



Estimation of fecal starch excretion in high-producing Holstein cows using total mixed ration nutrient compositions

Ayub Mohammadi¹ | Farhang Fatehi² | Kamran Reza-Yazdi³ |
Farhad Parnian-Khajehtizaj⁴ | Ali Sadeghi-Sefidmazgi⁵

1. Department of Animal Science, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Alborz, Iran. E-mail: ayub.mohammadi@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, - Department of Animal Science, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Alborz, Iran. E-mail: fatehi@ut.ac.ir
3. Department of Animal Science, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Alborz, Iran. E-mail: rezayazdi@ut.ac.ir
4. Animal Science Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran. E-mail: farhad.parnian@tabrizu.ac.ir
5. Department of Animal Science, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Alborz, Iran. E-mail: sadeghism@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 13 January 2025
Received in revised form
27 August 2025
Accepted 31 August 2025
Published online 15 October 2025

ABSTRACT

Objective: One of the most important goals in dairy cattle farming is to increase milk production and quality. This important goal is achieved when high-quality feed with high nutrient concentration is used in dairy cows, especially high-producing cows. However, understanding the importance of starch in cattle feed is vital for maximizing their performance and ensuring their health and welfare, from increasing energy levels for milk production to affecting rumen health and digestive tract efficiency. Therefore, increasing the amount of concentrate consumed has reached its maximum, and consequently, increasing nutrient digestion and reducing nutrient waste through feces in dairy cattle herds is of particular importance, which requires better herd management. Thus, the objective of the present study was to investigate the relationship between total mixed ration (TMR) nutrient compositions and their effects on fecal starch excretion, as one of the most widely used nutrients in high-producing Holstein cows across the country's herds.

Methods: This study was conducted on 76 Holstein dairy herds. In each herd, one pen of high-producing Holstein cows was selected as the index pen based on average milk production, average days in milk (DIM), and average parity. From each pen, 10 cows with body condition score of 3 ± 0.25 , DIM of 80 ± 10 , milk production of 47 ± 2.5 , and parity of 2.5 ± 0.5 were selected. Samples were collected from TMR, feed ingredients, and cow feces for three consecutive days. Finally, data such as dry matter intake (DMI), forage-to-concentrate ratio, and amounts and ratios of dietary starch, crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), crude fat, non-fiber carbohydrates, and organic matter in TMR were measured. The resulting data were used to estimate fecal starch excretion using single and multiple linear regression models. The prioritization criterion for the effects of each parameter was determined using the coefficient of determination.

Results: Based on univariate prioritization, the results showed that in addition to the amount and percentage of dietary starch (coefficient of determination of 0.56 and 0.43, respectively), the amount of NDF, amount of CP intake, dietary protein percentage, DMI, and dietary NDF percentage with coefficients of determination of 0.42, 0.36, 0.36, 0.34, and 0.33, respectively, had significant effects on fecal starch excretion (P -value ≤ 0.01) and had the greatest impact on fecal starch excretion in that order. Additionally, based on the multivariate model, it was determined that including two factors - dietary starch percentage and dietary protein percentage - in the model equation provided the highest estimation of fecal starch percentage with a coefficient of determination of 0.73. It should be noted that the next priorities were for DMI, dietary starch percentage, and dietary protein percentage ($R^2 = 0.68$), as well as DMI, protein percentage, and dietary NDF percentage ($R^2 = 0.65$).

Conclusions: This study showed that fecal starch concentration in the country's high-producing cows is significantly high (average 11.5% based on fecal dry matter). Also, based on univariate prioritization, it was shown that increases in dietary starch amounts and percentages, dietary CP, and daily DMI (in kilograms) lead to increased fecal starch excretion, while increases in dietary NDF amount and percentage resulted in decreased fecal starch excretion. Furthermore, based on multivariate prioritization, the best estimation of fecal starch excretion was achieved using a model including dietary starch percentage and dietary protein percentage variables, which could predict fecal starch concentration with a coefficient of determination of 0.73.

Keywords:

Fecal starch excretion
High-producing Holstein cow
Total mixed ration compositions

Cite this article: Mohammadi, A., Fatehi, F., Reza-Yazdi, K., Parnian-Khajehtizaj, F., & Sadeghi-Sefidmazgi, A. (2025). Estimation of fecal starch excretion in high-producing Holstein cows using total mixed ration nutrient compositions. *Journal of Animal Production*, 27 (3), 307-319. DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2025.388751.623827>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2025.388751.623827>

Publisher: University of Tehran Press.



برآورد نشاسته دفعی در گاوهای پرتولید هلستاین با استفاده از ترکیبات مواد مغذی جیره کاملاً مخلوط

ایوب محمدی^۱ | فرهنگ فاتحی^۲ | کامران رضایزدی^۳ | فرهاد پرنیان خواجه دیزج^۴ | علی صادقی سفیدمزیگی^۵

۱. گروه علوم دامی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: Ayub.mohammadi@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: Fatehif@ut.ac.ir
۳. گروه علوم دامی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: Rezayazdi@ut.ac.ir
۴. بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران. رایانامه: farhad.parnian@tabrizu.ac.ir
۵. گروه علوم دامی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: Sadeghism@ut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

هدف: از مهم‌ترین اهداف پرورش گاوشیری افزایش تولید و کیفیت شیر است. این امر مهم زمانی اتفاق می‌افتد که از جیره با کیفیت و با غلظت مواد مغذی بالا در گاوهای شیری به‌ویژه گاوهای پرتولید استفاده شود. با این وجود، درک اهمیت نشاسته در خوراک گاو برای به‌حداکثر رساندن عملکرد آن‌ها و اطمینان از سلامت و رفاه آن‌ها از افزایش سطح انرژی برای تولید شیر گرفته تا تأثیر بر سلامت شکمبه و کارایی دستگاه گوارش حیاتی است، لذا افزایش در مقدار کنسانتره مصرفی به‌حداکثر خود رسیده و در نتیجه افزایش هضم مواد مغذی و کاهش هدر رفت این مواد از طریق مدفوع در گله‌های گاو شیری، اهمیت ویژه‌ای دارد که نیازمند مدیریت بهتر گله‌ها می‌باشد. بنابراین، هدف از مطالعه حاضر بررسی ارتباط ترکیبات مواد مغذی جیره کاملاً مخلوط و اثر آن‌ها بر دفع نشاسته مدفوعی، به‌عنوان یکی از پرکاربردترین مواد مغذی در گاوهای پرتولید هلستاین در سطح گله‌های کشور است.

روش پژوهش: مطالعه حاضر در ۷۶ گله گاو شیری هلستاین بدین صورت انجام شد که در هر گله یک بهارند از گاوهای هلستاین پرتولید به‌عنوان بهارند شاخص براساس میانگین تولید شیر، میانگین روزهای شیردهی و میانگین زایش انتخاب و از گاوهای بهارند ۱۰ گاو با نمره بدنی 3.5 ± 0.25 ، روزهای شیردهی 80 ± 10 تولید شیر $47 \pm 2/5$ و تعداد شکم زایش $2/5 \pm 0/5$ انتخاب شد و برای سه روز متوالی از جیره کاملاً مخلوط، اقلام خوراک و مدفوع گاوها نمونه‌گیری انجام گرفت. در نهایت، داده‌هایی چون ماده خشک مصرفی، نسبت علوفه به کنسانتره جیره و همچنین مقادیر و نسبت‌های نشاسته مصرفی، پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی، چربی خام، کربوهیدرات‌های غیرفیبری و ماده آلی جیره کاملاً مخلوط اندازه‌گیری شد. در نهایت از داده‌های حاصل برای برآورد نشاسته دفعی از طریق مدفوع با استفاده از طرح رگرسیون خطی تک و چندمتغیره استفاده شد. معیار اولویت‌بندی اثرات هر کدام از فراسنجه‌ها با استفاده از ضریب تبیین صورت گرفت.

یافته‌ها: نتایج مطالعه حاضر براساس اولویت‌بندی تک‌متغیره نشان داد که علاوه بر مقدار و درصد نشاسته مصرفی (به‌ترتیب ضریب تبیین برابر با $0/56$ و $0/43$) مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی، مقدار پروتئین خام مصرفی، درصد پروتئین جیره، ماده خشک مصرفی و درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی جیره به‌ترتیب با ضرایب تبیین $0/42$ ، $0/36$ ، $0/34$ و $0/33$ دارای اثر معنی‌داری بر دفع نشاسته از طریق مدفوع بوده ($P\text{-value} \leq 0/01$) و به‌ترتیب بیش‌ترین تأثیر را بر دفع نشاسته مدفوعی داشتند. همچنین، براساس مدل چندمتغیره، مشخص شد که در صورت گنجاندن دو عامل درصد نشاسته و درصد پروتئین جیره در معادله مدل، با ضریب تبیین $0/73$ ، بالاترین برآورد درصد نشاسته مدفوعی به‌دست می‌آید. لازم به ذکر است اولویت‌های بعدی، به‌ترتیب برای عوامل ماده خشک مصرفی، درصد نشاسته و درصد پروتئین جیره ($R^2 = 0/68$) و همچنین برای ماده خشک مصرفی، درصد پروتئین و درصد NDF جیره ($R^2 = 0/65$) بود.

نتیجه‌گیری: مطالعه حاضر نشان داد که غلظت نشاسته دفعی از طریق مدفوع در گاوهای پرتولید کشور به‌طور قابل‌توجهی بالا است (میانگین $11/5$ درصد براساس ماده خشک مدفوع). همچنین براساس اولویت‌بندی تک‌متغیره نشان داده شد که افزایش در مقادیر و درصد‌های نشاسته جیره، پروتئین خام جیره و همچنین افزایش مقدار ماده خشک مصرفی روزانه (برحسب کیلوگرم) سبب افزایش دفع نشاسته مدفوعی می‌شود، از طرف دیگر افزایش مقدار و درصد NDF جیره باعث کاهش دفع نشاسته از طریق مدفوع شد. همچنین براساس اولویت‌بندی چندمتغیره بهترین برآورد نشاسته دفعی از طریق مدفوع با استفاده از مدلی شامل متغیرهای درصد نشاسته جیره و درصد پروتئین جیره بود که توانست با ضریب تبیین $0/73$ غلظت نشاسته دفعی از طریق مدفوع را پیش‌بینی نماید.

کلیدواژه‌ها:

ترکیبات جیره کاملاً مخلوط
گاو هلستاین پرتولید
نشاسته مدفوعی

استناد: محمدی، ایوب؛ فاتحی، فرهنگ؛ رضایزدی، کامران؛ پرنیان خواجه دیزج، فرهاد و صادقی سفیدمزیگی، علی (۱۴۰۴). برآورد نشاسته دفعی در گاوهای پرتولید هلستاین با استفاده از ترکیبات مواد مغذی جیره کاملاً مخلوط. *نشریه تولیدات دامی*، ۲۷ (۳)، ۳۰۷-۳۱۹.
DOI: <https://doi.org/10.22059/jap.2025.388751.623827>



۱. مقدمه

گیاه‌خواران نقش مهمی در اکوسیستم دارند که یکی از توانایی‌های کلیدی آن‌ها، هضم و دفع نشاسته است. درک اهمیت نشاسته در خوراک گاو برای به حداکثر رساندن عملکرد و تضمین سلامت گاوها از افزایش سطح انرژی برای تولید شیر تا تأثیر بر سلامت شکمبه و کارایی دستگاه گوارش حیاتی است (Silvestre et al., 2022). در گله‌های گاو شیری پرتولید، نشاسته غذایی معمولاً بین ۲۰ تا ۲۷ درصد متغیر است (Dann et al., 2014). دانه غلات، منبع اصلی نشاسته در جیره گاوهای شیری است که قابلیت هضم شکمبه‌ای آن بسته به نوع فرآوری (۴۵ تا ۸۷ درصد) متفاوت می‌باشد (Firkins et al., 2001). بین منابع نشاسته در مقدار و سرعت تجزیه در شکمبه تفاوت وجود دارد که از عوامل آن می‌توان به گرانول‌های مقاوم به آنزیم (Shipandeni et al., 2023) و ماتریس پروتئینی اشاره کرد (Huntington, 1997). به‌طور کلی، قابلیت هضم نشاسته غلات در گاوهای شیری در دامنه ۷۰ تا ۱۰۰ درصد متغیر است (Firkins et al., 2001) که این میزان تحت تأثیر عواملی چون اندازه ذرات، نوع فرآوری، سطح پروتئین محلول جیره و الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) می‌باشد. غلظت NDF در جیره غذایی رابطه معکوسی با غلظت نشاسته دارد و افزایش در NDF با کاهش نشاسته جیره همراه است (Reis et al., 2020).

مطابق توصیه‌ها، جیره غذایی با کم‌تر از ۲۸ درصد NDF (NASEM, 2021) منجر به کاهش چربی شیر می‌شود، بنابراین، همزمانی استفاده از سطح بهینه نشاسته و NDF در جیره باعث افزایش کارایی و سلامت گاوهای شیرده می‌گردد (Reis et al., 2020). علاوه بر غلظت نشاسته، عوامل دیگری نیز در قابلیت هضم نشاسته در کل دستگاه گوارش مؤثر هستند، از جمله جریان بیش‌تر NDF به روده (Liu et al., 2014). هم‌چنین، افزایش نسبت نشاسته در جیره گاوهای پرتولید با کاهش نسبت NDF، مدت زمان ماندگاری و pH شکمبه را کاهش داده و خطر اسیدوز را افزایش می‌دهد که پیامد آن کاهش قابلیت هضم مواد مغذی است (Liu et al., 2023). دفع نشاسته هضم‌نشده از طریق مدفوع دارای معایب متعددی است، از جمله تأثیرات زیست‌محیطی (انتشار گازهای گلخانه‌ای و تخریب خاک)، تأثیرات روی حیوان (اسیدوز شکمبه، کاهش راندمان خوراک) و تأثیرات اقتصادی (کاهش بهره‌وری و افزایش هزینه‌ها) (Silvestre et al., 2022). مطالعات نشان داده‌اند که به‌ازای هر درصد کاهش در غلظت نشاسته مدفوعی، مقدار شیر تولیدی نیم لیتر افزایش می‌یابد (Hutjens, 2011).

عوامل متعددی بر دفع نشاسته از طریق مدفوع تأثیرگذار هستند که می‌توان به عوامل داخلی (میکروبیوم شکمبه، فعالیت آنزیمی، pH شکمبه) و عوامل خارجی (ترکیب جیره غذایی، مدیریت تغذیه، شرایط محیطی) اشاره کرد (Matamura et al., 2024). بنابراین، عواملی مانند ماده خشک مصرفی، مقدار و نسبت نشاسته مصرفی، پروتئین خام مصرفی، NDF مصرفی و سایر ترکیبات جیره احتمالاً بر دفع مدفوعی نشاسته تأثیرگذار هستند. تاکنون مطالعه‌ای که به پیش‌بینی مقدار نشاسته دفع‌شده از طریق مدفوع با استفاده از ترکیبات مواد مغذی جیره پرداخته باشد، انجام نگرفته است. هدف از مطالعه حاضر، بررسی عوامل مؤثر بر دفع نشاسته از طریق مدفوع در گله‌های گاو شیری، اولویت‌بندی آن‌ها و برآورد مقدار نشاسته دفعی با استفاده از مدل‌سازی رگرسیون تک و چند متغیره می‌باشد.

۲. روش پژوهش

مطالعه حاضر با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده از ۷۶ گله گاو شیری صنعتی کشور، طی سه مرحله انجام گرفت که مرحله اول مربوط به جمع‌آوری اطلاعات و نمونه‌های موردنیاز در گله‌های گاو شیری سطح کشور بود و مرحله دوم آن شامل آنالیز نمونه‌ها در آزمایشگاه و تهیه بانک اطلاعاتی موردنیاز برای انجام آنالیزهای آماری بود. در مرحله بعد

داده‌های دسته‌بندی شده با استفاده از مدل‌های آماری با هدف پیش‌بینی غلظت نشاسته دفعی از طریق مدفوع مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که پراکنش گله‌های حاضر در مطالعه به گونه ای بود که از استان تهران ۲۸ گله، استان خراسان رضوی ۸ گله، استان اصفهان ۷ گله، استان البرز ۳ گله، استان قزوین ۵ گله، استان همدان ۳ گله و هرکدام از استان‌های کردستان، کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان، آذربایجان شرقی، کرمانشاه، زنجان، مرکزی، چهارمحال و بختیاری و قم دو گله حضور داشتند.

۱.۲. مرحله جمع‌آوری نمونه‌ها

در این مرحله ابتدا در هر گله یک بهارمند به‌عنوان نماینده بهارندهای پرتولید (بهارمند شاخص) براساس میزان تولید، اسکور بدنی و روزهای آبستنی انتخاب شد. سپس با مراجعه به گله مذکور اطلاعات و نمونه‌های مورد نیاز به‌صورت زیر جمع‌آوری شد (جدول ۱).

اطلاعات انفرادی گاوهای مورد مطالعه در هر گله شامل روزهای شیردهی، تعداد زایش، روزهای آبستنی، اسکور بدنی، فرمول جیره مصرفی، میزان تولید شیر، نسبتی از خوراک که در هر وعده به گاوهای پرتولید عرضه می‌شود، مقدار خوراک مصرفی روزانه، نمونه‌گیری از خوراک کاملاً مخلوط، نمونه‌گیری از پس‌آخور، نمونه‌گیری از مدفوع گاوها و نمونه‌گیری از کنسانتره مصرفی بود. لازم به ذکر است که نمونه‌گیری در هر گله در سه روز متوالی انجام گرفت (جدول ۱).

جدول ۱. جدول زمانی مربوط به اجرای مزرعه‌ای طرح آزمایشی

شاخص‌ها	روزها			زمان نمونه‌برداری	توضیحات
	یک	دو	سه		
ثبت رکورد شیر	*	*	*	سه روز متوالی	
نمونه‌گیری از شیر برای تعیین ترکیبات	*	*	*	سه روز متوالی	
ثبت مقدار خوراک مصرفی روزانه	*	*	*	سه روز متوالی هر روز یک‌بار با توزین پس‌آخور	
نمونه‌گیری از علوفه‌های مورد استفاده در جیره (ذرت سیلویی و یونجه)	*			یک روز	
نمونه‌گیری از خوراک کاملاً مخلوط	*	*	*	سه روز متوالی هر روز از تمامی وعده‌ها از خوراک تازه ریخته شده	از تمام وعده‌ها نمونه‌برداری انجام شد
نمونه‌گیری از پس‌آخور	*	*	*	سه روز متوالی	
نمونه‌گیری از مدفوع گاوها	*	*	*	سه روز متوالی هر روز دو وعده صبح و عصر	از ۱۰ گاو در هر بهارمند نمونه‌گیری شد
نمونه‌گیری از کنسانتره مصرفی	*			یک روز	

از بین بهارمند گاوهای پرتولید یک بهارمند به‌عنوان بهارمند شاخص انتخاب شد. انتخاب بهارمند شاخص براساس وضعیت تولید، اسکور بدنی، روزهای آبستنی و ترکیبات شیر بود. در بهارمند شاخص، ۱۰ راس گاو از کل گاوهای بهارمند به‌عنوان ماده آزمایشی لحاظ گردید (برای یکنواختی و مقایسه بهتر گاوها در گله‌های مختلف، معیار انتخاب ۱۰ راس گاو براساس وضعیت نمره بدنی 3 ± 0.25) (براساس نمره یک تا پنج با استفاده از روش Wildman و همکاران (۱۹۸۲))، روزهای شیردهی 8.0 ± 1.0 ، تولید شیر 47 ± 2.5 و تعداد شکم زایش 2.5 ± 0.5) بدین ترتیب که طی سه روز متوالی و هر روز دو بار (صبح و عصر) از رکتوم این گاوها نمونه مدفوع جمع‌آوری گردید، نمونه صبح و عصر هر گاو در هر روز با هم مخلوط شد و در نهایت پس از سه روز، از شش نمونه مدفوع مربوط به هر گاو سه نمونه تهیه شده (یک نمونه در هر روز) و در ظرف جداگانه نگهداری شدند. همزمان در روز جمع‌آوری نمونه‌های مدفوعی از TMR و همچنین اقلام خوراکی و علوفه‌های مورد استفاده در تهیه جیره‌ها نیز نمونه‌گیری انجام گرفت.

۲.۲. مرحله آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های جمع‌آوری شده تهیه بانک اطلاعاتی

تمامی نمونه‌های جمع‌آوری شده مدفوع، TMR و اقلام خوراکی با استفاده از فلاکس حاوی یخ خشک به آزمایشگاه گروه علوم دامی دانشگاه تهران منتقل و تا زمان انجام آنالیز در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. پس از یخ‌گشایی نمونه‌های جمع‌آوری شده مدفوع و TMR، فراسنجه‌هایی از قبیل ماده خشک (با استفاده از آون ۶۵ درجه برای نمونه‌های خوراک ۴۸ ساعت و برای نمونه‌های مدفوع ۷۲ ساعت)، سپس نمونه‌های خشک‌شده با توری یک میلی‌متری آسیاب‌شده (AOAC, 2012) و پروتئین خام (Kjeltec Auto Analyzer 1030 Tactor)، پروتئین محلول، چربی خام (Soxtec System H.T Tactor) و خاکستر خوراک (کوره الکتریکی) با استفاده از روش (AOAC, 2012) و غلظت الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) خوراک با استفاده از روش van Soest و همکاران (۱۹۹۱) با استفاده از دستگاه آنکوم تک (اصفهان، ایران) اندازه‌گیری شدند.

هم‌چنین غلظت نشاسته در مدفوع و خوراک با استفاده از روش هال (Hall, 2009) اندازه‌گیری شد. به‌طور خلاصه در ابتدا، قندهای محلول موجود در نمونه‌ها با استفاده از اتانول ۸۰ درصد حذف گردیده و در مرحله بعد نشاسته موجود در نمونه‌ها با استفاده از آنزیم آلفا-آمیلاز مقاوم به حرارت به مالتودکسترین تبدیل می‌شود و سپس با استفاده از آنزیم آمیلوگلوکوزیداز، مالتودکسترین‌ها تبدیل به دی‌گلوکز می‌شوند. در مرحله بعدی دی‌گلوکز با استفاده از آنزیم گلوکز اکسیداز تبدیل به دی‌گلوکونات و یک مولکول پراکسید هیدروژن (H_2O_2) می‌شوند که پراکسیدروکسی بنزوئیک اسید و آمینوآنتی پیرین تحت حضور آنزیم پراکسیداز با پراکسید هیدروژن واکنش داده و تولید ماده رنگی کینون ایمین می‌نمایند که در نهایت شدت رنگ ماده مذکور با استفاده از اسپکتوفتومتر که ارتباط مستقیمی با غلظت نشاسته در نمونه دارد اندازه‌گیری می‌شود.

۲.۳. مرحله تجزیه و تحلیل داده‌ها و مدل‌سازی

با توجه به بانک اطلاعاتی حاصل از مرحله اول و دوم، متغیرهای مستقل شامل مقدار ماده خشک مصرفی، درصد نشاسته جیره، درصد پروتئین خام و پروتئین محلول در جیره، درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی و کربوهیدرات‌های غیرفیبری جیره، درصد چربی خام و ماده آلی جیره می‌باشد. این متغیرها در درجه اول براساس عوامل اولیه تغییردهنده صفات با استفاده از رویه GLM در نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) تصحیح شدند (رابطه ۱). عوامل اولیه تغییردهنده صفات شامل اثرات گله و اثرات سن (شکم دام) به‌عنوان عامل کوواریت می‌باشند. سپس تمام متغیرها با استفاده از رویه Univariate نرمال‌سازی شدند. در نهایت داده‌های تصحیح‌شده با استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری SAS (نسخه ۹/۴) و به‌کمک مدل رگرسیون خطی تک و چندمتغیره، برازش مدل گردید (رابطه ۲) و در نهایت، انتخاب بهترین مدل با استفاده از معیاری ضریب تبیین و میانگین مربعات مانده‌ها انجام گرفت.

$$Y_{ijk} = \mu + H_i + A_j + e_{ijk} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در مدل مذکور، Y_{ijk} متغیر وابسته؛ μ میانگین کل؛ H_i اثر i امین گله؛ A_j اثر شکم زایش؛ e_{ijk} اثر اشتباه آزمایشی می‌باشد.

$$Y_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_n X_{in} + e_{ijk} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در مدل مذکور، Y_{ijk} متغیر وابسته؛ β_0 عرض از مبدأ؛ $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ پارامترهای رگرسیون i امین تا n امین متغیر مستقل؛ $X_1, X_2, \dots, X_n$ اثر i امین تا n امین متغیر مستقل؛ e_{ijk} اثر اشتباه آزمایشی می‌باشد.

۳. نتایج و بحث

نتایج آنالیز آمار توصیفی پارامترهای موردبررسی شامل حداقل، حداکثر و میانگین ماده خشک مصرفی، مقدار و نسبت نشاسته مدفوعی و نسبت علوفه و کنسانتره در جیره می‌باشد و همچنین ترکیبات جیره مصرفی شامل مقادیر و نسبت‌های نشاسته، پروتئین خام، پروتئین محلول، NDF، چربی خام، NFC و ماده آلی در جیره کاملاً مخلوط در سطح گله‌های کشور در جدول (۲) گزارش شده است. سپس اقدام به برآورد نشاسته دفعی از طریق مدفوع با توجه به پارامترهای مذکور شد. نتایج حاصل از برآورد نشاسته دفعی با اولویت‌بندی براساس ضریب تبیین در دو بخش تک‌متغیره (جدول ۳) و چندمتغیره (جدول ۴) گزارش شده است.

نتایج نشان داد که میانگین دفع نشاسته از طریق مدفوع ۱۱/۵ درصد بوده است و فاصله زیادی با مقدار توصیه‌شده (پنج درصد براساس ماده خشک) دارد (Hutjens, 2011). در مطالعه حاضر، هر گاو به‌طور متوسط روزانه ۰/۹۸ کیلوگرم نشاسته از طریق مدفوع دفع می‌نماید که با عنایت به وارداتی بودن غله ذرت و خروج ارز از کشور می‌تواند به‌عنوان یک ضرر اقتصادی جدی موردتوجه قرار گیرد (جدول ۲). طی مطالعه‌ای Hutjens (۲۰۱۱) گزارش کردند که غلظت نشاسته در مدفوع می‌تواند در دامنه ۲۲/۴-۲/۳ درصد (براساس ماده خشک) متغیر باشد. این پژوهش‌گران نشان دادند در صورتی که غلظت نشاسته مدفوع در حد پنج درصد (براساس ماده خشک) باشد این میزان معادل ۹۰ درصد قابلیت هضم نشاسته در دستگاه گوارش می‌باشد و بیان نمودند که غلظت نشاسته در مدفوع بیش از پنج درصد به معنی زنگ خطری برای اتلاف مواد مغذی از طریق مدفوع خواهد بود. این پژوهش‌گران گزارش کردند به‌ازای هر یک درصد کاهش در غلظت نشاسته مدفوعی مقدار شیر تولیدی، ۰/۵ لیتر افزایش می‌یابد. از این‌رو میانگین درصد نشاسته دفعی در گله‌های مورد مطالعه بیانگر دفع نشاسته بیش از مقادیر توصیه‌شده می‌باشد.

جدول ۲. آمار توصیفی وضعیت نشاسته دفعی و فراسنجه‌های مرتبط در مطالعه حاضر

متغیرها	واحد	تعداد	میانگین	انحراف استاندارد	حداقل	حداکثر
درصد نشاسته مدفوعی	درصد	۷۶	۱۱/۵	۳/۱۶	۷/۲۳	۲۰/۸
مقدار نشاسته دفعی از طریق مدفوعی	کیلوگرم	۷۶	۰/۹۸	۰/۳۶	۰/۳۹	۱/۹۶
مقدار ماده خشک مصرفی	کیلوگرم	۷۶	۲۵/۹	۲/۱۶	۱۹/۳	۳۱/۱
درصد علوفه جیره	درصد	۷۶	۳۷/۵	۳/۸۵	۲۸/۵	۴۸/۰
درصد کنسانتره جیره	درصد	۷۶	۶۲/۵	۳/۸۵	۵۲	۷۱/۵
ترکیبات جیره						
درصد نشاسته جیره	درصد	۷۶	۲۶/۶	۲/۹۸	۲۱/۷	۳۵/۷
مقدار نشاسته مصرفی	کیلوگرم	۷۶	۶/۷۸	۰/۹۵	۴/۳۴	۹/۲۴
درصد پروتئین خام جیره	درصد	۷۶	۱۶/۹	۰/۹۵	۱۴/۴	۱۸/۸
مقدار پروتئین خام مصرفی	کیلوگرم	۷۶	۴/۳۹	۰/۵۱	۳/۲۴	۵/۵۱
درصد پروتئین محلول جیره	درصد	۷۶	۲۵/۵	۱/۹۷	۲۰/۳	۳۳/۰
مقدار پروتئین محلول مصرفی	کیلوگرم	۷۶	۱/۱۴	۰/۱۵	۰/۸۰	۱/۵۰
درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی جیره	درصد	۷۶	۲۹/۱	۲/۱۱	۲۵/۴	۳۵/۷
مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی مصرفی	کیلوگرم	۷۶	۷/۶۰	۰/۷۹	۵/۷۱	۹/۲۳
درصد چربی خام جیره	درصد	۷۶	۴/۹۷	۰/۷۳	۳/۳۰	۶/۶۰
مقدار چربی خام مصرفی	کیلوگرم	۷۶	۱/۳۱	۰/۲۴	۰/۸۳	۱/۹۸
درصد کربوهیدرات غیرفیبری جیره	درصد	۷۶	۴۱/۰	۲/۳۸	۳۵/۸	۴۹/۱
مقدار کربوهیدرات غیرفیبری مصرفی	کیلوگرم	۷۶	۱۰/۷	۱/۱۶	۶/۹۱	۱۳/۶
درصد ماده آلی جیره	درصد	۷۶	۹۱/۶	۱/۱۶	۸۸/۶	۹۵/۶

همچنین نتایج نشان داد به صورت کلی میانگین نسبت علوفه به کنسانتره مصرفی در گاوهای پرتولید هلشتاین ۳۷/۵ به ۶۲/۵ می باشد (جدول ۲). بدین معنی با توجه به افزایش تولید شیر در گاوهای هلشتاین نسبت کنسانتره در جیره (۶۲/۵) مورد توجه بوده است. از این رو، افزایش در مقدار ماده خشک مصرفی و همچنین افزایش در مقدار کنسانتره همراه با افزایش در مقدار نشاسته مصرفی (۲۶/۶ درصد جیره و ۶/۷۸ کیلوگرم در روز) می باشد (جدول ۲). از طرفی نیز افزایش در نسبت علوفه با افزایش در میانگین NDF مصرفی همراه خواهد بود میانگین نسبت علوفه در جیره ۳۷/۵ درصد و میانگین NDF در جیره ۲۹/۱ درصد می باشد که معادل مصرف ۷/۶ کیلوگرم NDF در روز براساس ماده خشک جیره است (جدول ۲).

همان طور که در جدول (۲) نشان داده شد میانگین پروتئین خام جیره در گله های مورد مطالعه ۱۶/۹ درصد بوده است که معادل مصرف ۴/۳ کیلوگرم در روز پروتئین خام می باشد. پژوهش گران پیشین اعلام داشتند که در صورت افزایش در درصد پروتئین به بالای ۱۶/۵ درصد در جیره گاوهای پرتولید باید تعادل در نسبت انرژی به پروتئین اعمال شود تا شکمبه بیشترین کارایی را در رابطه با استفاده بهتر از منابع کربوهیدرات سریع التخمیر (نشاسته) به عنوان منبع انرژی و پروتئین برای تولید پروتئین میکروبی و در نتیجه آن افزایش تولید شیر داشته باشد (Franco et al., 2021). همچنین لازم به ذکر است نتایج مطالعه حاضر نشان داد که در گله های مورد مطالعه درصد چربی جیره ۴/۹۷ درصد بوده که معادل مصرف روزانه ۱/۳۱ کیلوگرم چربی خام به ازای هر گاو می باشد (جدول ۲).

نتایج آنالیز تابعیت تک متغیره بیانگر این است که متغیرهای مقدار نشاسته مصرفی روزانه (برحسب کیلوگرم)، نسبت نشاسته جیره (برحسب درصد)، مقدار NDF مصرفی (برحسب کیلوگرم) و مقدار پروتئین خام مصرفی (برحسب کیلوگرم)، نسبت پروتئین خام جیره (برحسب درصد)، ماده خشک مصرفی روزانه (برحسب کیلوگرم) و نسبت NDF جیره (برحسب درصد) به ترتیب با ضریب تبیین ۵۶، ۴۳، ۴۲، ۳۶، ۳۵، ۳۴ و ۳۳ درصد (جدول ۳) دارای اثر معنی داری بر دفع مدفوعی نشاسته بودند ($P\text{-value} \leq 0.01$) و به ترتیب بیشترین تأثیر را روی غلظت نشاسته دفعی از طریق مدفوع (برحسب درصدی از ماده خشک مدفوع) دارند. از بین متغیرهای مؤثر مذکور روی درصد نشاسته مدفوعی همگی دارای ارتباط مثبت بودند به غیر از مقدار NDF مصرفی روزانه و درصد NDF جیره که شیب خط آن منفی بوده است (جدول ۳) و بیانگر ارتباط عکس بین نشاسته مدفوعی و NDF جیره می باشد همچنین مطالعات گذشته نیز نشان داده اند که افزایش سطح علوفه جیره باعث کاهش دفع نشاسته مدفوعی به واسطه اثرات مثبت الیاف مؤثر فیزیکی و تشکیل توده الیافی شکمبه ای می باشد (NASEM, 2021).

یکی از مهم ترین عوامل مؤثر بر غلظت نشاسته دفعی از طریق مدفوع، سطح نشاسته جیره و به دنبال آن مقدار نشاسته مصرفی روزانه (برحسب کیلوگرم) می باشد (ضریب تبیین برابر با ۵۶/۰؛ جدول ۳). در توافق با یافته مطالعه حاضر، در مطالعه Patton و همکاران (۲۰۱۲) نشان داده شد که برآورد قابلیت هضم نشاسته در کل دستگاه گوارش (برحسب کیلوگرم در روز) تنها با استفاده از متغیر مقدار نشاسته مصرفی (کیلوگرم در روز) با ضریب تبیین ۶۴ درصد قابل پیش بینی می باشد. همچنین Moharrery و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه ای به برآورد قابلیت هضم نشاسته با استفاده از فراسنجه های تغذیه ای پرداختند و گزارش کردند که غلظت نشاسته خوراک یکی از مهم ترین متغیرهای مؤثر بر سطح نشاسته مدفوعی و در نتیجه قابلیت هضم نشاسته می باشد.

از دیگر عوامل تأثیرگذار بر نشاسته مدفوعی استفاده از بخش فیزیکی جیره و تشکیل توده الیافی شکمبه می باشد که مصداق آن را با مقدار NDF که حاصل از نسبت علوفه در جیره می باشد، مشخص کرد. همان طور که در جدول (۳) نشان داده شده است افزایش مقدار NDF مصرفی و درصد NDF در جیره باعث کاهش دفع نشاسته مدفوعی شد (به ترتیب $R^2 = 0.33$ و $R^2 = 0.42$) که علت آن را می توان به واسطه اثرات فیزیکی جیره و تشکیل توده الیاف شکمبه ای از یک طرف

و از طرف دیگر افزایش نسبت علوفه در جیره مرتبط دانست که در نتیجه آن افزایش نسبت NDF در جیره با کاهش نسبت نشاسته مصرفی در جیره همراه خواهد بود، از این رو می‌توان دفع کم‌تر نشاسته از طریق مدفوع را به هر دو علت مذکور نسبت داد (NASEM, 2021).

جدول ۳. مدل آماری پیشنهادی برای برآورد نشاسته مدفوعی با استفاده از ترکیبات جیره غذایی در گاوهای هلستاین پرتولید براساس معادلات رگرسیون خطی تک‌متغیره^۱

متغیرها ^۲	واحد	تعداد	درصد نشاسته مدفوع = Fecal Starch % =	p-value	RMSE	R ²
مقدار نشاسته مصرفی (StI)	کیلوگرم	۷۶	-0.41 + 1.71 StI	۰/۰۰۱	۱/۴۶	۰/۵۶
درصد نشاسته جیره (StP)	درصد	۷۶	-2.98 + 0.54 StP	۰/۰۰۱	۱/۸۶	۰/۴۳
مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی مصرفی (NDFI)	کیلوگرم	۷۶	28.6 - 2.22 NDFI	۰/۰۰۱	۲/۰۹	۰/۴۲
مقدار پروتئین خام مصرفی (CPI)	کیلوگرم	۷۶	-3.36 + 3.38 CPI	۰/۰۰۱	۲/۳۵	۰/۳۶
درصد پروتئین خام جیره (CPP)	درصد	۷۶	-24.1 + 2.11 CPP	۰/۰۰۱	۲/۷۵	۰/۳۶
ماده خشک مصرفی (DMI)	کیلوگرم	۷۶	-5.43 + 0.64 DMI	۰/۰۰۱	۱/۹۳	۰/۳۴
درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی جیره (NDFP)	درصد	۷۶	32.4 - 0.71 NDFP	۰/۰۰۱	۲/۱۵	۰/۳۳
درصد پروتئین محلول جیره (SPP)	درصد	۷۶	-3.3 + 0.58 SPP	۰/۰۵	۲/۵۹	۰/۱۶
درصد کربوهیدرات غیرفیبری جیره (NFCP)	درصد	۷۶	-5.9 + 0.43 NFCP	۰/۰۴	۲/۵۴	۰/۱۴
درصد ماده آلی جیره (OMP)	درصد	۷۶	-48.8 + 0.73 OMP	۰/۰۴	۳/۰۱	۰/۰۹
مقدار پروتئین محلول مصرفی (SPI)	کیلوگرم	۷۶	7.25 + 3.68 SPI	۰/۱۱	۲/۷۸	۰/۰۴
مقدار کربوهیدرات غیرفیبری مصرفی (NFCI)	کیلوگرم	۷۶	6.85 + 0.46 NFCI	۰/۱۹	۲/۶۹	۰/۰۴
مقدار چربی خام مصرفی (EEI)	کیلوگرم	۷۶	13.6 - 1.55 EEI	۰/۳۱	۳/۱۴	۰/۰۲
درصد چربی خام جیره (EEP)	درصد	۷۶	10.9 + 0.13 EEP	۰/۷۹	۳/۱۶	۰/۰۱

۱. معادلات رگرسیون خطی تک‌متغیره: معادله مدل برای درصد نشاسته مدفوعی براساس متغیر و خطای آزمایشی به صورت مستقل بود.

۲. مقدار نشاسته مصرفی (StI)، درصد نشاسته جیره (StP)، درصد پروتئین خام جیره (CPP)، مقدار پروتئین خام مصرفی (CPI)، درصد پروتئین محلول جیره (SPP)، مقدار پروتئین محلول مصرفی (SPI)، درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی جیره (NDFP)، مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی مصرفی (NDFI)، درصد چربی خام جیره (EEP)، مقدار چربی خام مصرفی (EEI)، درصد کربوهیدرات غیرفیبری جیره (NFCP)، مقدار کربوهیدرات غیرفیبری مصرفی (NFCI)، درصد ماده آلی جیره (OMP)، ماده خشک مصرفی (DMI).

هم‌چنین نشان داده شد که پروتئین خام جیره دارای اثر مثبت بر دفع نشاسته مدفوعی می‌باشد (جدول ۳). پژوهش‌گران پیشین گزارش کردند در صورت افزایش در درصد پروتئین خام جیره به بالای ۱۶/۵ درصد در جیره گاوهای پرتولید باید تعادل در نسبت انرژی به پروتئین اعمال شود تا شکمبه بیش‌ترین کارایی را در رابطه با استفاده بهتر از منابع کربوهیدرات سریع‌التخمیر (نشاسته) و پروتئین برای تولید پروتئین میکروبی و به دنبال آن افزایش تولید شیر داشته باشد (Franco et al., 2021). میکروب‌های شکمبه برای رشد و سنتز پروتئین نیاز به کربوهیدرات‌های قابل تخمیر در شکمبه دارند. نشاسته بستری برای رشد میکروبی و تجزیه‌پذیری بیش‌تر نشاسته در شکمبه فراهم می‌کند، که معمولاً جریان پروتئین میکروبی را به دوازدهم افزایش می‌دهد (Zhao et al., 2023). بنابراین مقدار و درصد پروتئین جیره از دیگر عوامل تأثیرگذار بر دفع نشاسته مدفوعی می‌باشد که ضریب تبیین برابر با ۰/۳۶ دارد (جدول ۳).

در نهایت به منظور اولویت‌بندی متغیرهایی که بیش‌ترین تأثیر را بر دفع نشاسته مدفوعی دارند آنالیز تابعیت چندگانه انجام گرفت و بهترین مدل‌ها در جدول (۴) آورده شده است. نتایج حاصله نشان داد که که مدل پیشنهادی حاوی دو عامل درصد نشاسته جیره و درصد پروتئین خام جیره با ضریب تبیین ۰/۷۳ به عنوان بهترین مدل ارایه (+۰/۴۵ StP -۰/۹۹ CPP -۱۷/۳) گردیده است. در اولویت دوم مدل با سه متغیر ماده خشک مصرفی، درصد پروتئین خام و درصد نشاسته جیره و در اولویت سوم نیز حضور سه متغیر ماده خشک مصرفی، درصد پروتئین خام و درصد NDF جیره (به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۶۸ و ۰/۶۵) قرار دارد (جدول ۴).

جدول ۴. مدل آماری پیشنهادی برای برآورد نشاسته مدفوعی با استفاده از ترکیبات جیره غذایی در گاوهای هلستاین پرتولید براساس معادلات رگرسیون خطی چند متغیره^۱

متغیرها ^۲	واحد	تعداد	درصد نشاسته مدفوع = Fecal Starch % =	p-value	RMSE	R ²
درصد نشاسته و پروتئین خام جیره StP, CPP	درصد	۷۶	-17.3 + 0.99 CPP + 0.45 StP	۰/۰۰۱	۱/۸۱	۰/۷۳
ماده خشک مصرفی، درصد پروتئین و نشاسته جیره DMI, CPP, StP	درصد	۷۶	-9.58 + 0.18 DMI + 0.52 CPP + 0.24 StP	۰/۰۰۱	۰/۸۴	۰/۶۸
ماده خشک مصرفی، درصد پروتئین خام و NDF جیره DMI, CPP, NDFP	درصد	۷۶	4.03 + 0.09 DMI + 1.18 CPP - 0.49 NDFP	۰/۰۰۴	۱/۴۸	۰/۶۵
ماده خشک مصرفی، درصد NDF و نشاسته جیره DMI, NDFP, StP	درصد	۷۶	0.97 + 0.14 DMI - 0.08 NDFP + 0.33 StP	۰/۰۰۶	۰/۹۳	۰/۶۰
درصد پروتئین خام، NDF و نشاسته جیره CPP, NDFP, StP	درصد	۷۶	1.62 + 0.83 CPP - 0.41 NDFP + 0.31 StP	۰/۰۱۲	۱/۶۴	۰/۶۰
درصد پروتئین خام و NDF جیره CPP, NDFP	درصد	۷۶	6.51 + 1.32 CPP - 0.57 NDFP	۰/۰۰۱	۱/۹۲	۰/۵۹
درصد نشاسته و NDF جیره StP, NDFP	درصد	۷۶	12.7 - 0.38 NDFP + 0.37 StP	۰/۰۰۱	۱/۶۰	۰/۵۲

۱. معادلات رگرسیون خطی چند متغیره: متغیرهای مستقل به صورت عامل پیش رونده در معادله مدل برای درصد نشاسته مدفوعی قرار داده شد.

۲. معیار انتخاب بهترین مدل ضریب تبیین بود.

۳. درصد نشاسته جیره (StP)، درصد پروتئین خام جیره (CPP)، درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی جیره (NDFP)، ماده خشک مصرفی (DMI)

شاید یکی از مهم ترین عوامل تأثیرگذار در همبستگی بالای سطح نشاسته جیره و غلظت نشاسته مدفوعی را بتوان در نوع فرآوری غلات مصرفی در گاوهای کشور جستجو نمود. بنابراین عمده ترین منابع تأمین کننده نشاسته (و در نتیجه انرژی) در جیره گاوهای پرتولید، غلات جو و ذرت می باشند و عمده ترین فرآوری که در مورد غلات مذکور صورت می گیرد آسیاب کردن می باشد. مطالعات گذشته به وضوح نشان داده اند که میزان قابلیت هضم شکمبه ای ذرت آسیاب شده در مقایسه با سایر فرآوری ها (غلته خشک، پرک شده با بخار و پرک شده خشک و ...) به طور معنی داری پایین تر می باشد (Owens *et al.*, 2016) و همین امر باعث عبور مقدار قابل توجهی نشاسته از شکمبه به بخش های پایین تر دستگاه گوارش گاو شیرده و به دنبال آن ورود آن به روده بزرگ و مدفوع می گردد (Shipandeni *et al.*, 2023). به عنوان مثال Huntington (۱۹۹۷) در یک مطالعه مروری، درصد تخمیر شکمبه ای نشاسته از منابع ذرت آسیاب شده، غلته خشک، پرک شده با بخار و پرک شده خشک و دانه ذرت حاوی رطوبت بالا را به ترتیب ۴۹/۵، ۷۶/۲، ۴۸/۸، ۷۲/۱ و ۸۹/۹ درصد گزارش کردند. هم چنین، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که با افزایش مقدار کنسانتره در جیره و کاهش مقدار NFD جیره، مقدار نشاسته مصرفی نیز افزایش پیدا می کند، کاهش در نسبت NDF مصرفی با تشکیل توده الیافی شکمبه ای ضعیف و کاهش میزان به تله افتادن ذرات غلات و کنسانتره و به دنبال آن، عبور مقادیر بیش تری از نشاسته مصرفی به روده می گردد که با توجه به محدودیت هضم نشاسته در روده کوچک نشخوارکنندگان، درصد بیش تری از نشاسته در مدفوع ظاهر می گردد. در جدول (۳) نیز نشان داده شده است که مدل مربوط به مقدار NDF مصرفی با ضرایب تبیین ۰/۴۲ از متغیرهای تأثیرگذار در پیش بینی دفع نشاسته از طریق مدفوع می باشند. در توافق با نتایج مطالعه مذکور Beckman & Weiss (۲۰۰۵) گزارش کردند که با افزایش نسبت NDF به نشاسته در جیره غذایی گاوهای شیرده قابلیت هضم نشاسته به صورت خطی افزایش می یابد (Beckman & Weiss, 2005) در تأیید این موضوع Firkins و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که به طور متوسط قابلیت هضم نشاسته به ازای هر یک درصد افزایش در غلظت NDF جیره تقریباً ۰/۶ واحد درصد افزایش می یابد.

در توافق با مطالعه حاضر Offner & Sauvant (۲۰۰۴) دریافتند که محاسبه دقیق ماده خشک مصرفی صحت پیش بینی قابلیت هضم شکمبه ای نشاسته را بسیار افزایش می دهد. اما در مقابل Patton و همکاران (۲۰۱۲) نشانه ای از تأثیر ماده خشک مصرفی بر قابلیت هضم شکمبه ای نشاسته را گزارش نکردند، اما اعلام داشتند افزایش مصرف نشاسته باعث کاهش قابلیت هضم شکمبه ای نشاسته از ۷۵۰ به ۶۰۰ گرم در کیلوگرم به ازای مصرف نشاسته بالاتر از چهار

کیلوگرم در روز شد (Patton et al., 2012). همچنین در خلاصه‌ای از داده‌های منتشرشده از گاوهای غیرشیرده نیز گزارش گردید که با افزایش جریان نشاسته به روده کوچک (از ۲۵۰ تا ۱۸۰۰ گرم در روز)، قابلیت هضم نشاسته در روده کوچک از ۸۰۰ به ۵۰۰ گرم در کیلوگرم کاهش یافت (Matth'e et al., 2001).

قابلیت هضم نشاسته در شکمبه تحت تأثیر مقدار مصرف و منبع نشاسته (ایجاد شیب منفی ۱۴ گرم بر کیلوگرم به‌ازای هر کیلوگرم مصرف نشاسته)، در روده کوچک تحت تأثیر منبع نشاسته و در انتهای دستگاه گوارش تحت تأثیر مقدار ورودی نشاسته به روده بزرگ یا به‌عبارتی تحت تأثیر مقدار نشاسته‌ای است که از شکمبه و روده کوچک فرار کرده و به انتهای دستگاه گوارش رسیده است، می‌باشد (Moharrery et al., 2014). بنابراین، با توجه به وجود بستر مناسب (حضور باکتری، NDF، پروتئین و نشاسته) تخمیر نشاسته تا میزان ۱۰ درصد، در انتهای دستگاه گوارش می‌تواند اتفاق بیفتد (Moharrery et al., 2014). بنابراین، افزایش مصرف نشاسته و پروتئین باعث افزایش دفع مدفوعی نشاسته می‌شود.

مطالعات پیشین نشان داده‌اند که افزایش عرضه پروتئین خام (CP) از ۱۶/۵ به ۱۸/۵ درصد جیره به‌همراه استفاده از سطوح مناسب تخمیر کربوهیدرات‌های شکمبه‌ای (به‌ویژه نشاسته) در گاوهای پرتولید هلستاین موجب افزایش در قابلیت هضم ماده خشک، نشاسته و پروتئین شد اما بر قابلیت هضم NDF تأثیر معنی‌داری نداشت (Alves et al., 2020). از سوی دیگر، گزارش کردند استفاده از جیره‌هایی با سطوح پایین‌تر پروتئین قابل تجزیه در شکمبه (RDP)، قابلیت هضم نشاسته کاهش یافت، چراکه کاهش پروتئین قابل دسترس در شکمبه از طرفی تأثیر منفی بر تخمیر شکمبه‌ای نشاسته دارد و از طرف دیگر نیز افزایش در عبور نشاسته به قسمت‌های پس از شکمبه باتوجه به محدودیت هضم نشاسته در این قسمت‌های دستگاه گوارش، دفع مدفوعی نشاسته افزایش می‌یابد (Franco et al., 2021). ازاین‌رو، این پژوهش‌گران بیان نمودند افزایش کارایی شکمبه و سنتز پروتئین میکروبی می‌تواند از طریق بهینه‌سازی نسبت RDP:RUP و سطح مناسب تخمیر کربوهیدرات‌های شکمبه‌ای، به‌ویژه نشاسته (Zhao et al., 2023) حاصل شود.

در توافقی با مطالعه حاضر Chen و همکاران (۲۰۲۴) نسبت نشاسته قابل هضم در شکمبه (RDS) به پروتئین قابل هضم در شکمبه (RDP) (با سه نسبت سطح پایین ۲/۱، سطح متعادل ۲/۳ و سطح بالا ۲/۵ برابر RDS به RDP) را موردبررسی قرار داده و گزارش نمودند در صورتی که نسبت نشاسته قابل هضم در شکمبه کاهش پیدا کند (سطح ۲/۱) میزان نیتروژن آمونیاکی در شکمبه به‌شدت افزایش پیدا می‌کند که علت را به کمبود کربوهیدرات‌های قابل تخمیر و تخریب بیش از حد پروتئین در شکمبه نسبت دادند، ازاین‌رو قابلیت هضم نشاسته و پروتئین کاهش می‌یابد. همچنین این پژوهش‌گران بیان نمودند در صورتی که نسبت نشاسته قابل هضم در شکمبه افزایش پیدا کند (سطح ۲/۵) قابلیت هضم پروتئین کاهش یافته اما بر قابلیت هضم نشاسته تأثیر معنی‌داری ندارد (Chen et al., 2018).

همچنین Chen و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند که بالاترین کارایی شکمبه و همچنین بالاترین درصد قابلیت هضم ظاهری برای ماده خشک، نشاسته، پروتئین خام و NDF زمانی حاصل شد که نسبت نشاسته قابل هضم در شکمبه به پروتئین قابل هضم در شکمبه در حد اعتدال (سطح ۲/۳) بود. بنابراین، این پژوهش‌گران بیان نمودند که حضور همزمان RDP و RDS برای میکروارگانیسم‌های شکمبه ضروری بوده چرا که بالاترین تولید پروتئین میکروبی را به‌همراه خواهد داشت (Chen et al., 2024). در این زمینه، همزمانی استفاده از هر دو پروتئین و کربوهیدرات‌های تجزیه‌پذیر در شکمبه در نسبت ایده‌آل می‌تواند از قابلیت هضم بالاتر نشاسته و پروتئین و به طبع آن افزایش تولید پروتئین میکروبی در بدن حمایت کند (Reis et al., 2020). لازم به ذکر است که تاکنون مطالعه‌ای که به برآورد نشاسته دفعی از طریق مدفوع با توجه به فراسنجه‌های خوراکی پرداخته باشد، انجام نشده است.

۴. نتیجه گیری

مطالعه حاضر نشان داد که غلظت نشاسته دفعی از طریق مدفوع در گاوهای پرتولید کشور به طور قابل توجهی بالاست (میانگین ۱۱/۵ درصد براساس ماده خشک مدفوع). هم چنین براساس اولویت بندی تک متغیره نشان داده شد که افزایش در مقادیر و درصدهای نشاسته جیره، پروتئین خام جیره و هم چنین افزایش مقدار ماده خشک مصرفی روزانه (برحسب کیلوگرم) سبب افزایش دفع نشاسته مدفوعی می شود، از طرف دیگر افزایش مقدار و درصد NDF جیره باعث کاهش دفع نشاسته از طریق مدفوع شد. هم چنین براساس اولویت بندی چندمتغیره بهترین برآورد نشاسته دفعی از طریق مدفوع با استفاده از مدلی شامل متغیرهای درصد نشاسته جیره و درصد پروتئین جیره بود که توانست با ضریب تبیین ۰/۷۳ غلظت نشاسته دفعی از طریق مدفوع را پیش بینی نماید.

۵. ملاحظات اخلاقی

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

۶. مشارکت نویسندگان

ایوب محمدی: انجام آزمایش و گردآوری داده ها، تهیه پیش نویس مقاله؛
فرهنگ فاتحی: نظارت بر مراحل اجرای پژوهش، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده ها، مطالعه و بازبینی مقاله؛
کامران رضایزدی: طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل اجرای پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله؛
فرهاد پرنیان خواجه دیزج: مشاوره و راهنمایی در جهت فاز اجرایی پروژه؛
علی صادقی سفیدمزیگی: مشاوره و تجزیه و تحلیل آماری داده های حاصل از پروژه.

۷. تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۸. حامی مالی

حمایت مالی از این پژوهش از طرف اساتید راهنمای و دانشجوی انجام شده است.

۹. تشکر و قدردانی

از دامداران موجود در پروژه حاضر به واسطه در اختیار گذاشتن امکانات مزرعه ای، تشکر و قدردانی می گردد.

۱۰. منابع

- Alves, B. G., de Magalhães Rodrigues Martins, C. M., Oliveira De Sousa, D., Arcari, M. A., Rennó, F. P., & Santos, M. V. (2020). Levels and degradability of crude protein in digestive metabolism and performance of dairy cows. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 57(3). DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2020.168157>
 AOAC. (2012). Official methods of analysis. *Association of Official Analytical Chemists*, 881-82.

- Beckman, J. L., & Weiss, W. P. (2005). Nutrient digestibility of diets with different fiber to starch ratios when fed to lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88(3), 1015-1023. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72769-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72769-7)
- Chen, P., Li, Y., Wang, M., Shen, Y., Liu, M., Xu, H., ... & Li, J. (2024). Optimizing dietary rumen-degradable starch to rumen-degradable protein ratio improves lactation performance and nitrogen utilization efficiency in mid-lactating Holstein dairy cows. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1330876. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1330876>
- Dann, H. M., Tucker, H. A., Cotanch, K. W., Krawczel, P. D., Mooney, C. S., Grant, R. J., & Eguchi, T. (2014). Evaluation of lower-starch diets for lactating Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97(11), 7151-7161. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8341>
- Firkins, J. L., Eastridge, M. L., St-Pierre, N. R., & Noftsger, S. M. (2001). Effects of grain variability and processing on starch utilization by lactating dairy cattle. *Journal of Animal Science*, 79(suppl_E), E218-E238. <https://doi.org/10.2527/jas2001.79E-SupplE218x>
- Franco, M. O., Detmann, E., Batista, E. D., Rufino, L. M., Paulino, M. F., & Valadares Filho, S. C. (2021). Nutritional performance and metabolic characteristics of cattle fed tropical forages with protein and starch supplementation. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 93(3), e20190487. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120190487>
- Hall, M. B. (2009). Determination of starch, including maltooligosaccharides, in animal feeds: Comparison of methods and a method recommended for AOAC collaborative study. *Journal of AOAC International*, 92(1), 42-49. <https://doi.org/10.1093/jaoac/92.1.42>
- Huntington, G. B. (1997). Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *Journal of Animal Science*, 75(3), 852-867. <https://doi.org/10.2527/1997.753852x>
- Hutjens, M. F. (2011). More efficient rations are headed our way-Researchers focused on more effectively feeding starch, minerals, protein, and forages to improve efficiency and health without compromising production. *Hoard's Dairyman*, 156(16), 593.
- Liu, S., Wei, Z., Deng, M., Xian, Z., Liu, D., Liu, G., ... & Guo, Y. (2023). Effect of a high-starch or a high-fat diet on the milk performance, apparent nutrient digestibility, hindgut fermentation parameters and microbiota of lactating cows. *Animals*, 13(15), 2508. <https://doi.org/10.3390/ani13152508>
- Matamura, M., Naito, H., Morio, Y., & Kondo, M. (2024). Fecal image-based starch digestibility estimation in fattening cattle using deep learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 225, 109246. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109246>
- Mathé, A., Lebzien, P., Hric, I., Flachowsky, G., & Sommer, A. (2001). Effect of starch application into the proximal duodenum of ruminants on starch digestibility in the small and total intestine. *Archives of Animal Nutrition*, 55(4), 351-369. <https://doi.org/10.1080/17450390109386202>
- Moharrery, A., Larsen, M. O. G. E. N. S., & Weisbjerg, M. R. (2014). Starch digestion in the rumen, small intestine, and hind gut of dairy cows—A meta-analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 192, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.03.001>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (NASEM) (2021). Nutrient Requirements of Dairy Cattle.
- Offner, A., & Sauvant, D. (2004). Prediction of in vivo starch digestion in cattle from in situ data. *Animal Feed Science and Technology*, 111(1-4), 41-56. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00216-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00216-5)
- Owens, C. E., Zinn, R. A., Hassen, A., & Owens, F. N. (2016). Mathematical linkage of total-tract digestion of starch and neutral detergent fiber to their fecal concentrations and the effect of site of starch digestion on extent of digestion and energetic efficiency of cattle. *The Professional Animal Scientist*, 32(5), 531-549. <https://doi.org/10.15232/pas.2016-01510>
- Patton, R. A., Patton, J. R., & Boucher, S. E. (2012). Defining ruminal and total-tract starch degradation for adult dairy cattle using in vivo data. *Journal of Dairy Science*, 95(2), 765-782. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4183>
- Reis, W. L., Palma, M. N., Paulino, M. F., Rennó, L. N., & Detmann, E. (2020). Investigation on daily or every three days supplementation with protein or protein and starch of cattle fed tropical forage. *Animal Feed Science and Technology*, 269, 114650. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114650>
- SAS Institute. (2019). *SAS Certified Professional Prep Guide: Advanced Programming Using SAS 9.4*. SAS institute.

- Shipandeni, M. N., Paula, E. M., Esposito, G., Faciola, A. P., & Raffrenato, E. (2023). Effects of starch sources varying in particle sizes on ruminal fermentation, nutrient flow, starch digestibility, and lactation performance of dairy cows. *Journal of Animal Science*, 101, skad147. <https://doi.org/10.1093/jas/skad147>
- Silvestre, T., Fetter, M., Räisänen, S. E., Lage, C. F. A., Stefenoni, H., Melgar, A., ... & Hristov, A. N. (2022). Performance of dairy cows fed normal-or reduced-starch diets supplemented with an exogenous enzyme preparation. *Journal of Dairy Science*, 105(3), 2288-2300. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21264>
- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Wildman, E. E., Jones, G. M., Wagner, P. E., Boman, R. L., Troutt Jr, H. F., & Lesch, T. N. (1982). A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. *Journal of Dairy Science* 65(3), 495-501. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82223-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82223-6)
- Zhao, Y., Yu, S., Zhao, H., Li, L., Li, Y., Liu, M., & Jiang, L. (2023). Integrated multi-omics analysis reveals the positive leverage of citrus flavonoids on hindgut microbiota and host homeostasis by modulating sphingolipid metabolism in mid-lactation dairy cows consuming a high-starch diet. *Microbiome*, 11(1), 236. <https://doi.org/10.1186/s40168-023-01661-4>