر انرژی و قابل‌هضمی برای نشخوارکنندگان است و می‌تواند مصرف ماده خشک را در دام افزایش دهد. به این دلایل، تمایل برای تولید و استفاده از سیلاژ غلات دانه‌ریز به‌عنوان منبع علوفه، در سراسر جهان در حال افزایش است. در مرحله بلوغ یکسان جو، یولاف و تریتیکاله، علوفه جو بالاترین کیفیت را دارد. جو بالاترین قابلیت هضم و کم‌ترین میزان دیواره سلولی (NDF)، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) و لیگنین را نسبت به سایر غلات دانه ریز داراست. ماده خشک مناسب توصیه‌شده برای سیلوکردن علوفه جو ۳۰ تا ۴۰ درصد و گاهی مواقع ۴۵ درصد بیان شده است (Smith *et al*., 2018).

در مقایسه با ذرت، جو دارای میزان پروتئین خام و ADF بالاتری است که باعث کاهش هزینه استفاده از مکمل‌های پروتئینی در جیره دام می‌گردد. علاوه بر این، درصد چربی شیر نیز تحت تأثیر محتوای الیاف جیره قرار می‌گیرد. در

گاوهایی که با سیلاژ جو تغذیه شدند، در مقایسه با آن‌هایی که سیلاژ ذرت مصرف کرده بودند، چربی شیر به‌ازای هر واحد افزایش در محتوای پروتئین خام و ADF، به‌ترتیب ۰/۰۷۲ و ۰/۰۶۷ واحد افزایش یافت (Khorasani *et al*., 1993). Migliorati و همکاران (۲۰۱۷) نتیجه گرفتند که با درنظرگرفتن تفاوت‌های ذاتی از نظر محتوای پروتئین و نشاسته، سیلاژ جو می‌تواند به گونه‌ای ایمن و بدون مشکل، جایگزین سیلاژ ذرت در جیره گاوهای شیری شود.

برخلاف علوفه غلات دانه‌ریز، سیلوکردن لگوم‌ها به‌دلیل ماده خشک پایین، میزان کم کربوهیدرات محلول در آب و ظرفیت بافری بالای آن‌ها دشوار است، زیرا کلستریدیا در سیلاژ غالب شده که می‌تواند باعث تولید سیلاژ بوتیریکی شود. با این وجود، لگوم‌ها به‌دلیل داشتن مقادیر قابل‌توجه پروتئین خام گزینه مناسبی برای ترکیب با غلات دانه‌ریز برای تهیه سیلاژ هستند. گیاه کامل جو در مقایسه با گندم و تریتیکاله، پروتئین خام به مراتب کم‌تری دارد. برای بهبود این نقیصه، می‌توان از سیلاژ مخلوط جو با گیاهان لگومینه برای افزایش غلظت پروتئین استفاده کرد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که سیلاژ مخلوط علوفه نخود و غلات زمستانه محتوای پروتئین خام بالاتری نسبت به سیلاژ غلات دارند. به‌علاوه، سیلاژ مخلوط گندم و حبوبات کیفیت تخمیر بالاتری نسبت به سیلاژ حبوبات و گندم به‌تنهایی داشت. نشان داده شده است مصرف خوراک نشخوارکنندگان در جیره مخلوط علوفه غلات–لگومینه بیش‌تر از جیره‌هایی براساس علوفه غلات یا لگومینه به‌تنهایی بود (Huhtanen *et al*., 2007).

نخود علوفه‌ای[1] یک گیاه لگومی یکساله است که به‌عنوان علوفه برای خوراک دام یا به‌عنوان دانه برای غذای انسان کشت می‌شود. نخود علوفه‌ای می‌تواند علوفه باکیفیتی تولید کند که حدود ۱۵ الی ۲۰ درصد پروتئین خام و ۷۰ تا ۸۰ درصد قابلیت هضم (Uzun *et al*., 2005) داشته باشد. این ویژگی‌ها سبب می‌شود تا نخود علوفه‌ای به‌عنوان یکی از بهترین مواد خوراکی برای استفاده در تغذیه دام شناخته شود. در پژوهشی نشان داده شد که سیلاژ مخلوط گیاهان لگومینه با ذرت علوفه‌ای می‌تواند سبب بهبود کیفیت سیلاژ شده و هزینه تولید سیلاژی با کیفیت بالا را کاهش دهد. Meng و همکاران (۲۰۲۲) نتیجه گرفتند که سیلاژ مخلوط غلات–لگومینه در مقایسه با سیلاژ هر یک از آن‌ها به‌تنهایی، محتوای ماده خشک، پروتئین خام و اسیدلاکتیک بالاتر و میزان NDF، pH و اسیدهای استیک، پروپیونیک و بوتیریک کم‌تری داشت. از طرف دیگر، در سیلاژ مخلوط، جمعیت باکتری‌های جنس لاکتوباسیل و باکتری‌های مضر مانند کلستریدیوم به‌ترتیب، بیش‌تر و کم‌تر از سیلاژ لگومینه به‌تنهایی بود. به‌طور مشابه، سیلاژ مخلوط باقلا با گندم یا یولاف، اثرات قابل‌توجهی بر ترکیب شیمیایی و کیفیت تخمیر داشت و سبب بهبود خصوصیات تخمیر سیلاژ شد (Li *et al*., 2022). گاوهای پرواری تغذیه‌شده با سیلاژ غلات–لگومینه افزایش وزن روزانه بالاتری و ضریب تبدیل بهتری از مصرف جداگانه آن دو غله داشتند (Wawrzyńczak *et al*., 1996). از طرف دیگر، مشخص شده است که ارزش انرژی سیلاژ غلات–لگومینه مشابه سیلاژ ذرتی است که در مرحله شیری–خمیری دانه‌ها برداشت شده است (Ostrowski & Daczewska, 1993). با این‌حال، مطالعات محدودی در زمینه تهیه سیلاژ نخود علوفه‌ای و هم‌چنین نسبت بهینه آن در حالت مخلوط با علف جو انجام گرفته است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

به‌منظور انجام طرح، ۲۴ ظرف مینی سیلو با گنجایش ۱۰ لیتر از جنس پلاستیک تهیه شد. هر سیلو به‌منظور جمع آوری پساب، مجهز به یک شیر خروجی بود. برای جلوگیری از مسدودشدن محل خروجی پساب، در قسمت تحتانی هر سیلو، تا ارتفاعی بالاتر از محل قرارگیری شیر تخلیه، سنگ ریخته شده و روی آن با پارچه پوشانده شد. طبق اهداف طرح

1. *Pisum arvense*

علوفه جو و نخود از یک مزرعه واحد با شرایط زراعی کنترل شده برداشت شدند. علوفه جو در مرحله خمیری نرم و علوفه نخود در مرحله اواخر گلدهی و اوایل تشکیل غلاف برداشت شدند. نمونه‌برداری از علوفه در مزرعه با استفاده از پلات‌اندازی (به ابعاد ۱×۱ متر) در حداقل سه نقطه صورت گرفت. سیلوها به‌صورت یک طرح کاملاً تصادفی در چهار تیمار شامل ۱) سیلاژ ۱۰۰ درصد علوفه جو ۲) سیلاژ ۸۰ درصد علوفه جو و ۲۰ درصد نخود علوفه‌ای ۳) سیلاژ ۷۰ درصد علوفه جو و ۳۰ درصد نخود علوفه‌ای ۴) سیلاژ ۶۰ درصد علوفه جو و ۴۰ درصد نخود علوفه‌ای، هر کدام در سه تکرار پر شدند. علوفه هر تیمار به‌صورت لایه‌لایه در ظرف ریخته و با استفاده از یک وزنه چوبی فشرده شد. روی هر ظرف، اطلاعات مربوطه شامل وزن علوفه، تاریخ سیلوسازی و شماره مرحله برداشت، تیمار و تکرار یادداشت شد. بعد از سپری‌شدن ۶۰ روز پس از سیلوشدن، درب سیلوها باز و از آن‌ها نمونه‌گیری انجام شد و آنالیزهای مربوطه صورت گرفتند.

برای اندازه‌گیری pH، ۱۰ گرم نمونه تازه در بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری توزین و ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. به اندازه ۱۵ دقیقه به محتویات بشرها زمان داده شد. سپس محلول حاصل به ظروف دیگری منتقل و pH آن با استفاده از pHمتر دیجیتال (مدل ۸۲۷ Metrohm swiss) مشخص شد.

اندازه‌گیری ماده خشک، خاکستر خام، پروتئین خام و چربی خام، طبق روش‌های توصیه‌شده استاندارد آزمایشگاهی AOAC (۱۹۹۰)، NDF و ADF از روش Van Soest و همکاران (۱۹۹۱) انجام گرفت. برای اندازه‌گیری نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی، در ابتدا ADF اندازه‌گیری شد. سپس میزان نیتروژن مانده در ADF با استفاده از روش کجلدال تعیین گردید.

برای اندازه‌گیری لیگنین نامحلول در شوینده اسیدی نیز در ابتدا میزان ADF با استفاده از روش Van Soest و همکاران (۱۹۹۱) اندازه‌گیری شد. در ادامه میزان لیگنین نامحلول در شوینده اسیدی با استفاده از روش ارائه‌شده AOAC (۱۹۹۰) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری نیتروژن آمونیاکی با روش فنول–هیپوکلریت (Broderick & Kang, 1980) و کربوهیدرات‌های محلول در آب از روش آنترون (Alberto, 2008) انجام گرفت.

غلظت اسیدهای چرب فرّار با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی (unicam 4600؛ ساخت کشور انگلستان) با استفاده از یک ستون کروماتوگرافی ۱۰ متری با قطر ۰/۳۵ میلی‌متر تعیین شد. گاز حامل هلیوم و جریان آن یک میلی‌لیتر بر دقیقه تنظیم شد. دمای ستون با زمان ماندگاری یک دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد شروع شده و با سرعت ۳۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه به دمای ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد رسید. دمای آشکارساز نیز ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد بود.

اندازه‌گیری تولید گاز با استفاده از روش Menke و همکاران (۱۹۷۹) انجام شد و حجم گاز تولیدی از تخمیر در زمان‌های دو، چهار، هشت، ۱۲، ۲۴، ۳۰ و ۴۸ ساعت اندازه‌گیری شد و قابلیت هضم ماده آلی، انرژی قابل‌متابولیسم (Menke *et al*., 1979) و میزان اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر (Getachew *et al*., 2002) نمونه‌ها با استفاده از حجم گاز تولیدی براساس ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک در طول ۲۴ ساعت به‌ترتیب با استفاده از روابط (۱)، (۲) و (۳) برآورد شد.

رابطه ۱) $$OMD\ (\%)=۱۴/۸۸+\left(۰/۸۸۹ \times GP_{۲۴}\right)+\left(۰/۴۴۸ \times CP\right)+\left(۰/۶۵۱ \times Ash\right)$$

رابطه ۲) $$ME\ (MJ/kgDM)=۲/۲۰+\left(۰/۱۳۶ \times GP_{۲۴}\right)+\left(۰/۰۵۷ \times CP\right)+(۰/۰۰۲۹ \times EE^{2})$$

رابطه ۳) $$SCFA\ (mmol/\ ۲۰۰mg\ DM)=\left(۰/۰۲۲۲ \times GP_{24}\right)-۰/۰۰۴۲۵$$

که در این رابطه‌ها، OMD، قابلیت هضم ماده آلی (درصد)؛ ME، انرژی قابل‌متابولیسم (مگاژول در کیلوگرم ماده خشک)؛ SCFA، اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر (میلی‌مول در ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)؛ GP_{24}، حجم گاز تولیدی ۲۴ ساعت (میلی‌لیتر به‌ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)؛ CP، پروتئین خام (درصد)؛ Ash، خاکستر خام (درصد) و EE، چربی خام (درصد) می‌باشد.

داده‌های به‌دست‌آمده در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار R (ورژن 4.2.2) برای مدل (۴) تجزیه و

میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی و در سطح احتمال ۰/۰۵ مقایسه شدند. مقادیر *p-value* کم‌تر از ۰/۰۵ به‌عنوان معنی‌داری و بین ۰/۰۵ و ۰/۱ به‌عنوان تمایل به معنی‌داری در نظر گرفته شد.

رابطه ۴) $Y_{ijk} = \mu + T_i + e_{ij}$

که در این رابطه، Y_{ijk}، مشاهده موردبررسی؛ μ، میانگین کل؛ T_i، اثر تیمار و e_{ij}، اثر خطای آزمایشی می‌باشد.

۴. یافته‌های پژوهش

تأثیر نسبت علوفه بر ترکیب شیمیایی چهار تیمار علوفه‌ای مورداستفاده برای سیلوکردن در جدول (۱) آورده شده است. تأثیر نسبت علوفه بر ماده خشک علوفه معنی‌دار بود. علوفه جو نسبت به مخلوط علوفه‌ای بالاترین میزان ماده خشک را داشت؛ با این‌حال، بین مخلوط‌های علوفه‌ای از نظر محتوای ماده خشک، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. به‌طور کلی، اضافه‌شدن نخود سبب کاهش ماده خشک شد. علوفه مخلوط جو–نخود، میزان pH کم‌تری نسبت به علوفه ۱۰۰ درصد جو داشتند (P<۰/۰۵). با افزایش نسبت نخود، محتوای پروتئین خام مخلوط‌های علوفه‌ای افزایشی بود، به‌نحوی‌که کم‌ترین و بیش‌ترین میزان پروتئین خام به‌ترتیب مربوط به تیمار ۱۰۰:۰ و ۶۰:۴۰ بود.

تأثیر نسبت علوفه بر محتوای خاکستر خام، چربی خام، ADF، لیگنین نامحلول در شوینده اسیدی و نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی معنی‌دار نبود. با اضافه‌شدن نخود به مخلوط علوفه‌ای محتوای NDF کاهش یافت به‌نحوی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان NDF به‌ترتیب متعلق به علوفه ۱۰۰ درصد جو (۵۴/۲ درصد) و علوفه ۶۰:۴۰ (۴۹/۱ درصد) بود.

بین علوفه ۸۰:۲۰ و ۶۰:۴۰ از نظر محتوای کربوهیدرات محلول در آب تفاوت وجود داشت به‌صورتی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کربوهیدرات محلول در آب مربوط به علوفه ۸۰:۲۰ و علوفه ۶۰:۴۰ بود. با این‌حال، بین سایر تیمارهای علوفه‌ای از این نظر تفاوت معنی‌دار وجود نداشت.

جدول ۱. تأثیر نسبت علوفه بر ترکیب شیمیایی مخلوط علف جو–نخود علوفه‌ای

صفت موردبررسی	تیمار[1]				SEM[2]	p-value
	۱۰۰:۰	۸۰:۲۰	۷۰:۳۰	٦۰:٤۰		
ماده خشک (درصد ماده تر)	۳۱/۱^{a}	۲۸/۴^{b}	۲۹/۴^{ab}	۲۸/۷^{b}	۰/۶۹	۰/۰۱
pH	۵/۹۹^{a}	۵/۹۳^{ab}	۵/۸۶^{c}	۵/۸۷^{bc}	۰/۰۱	<۰/۰۱
پروتئین خام (درصد از ماده خشک)	۱۱/۶^{b}	۱۲/۲^{ab}	۱۲/۸^{ab}	۱۳/۲^{a}	۰/۴۴	۰/۰۳
خاکستر خام (درصد از ماده خشک)	۸/۵	۸/۲	۸/۱	۸	۰/۲۳	۰/۲۶
چربی خام (درصد از ماده خشک)	۲/۲	۲/۳	۲/۵	۱/۹	۰/۳۱	۰/۳۶
الیاف نامحلول در شوینده خنثی (درصد از ماده خشک)	۵۴/۲^{a}	۵۱/۰^{b}	۵۱/۳^{ab}	۴۹/۱^{b}	۰/۹۷	<۰/۰۱
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (درصد از ماده خشک)	۳۱/۰	۲۹/۵	۲۹/۴	۲۹/۰	۱/۸۰	۰/۶۳
لیگنین نامحلول در شوینده اسیدی (درصد از ماده خشک)	۵/۱	۳/۹	۳/۹	۳/۸	۱/۱۳	۰/۴۹
نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی (درصد از ماده خشک)	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۰۴	۰/۲۲
کربوهیدرات محلول در آب (درصد از ماده خشک)	۸/۷^{ab}	۹/۴^{a}	۸/۸^{ab}	۸/۵^{b}	۰/۲۴	۰/۰۴

۱. نسبت‌های علوفه شامل ۱– ۱۰۰ درصد علوفه جو، ۲– ۸۰ درصد علوفه جو و ۲۰ درصد نخود علوفه‌ای، ۳– ۷۰ درصد علوفه جو و ۳۰ درصد نخود علوفه‌ای و ۴– ۶۰ درصد علوفه جو و ۴۰ درصد نخود علوفه‌ای.

a, b: تفاوت میانگین‌ها در هر ردیف با حروف نامشابه معنی‌دار است (P<۰/۰۵).

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

محتوای ماده خشک سیلاژ تحت تأثیر نسبت علوفه قرار گرفت (P<۰/۰۵) و بین تیمارها نیز از این نظر تفاوت وجود داشت (جدول ۲، P<۰/۰۵). به‌طور کلی، ماده خشک سیلاژ ۱۰۰:۰۰ نسبت به سایر تیمارها بیش‌تر بود و با اضافه‌شدن

نخود، میزان ماده خشک سیلاژ کاهش یافت. کم‌ترین میزان ماده خشک نیز مربوط به تیمار ۶۰:۴۰ بود که بیش‌ترین نسبت نخود را داشت. میزان pH تحت تأثیر نسبت علوفه قرار گرفت (P<۰/۰۵). تیمار ۶۰:۴۰ با سایر تیمارها از نظر میزان pH تفاوت داشت (P<۰/۰۵)، با این‌حال، سایر تیمارها با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. به‌طور کلی، با اضافه‌شدن و افزایش نسبت نخود در مخلوط‌های علوفه‌ای، میزان pH افزایش یافت، به‌نحوی‌که تیمار ۶۰:۴۰ بیش‌ترین pH را داشت. کم‌ترین میزان pH نیز مربوط به تیمار ۱۰۰:۰۰ علوفه جو بود.

جدول ۲. تأثیر نسبت علوفه بر ترکیب شیمیایی و خصوصیات تخمیری سیلاژ مخلوط جو-نخود علوفه‌ای

صفت موردبررسی	تیمار[1]				SEM[2]	p-value
	۱۰۰:۰	۸۰:۲۰	۷۰:۳۰	٦٠:٤٠		
ماده خشک (درصد ماده تر)	۳۳/۰^{a}	۳۰/۰^{b}	۳۰/۴^{b}	۲۶/۹^{c}	۰/۶۸	<۰/۰۰۱
pH	۴/۲۵^{a}	۴/۳۸^{a}	۴/۴۲^{a}	۴/۴۴^{b}	۰/۰۴	<۰/۰۱
پروتئین خام (درصد از ماده خشک)	۱۱/۱	۱۴/۶	۱۳/۷	۱۴/۲	۱/۵۷	۰/۰۷
خاکستر خام (درصد از ماده خشک)	۸/۰	۸/۲	۸/۳	۸/۵	۰/۱۶	۰/۰۷
چربی خام (درصد از ماده خشک)	۲/۰	۲/۴	۲/۸	۲/۸	۰/۵۱	۰/۳۶
الیاف نامحلول در شوینده خنثی (درصد از ماده خشک)	۴۹/۳	۴۸/۷	۴۸/۲	۴۶/۲	۲/۸۷	۰/۶۷
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (درصد از ماده خشک)	۲۸/۲	۳۰/۳	۳۰/۰	۲۹/۷	۱/۶۸	۰/۶۴
لیگنین نامحلول در شوینده اسیدی (درصد از ماده خشک)	۴/۵	۵/۹	۶/۴	۶/۵	۱/۳۱	۰/۵۹
نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی (درصد از ماده خشک)	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۰۲	۰/۱۹
نیتروژن آمونیاکی (درصد از ماده خشک)	۰/۱۲^{c}	۰/۱۷^{bc}	۰/۱۸^{ab}	۰/۲۳^{a}	۰/۰۱	<۰/۰۱
نیتروژن آمونیاکی (درصد از نیتروژن کل)	۶/۹	۷/۳	۸/۳	۹/۹	۰/۹۹	۰/۰۹
کربوهیدرات محلول در آب (درصد از ماده خشک)	۱/۹	۱/۵	۱/۳	۱/۸	۰/۵۵	۰/۷۵
اسیدهای چرب فرّار (درصد از ماده خشک)						
اسیداستیک (درصد از ماده خشک)	۱/۲۸	۱/۳۶	۱/۱۰	۱/۶۰	۰/۲۴	۰/۲۳
اسیدپروپیونیک (درصد از ماده خشک)	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۸۶
اسیدبوتیریک (درصد از ماده خشک)	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۷۹

۱. نسبت‌های علوفه شامل ۱- ۱۰۰ درصد علوفه جو، ۲- ۸۰ درصد علوفه جو و ۲۰ درصد نخود علوفه‌ای، ۳- ۷۰ درصد علوفه جو و ۳۰ درصد نخود علوفه‌ای و ۴- ۶۰ درصد علوفه جو و ۴۰ درصد نخود علوفه‌ای.

a,b تفاوت میانگین‌ها در هر ردیف با حروف نامشابه معنی‌دار است (P<۰/۰۵).

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

تأثیر نسبت علوفه بر محتوای پروتئین خام و خاکستر خام سیلاژها، تمایل به معنی‌داری داشت. با اضافه‌شدن نخود، محتوای پروتئین خام و خاکستر خام، افزایش یافت. محتوای چربی خام، ADF و NDF، لیگنین نامحلول در شوینده اسیدی و نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی، تحت تأثیر نسبت علوفه قرار نگرفت. تأثیر نسبت علوفه بر میزان نیتروژن آمونیاکی به‌عنوان درصدی از ماده خشک معنی‌دار بود. بین تیمارها نیز از این نظر تفاوت معنی‌دار وجود داشت. با اضافه‌شدن و افزایش نسبت نخود محتوای نیتروژن آمونیاکی افزایش یافت. به‌نحوی‌که کم‌ترین و بیش‌ترین میزان نیتروژن آمونیاکی به‌ترتیب مربوط به تیمار ۱۰۰:۰ و تیمار ۶۰:۴۰ بود. تأثیر نسبت علوفه بر محتوای نیتروژن آمونیاکی به‌عنوان درصدی از نیتروژن کل نیز تمایل به معنی‌دارشدن داشت و با اضافه‌شدن و افزایش نسبت نخود در سیلاژ افزایش یافت. محتوای وهیدرات محلول در آب و هم‌چنین اسیدهای چرب فرّار (شامل استیک‌اسید، پروپیونیک‌اسید و بوتیریک‌اسید) تحت تأثیر نسبت علوفه قرار نگرفت.

اثر نسبت علوفه بر حجم گاز تولیدی به‌روش برون‌تنی و فراسنجه‌های تغذیه‌ای برآورد شده براساس گاز تولیدی ۲۴ ساعت حاصل از تخمیر سیلاژهای مخلوط جو-نخود علوفه‌ای در جدول (۳) آورده شده است. تأثیر نسبت علوفه بر حجم

گاز تولیدی در تمام ساعات انکوباسیون معنی‌دار بود. در دو، چهار و ۲۴ ساعت پس از انکوباسیون بین تیمارهای حاوی نخود از نظر حجم گاز تولیدی تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. در ساعات دو و چهار بین تیمارهای ۱۰۰:۰ و ۶۰:۴۰ از نظر تولید گاز تفاوت وجود داشت (P<۰/۰۵)، اما بین این تیمارها با سایر تیمارها تفاوتی وجود نداشت؛ بیش‌ترین و کم‌ترین حجم گاز تولیدی نیز به‌ترتیب مربوط به سیلاژهای ۶۰:۴۰ و ۱۰۰:۰ بود. در ساعت هشت بین تیمارهای ۷۰:۳۰ و ۶۰:۴۰ تفاوت وجود داشت و سیلاژ ۶۰:۴۰ بیش‌ترین حجم گاز را تولید کرد. در ۱۲ ساعت پس از انکوباسیون بین تیمارها ۸۰:۲۰ و ۶۰:۴۰ با تیمار ۷۰:۳۰ تفاوت معنی‌دار وجود داشت، اما بین این تیمارها با سایر تیمارها تفاوتی وجود نداشت. در ساعت ۲۴ بین تیمارهای ۱۰۰:۰ و ۸۰:۲۰ تفاوت وجود داشت و بیش‌ترین حجم گاز تولیدی مربوط به تیمار ۸۰:۲۰ بود. در ۳۰ ساعت پس از انکوباسیون، بین تیمارهای ۸۰:۲۰ و ۷۰:۳۰ و هم‌چنین بین تیمارهای ۱۰۰:۰ و ۶۰:۴۰ تفاوتی از نظر حجم گاز تولیدی وجود نداشت. در ساعت ۴۸ پس از انکوباسیون، تیمار ۷۰:۳۰ با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار داشت به‌نحوی‌که بیش‌ترین حجم گاز تولیدی را دارا بود.

جدول ۳. تأثیر نسبت علوفه بر روند تولید گاز و فراسنجه‌های تغذیه‌ای حاصل از تخمیر آزمایشگاهی سیلاژ مخلوط جو–نخود علوفه‌ای (میلی‌لیتر در ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)

صفت موردبررسی	تیمار[1]				SEM[2]	p-value
	۱۰۰:۰	۸۰:۲۰	۷۰:۳۰	٦٠:٤٠		
زمان انکوباسیون (ساعت)						
۲	۵/۳^{b}	۶/۳^{ab}	۶/۰^{ab}	۷/۰^{a}	۰/۲۹	<۰/۰۱
۴	۱۱/۳^{b}	۱۲/۷^{ab}	۱۲/۰^{ab}	۱۳/۵^{a}	۰/۶۰	۰/۰۵
۸	۲۰/۰^{ab}	۲۲/۰^{ab}	۱۸/۸^{b}	۲۳/۰^{a}	۱/۰۴	۰/۰۲
۱۲	۲۶/۷^{ab}	۲۹/۷^{a}	۲۴/۳^{b}	۲۹/۵^{a}	۱/۰۴	<۰/۰۱
۲۴	۳۷/۲^{b}	۴۱/۰^{a}	۳۷/۷^{ab}	۳۷/۷^{ab}	۰/۹۳	۰/۰۲
۳۰	۴۴/۳^{b}	۴۷/۷^{a}	۴۷/۳^{a}	۴۳/۳^{b}	۱/۰۹	<۰/۰۱
۴۸	۵۲/۲^{b}	۵۲/۸^{b}	۵۵/۸^{a}	۵۳/۳^{b}	۰/۶۷	<۰/۰۱
قابلیت هضم ماده آلی (درصد ماده خشک)	۵۸/۱^{b}	۶۳/۲^{a}	۵۹/۹^{ab}	۶۰/۲^{ab}	۱/۲۵	۰/۰۲
انرژی قابل‌متابولیسم (مگاژول/کیلوگرم ماده خشک)	۷/۹۳^{b}	۸/۶۳^{a}	۸/۱۳^{ab}	۸/۱۷^{ab}	۰/۱۵	۰/۰۳
اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر (میلی‌مول/ ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)	۰/۸۲^{b}	۰/۹۱^{a}	۰/۸۳^{ab}	۰/۸۳^{ab}	۰/۰۲	۰/۰۳

۱. نسبت‌های علوفه شامل ۱– ۱۰۰ درصد علوفه جو، ۲– ۸۰ درصد علوفه جو و ۲۰ درصد نخود علوفه‌ای، ۳– ۷۰ درصد علوفه جو و ۳۰ درصد نخود علوفه‌ای و ۴– ۶۰ درصد علوفه جو و ۴۰ درصد نخود علوفه‌ای.

a,b: تفاوت میانگین‌ها در هر ردیف با حروف نامشابه معنی‌دار است (P<۰/۰۵).

SEM: خطای استاندارد میانگین‌ها.

فراسنجه‌های تغذیه‌ای برآوردشده براساس حجم گاز تولیدشده ۲۴ ساعت، تحت تأثیر نسبت علوفه قرار گرفت (P<۰/۰۵). تیمار ۸۰:۲۰ با تیمار ۱۰۰:۰ از نظر فراسنجه‌های تغذیه‌ای برآوردشده تفاوت معنی‌دار داشت، اما بین این تیمارها با سایر تیمارها تفاوتی وجود نداشت، به‌نحوی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان قابلیت هضم ماده آلی، انرژی قابل‌متابولیسم و اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر به‌ترتیب مربوط به تیمارهای ۸۰:۲۰ و ۱۰۰:۰ بود.

۵. بحث

در آزمایش حاضر، محتوای ماده خشک مخلوط علوفه جو–نخود، کم‌تر از علوفه جو بود که دلیل این امر به ماده خشک پایین‌تر نخود علوفه‌ای باز می‌گردد. Armstrong و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که در کشت مخلوط ذرت و گیاه

لگومینه، زمانی‌که نسبت لگوم در مخلوط پایین است، محتوای ماده خشک تحت تأثیر قرار نگرفت، که با نتایج آزمایش حاضر همخوانی ندارد. در این آزمایش، مخلوط ۸۰:۲۰ که کم‌ترین نسبت نخود در مخلوط بود، تفاوت معنی‌داری در ماده خشک نسبت به علوفه جو به‌تنهایی داشت.

در آزمایش حاضر، با افزایش نسبت نخود در مخلوط، pH افزایش یافت. این نتیجه را می‌توان به محتوای بالاتر اسیدهای آلی در لگومینه‌ها و مقدار بیش‌تر پروتئین خام آن نسبت داد که سبب می‌شود تا این گیاهان ظرفیت بافری بالاتری داشته باشند. محتوای پروتئین خام در علوفه مخلوط بیش‌تر به‌وسیله نسبت هر علوفه در مخلوط و مقدار پروتئین خام هر یک تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در مخلوط علوفه جو- نخود، افزودن نخود سبب افزایش محتوای پروتئین خام نسبت به علوفه جو به‌تنهایی شد. گیاهان لگومینه محتوای پروتئین بالایی دارند، درحالی‌که میزان پروتئین خام در گیاهان غلات پایین است. De Boer و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که در مخلوط یونجه-گرامینه، بسته به گونه علوفه گرامینه و درصد یونجه در مخلوط حاصل، پروتئین خام تغییر می‌کند. در نتیجه، مخلوط‌کردن جو و نخود سبب افزایش محتوای پروتئین خام مخلوط جو-نخود شده است. Geren و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که محتوای پروتئین خام مخلوط ذرت-لوبیا چشم بلبلی و ذرت-لوبیا در مقایسه با گیاه ذرت افزایش یافت، که با نتایج آزمایش حاضر در توافق است.

کم‌تربودن محتوایNDF نخود نسبت به جو دلیل کاهش این ماده مغذی در علوفه مخلوط بود. Carr و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که مخلوط نخود-یولاف، در مقایسه با خالص، NDF کم‌تری داشت. با افزایش نسبت نخود محتوای قند محلول در مقایسه با تیمار ۸۰:۲۰ که کم‌ترین میزان نخود را داشت، کاهش یافت. پلی‌ساکارید اصلی ذخیره‌ای در لگوم‌ها نشاسته است و از طرف دیگر، لگوم‌ها محتوای کربوهیدرات محلول در آب پایینی دارند. بنابراین، کاهش در محتوای قند محلول مخلوط جو-نخود به محتوای پایین کربوهیدرات محلول در نخود علوفه‌ای باز می‌گردد.

محتوای ماده خشک و pH عوامل مهمی هستند که کیفیت سیلاژ را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در آزمایش حاضر، ماده خشک سیلاژ جو از سیلاژهای مخلوط بیش‌تر بود و به موازات افزایش نسبت نخود محتوای ماده خشک کاهش یافت. پس کاهش درصد ماده خشک سیلاژ مخلوط به محتوای پایین ماده خشک نخود علوفه‌ای باز می‌گردد که این با نتایج Silva و همکاران (۲۰۲۳) همخوانی دارد. ازآنجایی‌که گیاهان لگومینه مانند نخود ماده خشک پایینی دارند، در نتیجه سیلوکردن گیاهان گرامینه همراه با لگومینه راهبردی برای افزایش ماده خشک و در عین‌حال محتوای پروتئین مخلوط علوفه‌ای حاصل و در نتیجه بهبود کیفیت محصول از طریق اثرات هم‌افزایی سیلوکردن این دو علوفه با هم است.

نتایج ما در مورد روند افزایشی pH به موازات افزایش نسبت نخود در سیلاژ مخلوط مشابه با پژوهش‌های Geren و همکاران (۲۰۰۸) بود. آن‌ها گزارش کردند که pH سیلاژ حاصل از کشت مخلوط ذرت با لوبیا چشم بلبلی در مقایسه با سیلاژ ذرت، افزایش یافت. هرچند Stoltz و همکاران (۲۰۱۳) از این نظر تفاوت معنی‌داری را بین سیلاژ ذرت و سیلاژ کشت مخلوط ذرت-باقلا مشاهده نکردند. در آزمایش دیگری، Kung و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که میزان pH برای سیلاژ لگومینه بین ۴/۲ و ۴/۷ است که آن را می‌توان به ظرفیت بافری بالای لگوم‌ها نسبت داد به‌نحوی‌که حضور پیش‌ماده‌های بافری مانند پتاسیم (K^{+})، کلسیم (Ca^{2+}) و منیزیم (Mg^{2+}) که اسیدهای آلی حاصل از تخمیر را خنثی می‌کنند، از کاهش pH جلوگیری می‌کند.

در توافق با آزمایش حاضر، Que و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که سیلاژ مخلوط لگومینه-گرامینه محتوای پروتئین خام بالاتری نسبت به سیلاژ علوفه گرامینه به‌تنهایی داشت. محتوای بالای پروتئین خام در سیلاژ مخلوط مربوط به محتوای بالای پروتئین خام در نخود است. این نتیجه از آن جهت مهم است که می‌توان با افزودن علوفه لگومینه به علوفه جو، ارزش تغذیه‌ای آن را بهبود داد و به این ترتیب هم‌زمان از مزایای کیفیت تخمیر و غنای مواد مغذی سیلاژهای حاصله بهره برد.

کاهش NDF با افزایش نسبت نخود به محتوای پایین NDF در علوفه نخود مربوط بود. Aasen و همکاران (2004) گزارش کردند که با افزایش نسبت گیاه لگومینه در مخلوط لگوم–گراس و لگوم–غلات، محتوای NDF و ADF کاهش یافت. Van Soest و همکاران (۱۹۹۱) نیز بیان کردند که تحت شرایط پرورشی مشابه، لگومینه‌ها میزان NDF و ADF بیش‌تری نسبت به غلات دارند. محتوای لیگنین نیز در آزمایش حاضر، در سیلاژ جو کم‌تر بود و با افزایش نسبت نخود افزایش یافت. محتوای ADF کم‌تر از ۴۰ درصد نشان‌دهنده ارزش تغذیه‌ای و قابلیت هضم ماده خشک بالاتر سیلاژ است که محتوای ADF تمامی سیلاژهای آزمایش حاضر کم‌تر از این میزان بود (Van Soest *et al*., 1991).

درصد نیتروژن آمونیاکی در سیلاژ علف جو، کم‌تر از سیلاژ مخلوط بود. از طرف دیگر با افزایش نسبت نخود نیتروژن آمونیاکی افزایش یافت. در طی سیلوشدن علوفه، وقوع پروتئولیز به‌وسیله آنزیم‌های گیاهی و میکروبی با تجزیه پروتئین به ترکیبات غیرپروتئینی مانند پپتیدها، اسیدهای آمینه آزاد و آمونیاک، سبب کاهش ارزش تغذیه‌ای سیلاژ می‌شوند. گیاهان لگومینه غلظت‌های بالای پروتئین خام، میزان کربوهیدرات محلول در آب پایین و ظرفیت بافری بالایی دارد که سبب می‌شود تا سیلاژ حاصل مستعد پروتئولیز باشد. نیتروژن آمونیاکی می‌تواند در علوفه‌ای که غلظت پروتئین خام بالایی دارند، مانند لگومینه‌ها، بالا باشد. Silva و همکاران (۲۰۲۳) مشاهده کردند با افزایش نسبت نخود کفتری، میزان نیتروژن آمونیاکی در سیلاژ مخلوط ذرت–نخود کفتری افزایش یافت که با نتایج آزمایش حاضر همخوانی دارد. افزایش در محتوای اسیدهای تخمیری در سیلاژهای مخلوط را می‌توان ناشی از ظرفیت بافری بالاتر نخود علوفه‌ای دانست که سبب مقاومت در برابر کاهش pH شده و منجر به تداوم فعالیت باکتریایی شده است و در نتیجه مقادیر بیش‌تری از VFA قبل از رسیدن pH به حد مطلوب تولید شد.

تولید گاز برون‌تنی نتیجه‌ی فعالیت میکروبی و خنثی‌سازی اسیدهای چرب فرّار توسط بیکربنات در محیط تخمیر است. سیلاژهای مخلوط به‌طور متوسط، حجم گاز تولیدی بیش‌تری نسبت به سیلاژ جو ۱۰۰ درصد داشتند. مقدار گاز تولیدی به ترکیب شیمیایی ماده خوراکی بستگی دارد. عواملی نظیر زمان برداشت، گونه گیاهی و مرحله بلوغ هم بر حجم گاز تولیدی مؤثر هستند (Sabzekar, 2014). عمده تولید گاز، در نتیجه تخمیر کربوهیدرات‌ها اتفاق می‌افتد. با این‌حال، علاوه بر مقدار کربوهیدرات، نوع کربوهیدرات نیز در تولید گاز دارای اهمیت است. Zhang و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که تولید بالاتر متان سیلاژهای یونجه–سورگوم حاوی نسبت بیش‌تر یونجه، می‌تواند نتیجه اجزای قابل‌هضم بیش‌تر و محتوای الیاف کم‌تر باشد.

محتوای کربوهیدرات ساختاری بالاتر می‌تواند به واسطه محدودکردن تخمیر میکروبی یا هیدرولیز آنزیمی پلی‌ساکاریدهای علوفه، تولید گاز را مختل کند. از طرف دیگر، با افزایش محتوای دیواره سلولی، محتوای کربوهیدرات‌های غیرالیافی و قند محلول کاهش یافته و باعث کاهش در تولید گاز می‌گردد. تولید گاز برون‌تنی با محتوای NDF ارتباط منفی و با محتوای نشاسته ارتباط مثبت دارد (De Boever *et al*., 2005).

Singh و همکاران (۲۰۱۲) نتیجه گرفتند که پس از ۱۲، ۲۴ و ۴۸ از انکوباسیون، گیاهان لگومینه میزان گاز بیش‌تری را نسبت به گرامینه‌ها تولید کردند. هم‌چنین، گیاهان لگومینه نسبت به گرامینه و غلات به میزان بسیار بیش‌تری در شرایط برون‌تنی تجزیه شدندکه احتمالاً با تولید بیش‌تر گاز متان پس از ۴۸ ساعت انکوباسیون در شرایط برون‌تنی در گیاهان لگومینه، در ارتباط است. از طرف دیگر، علایی باهر و همکاران (۱۳۹۷) بیان کردند که محتوای بالای کربوهیدرات محلول، هیدرولیز نسبی الیاف و پروتئین خام بالاتر، احتمالاً منجر به افزایش تولید گاز برون‌تنی خواهد شد. Zhang و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که تا ۲۴ ساعت انکوباسیون، از سیلاژ یونجه، میزان گاز بیش‌تری را نسبت به سیلاژ سورگوم تولید شد. در نتیجه، تولید بیش‌تر گاز در سیلاژ مخلوط احتمالاً مربوط به گیاه نخود است که نیتروژن بیش‌تری دارد. در مقایسه با تخمیر کربوهیدرات‌ها،

تولید گاز از تخمیر پروتئین بسیار کم است و سهم چربی در تولید گاز نیز ناچیز است. Moradi و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند که محتوای کم‌تر لیگنین، NDF و ADF با قابلیت هضم برون‌تنی بیش‌تر همراه است.

حجم گاز تولیدشده حاصل از تخمیر خوراک در ۲۴ ساعت پس از انکوباسیون، با انرژی قابل‌متابولیسم و قابلیت هضم ماده آلی خوراک در ارتباط است، زیرا نرخ تولید گاز می‌تواند نشان‌دهنده نرخ هضم در شکمبه باشد و در نتیجه می‌تواند نرخ عبور و مصرف ماده خشک را تحت تأثیر قرار دهد. Blummel & Orskov (۱۹۹۳) بیان کردند که حجم گاز تولیدشده، نشان‌دهنده تخمیر خوراک به اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر است که می‌تواند برآوردی از قابلیت هضم ظاهری آن باشد. افزایش در تولید گاز ممکن است با بهبود کیفیت سیلاژ در ارتباط باشد. بالابودن میزان گاز تولیدی حاصل از تخمیر، نشان‌دهنده بالا بودن انرژی قابل‌متابولیسم، پروتئین قابل‌تخمیر و سایر موادمغذی موردنیاز برای فعالیت میکروارگانیسم‌هاست. یکی از مزایای تغذیه سیلاژهای غلات–لگوم، بهبود بازده استفاده از مواد مغذی به‌دلیل امکان عرضه هم‌زمان انرژی و پروتئین به سهولت قابل‌تخمیر در شکمبه است.

Zhang و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که سیلاژ یونجه محتوای پروتئین خام بالاتری نسبت به سیلاژ سورگوم داشت و در نتیجه میزان آمونیاک بیش‌تری نیز از آن تولید شد که این عوامل سبب تولید بیش‌تر گاز در سیلاژ یونجه نسبت به سیلاژ سورگوم شد. از طرف دیگر، علوفه یونجه محتوای الیاف پایین‌تری نیز داشت که می‌تواند دلیل تولید متان بیش‌تر آن نسبت به سورگوم باشد. در آزمایش حاضر نیز، سیلاژ ۸۰:۲۰ در مقایسه با سایر سیلاژهای مخلوط پروتئین بیش‌تر و لیگنین کم‌تر داشت که همسو با آن بیش‌ترین گاز تولیدی و فراسنجه‌های تغذیه‌ای برآوردشده را بین تیمارها به خود اختصاص داد. حجم گاز تولیدی بیش‌تر، به معنای تجزیه بیش‌تر ماده آلی و به‌دنبال آن هضم بیش‌تر و تولید اسیدهای چرب بیش‌تر است. در نتیجه میزان انرژی قابل‌متابولیسم بیش‌تری در اختیار دام قرار می‌گیرد. هر دو علوفه در زمان برداشت دارای بخش‌های غیر الیافی بیش‌تری بودند به‌ترتیبی که غلظت اجزای الیافی روند کاهشی داشت. اما کربوهیدرات‌های محلول و نیتروژن در دسترس بیش‌تری هم داشتند که باعث شده در ساعات اولیه تولید گازشان تا هشت ساعت بیش‌تر باشد. از طرف دیگر، لگوم‌ها اجزای سریع تجزیه بیش‌تری از گرامینه‌ها دارند و در ساعات اولیه با سرعت بیش‌تری تجزیه می‌شوند، اما با پیشرفت زمان هضم و انکوباسیون به‌دلیل لیگنین غیرقابل‌هضم بیش‌تر، روند تولید گاز در آن‌ها کم‌تر می‌شود. درحالی‌که گرامینه‌ها تولید گاز یکنواخت‌تری دارند. نخود در زمان برداشت برگ زیادی داشته و اجزای درون سلولی‌شان محلول و قابل‌هضم است و از محتوای NDF مناسبی نیز برخوردار بود که کمک می‌کند بعد از ساعت هشت انکوباسیون تولید گاز تداوم پیدا کند. طی پژوهش‌های Blagojević و همکاران (۲۰۱۷) مشخص شد که کشت مخلوط نخودفرنگی و یولاف می‌تواند برای تولید سیلویی با کیفیت بالا به‌کار رود.

۶. نتیجه‌گیری

مزایای استفاده از نخود به‌منظور بهبود ارزش تغذیه‌ای سیلاژ مخلوط با جو، مانند افزایش پروتئین خام و کاهش محتوای الیاف ساختمانی، در کنار مزایای علوفه جو نظیر ماده خشک و قند محلول بالاتر می‌تواند نقش مهمی در بهبود کیفیت تغذیه، کاهش هزینه‌های تغذیه و حفظ محیط زیست ایفا کند. با توجه به نتایج حاصل از کیفیت تخمیر و قابلیت هضم برآوردشده از آزمون گاز، نسبت ۸۰:۲۰ به‌عنوان نسبت مناسب مخلوط جو–نخود علوفه‌ای پیشنهاد می‌گردد. با این وجود، مقایسه عملکرد زراعی بین نسبت‌های آزمون شده و انجام آزمایش‌های عملکردی برای تعیین پاسخ نشخوارکنندگان پرتولید به سیلاژ مخلوط لگوم–غله ضروری به‌نظر می‌رسد.

۷. ملاحظات اخلاقی

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

۸. مشارکت نویسندگان

فائزه خانی: اجرای آزمایش، تجزیه و تحلیل داده‌ها، نگارش پیش‌نویس اولیه مقاله؛

علی اسدی الموتی: طراحی آزمایش، نظارت بر اجرا، صحت‌سنجی نتایج، تفسیر داده‌ها، تصحیح و نگارش نهایی مقاله؛

بهزاد خرمی: نظارت بر اجرا، ویرایش مقاله پیش از نگارش نهایی.

۹. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۱۰. حامی مالی

این آزمایش در قالب طرح مصوب نوع ششم معاونت پژوهشی دانشگاه تهران و با حمایت مالی مالی آن انجام گردیده است.

۱۱. تشکر و قدردانی

از دانشگاه تهران به جهت حمایت مالی از این پژوهش، هم‌چنین از کشت و دامپروری چالتاسیان به جهت زمینه‌سازی برای اجرای دقیق این آزمایش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۱۲. منابع

علایی باهر، سیما؛ محمدزاده، حمید، تقی‌زاده؛ اکبر و حسینخانی، علی (۱۳۹۷). اثر افزودنی‌های باکتریایی و پری‌بیوتیکی بر ترکیب شیمیایی، تولید گاز و پایداری هوازی سیلاژ ذرت. *پژوهش‌های علوم دامی ایران*، ۱۰(۲)، ۱۷۹-۱۹۳.

References

Aasen, A., Baron, V. S., Clayton, G. W., Dick, A. C., & McCartney, D. H. (2004). Swath grazing potential of spring cereals, field pea and mixtures with other species. *Canadian Journal of Plant Science*, 84(4), 1051-1058.

Alaei Baher, S., Mohammadzadeh, H., Taghizadeh, A., & Hossein khani, A. (2018). The Effects of Bacterial Inoculant and Prebiotic Additive on Chemical Composition, Gas Production and Aerobic Stability of Corn Silage. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 10(2), 179-193. (In Persian)

Alberto, L. (2008). Rapid and sensitive anthrone-sulfuric acid assay in microplate format to quantity carbohydrate in biopharmaceutical products: Method development and validation. *Biologicals*, 36, 134-141.

AOAC. (1990). Official methods of analysis (15th Eds). Washington, DC, USA; Association of Official Analytical Chemists.

Armstrong, K. L., Albrecht, K. A., & Lauer, J. G. (2008). Intercropping corn with lablab bean, velvet bean, and scarlet runner bean for forage. *Crop Science*, 48(1), 371-379.

Blagojević, M., Đorđević, N. D. B., Marković, J., Vasić, T., Milenković, J., & Petrović, M. (2017). Determination of green forage and silage protein degradability of some pea (*Pisum sativum* L.) + oat (*Avena sativa* L.) mixtures grown in Serbia. *Journal of Agricultural Sciences*, 23(4), 415-422.

Blummel, M., & Orskov, E. R. (1993). Composition of in vitro gas production and nylon bag degradability of roughages in predicting food intake in cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 40, 109-119.

Broderick, G. A., & Kang, J. H. (1980). Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and in vitro media. *Journal of Dairy Science*, 63(1), 64-75.

Carr, P. M., Horsley, R. D., & Poland, W. W. (2004). Barley, oat and cereal-pea mixtures as dryland forages in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal*, 96, 677-684.

De Boer, M. L., Grev, A. M., Shaeffer, C. G. Wells, M. S., & Martinson, K. L. (2020). Herbage mass, botanical composition, forage nutritive value, and preference of grass-legume pastures under horse grazing. *Crop, Forage and Turfgrass Management*, 6(1), e20032.

De Boever, J. L., Aerts, J. M., Vanacker, J. M., & De Brabander, D. L. (2005). Evaluation of the nutritive value of maize silages using a gas production technique. *Animal Feed Science and Technology*, 123, 255-265.

Geren, H., Avcioglu, R., Soya, H., & Kır, B. (2008). Intercropping of corn with cowpea and bean: Biomass yield and silage quality. *African Journal of Biotechnology*, 7(22), 4100-4104.

Getachew, G., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2002). 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.

Huhtanen, P., Rinne, M., & Nousiainen, J. (2007). Evaluation of the factors affecting silage intake of dairy cows: a revision of the relative silage dry-matter intake index. *Animal*, 1, 758-770.

Khorasani, G. R., Okine, E. K., Kennelly, J. J., & Helm, J. H. (1993). Effects of whole crop cereal grain silage substituted for alfalfa silage on performance of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 76(11), 3536-3546.

Kung, L. Jr., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review, interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4020-4033.

Li, H., Zeng, T., Du, Z., Dong, X., Xin, Y., Wu, Y., Huang, L., Liu, L., Kang, B., Jiang, D., Wu, B., Yang, W., & Yan, Y. (2022). Assessment on the fermentation quality and bacterial community of mixed silage of faba bean with forage wheat or oat. *Frontiers in Microbiology*, 13(875819).

Meng, H., Jiang, Y., Wang, L., Wang, S., Zhang, Z., Tong, X., & Wang, S. (2022). Effects of different soybean and maize mixed proportions in a strip intercropping system on silage fermentation quality. *Fermentation*, 8, 696.

Menke, K. H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D., & Schneider, W. (1979). The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *The Journal of Agricultural Science*, 93(1), 217-222.

Migliorati, L., Boselli, L., Pirlo, G., Moschini, M., & Masoero, F. (2017). Corn silage replacement with barley silage in dairy cows' diet does not change milk quality, cheese quality and yield. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(10), 3396-3401.

Moradi, S., Ghanbari, F., BayatKouhsar, J., & Samiee Zafarghandi, M. (2022). Nutritional value of barley, triticale and oat grain varieties based on in vitro gas production and fermentation parameters, and Cornell Net Carbohydrate and Protein System. *Journal of Livestock Science and Technologies*, 10(2), 55-65.

Ostrowski, R., & Daczewska, M. (1993). The yielding of cereal-pulse mixtures under conditions of the Wielkopolska region, and nutritive value of silages and dried forage for ruminants. *Roczniki Nauk Zootechnicznych*, 20(2), 157-169.

Que, Y., Jiang, W., Yin, G., Wei, C., & Bao, J. (2013). Effect of feeding corn-labalab bean mixture on nutrient apparent digestibility and performance of dairy cows. Asian-Austrlas. *Journal of Animal Science*, 26, 509-516.

Sabzekar, H. (2014). Study of nutritive value of irradiated millet stcrude with in situ nylon bag and in vitro gas production. M.Sc. Thesis, Zabol University, Iran. (in Persian)

Silva, L. M., Costa, K. A. P., Costa, A. C., Oliveira, K. J., Silva, J. A. G., Costa, J. V. C. P., Barros, V. M., Moraes, L. E. R., Rodrigues, G. O., & Mendonca, K. T. M. (2023). Fermentation dynamics and quality of maize silage with Pigeon pea. *Semina: Ciencias Agrarias*, 44, 567-584.

Singh, S., Kushwaha, B. P., Nag, S. K., Mishra, A. K., Singh, A., & Anele, U. Y. (2012). In vitro ruminal fermentation, protein and carbohydrate fractionation, methane production and prediction of twelve commonly used Indian green forages. *Animal Feed Science and Technology*, 178, 2-11.

Smith, S. R., Benson, B., & Thomason, W. (2018). Growing small grains for forage in Virginia. https://www.pubs.ext.vt.edu/424/424-006/424-006.html , Accessed 30th Apr 2023.

Stoltz, E., Nadaeu, E., & Wallenhammar, A. C. (2013). Intercropping maize and faba bean for silage under Swedish climate conditions. *Agriculture Research*, 2(1), 90-97.

Uzun, A., Bilgili, U., Sincik, M., Filya, I., & Açıkgöz, E. (2005). Yield and quality of forage type pea lines of contrasting leaf types. *European Journal of Agronomy*, 22(1), 85-94.

Van Soest, P. J., & Mason, V. C. (1991). The influence of the Maillard reaction upon the nutritive value of fibrous feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 32(1-3), 45–53.

Wawrzyńczak, S., Bielak, F., Kraszewski, J., Wawrzyński, M., & Kozłowski, J. (1996). Maize and grain legume silage for fattening young slaughter cattle. *Roczniki Nauk Zootechnicznych*, 23(3), 85-97.

Zhang, S. J., Chaudhry, A. S., Osman, A., Shi, C. Q., Edwards, G. R., Dewhurst, R. J., & Cheng, L. (2015). Associative effects of ensiling mixtures of sweet sorghum and alfalfa on nutritive value, fermentation and methane characteristics. *Animal Feed Science and Technology*, 206, 29-38.