

Effects of Duration and Different Processing Methods with Urea and Molasses on *in vitro* Rumen Fermentation of Diets Containing Sugarcane Bagasse

Negin Menati¹, Farshid Fatahnia¹, Sayed Reza Mousavi¹, Mohammad Shamsollahi^{ID}*, Parisa Darat^{ID}¹

1- Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

*Corresponding Author's Email: m.shamsolahi@ilam.ac.ir

How to cite this article:

Received: 10-06-2025

Revised: 09-12-2025

Accepted: 10-12-2025

Available Online: 04-04-2026

Menati, N., Fatahnia, F., Mousavi, S. R., Shamsollahi, M., & Darat, P. (2026). Effect of duration and different processing methods with urea and molasses on *in vitro* rumen fermentation of diets containing sugarcane bagasse. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 18(1), 43-56. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/IJASR.2025.94011.1250>

Introduction: Ruminants, among domesticated herbivorous animals, play a major role in providing food resources and producing essential nutrients required by humans, thereby contributing to human health. Nutrition is a key factor influencing livestock performance and production efficiency, accounting for almost two-thirds of the total costs of raising domestic animals in various livestock farming units. Currently, due to the increase in livestock population and the decrease in precipitation, we are facing a decrease in the production of common food resources, and the need to provide cheap fodder resources highlights the importance of fodder resources used in livestock nutrition. Sugarcane is a perennial plant that grows in tropical and subtropical regions, including Khuzestan Province. Its by-products, such as bagasse, can be used in animal feed. Due to the presence of lignin, cellulose, and hemicellulose, as well as the strong bonds found in woody materials like bagasse, its digestion in the digestive tract is less affected. A study is needed to investigate the processing of bagasse with urea and molasses and their interaction between the nutritional value of bagasse. One of the factors that may affect the chemical processing of bagasse is the duration of processing, which has not yet been investigated in this field. Therefore, this study was conducted to evaluate the effects of diets containing sugarcane bagasse (SB) treated with urea and molasses for 30 or 45 days on ruminal fermentation parameters and the *in vitro* degradability of dry matter (DM) and organic matter (OM).

Materials and Methods: Sugarcane bagasse (SB) samples were obtained from a sugarcane factory located in Khuzestan Province. SB samples were oven-dried, ground in a mill, and passed through a 1 mm sieve. The SB samples were mixed with 5% urea and 10% molasses solution and stored under anaerobic conditions for 30 or 45 d. Experimental diets included 1) diet containing untreated SB and stored for 30 d; 2) diet containing SB treated with 10% molasses solution and stored for 30 d; 3) diet containing SB treated with 5% urea solution and stored for 30 d; 4) diet containing SB treated with 10% molasses and 5% urea solution and stored for 30 d; 5) diet containing untreated SB and stored for 45 d; 6) diet containing SB treated with 10% molasses and stored for 45 d; 7) diet containing SB treated with 5% urea solution and stored for 45 d and 8) diet containing SB treated with 10% molasses and 5% urea solution and stored for 45 d. After 30 or 45 d, the samples were removed from the nylon bags, air-dried for 5 d, and stored until further analysis. The



© 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.2025.94011.1250>

experimental diets were formulated using NRC (2007) software according to the nutrient requirements of ewes. Then, the chemical compositions, gas production at 24 and 96 h, DM and OM degradability, and methane gas production of the experimental diets were measured. The experiment was conducted under a 4×2 factorial randomized complete block design using the General Linear Model (GLM) procedure of SAS.

Results and Discussion: The lowest DM and NDF contents and the highest crude protein content were observed in the diet containing bagasse treated with 10% molasses and 5% urea and ensiled for 30 or 45 d ($P<0.05$). Among the processing methods, treatment with 10% molasses and 5% urea solution followed by 30 or 45 d of ensiling had the greatest effect on increasing cumulative gas production at 24 and 96 h, gas production potential (A), and DM and OM degradability ($P<0.05$). The lowest cumulative gas production at 96 h was observed in the untreated bagasse ensiled for 30 d ($P<0.05$). The shortest lag time was found in diet containing bagasse treated with 5% urea solution and ensiled for 30 or 45 d, as well as those treated with 10% molasses and 5% urea solution and ensiled for 30 or 45 d, whereas the longest lag time belonged to the control diets ($P<0.05$). Methane production, partitioning factor, and efficiency of microbial mass production were not affected by experimental diets ($P>0.05$). Urea and molasses solutions, by breaking down the structure of feed fibers, reduce the lignin content of the feed and enhance the access of rumen microorganisms to the lower layers of lignin, cellulose, and hemicellulose in the feed. As a result, they increase fermentation and gas production, as well as improve the degradability of DM or OM.

Conclusion: Overall, chemical treatments, compared to the control treatments, effectively altered the chemical composition of bagasse, increased the gas production rate, and enhanced DM and OM degradability. Among the different processing methods, treating bagasse with 10% molasses and 5% urea solution followed by 45 d of ensiling resulted in the highest gas production rate (A), and DM and OM degradability. Therefore, the combination of 10% molasses and 5% urea solution is considered a more suitable processing method for bagasse.

Keywords: Alkali processing, Dry and organic matter, Gas production, Ruminal disappearance, Sugarcane byproduct

اثر مدت زمان و روش‌های مختلف فرآوری با اوره و ملاس بر تخمیر شکمبه‌ای جیره‌های حاوی باگاس نیشکر در شرایط برون‌تنی

نگین متی^۱، فرشید فتاح‌نیا^۱، سید رضا موسوی^۱، محمد شمس‌الهی^{۱*}، پریرسا دارات^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۹

چکیده

مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر مدت زمان و روش‌های مختلف فرآوری بر تخمیر شکمبه‌ای جیره‌های حاوی باگاس نیشکر در شرایط برون‌تنی بر فرآیندهای تخمیر شکمبه‌ای و ناپدید شدن ماده خشک و ماده آلی در شرایط برون‌تنی انجام شد. نمونه‌های باگاس با محلول ملاس ۱۰ درصد و اوره ۵ درصد مخلوط و برای مدت ۳۰ یا ۴۵ روز در شرایط بی‌هوازی نگهداری شدند. تیمارهای آزمایشی شامل ۱- جیره حاوی باگاس فرآوری‌نشده و سیلوشده به مدت ۳۰ روز، ۲- جیره حاوی باگاس فرآوری‌نشده و سیلوشده به مدت ۴۵ روز، ۳- جیره حاوی باگاس فرآوری‌شده با ملاس ۱۰ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ روز، ۴- جیره حاوی باگاس فرآوری‌شده با ملاس ۱۰ درصد و سیلوشده به مدت ۴۵ روز، ۵- جیره حاوی باگاس فرآوری‌شده با ملاس ۱۰ درصد و سیلوشده به مدت ۴۵ روز، ۶- جیره حاوی باگاس فرآوری‌شده با ملاس ۱۰ درصد و سیلوشده به مدت ۴۵ روز، ۷- جیره حاوی باگاس فرآوری‌شده با ملاس ۱۰ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ روز و ۸- جیره حاوی باگاس فرآوری‌شده با ملاس ۱۰ درصد و سیلوشده به مدت ۴۵ روز بودند. نتایج نشان داد که کمترین درصد ماده خشک و الیاف نامحلول شوینده خنثی (NDF (Neutral detergent fiber)) و بیشترین درصد پروتئین خام مربوط به جیره دارای باگاس فرآوری‌شده با ملاس ۱۰ درصد و محلول اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز بود. در بین روش‌های فرآوری، روش فرآوری با ملاس ۱۰ درصد و محلول اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز بیشترین تأثیر را بر افزایش تولید گاز تجمعی ۲۴ و ۹۶ ساعت، پتانسیل تولید گاز (A) و ناپدید شدن ماده خشک و ماده آلی داشت. کمترین نرخ تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت مربوط به جیره حاوی باگاس فرآوری‌نشده و سیلوشده به مدت ۳۰ روز بود. کمترین زمان تأخیر مربوط به جیره حاوی باگاس فرآوری‌شده با ملاس ۱۰ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز و جیره حاوی ملاس ۱۰ درصد و محلول اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز بود و در مقابل، بیشترین زمان تأخیر مربوط به جیره‌های شاهد بود. به‌طور کلی، فرآوری‌های شیمیایی در مقایسه با تیمارهای شاهد در تغییر ترکیب شیمیایی باگاس، افزایش نرخ تولید گاز و افزایش ناپدید شدن ماده خشک و ماده آلی تأثیرگذار بودند؛ و در بین روش‌های مختلف فرآوری، فرآوری باگاس با ملاس ۱۰ درصد و محلول اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۴۵ روز، بیشترین تأثیر را بر افزایش نرخ تولید گاز، پتانسیل تولید گاز و ناپدید شدن ماده خشک و ماده آلی باگاس داشت. بنابراین به نظر می‌رسد که ترکیب ملاس ۱۰ درصد و محلول اوره ۵ درصد برای باگاس، روش فرآوری مناسب‌تری باشد.

واژه‌های کلیدی: تولید گاز، فرآورده فرعی نیشکر، فرآوری قلیایی، قابلیت هضم، ماده خشک و آلی

مقدمه

با افزایش جمعیت جهان (افزایش ۶۵ درصدی تا سال ۲۰۵۰)، تقاضای جهانی غذا برای تغذیه نسل آینده به طور مداوم رشد خواهد کرد (Ahmadi et al., 2016). در میان گونه‌های اهلی گیاه‌خوار، نشخوارکنندگان جایگاه مهمی در تأمین منابع خوراک و تولید مواد غذایی مورد نیاز انسان دارند و به همین دلیل نقش تعیین‌کننده در حفظ سلامت بشر ایفا می‌کنند. افزون‌بر این، تغذیه به‌عنوان یکی از مؤثرترین عوامل بر عملکرد و بهره‌وری دام، جایگاه محوری در مدیریت پرورش دام دارد، به‌طوری‌که تقریباً دوسوم از کل هزینه‌های پرورش دام‌های اهلی در واحدهای مختلف پرورش دام را به خود اختصاص می‌دهد (Church, 2009). در حال حاضر با توجه به افزایش جمعیت دام و کاهش نزولات آسمانی، با کاهش تولید منابع خوراکی رایج مواجه هستیم و نیاز به تأمین منابع علوفه‌ای ارزان قیمت، اهمیت منابع علوفه‌ای مورد استفاده در تغذیه دام را برجسته‌تر می‌کند (Amirkhani et al., 2007). به‌دلیل توسعه بیابان‌ها و تخریب فزاینده مراتع، بخش قابل توجهی از منابع خوراک دام‌های نشخوارکننده بر روی پس‌چر مزارع کشاورزی، کاه غلات و سایر فرآورده‌های فرعی صنایع کشاورزی متمرکز شده است؛ اما این نوع خوراک‌ها اغلب خشبی بوده و از نظر پروتئین و سایر مواد مغذی ضروری فقیر هستند (Schiere et al., 1989).

نیشکر گیاهی چندساله با نام علمی *Saccharum officinarum* است که در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری مانند استان خوزستان رشد می‌کند و می‌توان از ضایعات آن در تغذیه دام استفاده کرد. در کارخانه‌های تولید شکر، پس از خرد کردن و عصاره‌گیری از نیشکر، مقدار زیادی فرآورده جامد الیافی به‌نام باگاس نیشکر تولید می‌شود (Thite & Nerurkar, 2019). باگاس حاوی الیاف خام (۵۰۰ گرم در کیلوگرم) و لیگنین زیاد (۲۰۰ گرم در کیلوگرم) و نیتروژن (۳/۶ گرم در کیلوگرم) و گوارش‌پذیری کم می‌باشد (Vitti et al., 1999). استفاده از باگاس در جیره دام به‌منظور جایگزینی آن با دیگر علوفه‌های خشبی به‌دلیل فراوانی تولید و قیمت کم، به‌ویژه در زمان کمبود علوفه مورد توجه می‌باشد (Ahmadi et al., 2016). در همین راستا، محققان گزارش کردند که باگاس نیشکر می‌تواند به‌عنوان یک منبع انحصاری علوفه در تغذیه گاوهای شیری استفاده شود (de Almeida et al., 2018). اما به‌دلیل محتوای لیگنین زیاد در دیواره سلولی و همچنین باندهای محکم موجود در باگاس، هضم آن در دستگاه گوارش کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد و گوارش‌پذیری کمی دارد و از طرفی، باگاس نیشکر از لحاظ انرژی، پروتئین و سایر مواد مغذی، فقیر بوده و به‌منظور بهبود ارزش غذایی و استفاده در تغذیه دام، باید تحت شرایط ویژه‌ای، فرآوری شود (Alemzadeh et al., 2018).

2001). فرآوری مواد خشبی شامل استفاده از مجموعه روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است. امروزه از فرآوری با مواد شیمیایی مختلف مانند کلسیم هیدروکسید، سدیم هیدروکسید، آمونیاک، اوره و ملاس به‌منظور تجزیه یا سست کردن اجزای دیواره سلولی و بهبود گوارش‌پذیری مواد علوفه‌ای استفاده می‌شود (Rezaii et al., 2023). مطالعات مختلف نشان داده است که فرآوری مواد خشبی با محلول اوره دارای مزایای مفیدی بر ارزش تغذیه‌ای مانند تجزیه لیگنین و لذا بهبود گوارش‌پذیری دیواره سلولی و همچنین افزایش میزان پروتئین خام جهت استفاده در تغذیه دام می‌باشد (Khawar et al., 2024). پژوهش‌ها همچنین نشان می‌دهند که افزودن اوره به مواد خوراکی خشبی باعث افزایش استفاده مطلوب از کربوهیدرات‌های سهل‌الهضم مانند ملاس نیز خواهد شد (Naeini et al., 2014). ملاس یکی از محصولات فرعی صنایع نیشکر و یک منبع انرژی با سرعت تخمیر زیاد، ارزان قیمت و یک حامل مناسب برای اوره می‌باشد و همچنین باعث بهبود خوش‌خوراکی جیره می‌شود. همزمانی استفاده از ملاس با یک منبع ارزان‌قیمت نیتروژن غیرپروتئینی مانند اوره، می‌تواند در بحث همزمانی استفاده از انرژی و پروتئین به‌منظور حداکثرسازی سنتز پروتئین میکروبی و در نتیجه افزایش عملکرد دام مفید باشد (Schiere et al., 1989). با توجه به مطالب بیان‌شده، به نظر می‌رسد که مطالعه‌ای به‌منظور بررسی فرآوری باگاس با اوره و ملاس و اثر متقابل این دو بر ارزش غذایی باگاس مورد نیاز باشد. از طرفی، یکی از عواملی که ممکن است فرآوری شیمیایی باگاس را تحت تأثیر قرار دهد، مدت زمان فرآوری آن است که در مورد باگاس تاکنون کار مشابهی در این مورد انجام نشده است. بنابراین در این مطالعه، تخمیر شکمبه‌ای جیره‌های حاوی باگاس فرآوری‌شده با محلول اوره و ملاس به مدت ۳۰ و ۴۵ روز بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های باگاس نیشکر از کارخانه نیشکر هفت تپه استان خوزستان تهیه شد و به‌وسیله آسیاب دارای الک یک میلی‌متری خرد گردید. برای فرآوری نمونه‌های باگاس، از محلول ملاس ۱۰ درصد یا محلول اوره پنج درصد استفاده شد. برای هر روش فرآوری از شش نمونه یک کیلوگرمی باگاس استفاده گردید و هر کیلوگرم باگاس با یک لیتر محلول، کاملاً مخلوط شد (Gunun et al., 2016). برای نمونه شاهد از شش نمونه یک کیلوگرمی باگاس استفاده گردید، به‌طوری‌که هر نمونه باگاس شاهد با یک لیتر آب، بدون ملاس یا اوره مخلوط شد. همه نمونه‌ها درون نایلون‌های دو لایه کاملاً فشرده و به‌طور کامل بسته شد تا هوا وارد آن نشود.

جدول ۱- مواد خوراکی تشکیل دهنده جیره پایه آزمایشی دارای باگاس فرآوری شده با روش های مختلف^۲ در زمان های متفاوت

Table 1- Feed ingredients of experimental diets containing bagasse processed by different methods² at different times

ماده خوراکی (درصد از ماده خشک) Feedstuff ingredient (% of DM)	زمان فرآوری ۳۰ روزه 30 days processing time				زمان فرآوری ۴۵ روزه 45 days processing time			
	روش ۱ Method 1	روش ۲ Method 2	روش ۳ Method 3	روش ۴ Method 4	روش ۱ Method 1	روش ۲ Method 2	روش ۳ Method 3	روش ۴ Method 4
باگاس (تفاله نیشکر) Bagasse (sugarcane bagasse)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
علوفه خشک یونجه Alfalfa hay	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
کاه گندم Wheat straw	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
میوه بلوط Oak acorn	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
پودر هسته خرما Date kernel powder	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
دانه ذرت Corn grain	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
دانه جو Barley grain	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
ملاسه Molasses	3.80	3.60	3.80	3.70	3.80	3.60	3.80	3.80
کنجاله سویا Soybean meal	3.00	3.00	3.00	5.00	3.00	3.00	3.00	5.00
پودر جوجه Chicken powder	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
اوره Urea	1.10	1.00	1.10	1.10	1.10	1.00	1.10	1.10
کنجاله گلوتن ذرت Corn gluten meal	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
پودر ماهی Fish meal	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
تفاله زیتون Olive pomace	8.00	8.00	8.20	8.00	8.00	8.00	8.00	8.20
سبوس گندم Wheat bran	3.20	3.40	3.40	3.60	3.20	3.40	3.40	3.60
سدیم بیکربنات Sodium bicarbonate	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
مکمل مواد معدنی و ویتامینه ^۱ Mineral and vitamin ¹ supplement	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
نمک Salt	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ترکیب شیمیایی (درصد از ماده خشک) Chemical composition (% of DM)								
پروتئین خام Crude protein	9.44	9.41	12.8	12.6	9.21	9.30	12.2	12.0
چربی خام Crude fat	4.12	4.08	4.00	4.38	4.07	4.02	3.98	4.29
الیاف شوینده خنثی Neutral detergent fiber	49.3	48.8	48.4	48.1	49.1	48.9	48.2	48.3
کلسیم Calcium	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
فسفر Phosphorus	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
کربوهیدرات های غیرالیافی Non-fibre carbohydrates	34.6	34.5	34.3	34.2	34.6	34.5	34.3	34.2

^۱ در هر کیلوگرم از مکمل مواد معدنی و ویتامین، ۵۰۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین A، ۱۰۰۰۰۰ واحد بین المللی ویتامین D₃، ۱۰۰ میلی گرم ویتامین E، ۱۹۶ گرم کلسیم، ۹۶ گرم فسفر، ۱۹ گرم منیزیم، ۴۶ گرم سدیم، ۲ گرم منگنز، ۳ گرم آهن، ۳ گرم مس، ۲ گرم روی، ۱۰۰ میلی گرم کبالت، ۱۰۰ میلی گرم ید، ۱ میلی گرم سلنیوم و ۴۰۰ میلی گرم آنتی اکسیدان بود.

^۲ روش ۱: باگاس فرآوری نشده، ۲: باگاس فرآوری شده با محلول ۱۰ درصد ملاس، ۳: باگاس فرآوری شده با محلول ۵ درصد اوره ۴: باگاس فرآوری شده با محلول ۱۰ درصد ملاس و ۵ درصد اوره.

¹ Each kilogram of mineral and vitamin supplement contains 500,000 IU vitamin A, 100,000 IU vitamin D₃, 100 mg of vitamin E, 196 g of calcium, 96 g of phosphorus, 19 g of magnesium, 46 g of sodium, 2 g of manganese, 3 g of iron, 3 g of copper, 3 g of zinc, 100 mg of cobalt, 100 mg of iodine, 1 mg of selenium, and 400 mg of antioxidants.

² Method 1: Unprocessed bagasse, 2: Bagasse processed with 10% molasses solution, 3: Bagasse processed with 5% urea solution, and 4: Bagasse processed with 10% molasses solution and 5% urea.

در ادامه آزمایش، از نمونه‌های باگاس فرآوری شده با ملاس یا محلول اوره و تعداد سه نمونه شاهد به مدت ۳۰ روز و بقیه برای مدت ۴۵ روز سیلو شدند. پس از پایان زمان ۳۰ یا ۴۵ روز، نمونه‌ها از داخل نایلون خارج گردید، سپس به مدت ۵ روز در معرض هوا، خشک و برای آنالیز شیمیایی ذخیره شدند. جیره‌های آزمایشی حاوی ۱۵ درصد باگاس نیشکر فرآوری شده و فرآوری نشده بودند و برای بره‌های پرواری (NRC, 2007) تهیه و آماده شدند (جدول ۱). جیره‌های آزمایشی شامل ۱- جیره حاوی باگاس فرآوری نشده و سیلوشده به مدت ۳۰ روز، ۲- جیره حاوی باگاس فرآوری نشده و سیلوشده به مدت ۴۵ روز، ۳- جیره حاوی باگاس فرآوری شده با ملاس ۱۰ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ روز، ۴- جیره حاوی باگاس فرآوری شده با ملاس ۱۰ درصد و سیلوشده به مدت ۴۵ روز، ۵- جیره حاوی باگاس فرآوری شده به مدت ۳۰ روز، ۶- جیره حاوی باگاس فرآوری شده با محلول اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ روز، ۷- جیره حاوی باگاس فرآوری شده با ملاس ۱۰ درصد و محلول اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ روز و ۸- جیره حاوی باگاس فرآوری شده با ملاس ۱۰ درصد و محلول اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۴۵ روز بودند.

درصد ماده خشک، ماده آلی و پروتئین خام نمونه‌های باگاس براساس روش‌های استاندارد (AOAC, 2007) و الیاف شوینده نامحلول خنثی نمونه‌های باگاس براساس روش ون سوست (Van Soest et al., 1991) اندازه‌گیری شد. ترکیب شیمیایی نمونه‌های باگاس در جدول ۲ آمده است.

برای تهیه نمونه مایع شکمبه به‌منظور انجام آزمایش تولید گاز ۲۴ یا ۹۶ ساعت، از دو رأس میش داشتی نژاد کردی که از جیره شامل ۵۰ درصد علوفه (۲۰ درصد یونجه و ۳۰ درصد کاه گندم) و ۵۰ درصد کنسانتره (۳۲/۵ درصد جو، ۱۰ درصد کنجاله سویا، ۷ درصد سیوس گندم و ۰/۵ درصد مکمل ویتامین و مواد معدنی) تغذیه شدند، استفاده گردید. نمونه‌های مایع شکمبه با استفاده از لوله مری، جمع‌آوری و سپس با هم مخلوط و درون فلاسک ریخته شدند و به آزمایشگاه انتقال یافتند. در آزمایشگاه، مایع شکمبه توسط چهار لایه پارچه از جنس کتان، صاف شده، سپس به داخل یک ارلن خلأ ریخته و با افزودن دی‌اکسید کربن شرایط بی‌هوازی ایجاد گردید. برای اندازه‌گیری فراسنجه‌های تولید گاز از روش‌های ماکار (Makkar, 2010)، منک (Menke et al., 1979) و بومل (Blummel et al., 1997) استفاده شد. برای آزمون تولید گاز ۲۴ ساعت، مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم و آزمون تولید گاز ۹۶ ساعت، مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم وزن خشک از هر کدام از جیره‌های آزمایشی به درون بطری‌های شیشه‌ای ۱۲۰ میلی‌لیتری مخصوص اندازه‌گیری تولید گاز ریخته شدند. سه بطری (تکرار) حاوی تیمار آزمایشی و سه بطری بدون نمونه خوراک

به‌عنوان بلانک در نظر گرفته شد. لازم به توضیح است که آزمون تولید گاز ۲۴ و ۹۶ ساعت، ۲ بار با فاصله یک هفته (Run) انجام شد، به‌گونه‌ای که در نهایت برای هر جیره آزمایشی در مجموع شش تکرار در نظر گرفته شد. برای تهیه بزاق مصنوعی از بافر سدیم بیکربنات، مکمل مواد معدنی پرمصرف، مکمل مواد معدنی کم‌مصرف، محلول رزازورین، محلول احیاکننده و آب مقطر استفاده گردید. ۴۰ میلی‌لیتر از محیط کشت (مخلوط مایع شکمبه و بزاق مصنوعی) به داخل هر بطری حاوی نمونه خوراک و بطری‌های خالی (بلانک) ریخته شد. درب هر بطری توسط درپوش لاستیکی و فلزی و با استفاده از ابزار پرس درب ویال، محکم بسته شد و برای انکوباسیون به داخل انکوباتور با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد منتقل گردید. برای آزمون تولید گاز ۲۴ ساعت، فشار گاز درون بطری‌ها در فواصل زمانی ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۲۰ و ۲۴ ساعت و برای آزمون تولید گاز ۹۶ ساعت در فواصل زمانی ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۲۴، ۳۰، ۳۶، ۴۸، ۵۴، ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از انکوباسیون توسط دستگاه فشارسنج (شرکت TESTO مدل 512، آلمان) ثبت شد. پس از ثبت گاز در هر زمان، فشار گاز توسط سرسوزن خارج گردید و فشار گاز برحسب پاسکال توسط محاسبات ریاضی طبق معادله ۱ تبدیل به میلی‌لیتر شد (Blummel et al., 1997; Makkar, 2010).

معادله (۱)
$$(R) \times T \times \text{ثابت گاز} \times \text{فشار گاز} = \text{حجم گاز}$$
 در سطح متوسط دریا (میلی‌لیتر)

که در آن، ثابت گاز (R): نسبت بین حجم مولار گاز به دما (صفر کلونین؛ $273 = K$) و T: دمای انکوباسیون (کلونین) می‌باشد.

تولید گاز خالص با کسر میانگین حجم گاز بطری‌های بلانک از مجموع حجم گاز تولیدشده در بطری‌های حاوی نمونه خوراک در زمان‌های مختلف انکوباسیون به دست آمد.

معادله (۲)

(ml) میانگین حجم گاز بلانک - (ml) مجموع حجم تولید گاز خوراک در زمان‌های مختلف انکوباسیون = (ml) حجم تولید گاز خالص

با پایان زمان آزمایش اندازه‌گیری تولید گاز (۲۴ ساعت) و ثبت میزان گاز و خالی کردن گاز، بطری‌های شیشه‌ای برای خنک شدن به یخچال با دمای سه تا پنج درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. محتویات هر بطری به‌طور کامل به داخل یک کروسیل تخلیه شد تا صاف شود. کروسیل‌ها در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۶ تا ۲۴ ساعت خشک و وزن آن‌ها ثبت شد. کروسیل‌ها به دستگاه اندازه‌گیری الیاف خام منتقل و باقی‌مانده نمونه داخل کروسیل به مدت یک ساعت در محلول شوینده خنثی جوشانده شد تا باقی‌مانده نمونه از آلودگی میکروبی پاک شود و فقط ماده خشک یا ماده آلی خوراک تجزیه‌نشده باقی بماند. سپس کروسیل‌ها از دستگاه خارج و

پارامترهای پتانسیل تولید گاز (A)، نرخ تولید گاز (C) و زمان تأخیر (Lag time) مربوط به تولید گاز ۹۶ ساعت با استفاده از نرم‌افزار SAS (SAS, 2006) و روش مک‌دونالد (McDonald, 1981) محاسبه شدند.

طرح آزمایشی و آنالیز آماری داده‌ها

آزمایش در دو دور و هر دور در سه تکرار انجام شد. آنالیز آماری داده‌ها به صورت فاکتوریل ۲×۴ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS انجام گردید. تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ترکیبات شیمیایی در قالب طرح کاملاً تصادفی و سایر داده‌ها (تولید گاز، ضریب تفکیک، ناپدید شدن ماده خشک و ماده آلی، بازده تولید توده میکروبی و متان) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (هر دور به عنوان یک بلوک در نظر گرفته شد) انجام گردید. عامل اول شامل انواع روش‌های فرآوری و عامل دوم شامل مدت زمان فرآوری بود. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از روش توکی و در سطح آماری پنج درصد انجام شد. مدل آماری طرح به صورت معادله ۱۱ بود.

معادله (۱۱)
$$Y_{ijk} = \mu + P_i + T_j + (P \times T)_{ij} + R_j + \varepsilon_{ijk}$$
 که در آن، μ : میانگین کل جامعه برای صفت مورد نظر، P_i : اثر روش فرآوری، T_j : اثر زمان فرآوری، $(P \times T)_{ij}$: اثر متقابل روش فرآوری در زمان فرآوری، R_j : اثر بلوک آزمایش و ε_{ijk} : اثر خطای آزمایشی است.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی باگاس

اثر روش‌های مختلف فرآوری (اوره یا ملاس) و مدت زمان فرآوری (۳۰ یا ۴۵ روز) بر ترکیب شیمیایی باگاس در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که فرآوری با اوره یا ملاس به مدت ۴۵ روز باعث کاهش معنی‌دار محتوای ماده خشک باگاس شد ($P < 0.05$). باگاس فرآوری‌شده با ملاس ۱۰ درصد و سیلوشده به مدت ۴۵ روز (روش ۲) و باگاس فرآوری‌شده با ملاس ۱۰ درصد و محلول اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۴۵ روز (روش ۴) در مقایسه با باگاس فرآوری‌نشده و سیلوشده به مدت ۴۵ روز، محتوای ماده آلی کمتری داشتند ($P < 0.05$). در بین تیمارهای آزمایشی، بیشترین محتوای پروتئین خام باگاس مربوط به باگاس فرآوری‌شده با ملاس ۱۰ درصد و محلول اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ و ۴۵ روز (روش ۴) بود ($P < 0.05$). محتوای الیاف نامحلول شوینده خنثی باگاس تحت تأثیر زمان فرآوری و اثرات متقابل زمان و فرآوری قرار نگرفت ($P > 0.05$)، اما نوع فرآوری بر محتوای الیاف نامحلول شوینده خنثی تأثیرگذار بود ($P < 0.05$). کمترین محتوای الیاف نامحلول شوینده

وزن آن‌ها پس از خشک کردن در آون (۱۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت) و خنک کردن در دسیکاتور ثبت شد. اختلاف وزن کروسیل پس از آون و کروسیل خالی به عنوان ماده خشک تجزیه‌نشده (a) در نظر گرفته شد. درصد تجزیه‌پذیری ماده خشک طبق معادله‌های ۳ تا ۵ محاسبه شد.

معادله (۳)

$$100 \times \frac{\text{ماده خشک تجزیه‌نشده (میلی گرم)} - \text{ماده خشک ریخته‌شده در بطری (میلی گرم)}}{\text{ماده خشک ریخته‌شده در بطری (میلی گرم)}} = \text{تجزیه‌پذیری ماده خشک (\%)}$$

معادله (۴)

$1000 \times [\text{وزن کروسیل خالی (گرم)} - \text{وزن کروسیل حاوی باقی‌مانده (گرم)}] = \text{ماده خشک تجزیه‌نشده (میلی گرم)}$
معادله (۵)

$500 \text{ میلی گرم} \times (100 \div \text{درصد ماده خشک نمونه خوراک}) = \text{ماده خشک ریخته‌شده در بطری (میلی گرم)}$
تجزیه‌پذیری ماده آلی و ضریب تفکیک پس از پایان آزمایش تولید گاز ۲۴ ساعت توسط معادله‌های ۶ و ۷ اندازه‌گیری شد (Makkar, 2010).

معادله (۶)

$$100 \times \frac{\text{ماده آلی تجزیه‌نشده (میلی گرم)} - \text{ماده آلی ریخته‌شده در بطری (میلی گرم)}}{\text{ماده آلی ریخته‌شده در بطری (میلی گرم)}} = \text{تجزیه‌پذیری ماده آلی (\%)}$$

معادله (۷)

$$\text{ماده آلی تجزیه‌شده (میلی گرم)} = \frac{\text{حجم گاز خالص (میلی لیتر)}}{\text{فاکتور تفکیک}}$$

بازده تولید توده میکروبی بعد از پایان زمان انکوباسیون ۲۴ ساعت با استفاده از معادله ۸ محاسبه شد.

معادله (۸)

$$100 \times \frac{[2/34 \times \text{تولید خالص گاز (میلی لیتر)}] - \text{ماده آلی تجزیه‌شده (میلی گرم)}}{\text{ماده آلی تجزیه‌شده (میلی گرم)}} = \text{بازده تولید توده میکروبی (\%)}$$

که در آن، ۲/۳۴: فاکتور استوکیومتری است.

در این روش، بعد از پایان انکوباسیون ۲۴ ساعت نمونه در مایع شکمبه و بافر فسفات، تولید گاز نهایی (پایان ۲۴ ساعت) ثبت شد. سپس محلول سدیم هیدروکسید ۱۰ مولار به محتویات بطری‌ها اضافه شد تا گاز دی‌اکسید کربن را جذب کند. بعد از جذب گاز دی‌اکسید کربن (بعد از حدود ۱۰ دقیقه)، گاز باقی‌مانده در سرنگ یا بطری شیشه‌ای معادل گاز متان بود (Fievez et al., 2005).

معادله (۹)

$\text{حجم گاز باقی‌مانده در سرنگ یا بطری شیشه‌ای ۱۰ دقیقه بعد از تزریق سدیم هیدروکسید ۱۰ مولار} = \text{تولید گاز متان (میلی لیتر)}$
معادله (۱۰)

$\text{تولید گاز متان بلانک} - \text{تولید گاز متان نمونه} = \text{تولید گاز متان خالص (میلی لیتر)}$

فراسنجه‌های تخمیر و گوارش‌پذیری شکمبه‌ای جیره‌های آزمایشی

فراسنجه‌های تخمیر شکمبه‌ای جیره‌های حاوی باگاس فرآوری‌شده با روش‌های مختلف (اوره یا ملاس) در زمان‌های متفاوت (۳۰ یا ۴۵ روز) در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که فرآوری‌ها باعث افزایش تولید گاز تجمعی ۲۴ ساعت گردید. بیشترین تولید گاز تجمعی ۲۴ ساعت مربوط به جیره‌های حاوی باگاس فرآوری‌شده با ملاس ۱۰ درصد و محلول اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز (روش ۴) و کمترین میزان تولید گاز تجمعی ۲۴ ساعت مربوط به جیره‌های شاهد (جیره‌های دارای باگاس فرآوری‌نشده و سیلوشده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز) بودند ($P < 0.05$). اثر زمان فرآوری، نوع فرآوری و اثرات متقابل آن‌ها بر تولید متان، ضریب تفکیک و بازده تولید توده میکروبی معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). ناپدید شدن ماده خشک و ماده آلی جیره‌های آزمایشی تحت تأثیر اثر زمان فرآوری و نوع فرآوری قرار گرفت ($P < 0.05$)، اما اثر متقابل زمان و فرآوری برای ناپدید شدن ماده آلی معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). در بین جیره‌های آزمایشی، بیشترین ناپدید شدن ماده خشک و ماده آلی مربوط به جیره‌های دارای باگاس فرآوری‌شده با ملاس ۱۰ درصد و محلول اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز (روش ۴) بودند ($P < 0.05$).

مطابق با نتایج آزمایش حاضر، در پژوهشی (Malekhhahi et al., 2010) مشخص شد که تولید گاز در کاه کنجد فرآوری‌شده با محلول اوره افزایش یافت. مشابه با نتایج آزمایش حاضر، در مطالعات متعدد، فرآوری باگاس نیشکر با محلول آمونیاک (Playne, 1984)، فرآوری کاه گندم با محلول آمونیاک (Dongyan et al., 2014)، فرآوری کاه جو با محلول اوره (Bachmann et al., 2022) یا فرآوری کاه برنج با محلول اوره (Shen et al., 1998) باعث افزایش تولید گاز، بهبود تجزیه‌پذیری ماده خشک و ماده آلی شد. به‌طور کلی، محلول‌های اوره و ملاس با تخریب ساختمان الیاف خوراک فرآوری‌شده باعث کاهش محتوای لیگنین خوراک و افزایش دسترسی ریزجانداران شکمبه با لایه‌های زیرین لیگنین یعنی سلولز و همی‌سلولز و در نتیجه افزایش تخمیر و تولید گاز و همچنین افزایش ناپدید شدن ماده خشک یا ماده آلی می‌شوند (Owens & Basalan, 2016). از طرفی، به‌دلیل وجود عنصر نیتروژن در ساختار اوره، اوره با تأمین نیتروژن لازم برای رشد ریزجانداران شکمبه (تولید پروتئین میکروبی)، باعث افزایش توانایی ریزجانداران شکمبه برای هضم خوراک می‌شود که احتمالاً فرآوری باگاس با محلول اوره از این طریق نیز می‌تواند در افزایش تجزیه‌پذیری (ناپدید شدن) شکمبه‌ای باگاس نقش داشته باشد (Alamzadeh, 2001).

خنثی باگاس مربوط به باگاس فرآوری‌شده با ملاس ۱۰ درصد و محلول اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ و ۴۵ روز (روش ۴) بود. در آزمایش حاضر، فرآوری‌های شیمیایی باعث کاهش محتوای ماده خشک و ماده آلی باگاس شد (جدول ۱). در مطالعه‌ای (Ribeiro et al., 2020)، محتوای ماده خشک در کاه جو و کاه گندم در اثر فرآوری با محلول اوره کاهش یافت. فرآوری کاه برنج با محلول اوره ۵/۵ درصد (مدت زمان فرآوری ۱۰ روز)، باعث کاهش محتوای ماده خشک کاه برنج در مقایسه با گروه شاهد شد (Wanapat et al., 2009). در مطالعه حاضر، دلیل کاهش محتوای ماده خشک و ماده آلی باگاس در اثر روش‌های مختلف فرآوری را می‌توان به خارج شدن یا اتلاف بخشی از ترکیبات گیاه طی فرآوری شیمیایی ارتباط داد (Jackson, 1977). به‌طور کلی، فرآوری خوراک‌های علوفه‌ای با مواد شیمیایی باعث شکستن و تخریب ساختمان الیاف و احتمالاً اتلاف مواد آلی مانند چربی و پروتئین شده که در نهایت منجر به کاهش محتوای ماده آلی می‌شود (Herrera-Saldana et al., 1982). به‌دلیل وجود عنصر نیتروژن در ساختمان اوره، فرآوری‌هایی که با محلول اوره انجام شد باعث افزایش محتوای نیتروژن در محصول فرآوری‌شده و به‌دنبال آن افزایش محتوای پروتئین خام گردید. به همین دلیل در این مطالعه، محتوای پروتئین خام باگاس فرآوری‌شده با محلول اوره افزایش یافت. مشابه با نتایج این مطالعه، در آزمایشی (Dehghani et al., 2021)، فرآوری باگاس نیشکر با محلول اوره باعث افزایش محتوای پروتئین خام باگاس شد. فرآوری باگاس با اوره یا ملاس باعث کاهش محتوای الیاف نامحلول شوینده خنثی باگاس گردید. مشابه با نتایج این پژوهش، در آزمایشی دیگر (Dehghani et al., 2021)، محتوای الیاف نامحلول شوینده خنثی باگاس و کاه گندم در اثر فرآوری با محلول اوره کاهش یافت. دلیل کاهش محتوای الیاف نامحلول شوینده خنثی باگاس در اثر فرآوری با محلول اوره و ملاس را می‌توان به تخریب ساختمان دیواره سلولی گیاه در محیط قلیایی ایجادشده توسط اوره ارتباط داد (Van Soest, 2006). فرآوری‌های شیمیایی-قلیایی مانند اوره، آمونیاک و غیره باعث شکستن پیوندهای بین همی‌سلولز و لیگنین و افزایش نفوذپذیری دیواره سلولی می‌شود (Jiang et al., 2017). محتوای ماده خشک، ماده آلی و پروتئین خام باگاس تحت تأثیر مدت زمان فرآوری قرار گرفت. زمان فرآوری ۴۵ روز در مقایسه با ۳۰ روز، ترکیبات شیمیایی باگاس فرآوری‌شده را بیشتر تحت تأثیر قرار داد؛ اما محتوای الیاف نامحلول شوینده خنثی در زمان فرآوری ۴۵ روز در مقایسه با ۳۰ روز از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت. اثرات متقابل زمان و فرآوری بر تمام ترکیبات شیمیایی باگاس به‌استثنای الیاف نامحلول شوینده خنثی تأثیرگذار بود که بیانگر اثر هم‌افزایی نوع فرآوری و مدت زمان فرآوری می‌باشد. هر چقدر مدت زمان فرآوری بیشتر بود، تغییر در ترکیبات شیمیایی باگاس نیز محسوس‌تر بود.

جدول ۲- اثر روش های مختلف فرآوری و مدت زمان فرآوری بر ترکیب شیمیایی (درصد ماده خشک) باگاس
Table 2- Effect of different processing methods^۱ and processing time on the chemical composition (% of dry matter) of bagasse

صفات Parameters	روش Method								سطح معنی داری P-Value	زمان × فرآوری Time × Processing	
	۳۰ روز فرآوری 30 days processing				۴۵ روز فرآوری 45 days processing						
	Method 1 روش ۱	Method 2 روش ۲	Method 3 روش ۳	Method 4 روش ۴	Method 1 روش ۱	Method 2 روش ۲	Method 3 روش ۳	Method 4 روش ۴			
ماده خشک Dry matter	95.02 ^b	94.75 ^b	97.00 ^a	94.75 ^b	96.50 ^a	95.50 ^b	93.50 ^c	93.50 ^c	0.29	<0.01	<0.01
ماده آلی Organic matter	93.86 ^b	92.80 ^d	96.56 ^a	90.78 ^e	92.89 ^{cd}	91.01 ^e	93.50 ^{bc}	86.95 ^f	0.22	<0.01	<0.01
پروتئین خام Crude protein	2.67 ^g	4.13 ^e	7.28 ^c	9.38 ^a	2.72 ^g	3.28 ^f	6.21 ^d	8.15 ^b	0.10	<0.01	<0.01
خاکستر خام Crude ash	6.14 ^e	7.20 ^c	3.43 ^f	9.22 ^b	7.11 ^{cd}	8.98 ^b	6.49 ^{de}	13.04 ^a	0.22	<0.01	<0.01
الیاف نامحلول شوینده خنثی Neutral detergent fiber	90.86 ^a	89.36 ^{bc}	88.90 ^{cd}	87.50 ^{de}	90.62 ^{ab}	89.01 ^{cd}	88.86 ^{cd}	86.89 ^e	0.47	<0.01	0.05

روش ۱: باگاس فرآوری نشده، ۲: باگاس فرآوری شده با محلول ۱۰ درصد ملاس، ۳: باگاس فرآوری شده با محلول ۵ درصد اوره، ۴: باگاس فرآوری شده با محلول ۱۰ درصد ملاس و ۵ درصد اوره

Method 1: Unprocessed bagasse, 2: Bagasse processed with 10% molasses solution, 3: Bagasse processed with 5% urea solution, and 4: Bagasse processed with 10% molasses solution and 5% urea.

^{a-e} Means in the same rows with different superscripts are significantly different with ($P < 0.05$).

جدول ۳- فراسنجهای تخمیر بدون تنی جیره‌های دارای باگاس فرآوری‌شده با روش‌های مختلف^۱ در زمان‌های متفاوت
Table 3- Ruminal fermentation parameters of diets containing bagasse processed by different methods¹ at different times

صفات	روش								SEM	زمان	P-Value	سطح معنی داری
	۳۰ روز فرآوری				۴۵ روز فرآوری							
	Method 1 روش ۱	Method 2 روش ۲	Method 3 روش ۳	Method 4 روش ۴	Method 1 روش ۱	Method 2 روش ۲	Method 3 روش ۳	Method 4 روش ۴				
تولید گاز تخمیری ۲۴ ساعت (میلی لیتر در ۵۰۰ میلی گرم ماده خشک)	50.47 ^d	53.07 ^{de}	56.16 ^{bc}	58.59 ^{ab}	52.63 ^d	53.12 ^{de}	56.02 ^{bc}	60.50 ^a	1.01	0.18	0.0001	0.04
24-hour cumulative gas production (ml/500 mg DM)												
تولید گاز متان (میلی لیتر در ۵۰۰ میلی گرم ماده خشک)	8.34	8.11	7.04	8.50	8.85	7.87	7.09	7.40	1.34	0.84	0.72	0.94
Methane gas production (ml/500 mg DM)												
ضرب تقنیک	4.86	4.48	4.44	4.45	4.74	4.36	4.29	4.13	0.23	0.41	0.32	0.87
Partitioning factor												
بازده تولید توده میکروبی (درصد)	55.46	54.54	52.90	51.87	52.29	54.68	51.50	49.72	2.70	0.17	0.15	0.19
Microbial mass production efficiency (%)												
ناپدید شدن ماده خشک (درصد)	50.61 ^c	50.76 ^c	52.17 ^b	56.01 ^{ab}	51.38 ^{bc}	51.77 ^{bc}	52.57 ^{bc}	57.44 ^a	1.48	0.01	0.03	0.03
Dry matter degradability (%)												
ناپدید شدن حقیقی ماده آلی (درصد)	50.37 ^c	52.28 ^{bc}	53.75 ^{abc}	56.57 ^{ab}	51.91 ^{bc}	52.72 ^{bc}	53.65 ^{abc}	57.71 ^a	2.81	0.01	0.03	0.93
True organic matter degradability (%)												

روش ۱: باگاس فرآوری‌نشده؛ ۲: باگاس فرآوری‌شده با محلول ۱۰ درصد ملاس؛ ۳: باگاس فرآوری‌شده با محلول ۵ درصد اوره؛ ۴: باگاس فرآوری‌شده با محلول ۱۰ درصد ملاس و ۵ درصد اوره.

Method 1: unprocessed bagasse, 2: bagasse processed with 10% molasses solution, 3: bagasse processed with 5% urea solution, and 4: bagasse processed with 10% molasses solution and 5% urea.

^{a-b} Means in the same rows with different superscripts are significantly different with ($P < 0.05$).

میزان تولید گاز تغییر کرد. درصد ناپدید شدن ماده خشک و ماده آلی تحت تأثیر اثرات متقابل زمان و فرآوری قرار نگرفت، اما مدت زمان

میزان تولید گاز جیره‌های حاوی باگاس فرآوری‌شده فقط تحت تأثیر نوع فرآوری قرار گرفت؛ یعنی بسته به نوع فرآوری انجام‌شده،

دهنده شروع سریع‌تر تخمیر و در دسترس بودن مواد مغذی برای رشد میکروبی و متابولیسم است (Sahnoun et al., 1991). در مطالعه حاضر، فرآوری باگاس با محلول اوره و ملاس باعث کاهش زمان تأخیر شد که نشان‌دهنده مطلوب بودن فرآوری‌ها است و احتمالاً دلیل آن تخریب ساختار پیچیده الیاف باگاس یا شکستن لیگنین و افزایش دسترسی آنزیم‌های میکروبی به کربوهیدرات‌های ساختمانی موجود در لایه زیرین لیگنین باشد. در مطالعه حاضر، اثرات متقابل زمان و فرآوری برای زمان تأخیر معنی‌دار بود که بیانگر این است که زمان فرآوری (۴۵ روز در مقایسه با ۳۰ روز) و هم نوع فرآوری بر زمان تأخیر تأثیرگذار بود و باعث کاهش زمان تأخیر شد. تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت و پتانسیل تولید گاز فقط تحت تأثیر نوع فرآوری قرار گرفت، یعنی زمان فرآوری ۴۵ روز در مقایسه با ۳۰ روز تأثیر معنی‌داری بر تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت و پتانسیل تولید گاز نداشت.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد که فرآوری باگاس با محلول اوره یا ملاس باعث افزایش تولید گاز و ناپدید شدن ماده خشک و ماده آلی شد. کمترین درصد ماده خشک و الیاف نامحلول شوینده خنثی (NDF^۱) و بیشترین درصد پروتئین خام مربوط به جیره دارای باگاس فرآوری‌شده با ملاس ۱۰ درصد و محلول اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز بود. کمترین زمان تأخیر مربوط به جیره حاوی باگاس فرآوری‌شده با محلول اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز و جیره حاوی ملاس ۱۰ درصد و محلول اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز بود. افزایش مدت زمان فرآوری از ۳۰ روز به ۴۵ روز باعث افزایش ناپدید شدن ماده خشک و ماده آلی شد. به‌طور کلی، فرآوری‌های شیمیایی در مقایسه با شاهد بر تغییر ترکیب شیمیایی باگاس، افزایش نرخ تولید گاز و افزایش ناپدید شدن ماده خشک و ماده آلی تأثیرگذار بود؛ و در بین روش‌های مختلف فرآوری، فرآوری باگاس با ملاس ۱۰ درصد و محلول اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۴۵ روز، بیشترین تأثیر را بر افزایش نرخ تولید گاز، پتانسیل تولید گاز و ناپدید شدن ماده خشک و ماده آلی باگاس داشت.

فرآوری و نوع فرآوری بر درصد ناپدید شدن ماده خشک و ماده آلی تأثیرگذار بود، به این معنی که با افزایش مدت زمان فرآوری (۴۵ روز در مقایسه با ۳۰ روز)، درصد ناپدید شدن ماده خشک و ماده آلی افزایش یافت. بنابراین می‌توان پیشنهاد کرد که فرآوری باگاس نیشکر با محلول اوره یا ملاس در مدت ۴۵ روز در مقایسه با ۳۰ روز، روش مناسب‌تری است.

فراسنجه‌های تولید گاز جیره‌های آزمایشی

فراسنجه‌های تولید گاز جیره‌های حاوی باگاس فرآوری‌شده با روش‌های مختلف (ملاس یا اوره) در زمان‌های متفاوت (۳۰ یا ۴۵ روز) در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت و پتانسیل تولید گاز (A) جیره‌های آزمایشی تحت تأثیر اثر زمان فرآوری قرار نگرفت ($P > 0.05$)، اما اثر نوع فرآوری و اثر متقابل روش فرآوری و زمان فرآوری معنی‌دار بود ($P < 0.05$). نرخ تولید گاز (C) و زمان تأخیر (Lag time) جیره‌های آزمایشی تحت تأثیر اثر زمان فرآوری، نوع فرآوری و اثر متقابل زمان و فرآوری قرار گرفت ($P < 0.05$). به‌طور کلی، نتایج نشان داد که فرآوری باگاس با ملاس یا اوره در مقایسه با عدم فرآوری آن باعث افزایش تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت، پتانسیل تولید گاز (A) و نرخ تولید گاز (C) و کاهش زمان تأخیر (Lag time) شد ($P < 0.05$). در بین جیره‌های آزمایشی، بیشترین تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت، پتانسیل تولید گاز (A) و نرخ تولید گاز (C) مربوط به جیره‌های حاوی باگاس فرآوری‌شده با محلول ملاس ۱۰ درصد و اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز (روش ۴) بود ($P < 0.05$). کمترین زمان تأخیر (Lag time) مربوط به جیره‌های حاوی باگاس فرآوری‌شده با محلول اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز (روش ۳) و جیره‌های حاوی باگاس فرآوری‌شده با محلول ملاس ۱۰ درصد و اوره ۵ درصد و سیلوشده به مدت ۳۰ یا ۴۵ روز (روش ۴) بودند ($P < 0.05$).

مطابق با نتایج آزمایش حاضر، در آزمایشی (Manyuchi et al., 1992)، فرآوری کاه جو با محلول آمونیاک باعث افزایش تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت (۳۵/۵۰ در مقایسه با ۳۳ میلی‌لیتر) در مقایسه با گروه شاهد شد. فرآوری باگاس با محلول اوره و ملاس از طریق تخریب لیگنین و افزایش دسترسی آنزیم‌های میکروبی به کربوهیدرات‌های ساختمانی موجود در لایه‌های زیرین لیگنین، باعث افزایش تخمیر و تولید گاز تجمعی ۹۶ ساعت و افزایش پتانسیل تولید گاز در مقایسه با جیره‌های شاهد شد. زمان تأخیر یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا ریزجانداران به ذرات الیاف بچسبند و شروع به هضم خوراک کنند. هر چقدر محتوای لیگنین در ساختمان الیافی یک خوراک بیشتر باشد یا خوراک دارای ساختار الیافی پیچیده و مقاوم‌تری باشد، زمان تأخیر بیشتر است. هر چقدر زمان تأخیر کمتر باشد، یعنی فرآیند هضم میکروبی سریع‌تر شروع شود، مطلوب‌تر است، زیرا نشان

جدول ۴- پارامترهای تولید گاز جیره‌های دارای باگاس فرآوری‌شده با روش‌های مختلف^۱ در زمان‌های متفاوت
Table 4- Gas production parameters of diets containing bagasse processed by different methods¹ at different times

پارامترها Parameters	روش Method								زمان Time	P-Value	سطح معنی داری	
	۳۰ روز فرآوری				۴۵ روز فرآوری							
	Method 1 روش ۱	Method 2 روش ۲	Method 3 روش ۳	Method 4 روش ۴	Method 1 روش ۱	Method 2 روش ۲	Method 3 روش ۳	Method 4 روش ۴				
تولید گاز: تجمعی ۶ ساعت (میلی لیتر در ۲۰۰ میلی گرم ماده خشک) 96 cumulative gas production (ml/200 mg DM)	54.37 ^e	59.84 ^{bc}	60.81 ^{bc}	65.40 ^a	55.92 ^{dc}	57.65 ^{cd}	60.20 ^{bc}	65.14 ^a	0.43	0.54	0.0001	0.03
پتانسیل تولید گاز: میلی لیتر در ۲۰۰ میلی گرم ماده خشک (A) A (Gas production potential; ml/200 mg DM)	3.89 ^d	4.41 ^b	4.45 ^b	3.73 ^a	4.13 ^{cd}	4.34 ^{bc}	4.57 ^{ab}	4.77 ^a	0.08	0.18	0.0001	0.05
نرخ تولید گاز: میلی لیتر در ساعت (C) C (gas production rate; ml/hour)	0.22 ^a	0.19 ^b	0.14 ^{cde}	0.17 ^{bde}	0.18 ^{bc}	0.14 ^{de}	0.13 ^e	0.15 ^{cde}	0.01	0.002	0.0006	0.04
زمان تأخیر (ساعت) lag time	0.89 ^a	0.64 ^a	0.10 ^b	0.00 ^b	0.65 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.10	0.005	0.0001	0.04

روش ۱: باگاس فرآوری‌نشده؛ ۲: باگاس فرآوری‌شده با محلول ۱۰ درصد ملاس و ۵ درصد اوره؛ ۳: باگاس فرآوری‌شده با محلول ۵ درصد اوره و ۳ درصد ملاس؛ ۴: باگاس فرآوری‌شده با محلول ۱۰ درصد ملاس و ۳ درصد اوره. (P<0.05)
Method 1: Unprocessed bagasse; 2: bagasse processed with 10% molasses solution, 3: bagasse processed with 5% urea solution, and 4: bagasse processed with 10% molasses solution and 5% urea.
^{a-b} Means in the same rows with different superscripts are significantly different with (P<0.05).

از تمامی افرادی که با ارائه راهنمایی‌های علمی و حمایت‌های پژوهشی در تکمیل این مطالعه سهیم بودند، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

بنابراین به نظر می‌رسد که ترکیب محلول ملاس ۱۰ درصد و اوره ۵ درصد برای باگاس، روش فرآوری مناسب‌تری باشد.

سپاسگزاری

References

- Ahmadi, F., Zamiri, M. J., Khorvash, M., Ziaee, E., & Polikarpov, I. (2016). Pre-treatment of sugarcane bagasse with a combination of sodium hydroxide and lime for improving the ruminal degradability: Optimization of process parameters using response surface methodology. *Journal of Applied Animal Research*, 44(1), 287-296. <https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1031783>.
- Alemzadeh, B., Noroozi, S., & Kardooni, A. (2001). Determination of nutritive value and apparent digestibility in bagasse and treated bagasse. *Pajouhesh and Sazandegi*, 53, 14-17. (In Persian)
- Amirkhani, M., Dianati Tilaki, G. A., & Mesdaghi, M. (2007). An investigation on forage quality of *Agropyron cristatum* and *Thinopyrum intermedium* in different phenological stages at Golestan National Park. *Pajouhesh and Sazandegi*, 74, 61-65. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2017.61972>. (In Persian).
- AOAC. (2007). Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA, USA, 1230 pp.
- Bachmann, M., Martens, S. D., Le Brech, Y., Kervern, G., Bayreuther, R., Steinhofel, O., & Zeyner, A. (2022). Physicochemical characterization of barley straw treated with sodium hydroxide or urea and its digestibility and *in vitro* fermentability in ruminants. *Scientific Reports*, 12(1), 20530. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24738-w>.
- Blummel, M., Aiple, K. P., Steingäß, H., & Becker, K. (1999). A note on the stoichiometrical relationship of short chain fatty acid production and gas formation *in vitro* in feedstuffs of widely differing quality. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 81(3), 157-167. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0396.1999.813205.x>.
- Blummel, M., Makkar, P. S., & Becker, K. (1997). *In vitro* gas production: A technique revisited. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 77, 24-34. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.1997.tb00734.x>.
- Church, D. C. (2009). *Livestock Feeds and Feeding*. Second Edition. A Reston Book, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- de Almeida, G. A. P., de Andrade Ferreira, M., de Lima Silva, J., Chagas, J. C. C., Vêras, A. S. C., de Barros, L. J. A., & de Almeida, G. L. P. (2018). Sugarcane bagasse as exclusive roughage for dairy cows in smallholder livestock systems. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(3), 379-385.
- Dehghani, M., Afzalzadeh, A., & Norouzian, M. A. (2021). The study of chemical composition and ruminal degradability parameters of urea treatment of wheat straw and sugarcane bagasse. *Animal Production*, 23(2), 191-200. <https://doi.org/10.22059/jap.2021.316319.623583>. (In Persian).
- Dongyan, Y. A. N. G., Yunzhi, P. A. N. G., Hairong, Y. U. A. N., Shulin, C. H. E. N., Jingwei, M. A., Liang, Y. U., & Xiujin, L. I. (2014). Enhancing biogas production from anaerobically digested wheat straw through ammonia pretreatment. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 22(5), 576-582. [https://doi.org/10.1016/S1004-9541\(14\)60075-6](https://doi.org/10.1016/S1004-9541(14)60075-6).
- Fievez, V., Babayemi, O. J., & Demeyer, D. (2005). Estimation of direct and indirect gas production in syringes: A tool to estimate short chain fatty acid production that requires minimal laboratory facilities. *Animal Feed Science and Technology*, 123, 197-210. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.05.001>.
- Gunun, N., Wanapat, M., Gunun, P., Cherdthong, A., Khejornsart, P., & Kang, S. (2016). Effect of treating sugarcane bagasse with urea and calcium hydroxide on feed intake, digestibility, and rumen fermentation in beef cattle. *Tropical Animal Health and Production*, 48, 1123-1128. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1061-2>.
- Herrera-Saldana, R., Church, D. C., & Kellems, R. O. (1982). The effect of ammoniation treatment on intake and nutritive value of wheat straw. *Journal of Animal Science*, 54(3), 603-608. doi.org/10.2527/jas1982.543603x.
- Jackson, M. G. (1977). The alkali treatment of straws. *Animal Feed Science and Technology*, 2(2), 105-130. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(77\)90013-X](https://doi.org/10.1016/0377-8401(77)90013-X).
- Jiang, D., Ge, X., Zhang, Q., Zhou, X., Chen, Z., Keener, H., & Li, Y. (2017). Comparison of sodium hydroxide and calcium hydroxide pretreatments of giant reed for enhanced enzymatic digestibility and methane production. *Bioresource Technology*, 244, 1150-1157. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.067>.
- Khawar, A., Khan, N., Iqbal, K. J., Fatima, M., Rasool, F., Anjum, K. M., & Asghar, M. (2024). Effect of urea treated sugarcane bagasse on growth, proximate composition, microbial flora and digestive enzymes activities of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Pakistan Journal of Zoology*, 56(5), 2369. <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/20220524090521>.
- Makkar, H. P. (2010). *In vitro* screening of feed resources for efficiency of microbial protein synthesis. *In vitro screening of plant resources for extra-nutritional attributes in ruminants: nuclear and related methodologies*, Springer, Perth, Australia. 107-144. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3297-3-7>.
- Malekhhahi, M., Mesgaran, M. D., Mousavi, A. H., Vakili, A., Tahmasbi, A., & Jahani-azizabadi, H. (2010). *In vitro* gas production parameters of sesame (*Sesamum indicum*) straw treated with sodium hydroxide, urea or sulphuric acid. *Advances in Animal Biosciences*, 1(1), 243-243. <https://doi.org/10.1017/S2040470010003869>.

20. Manyuchi, B., Orskov, E. R., & Kay, R. N. B. (1992). Effects of feeding small amounts of ammonia treated straw on degradation rate and intake of untreated straw. *Animal Feed Science and Technology*, 38, 293-304. <https://doi.org/10.1017/S0308229600020262>.
21. McDonald, I. (1981). A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *Journal of Agricultural Science*, 96, 251-252. <https://doi.org/10.1017/S0021859600032081>.
22. Menke, K. H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D., & Schneider, W. (1979). The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *The Journal of Agricultural Science*, 93(1), 217-222. <https://doi.org/10.1017/S0021859600086305>.
23. Naeini, S. Z., Khorvash, M., Rowghani, E., Bayat, A., & Nikousefat, Z. (2014). Effects of urea and molasses supplementation on chemical composition, protein fractionation and fermentation characteristics of sweet sorghum and bagasse silages as alternative silage crop compared with maize silage in the arid areas. *Research Opinions in Animal and Veterinary Sciences*, 4(6), 343-352.
24. National Research Council (NRC). (2007). Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids and new camelids. Washington, DC. USA.
25. Owens, F. N., & Basalan, M. (2016). Ruminal fermentation. *Rumenology*, Springer International Publishing Switzerland. 63-102. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-30533-2-3>.
26. Playne, M. J. (1984). Increased digestibility of bagasses by pretreatment with alkalis and steam explosion. *Biotechnology and Bioengineering*, 26(5), 426-433. <https://doi.org/10.1002/bit.260260505>.
27. Rezaei, F., Bayatkouhsar, J., Ghanbari, F., & Arab, F. (2023). The effect of water, urea, sodium hydroxide, and hydrogen peroxide processing on the cumin residues animal digestibility. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 12(4), 525-537. <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2022.1953020.1418>.
28. Ribeiro, G. O., Gruninger, R. J., Jones, D. R., Beauchemin, K. A., Yang, W. Z., Wang, Y., & McAllister, T. A. (2020). Effect of ammonia fiber expansion-treated wheat straw and a recombinant fibrolytic enzyme on rumen microbiota and fermentation parameters, total tract digestibility, and performance of lambs. *Journal of Animal Science*, 98(5), 1-19. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa116>.
29. Sahnoune, S., Besle, J. M., Chenost, M., Jouany, J. P., & Combes, D. (1991). Treatment of straw with urea. 1. Ureolysis in a low water medium. *Animal Feed Science and Technology*, 34(1-2), 75-93. [doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90193-7](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90193-7).
30. SAS (2006). Procedures Guide. Second Ed. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
31. Schiere, J. B., Ibrahim, M. N. M., Sewalt, V. J. H., & Zemmeling, G. (1989). Response of growing cattle given rice straw to lickblocks containing urea and molasses. *Animal Feed Science and Technology*, 26(3-4), 179-189. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(89\)90033-3](https://doi.org/10.1016/0377-8401(89)90033-3).
32. Shen, H. S., Ni, D. B., & Sundstøl, F. (1998). Studies on untreated and urea-treated rice straw from three cultivation seasons: 1. Physical and chemical measurements in straw and straw fractions. *Animal Feed Science and Technology*, 73(3-4), 243-261. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(98\)00157-6](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(98)00157-6).
33. Thite, V. S., & Nerurkar A. S. (2019). Valorization of sugarcane bagasse by chemical pretreatment and enzyme mediated deconstruction. *Scientific Reports*, 9(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52347-7>.
34. Van Soest, P. J. (2006). Rice straw, the role of silica and treatments to improve quality. *Animal Feed Science and Technology*, 130, 137-171. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.01.023>.
35. 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(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. Vitti, D. M., Abdalla, A. L., Silva Filho, J. C., del Mastro, N. L., Mauricio, R., Owen, E., & Mould F. (1999). Misleading relationships between *in situ* rumen dry matter disappearance, chemical analyses and *in vitro* gas production and digestibility, of sugarcane bagasse treated with varying levels of electron irradiation and ammonia. *Animal Feed Science and Technology*, 79(1-2), 145-153. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(99\)00014-0](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(99)00014-0).
37. Wanapat, M., Polvorach, S., Boonnop, K., Mapato, C., & Cherdthong, A. (2009). Effects of treating rice straw with urea or urea and calcium hydroxide upon intake, digestibility, rumen fermentation and milk yield of dairy cows. *Livestock Science*, 125, 238-243. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.05.001>.