



Investigation of the Relationship Between Fecal Starch Concentration and other Fecal Components in Early Lactating Holstein Cows

Ayub Mohammadi¹ , Farhang Fatehi^{2✉} , Kamran reza-yazdi³ , Ali Sadeghi-Sefidmazgi⁴ , Mohammad Hadi Khabazan⁵ , Farhad Parnian-khajehdizaj⁶

1. Department of Animal Science, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Alborz, Iran. Email: 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. Email: fatehif@ut.ac.ir
3. Department of Animal Science, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Alborz, Iran. Email: rezayazdi@ut.ac.ir
4. Department of Animal Science, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Alborz, Iran. Email: sadeghism@ut.ac.ir
5. Production Manager of Ferdous Pars Agricultural and Livestock Holding, Tehran, Iran. Email: hadikhabazan@gmail.com
6. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tabriz, East Azerbaijan, Iran. Email: farhad.parnian@tabrizu.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	The purpose of the current study was to investigate the relationship between fecal starch concentration and other fecal components in early Holstein lactating Cows. In current study, correlation coefficients between fecal starch concentration and other fecal components was studied and then univariate and multivariate regression approach used to select the best fecal starch fitting model using other fecal compositions in early Holstein lactating Cows. The present study conducted to estimate fecal starch excretion using other fecal components on 76 industrial dairies. The model fitting was performed based on univariate and multivariate regression. The results of univariate regression and correlation between fecal parameters showed an inverse relationship between fecal pH, fecal protein and fecal neutral detergent fiber with fecal starch excretion. Furthermore, based on univariate regression, it was shown that fecal pH had the highest coefficient of determination in estimating fecal starch ($R^2 = 0.48$). It was also demonstrated that the best estimation of fecal starch excretion is possible with high accuracy and precision using multiple regression with three factors: fecal pH, fecal protein percentage, and neutral detergent fiber percentage. Finally, the results of the present study showed that there is a significant correlation between excreted starch through feces and other compounds of feces, and also, it is possible to predict the concentration of excreted starch through feces using multivariate regression models with high accuracy.
Article history: Received: 10 February 2025 Received in revised form: 17 March 2025 Accepted: 4 May 2025 Published online: Winter 2025	
Keywords: <i>Fecal pH, Fecal starch, Holstein dairy cows, Multivariate regression.</i>	
Cite this article: Mohammadi, A., Fatehi, F., Reza-Yazdi, K., Sadeghi-Seridmazgi, A., Khabazan, M. H. & Parnian-Khajehdizaj, F. (2025). Investigation of the Relationship Between Fecal Starch Concentration and other Fecal Components in Early Lactating Holstein Cows. <i>Iranian Journal of Animal Science</i> , 56 (4), 793-810. DOI: https://doi.org/10.22059/ijas.2025.389978.654059	



© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.389978.654059>

Extended Abstract

Introduction

Nutritional management of early lactation dairy cows is one of the most challenging aspects of dietary management in modern dairy herds. This is because these early lactating cows have the highest daily dry matter intake as a percentage of body weight, and any imbalance in the diet can lead to acidosis and digestive problems (Fredin et al., 2014). In the diet of these cows, to achieve maximum milk production, a large amount of starch from grain sources is included daily. Due to the high passage rate of feed materials in the digestive system of

these cows, without proper nutritional management, a significant portion of consumed starch passes through the rumen, and after partial digestion in the small intestine, undigested amounts reach the end of the digestive tract (Owens et al., 2015; Mills et al., 2017). There, it ferments, and ultimately, a considerable portion is excreted through feces. Therefore, the objective of the present study was to investigate the relationship between fecal starch concentration and other fecal components in early lactation Holstein cows and to develop predictive models for its estimation.

Materials and Methods

This study was conducted on 76 Holstein dairy herds, where one pen of early Holstein lactating Cows was selected as the index pen from each herd based on average milk production, days in milk, and parity. From each pen, 10 cows were selected with body condition score of 3 ± 0.25 , days in milk of 80 ± 10 , milk production of 47 ± 2.5 , and parity of 2.5 ± 0.5 . Sampling of total mixed ration, feed ingredients, and feces was conducted for three consecutive days. Finally, data such as forage-to-concentrate ratio in the diet, as well as fecal starch values and ratios, crude protein, neutral detergent fiber, and organic matter in feces were measured. It should be noted that fecal pH was measured immediately after fecal sampling. Finally, using the obtained data, fecal excreted starch was estimated using univariate and multivariate linear regression models. The prioritization criteria for the effects of each parameter was determined using the coefficient of determination.

Results and Discussion

The descriptive results of this study showed that the mean percentages of excreted starch, fecal pH, crude protein percentage, crude protein values per day, neutral detergent fiber percentage, neutral detergent fiber values per day, and fecal organic matter in early Holstein lactating Cows herds were 11.5, 6.58, 16.9, 1.65, 46.1, 4.46, and 83.1, respectively. Based on univariate prioritization, the decrease in fecal excreted starch with increasing fecal pH, fecal protein percentage, excreted protein values per day, and fecal neutral detergent fiber was demonstrated with determination coefficients of 0.48, 0.38, 0.28, and 0.19, respectively ($P\text{-value} \leq 0.01$). It should be noted that the correlation between fecal starch percentage and other fecal parameters including fecal pH, fecal protein percentage, excreted protein values per day, and fecal neutral detergent fiber was -0.69, -0.61, -0.53, and -0.43, respectively, indicating an inverse correlation between excreted fecal starch and these parameters. Furthermore, results of multivariate regression revealed that model containing fecal pH, fecal protein percentage, and fecal neutral detergent fiber percentage ($48.52 - 3.66 \text{ pH} - 3.77 \text{ CPF} + 1.11 \text{ NDFF}$), had the highest coefficient of determination of 0.61.

Conclusion

The results of current study demonstrated a significant correlation between fecal excreted starch and other fecal components. Additionally, the results showed that excreted starch could be estimated with an acceptable accuracy by multivariate regression approach.

Data Availability Statement

This article contains all the data that were created or evaluated during the research.

Acknowledgements

The authors would like to sincerely thank the members of the Faculty of Animal Sciences, University of Tehran Research Council for the approval and support of this research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.



بررسی ارتباط بین غلظت نشاسته دفعی از طریق مدفوع با سایر ترکیبات مدفوع در گاوهای هلستاین اوایل دوره شیردهی

ایوب محمدی^۱ | فرهنگ فاتحی^۲ | کامران رضایزدی^۳ | علی صادقی سفید مزگی^۲ | محمد هادی خبازان^۴ |
فرهاد پرنیان خواجه دیزج^۵

۱. گروه علوم دامی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، البرز، ایران. رایانامه: Ayub.mohammadi@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، البرز، ایران. رایانامه: Fatehif@ut.ac.ir
۳. گروه علوم دامی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، البرز، ایران. رایانامه: Rezayazdi@ut.ac.ir
۴. مدیر تولید دامپروری هلدینگ کشاورزی و دامپروری فردوس پارس، تهران، ایران. رایانامه: hadikhabazan@gmail.com
۵. بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، آذربایجان شرقی، ایران. رایانامه: farhad.parnian@tabrizu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	هدف از مطالعه حاضر بررسی ارتباط بین غلظت نشاسته دفعی از طریق مدفوع با سایر ترکیبات مدفوع در گاوهای هلستاین اوایل دوره شیردهی بود. در مطالعه حاضر ابتدا همبستگی بین غلظت نشاسته دفعی از طریق مدفوع با سایر ترکیبات مدفوع مورد مطالعه قرار گرفت و سپس انتخاب بهترین مدل برازش نشاسته مدفوعی براساس تابعیت تک و چند متغیره با استفاده از سایر ترکیبات مدفوع گاوهای اوایل دوره شیردهی هلستاین انجام گرفت. نتایج تابعیت تک متغیره و همچنین همبستگی بین پارامترهای مدفوعی نشان داد که رابطه معکوسی بین اسیدیته مدفوع، پروتئین مدفوع و لیاف نامحلول در شوینده خنثی مدفوع با دفع نشاسته مدفوعی وجود دارد. همچنین براساس تابعیت تک متغیره نشان داده شد که اسیدیته مدفوع بالاترین ضریب تبیین را در برآورد نشاسته مدفوعی داشت ($R^2 = 0/48$). همچنین نشان داده شد بهترین برآورد نشاسته دفعی از طریق مدفوع با استفاده از تابعیت چندگانه با استفاده از سه عامل اسیدیته مدفوع، درصد پروتئین مدفوع و درصد لیاف نامحلول در شوینده خنثی با ضریب تبیین برابر با $0/61$ با دقت و صحت بالایی امکان پذیر است. در نهایت نتایج مطالعه حاضر نشان داد که همبستگی معنی داری بین نشاسته دفع شده از طریق مدفوع با سایر ترکیبات مدفوع وجود دارد و همچنین پیش بینی غلظت نشاسته دفعی از طریق مدفوع با استفاده از مدل های تابعیت چندگانه با دقت بالا امکان پذیر می باشد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۴	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰	
تاریخ انتشار: زمستان ۱۴۰۴	
کلیدواژه‌ها:	
اسیدیته مدفوع، تابعیت چندگانه، گاو هلستاین پرتولید، نشاسته مدفوع.	

استناد: محمدی، ایوب؛ فاتحی، فرهنگ؛ رضایزدی، کامران؛ صادقی فیدمزگی، علی؛ خبازان، محمدادی و پرنیان خواجه دیزج، فرهاد (۱۴۰۴). بررسی ارتباط بین غلظت نشاسته دفعی از طریق مدفوع با سایر ترکیبات مدفوع در گاوهای هلستاین اوایل دوره شیردهی. نشریه علوم دامی ایران، ۵۶ (۴)، ۷۹۳-۸۱۰. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.389978.654059>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijas.2025.389978.654059>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

در طول نیم قرن اخیر تحولات اقتصادی و اجتماعی و افزایش شدید جمعیت انسانی، تقاضا را برای مواد غذایی افزایش داده است. براساس داده‌های منتشر شده توسط سازمان خوار و بار جهانی گزارش شده است که ۶۶ درصد تولید جهانی ذرت در تغذیه دام مورد استفاده قرار گرفته است (Silvestre et al., 2022)، ۲۰ درصد به مصارف انسانی و ۸ درصد نیز به مصرف صنایع جهت فرآورده‌های غذایی و غیر غذایی و ۶ درصد نیز به عنوان بذر مصرف می‌شود (Silvestre et al., 2022). غلات (ذرت و جو) به عنوان منبع نشاسته مورد استفاده قرار می‌گیرند، نشاسته یک پلی‌ساکارید است و می‌تواند در دو شکل آمیلوز و آمیلوپکتین وجود داشته باشد. منابع نشاسته خام به‌طور قابل توجهی آمیلوپکتین دارند و به‌عنوان نشاسته مومی شناخته می‌شوند و این ژنوتیپ‌ها معمولاً در ذرت و جو وجود دارند (Harmon & McLeod, 2001). مطالعات نشان داده است که نشاسته فرم آمیلوپکتین نسبت به آمیلوز پتانسیل بالقوه بیشتری برای هیدرولیز شدن دارند. همچنین نشان داده شد که پتانسیل هیدرولیز نشاسته به ترتیب برای گندم < جو < ذرت < نخود < سیب‌زمینی می‌باشد و یک همبستگی منفی با اندازه گرانول‌های نشاسته دارد (Silvestre et al., 2022)، (Offner et al., 2003) میزان هضم نشاسته برای جو، گندم، یولاف، سیب‌زمینی و ذرت را به ترتیب ۰/۹۲، ۰/۹۴، ۰/۹۲، ۰/۷۸ و ۰/۵۹ گزارش دادند که درصدی از نشاسته کل می‌باشد. همچنین مطالعات پیشین مشاهده کردند هنگامی که به گاوهای شیرده نشاسته فرم مومی (آمیلوپکتین) داده شد در مقایسه با زمانی که با نشاسته به فرم آمیلوز تغذیه شدند میزان هضم نشاسته و میزان شیر تولیدی در گاوها بالاتر می‌باشد. در مقابل، Gallo et al., (2016) مشاهده کردند که هضم نشاسته در گاوهای شیرده‌ای که با جو حاوی آمیلوپکتین بالا تغذیه شده بودند پایین‌تر از گروه شاهد بودند. میزان شیشه‌ای بودن دانه‌ها خصوصاً دانه ذرت را به‌وسیله محاسبه غلظت پروتئین (پرولامین یا زئین) که در دانه موجود است برآورد می‌کنند. در سیستم ارزیابی کیفیت نسبی دانه، محتوای پرولامین دانه ذرت با استفاده از روش توسعه یافته توسط Mutsvangwa et al., (2016) مورد سنجش قرار می‌گیرد. همچنین برای دانه‌های کوچک ذرت و سورگوم، نسبت پروتئین پرولامین به نشاسته برای برآورد قابلیت هضم نشاسته استفاده می‌شود (Shipandeniet et al., 2023).

دانه جو به‌عنوان منبع انرژی و کربوهیدرات با هضم سریع در جیره نشخوارکنندگان و به ویژه گاو شیری به شکل گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرآوری دانه جو به منظور افزایش دسترسی آنزیم‌های هضمی به محتوی اندوسپرم دانه صورت می‌گیرد. دانه جو با پریکارپ سالم به‌میزان کمی در شکمبه هضم می‌شود؛ زیرا دانه کامل نسبت به اتصالات میکروبی در شکمبه مقاوم است (Ferraretto et al., 2013) و علاوه بر این دانه جو توسط یک پوسته فیبری احاطه شده است که قابلیت هضم پائینی دارد. برخلاف دانه ذرت که به خوبی تحت تاثیر جویدن خرد می‌شود، دانه جو نسبت به جویده شدن مقاوم است و اگر دانه کامل به حیوان تغذیه شود میزان قابل توجهی از آن وارد مدفوع خواهد شد (Gallo et al., 2016). هدف اولیه در روش‌های مختلف فرآوری فراهم آوردن امکان دسترسی آنزیم‌های میکروبی به محتوی اندوسپرم دانه و افزایش میزان گوارش‌پذیری دانه تغذیه شده به دام است. به هر حال افزایش سرعت و شدت تجزیه نشاسته دانه جو در شکمبه باعث افزایش نگرانی‌ها در مورد نفخ، اسیدوز، لنگش، آبسه‌های کبدی و مشکلات در مصرف خوراک در ارتباط با ناهنجاری‌های گوارشی می‌شود (Allen et al., 2021).

همانطور که اشاره گردید، نشاسته یک منبع مهم انرژی در رژیم‌های غذایی گاوهای شیرده است. غلات با نشاسته بالا، مانند ذرت، بخش قابل توجهی از جیره گاوهای شیری را تشکیل می‌دهند و بین حدود ۳۰ تا ۷۰ درصد متغیر هستند (Conway et al., 2012; Liu et al., 2015). استفاده کارآمد از نشاسته برای تولید شیر گاوها بسیار حیاتی است. بنابراین، سرنوشت نشاسته جیره در شکمبه و قسمت‌های پس شکمبه‌ای در گاوهای شیری بسیار متغیر است و از کمتر از ۳۰ درصد تا بیش از ۹۰ درصد قابلیت هضم نشاسته در شکمبه متغیر است (Adesogan et al., 2019). قابلیت هضم نشاسته بستگی به تعاملات میان عوامل درونی، به‌ویژه اندازه ذرات، نوع دانه، نوع اندوسپرم و فرآوری دانه‌ها، و عوامل خارجی مانند مقدار فیبر در جیره و عوامل حیوانی (مانند مرحله فیزیولوژیک دام) دارد (Mills et al., 2017). تغییر در غلظت نشاسته جیره و افزایش قابلیت

تخمیر نشاسته در شکمبه، بر عملکرد گاوهای شیری تأثیر می‌گذارد و از این رو بر مصرف انرژی، تقسیم‌بندی انرژی و پروتئین جذب‌شده تأثیرگذار است (Allen et al., 2021).

دانش موجود در تغذیه حیوانات نشان می‌دهد که دفع نشاسته از طریق مدفوع نه تنها بر بهره‌وری گاوهای شیری تأثیر می‌گذارد بلکه به انتشار گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه متان و دی‌اکسید کربن، کمک کرده و از این طریق بر محیط زیست اثر می‌گذارد (Matamura et al., 2024). بنابراین، توصیف قابلیت هضم نشاسته برای بهینه‌سازی تولید دام با حداقل اتلاف نشاسته ضروری است. با این حال، برای بهبود وضعیت تولید و سلامت دام در مزارع گاوهای شیری، استفاده از معادلاتی برای برآورد درصد نشاسته دفعی از طریق مدفوع براساس ماده خشک (DM) ضروری است. Fredin et al., و همکاران (2014) رابطه بین محتوای نشاسته مدفوع و قابلیت هضم نشاسته در کل دستگاه گوارش را با استفاده از داده‌های آزمایش‌های هضمی متعدد روی گاوهای شیرده بررسی کردند. در مقابل، Owens et al., و همکاران (2016) یک فراتحلیل با استفاده از داده‌های گاوهای پرواری و گاوهای شیرده انجام دادند. آن‌ها نشان دادند که قابلیت هضم نشاسته را می‌توان با دقت از محتوای نشاسته مدفوع برآورد کرد. اما، برخلاف مطالعات پیشین تاکنون مطالعه‌ای که در آن به برآورد نشاسته دفعی شده از طریق مدفوع پرداخته باشد انجام نشده است. بنابراین هدف از مطالعه حاضر برآورد درصد نشاسته دفعی براساس سایر پارامترهای مدفوعی می‌باشد. از این رو، در مطالعه حاضر اثر سایر پارامترهای مدفوعی شامل پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی، ماده آلی و اسیدیته مدفوع بر دفع نشاسته مدفوعی مورد بررسی قرار گرفت و در مرحله بعد برآورد نشاسته دفع شده از طریق مدفوع با استفاده از پارامترهای مذکور براساس معادلات رگرسیون خطی تک و چند متغیره گردید.

پیشینه پژوهش

تمایل به بهبود هضم نشاسته در گاوهای شیرده به دلیل هزینه بالای غلات سرشار از نشاسته افزایش یافته است. افزایش هضم نشاسته در کل دستگاه گوارش می‌تواند باعث افزایش تولید شیر، و ترکیبات شیر شود (Firkins et al., 2001). هضم نشاسته در گاوهای شیرده بین ۷۰ تا ۱۰۰ درصد متغیر است (Ferraretto et al., 2013) و تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله اندازه ذرات، فرآوری غلات (Ferraretto et al., 2013)، نوع آندوسپرم غلات (Allen et al., 2021) و حضور پرولامین و لیگنین در غلات و همچنین نوع مدیریت تغذیه و مقدار نشاسته و NDF مصرفی قرار دارد (Cueva et al., 2024).

غلظت نشاسته در مدفوع (FS) به عنوان یک شاخص دقیق از قابلیت هضم نشاسته کل دستگاه گوارش (TTSD) در گاوهای شیری (Zinn et al., 2002) شناخته شده و از آن برای ارزیابی اثرات فرآوری غلات استفاده شده است (Zinn et al., 2007). Fernandez et al., (1982) برای اولین بار وجود همبستگی بین قابلیت هضم نشاسته در کل دستگاه گوارش (TTSD) و غلظت نشاسته در مدفوع (FS) در گاوهای شیرده را گزارش کردند. در یک مطالعه مروری، Owens & Zinn (2005) همچنین رابطه‌ای بین FS و TTSD در گاوهای شیرده را گزارش کردند ($R^2 = 0.73$). Grant & Chazy (2010) و نشان دادند که TTSD می‌تواند از FS در گاوهای شیرده با استفاده از پارامترهای خوراک و مدفوع برآورد شود (وجود یک رابطه منفی بین FS و TTSD). همچنین محققان مذکور نشان دادند که غلظت نشاسته و NDF در جیره و مدفوع گاوهای مورد مطالعه می‌تواند به بهبود دقت و صحت برآورد TTSD کمک نماید.

برخی گزارش‌ها نشان داده‌اند که حضور نشاسته قابل تجزیه بیشتر در جیره، ستنز پروتئین میکروبی را بهبود می‌بخشد (Chen et al., 2024). از سوی دیگر، گزارش شده است که هضم نشاسته در شکمبه بر تجمع اسیدهای چرب فرار، pH شکمبه و اکولوژی میکروبی در شکمبه تأثیر می‌گذارد و از این رو بر هضم فیبر اثرات منفی می‌گذارد (Khorami et al., 2022). پیش‌بینی هضم نشاسته در بخش‌های مختلف دستگاه گوارش حائز اهمیت است به دلیل این‌که: (۱) نشاسته هضم‌شده در شکمبه منبع اصلی انرژی هم برای میکروارگانیسم‌های شکمبه و هم حیوان میزبان است (Chen et al., 2024)، (۲) در برخی

سیستم‌ها، رابطه منفی بین نشاسته شکمبه و هضم NDF وجود دارد (Volden & Larsen, 2011)، (۳) کارایی انرژی نشاسته هضم‌شده در روده کوچک بیشتر از تخمیر در شکمبه و روده بزرگ است (Harmon & McLeod, 2001) و (۴) سنتز مواد آلی حاصل از تخمیر نشاسته در روده بزرگ قابل استفاده نبوده و همراه با سایر مواد مغذی از طریق مدفوع از دست می‌رود (Krogstad & Bradford, 2023).

هرگونه مواد مغذی که در دستگاه گوارش هضم نشده باشد، از طریق مدفوع دفع می‌شود، اما عوامل متعددی در دفع مواد مغذی از طریق مدفوع دخیل هستند. همانطور که توسط Allen *et al.* (2021) توضیح داده شد، عوامل متعددی نرخ هضم نشاسته در شکمبه (برای مثال، سطح پروتئین و NDF جیره و نوع اندوسپرم دانه‌ها) و همچنین زمان ماندگاری در شکمبه (نسبت NDF جیره) را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Allen *et al.*, 2021). بنابراین تعادل در استفاده از سایر مواد مغذی برای افزایش در قابلیت هضم امری ضروری می‌باشد (Reis *et al.*, 2020).

استفاده از جیره‌های پرغله در سیستم‌های مدرن برای حمایت از تولید شیر ضروری است، اما این کار به قیمت کاهش الیاف مؤثر فیزیکی (peNDF) انجام می‌شود و گاوها را مستعد ابتلا به اسیدوز شکمی تحت حاد (SARA) می‌کند (Khorami *et al.*, 2022). تغذیه گاوها با جیره‌های غنی از نشاسته و peNDF کم نه تنها به SARA منجر می‌شود بلکه فرآیندهای گوارشی پس از شکمبه را نیز مختل می‌کند. از پیامدهای آن می‌توان به کاهش زمان ماندگاری در شکمبه اشاره کرد. از این رو، میزان نشاسته‌ای که از هضم شکمبه عبور کرده و به روده خلفی می‌رسد را افزایش می‌دهد، که معمولاً در کاهش pH مدفوع منعکس می‌شود (Neubauer *et al.*, 2020). علاوه بر این، در این جیره‌ها از یک طرف کاهش مدت زمان جویدن مشهود است (Mertens, 2002) و از طرف دیگر، شرایط مختل شده شکمبه ممکن است به طور بالقوه برخورد شدن ذرات و تجزیه NDF تأثیر بگذارد، که می‌تواند منجر به تغییرات در اندازه ذرات مدفوع شود (Kljak *et al.*, 2019). طی مطالعه‌ای گزارش شد، افزایش غلظت نشاسته از ۲۰ به ۲۸ درصد براساس ماده خشک جیره، باعث کاهش pH شکمبه (Salfer *et al.*, 2018) و روده بزرگ (Neubauer *et al.*, 2020) می‌شود. کاهش pH محتویات گوارشی یکی از عوامل کاهش سلامت و یکپارچگی دستگاه گوارش باشد.

Chen *et al.* (2024) طی مطالعه‌ای نسبت نشاسته قابل هضم در شکمبه (RDS) به پروتئین قابل تجزیه در شکمبه (RDP) را در سه سطح ۲/۱ (RDS پایین و RDP بالا)، ۲/۳ (نسبت متعادل از RDS به RDP) و ۲/۵ (RDS بالا و RDP پایین) مورد بررسی قرار دادند و 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 محققان بیان نمودند که حضور همزمان RDP و RDS برای میکروارگانیسم‌های شکمبه ضروری بوده چرا که بالاترین تولید پروتئین میکروبی را به همراه 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).

طی مطالعه عمل‌آوری جو و گندم آسیاب شده و غلطک خورده با ترکیبات حاوی فرم‌های مختلف فرمالدئید، کاهش نرخ هضم شکمبه‌ای نیتروژن و قابلیت هضم پایین‌تر ماده خشک و پروتئین در شکمبه را گزارش کردند (Sanz-Fernandez *et al.*, 2020). این محققان اعلام داشتند محافظت نشاسته از تجزیه شکمبه، نه تنها منجر به کاهش اتلاف از طریق تخمیر در شکمبه می‌شود بلکه از اثرات منفی تخمیر نشاسته بر روی هضم الیاف نیز جلوگیری می‌کند؛ برآیند این عمل افزایش در مقدار نشاسته جذب شده در روده کوچک می‌باشد (Sanz-Fernandez *et al.*, 2020)، اما باتوجه به محدودیت جذب نشاسته و گلوکز در روده کوچک نشخوارکنندگان مقدار بیشتری از نشاسته عمل‌آوری شده (محافظت شده) از روده کوچک عبور کرده و بخشی از نشاسته ورودی به انتهای دستگاه گوارش در روده بزرگ تخمیر شده و یا در مدفوع ظاهر شده است (Zhao *et al.*, 2020).

(2023). Dann *et al.*, (2014) چندین مطالعه را در مورد گله‌های گاو شیری پرتولید در ایالات متحده مورد بررسی قرار داد و دریافت که محتوای نشاسته خوراک معمولاً بین ۲۰ تا ۲۷ درصد متغیر است و تعداد کمی از گله‌های پرتولید کمتر از ۲۰ درصد نشاسته مصرف می‌کنند. دانه ذرت منبع اصلی نشاسته در جیره گاوهای شیری است و برای افزایش تراکم انرژی و کاهش اثرات پرکننده علوفه در جیره استفاده می‌شود. قابلیت هضم شکمبه‌ای نشاسته از دانه ذرت بسته به نوع فرآوری از ۴۵ تا ۸۷ درصد متفاوت است (Firkins *et al.*, 2001). آسیاب کردن دانه ذرت، ماتریکس پروتئین نشاسته را تخریب کرده و سطح قابل دسترس برای باکتری‌ها و نیز آنزیم‌های هضمی را افزایش می‌دهد (Hoffman *et al.*, 2011) و متعاقباً تجزیه پذیری نشاسته را در شرایط آزمایشگاهی افزایش می‌دهد (Gallo *et al.*, 2016).

تاکنون مطالعات زیادی با هدف مدل‌سازی هضم نشاسته در گاوهای شیرده (Owens *et al.*, 2016; Fredin *et al.*, 2004; Patton *et al.*, 2012; Zinn *et al.*, 2007; Owens and Zinn, 2005; Offner and Sauvant, 2004) انجام گرفته است با این حال، تمام مطالعات در راستای برآورد قابلیت هضم نشاسته بوده است و تاکنون مطالعه‌ای که به برآورد نشاسته دفعی از طریق مدفوع پرداخته باشد، وجود ندارد. با عنایت به مطالب مذکور هدف از مطالعه حاضر بررسی عوامل تاثیرگذار بر دفع نشاسته مدفوعی و همچنین اولویت بندی این عوامل با استفاده از مدل‌های تابعیت تک و چند متغیره می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از ۷۶ گله گاو شیری صنعتی کشور، طی سه مرحله انجام گرفت که مرحله اول مربوط به جمع‌آوری اطلاعات و نمونه‌های مورد نیاز در گله‌های گاو شیری سطح کشور بود و مرحله دوم آن شامل آنالیز نمونه‌ها در آزمایشگاه و تهیه بانک اطلاعاتی مورد نیاز برای انجام آنالیزهای آماری بود. در مرحله بعد داده‌های دسته بندی شده با استفاده از مدل‌های آماری با هدف پیش‌بینی غلظت نشاسته دفعی از طریق مدفوع مورد بررسی قرار گرفت.

الف) مرحله جمع‌آوری نمونه‌ها

در این مرحله ابتدا در هر گله یک بهارمند به عنوان 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 به صورت زیر جمع‌آوری شد (جدول ۱). اطلاعات انفرادی گاوهای مورد مطالعه در هر گله شامل روزهای شیردهی، گاوها، 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، نمونه گیری از خوراک کاملاً مخلوط، نمونه گیری از پس‌آخور، نمونه گیری از مدفوع گاوها و نمونه گیری از کنسانتره مصرفی بود. لازم به ذکر است که نمونه گیری در هر گله در سه روز متوالی انجام گرفت (جدول ۱).

از بین بهاربند گاوهای پرتولید هر گله مورد مطالعه یک بهاربند به عنوان بهاربند شاخص انتخاب شد. انتخاب بهاربند شاخص براساس وضعیت تولید، اسکور بدنی، روزهای آبستنی و ترکیبات شیر بود. در بهاربند شاخص، ۱۰ راس گاو از کل گاوهای بهاربند به عنوان 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 ۱ تا ۵ با استفاده از روش Wildman *et al.*, 1982)، روزهای شیردهی 80 ± 10 ، تولید شیر $47 \pm 2/5$ و تعداد شکم زایش $2/5 \pm 0.2$) 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 ۶ 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.

جدول ۱. جدول زمانی مربوط به اجرای مزرعه‌ای طرح آزمایشی

توضیحات	روزها			زمان نمونه برداری	شاخص‌ها
	۳	۲	۱		
	*	*	*	سه روز متوالی	ثبت رکورد شیر
	*	*	*	سه روز متوالی	نمونه گیری از شیر برای تعیین ترکیبات
	*	*	*	سه روز متوالی هر روز یکبار با توزین پس‌آخور	ثبت مقدار خوراک مصرفی روزانه
			*	یک روز	نمونه گیری از علوفه‌های مورد استفاده در جیره (ذرت سیلویی و یونجه)
از تمام وعده‌ها نمونه برداری انجام شد	*	*	*	سه روز متوالی هر روز از تمامی وعده‌ها از خوراک تازه ریخته شده	نمونه گیری از خوراک کاملاً مخلوط
	*	*	*	سه روز متوالی	نمونه گیری از پس‌آخور
از ۱۰ گاو در هر بهار بند نمونه گیری شد	*	*	*	سه روز متوالی هر روز دو وعده صبح و عصر	نمونه گیری از مدفوع گاوها
			*	یک روز	نمونه گیری از کنسانتره مصرفی

ب) 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، پروتئین خام و خاکستر نمونه‌ها با استفاده از روش (AOAC, 2012) و غلظت الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) خوراک توسط روش van Soest (1991) با استفاده از دستگاه آنکوم تک (اصفهان، ایران) اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری غلظت مدفوع، مقدار ۲۰ گرم نشاسته به همراه ۲۰ سی‌سی اب دیونیزه داخل ظرف یکبار مصرف ریخته شد و با قاشق پلاستیکی کاملاً مخلوط گردید و با استفاده از pH متر قلمی (ساخت شرکت میل‌واکی مدل PH55 PRO) اندازه‌گیری و ثبت گردید. همچنین غلظت نشاسته در مدفوع با استفاده از روش هال (Hall, 2009) اندازه‌گیری شد. بطور 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 آلفا‌آمیلاز 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 پاراهیدروکسی بنزوئیک اسید و آمینوآنتی پیرین تحت حضور آنزیم پراکسیداز با پراکسید هیدروژن واکنش داده و تولید ماده رنگی کوینون‌ایمین می‌نمایند که در نهایت شدت رنگ ماده مذکور با استفاده از اسپکتوفتومتر که ارتباط مستقیمی با غلظت نشاسته در نمونه دارد اندازه‌گیری می‌شود.

ج) مرحله تجزیه و تحلیل داده‌ها و مدل سازی

با توجه به بانک اطلاعاتی حاصل از مرحله اول و دوم، متغیرهای مستقل شامل درصد پروتئین خام مدفوع، کیلوگرم پروتئین خام مدفوع، درصد NDF مدفوع، کیلوگرم NDF مدفوع، درصد ماده آلی مدفوع و pH مدفوع می‌باشد. این متغیرها در درجه اول براساس عوامل اولیه تغییردهنده صفات با استفاده از رویه GLM در نرم افزار SAS (نسخه ۹/۴) تصحیح شدند (رابطه شماره ۱). عوامل اولیه تغییردهنده صفات شامل اثرات گله و اثرات سن (شکم دام) به عنوان عامل کواریت می‌باشند. سپس تمام متغیرها با استفاده از رویه Univariate نرمال سازی شدند. در نهایت داده‌های تصحیح شده با استفاده از بسته‌های نرم افزاری SAS (نسخه ۹/۴) و به کمک مدل رگرسیون خطی تک و چند متغیره، برازش مدل گردیدند (رابطه شماره ۲) و در

نهایت، انتخاب بهترین مدل با استفاده از معیارهای ضریب تبیین و میانگین مربعات مانده‌ها انجام گرفت. لازم به ذکر است ضرایب همبستگی بین پارامترهای مدفوعی با استفاده از رویه Corr نرم افزار SAS (نسخه ۹/۴) 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.

$$Y_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_j + \dots + \beta_n X_n + e_{ijk} \quad \text{رابطه ۲}$$

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

نتایج و بحث

نتایج آنالیز آمار توصیفی پارامترهای مورد بررسی شامل حداقل، حداکثر و میانگین مقدار و درصد نشاسته مدفوعی و نسبت علوفه و کنسانتره در جیره و همچنین سایر ترکیبات مدفوعی شامل درصد پروتئین خام مدفوع، مقدار پروتئین خام مدفوع، درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی مدفوع، مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی مدفوع، درصد ماده آلی مدفوع و اسیدیته (pH) مدفوع گله‌های مورد مطالعه در جدول ۲ گزارش شده است (جدول ۲). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که میانگین دفع نشاسته از طریق مدفوع ۱۱/۵ درصد بوده است و فاصله زیادی با مقدار توصیه شده (۵ درصد براساس ماده خشک) دارد (Hutjens, 2011). در مطالعه حاضر هر گاو بطور متوسط روزانه ۰/۹۸ کیلوگرم نشاسته از طریق مدفوع دفع می‌نماید (جدول ۲). همچنین نشان داده شد به‌صورت کلی میانگین پروتئین خام مدفوع $16/9 \pm 1/04$ درصد بوده است که معادل از دست رفتن $1/65 \pm 0/24$ کیلوگرم پروتئین خام از طریق مدفوع می‌باشد، همچنین در گله‌های مورد بررسی میانگین درصد NDF مدفوع، کیلوگرم NDF دفعی از طریق مدفوع به ترتیب $46/1 \pm 2/06$ ، $4/46 \pm 0/70$ بوده است (جدول ۲). میانگین pH مدفوع در گله‌های موجود در مطالعه حاضر ۶/۵۸ بوده است (جدول ۲) و مطالعات گذشته نشان داده است پارامتر مذکور از همبستگی بالایی با اسیدوز متابولیکی و اسیدوز روده خلفی در گاوهای پرتولید برخوردار می‌باشد (Abeyta et al., 2023).

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

متغیرها ^۱	واحد	تعداد	میانگین	انحراف استاندارد	حداقل	حداکثر
درصد نشاسته مدفوعی (StF)	درصد	۷۶	۱۱/۵	۳/۱۵	۷/۳۳	۲۰/۸
مقدار نشاسته دفعی از طریق مدفوعی (StFKg)	کیلوگرم	۷۶	۰/۹۸	۰/۳۵	۰/۳۹	۱/۹۶
درصد علوفه جیره	درصد	۷۶	۳۷/۵	۳/۸۵	۲۸/۵	۴۸/۰
درصد کنسانتره جیره	درصد	۷۶	۶۲/۵	۳/۸۵	۵۲/۰	۷۱/۵
فراسنجه‌های مدفوع						
درصد پروتئین خام مدفوع (CPF)	درصد	۷۶	۱۶/۹	۱/۰۴	۱۵/۰	۱۹/۲
مقدار پروتئین خام مدفوع (CPFkg)	کیلوگرم	۷۶	۱/۶۵	۰/۲۴	۰/۹۲	۲/۲۴
درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی مدفوع (NDF)	درصد	۷۶	۴۶/۱	۲/۰۶	۳۹/۳	۵۰/۹
مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی مدفوع (NDFkg)	کیلوگرم	۷۶	۴/۴۶	۰/۷۰	۲/۵۹	۶/۰۷
درصد ماده آلی مدفوع (OMF)	درصد	۷۶	۸۳/۱	۱/۳۳	۸۰/۱	۸۷/۲
اسیدیته (pH)	درصد	۷۶	۶/۵۸	۰/۲۴	۶/۲۰	۷/۲۰

۱. اسیدیته (pH)، درصد پروتئین خام مدفوع (CPF)، مقدار پروتئین خام مدفوع (CPFkg)، درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی مدفوع (NDF)، مقدار

الیاف نامحلول در شوینده خنثی مدفوع (NDFkg)، درصد ماده آلی مدفوع (OMF)

نتایج آنالیز تابعیت تک متغیره بیانگر این است که متغیرهای pH، درصد پروتئین خام مدفوع، مقدار پروتئین خام مدفوع (برحسب کیلوگرم)، درصد NDF مدفوع و مقدار NDF مدفوع (برحسب کیلوگرم) به ترتیب با ضرایب تبیین ۴۸، ۳۸، ۲۸، ۱۹، ۱۷، درصد دارای اثر معنی داری بودند ($P\text{-value} \leq 0.01$) و به ترتیب بیشترین تاثیر را روی غلظت نشاسته دفعی از طریق مدفوع (برحسب درصدی از ماده خشک مدفوع) دارند (جدول ۳). لازم به ذکر است، تمام متغیرهای موثر مذکور در مطالعه حاضر ارتباط عکس با درصد نشاسته مدفوعی دارند (جدول ۳). مطالعات گذشته نشان داده است که در حدود نیمی از نشاسته رسیده به انتهای دستگاه گوارش پیش از دفع شدن از طریق مدفوع، در این ناحیه تخمیر می گردد (Owens et al., 2016). همچنین مطالعات گذشته نشان داده است که بسته به منبع غله و نوع اندوسپرم آن، در حدود ۳۰ تا ۷۰ درصد از نشاسته مصرفی در شکمبه و باقیمانده آن ۳۰ الی ۶۰ درصد آن می تواند در بخش های پایین تر دستگاه گوارش هضم شود در حالیکه در مورد NDF، شکمبه عمده ترین محل هضم و تخمیر آن در دستگاه گوارش گاوهای شیرده می باشد و نشان داده شده است که ۹۰ الی ۹۵ درصد تخمیر NDF در شکمبه و تنها ۵ الی ۱۰ درصد تخمیر آن در انتهای دستگاه گوارش اتفاق می افتد (Salfer et al., 2018). مطالعات گذشته نشان داده است که در صورت افزایش مقدار عبور نشاسته به انتهای دستگاه گوارش (روده بزرگ) با توجه به حضور باکتری، نشاسته و پروتئین بستر برای تخمیر فراهم شده و تخمیر به صورت گسترده رخ می دهد، این امر باعث می شود که نشاسته تخمیر شده و مقدار آن در مدفوع کم شود در حالی که NDF رسیده به انتهای دستگاه گوارش به مقدار ناچیزی در این بخش از دستگاه گوارش تخمیر شده و به همین دلیل نسبت NDF در مدفوع در مقایسه با نشاسته دفعی بالاتر می رود. از طرف دیگر تخمیر گسترده در انتهای دستگاه گوارش که ناشی از رسیدن مقادیر بالای نشاسته به این بخش می باشد باعث تولید بیوماس میکروبی و افزایش در مقدار پروتئین خام دفع شده از طریق مدفوع و به تبع آن کاهش نسبت نشاسته در قبال افزایش غلظت پروتئین در مدفوع می گردد و نتایج مطالعه حاضر نیز که بیانگر وجود رابطه عکس بین غلظت نشاسته دفع شده از طریق مدفوع با غلظت NDF و پروتئین خام (برحسب درصد و کیلوگرم) بوده است، تاییدی بر این ادعا می باشد (جدول ۳). لازم به ذکر است که این ارتباط عکس از یک طرف به تخمیر در انتهای دستگاه گوارش گاوهای شیرده پرتولید و از طرف دیگر به رقیق شدن مقدار نشاسته دفع شده از طریق مدفوع و یا هردوی آنها می تواند رخ داده باشد (Fredin et al., 2014). همچنین نتایج مطالعه حاضر نشان داد که pH مدفوع نیز به عنوان یکی دیگر از عوامل تاثیر گذار در برآورد درصد نشاسته دفع شده از طریق مدفوع، حائز اهمیت می باشد. لازم به ذکر است که این متغیر دارای ارتباط منفی با درصد نشاسته دفع شده از طریق مدفوع است (جدول ۳). مطالعات گذشته نشان داده اند که کاهش سطح علوفه جیره با افزایش سطح کنسانتره جیره و متعاقباً افزایش سطح نشاسته جیره همراه می باشد (NASEM, 2021). بنابراین سطوح پایین تر NDF جیره به تشکیل توده الیافی شکمبه ای ضعیف تر منجر گردیده (NASEM, 2021) که همزمان با افزایش مقدار نشاسته مصرفی به کاهش pH شکمبه ای و افزایش در نرخ عبور نشاسته به قسمت های پس از شکمبه منتج می شود (Owens et al., 2016)، که در نهایت با عنایت به محدودیت هضم نشاسته در روده کوچک، بخش قابل توجهی از نشاسته از روده کوچک عبور کرده و در روده بزرگ تخمیر می شود (Krogstad & Bradford, 2023) که تخمیر در انتهای دستگاه گوارش با کاهش pH محتویات آن بخش و در نهایت مدفوع همراه خواهد بود (Abeyta et al., 2023).

به منظور اولویت بندی متغیرهایی که بیشترین تاثیر را بر دفع نشاسته از طریق مدفوع در گاوهای شیرده دارند، آنالیز تابعیت چندگانه انجام گرفت و بهترین مدل ها در جدول ۴ آورده شده است. نتایج حاصله نشان داد که که مدل پیشنهادی حاوی سه عامل pH مدفوع، درصد NDF مدفوع و درصد پروتئین خام مدفوع با ضریب تبیین ۶۱/۰ به عنوان بهترین مدل ارایه گردیده است (جدول ۴). در اولویت بعدی مدل با چهار متغیر pH مدفوع، درصد NDF مدفوع، درصد پروتئین خام مدفوع و درصد ماده آلی مدفوع با ضریب تبیین ۵۹/۰ قرار دارد (جدول ۴). لازم به ذکر است که نتایج حاصل از آنالیز تابعیت چندگانه نشان داد که هر یک از متغیرهای درصد پروتئین مدفوع، درصد NDF مدفوع و pH مدفوع به بهبود صحت مدل برآورد نشاسته دفعی منتج شده است. درحالی که افزودن فراسنجه درصد ماده آلی مدفوع به کاهش ضریب تبدیل مدل منتج گردید (جدول ۴).

جدول ۳. مدل آماری پیشنهادی برای برآورد نشاسته مدفوعی با استفاده از سایر ترکیبات مدفوع در گاوهای هلستاین پرتولید براساس معادلات رگرسیون خطی تک متغیره^۱

متغیرها ^۲	واحد	تعداد	درصد نشاسته مدفوع =	p-value	RMSE	R ²
اسیدیته (pH)		۷۶	74.49 - 9.41 pHF	۰/۰۰۱	۲/۴۰	۰/۴۸
درصد پروتئین خام مدفوع (CPF)	درصد	۷۶	37.68 - 1.54 CPF	۰/۰۰۱	۲/۰۸	۰/۳۸
مقدار پروتئین خام مدفوع (CPFKg)	کیلوگرم	۷۶	22.00 - 6.43 CPF (Kg)	۰/۰۰۱	۲/۵۶	۰/۲۸
درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی مدفوع (NDFF)	درصد	۷۶	37.70 - 0.57 NDF	۰/۰۰۱	۲/۴۶	۰/۱۹
مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی مدفوع (NDFFKg)	کیلوگرم	۷۶	16.10 - 1.02 NDF (Kg)	۰/۰۱	۲/۶۲	۰/۱۷
درصد ماده آلی مدفوع (OMF)	درصد	۷۶	-48.84 + 0.73 OM	۰/۰۹	۳/۰۱	۰/۰۹

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

۲- اسیدیته (pH)، درصد پروتئین خام مدفوع (CPF)، مقدار پروتئین خام مدفوع (CPFKg)، درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی مدفوع (NDFF)، مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی مدفوع (NDFFKg)، درصد ماده آلی مدفوع (OMF)

جدول ۴. مدل آماری پیشنهادی برای برآورد نشاسته مدفوعی با استفاده از سایر ترکیبات مدفوع در گاوهای هلستاین پرتولید براساس معادلات رگرسیون خطی

متغیرها ^۲	واحد	تعداد	مدل درصد نشاسته مدفوع =	p-value	RMSE	R ²
اسیدیته، درصد پروتئین خام، درصد NDF مدفوع pHF, CPF, NDFF	درصد	۷۶	48.52 - 3.66 pH - 3.77 CPF + 1.11 NDFF	۰/۰۰۱	۱/۸۳	۰/۶۱
اسیدیته، درصد پروتئین خام، درصد NDF و درصد ماده آلی pHF, CPF, NDFF, OMF	درصد	۷۶	20.06 - 3.58 pH - 3.98 CPF + 0.27 OMF + 1.31 NDFF	۰/۰۰۱	۱/۸۴	۰/۵۹
اسیدیته و درصد پروتئین خام pHF, CPF	درصد	۷۶	59.37 - 3.73 pH - 1.33 CPF	۰/۰۰۱	۱/۸۵	۰/۵۶
اسیدیته و درصد NDF مدفوع pHF, NDFF	درصد	۷۶	74.22 - 6.81 pH - 0.37 NDFF	۰/۰۰۱	۱/۹۵	۰/۵۵
اسیدیته، درصد پروتئین خام و درصد ماده آلی مدفوع pHF, CPF, OMF	درصد	۷۶	57.37 - 3.72 pH - 1.32 CPF + 0.02 OMF	۰/۰۰۱	۱/۸۷	۰/۵۵
اسیدیته، درصد NDF و درصد ماده آلی مدفوع pHF, NDFF, OMF	درصد	۷۶	65.27 - 6.57 pH + 0.08 OMF - 0.36 NDFF	۰/۰۰۱	۱/۹۶	۰/۵۴
درصد پروتئین خام، درصد NDF مدفوع CPF, NDFF	درصد	۷۶	43.02 - 0.87 CPF - 0.36 NDFF	۰/۰۰۱	۲/۰۶	۰/۴۲
درصد پروتئین خام، درصد NDF مدفوع و درصد ماده آلی CPF, NDFF, OMF	درصد	۷۶	67.58 - 0.86 CPF - 0.25 OMF - 0.45 NDFF	۰/۰۰۱	۲/۰۵	۰/۴۱

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

۲- اسیدیته (pH)، درصد پروتئین خام مدفوع (CPF)، درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی مدفوع (NDFF)، درصد ماده آلی مدفوع (OMF)

نتایج حاصل از همبستگی بین فراسنجه‌های مدفوع نشان داد که درصد نشاسته دفع شده از طریق مدفوع به ترتیب دارای بیشترین همبستگی با pH مدفوع، درصد پروتئین مدفوع، کیلوگرم پروتئین دفعی، درصد NDF مدفوع، درصد ماده آلی مدفوع و کیلوگرم NDF دفعی از طریق مدفوع با ضرایب همبستگی به ترتیب برابر با ۰/۶۹، ۰/۶۱، ۰/۵۳، ۰/۴۳، ۰/۳۱ و ۰/۲۶ بوده است (جدول ۵). لازم به ذکر است که همبستگی بین درصد نشاسته دفعی از طریق مدفوع با متغیرهایی چون pH مدفوع، درصد پروتئین مدفوع، کیلوگرم پروتئین دفعی، درصد NDF مدفوع و کیلوگرم NDF دفعی از نوع منفی بوده است (جدول ۵). همسو با نتایج مطالعه حاضر، مطالعات پیشین نیز کاهش دفع نشاسته مدفوعی را همزمان با افزایش در دفع پروتئین و NDF مدفوعی گزارش کرده اند (Owens et al., 2016; Atkinson et al., 2020; Fredin et al., 2014).

جدول ۵. همبستگی بین نشاسته دفع شده از طریق مدفوع با سایر پارامترهای مدفوعی در مطالعه حاضر

ماده آلی مدفوع (OMF)	کیلوگرم ایلف نامحلول در شونده خشی مدفوع (NDFFKg)		درصد ایلف نامحلول در شونده خشی مدفوع (NDF%)		کیلوگرم پروتئین خام مدفوع (CPFKg)		درصد پروتئین خام مدفوع (CPF%)		pH مدفوع (pHF)		کیلوگرم نشاسته مدفوع (StFKg)		درصد نشاسته مدفوع (StF%)	
	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۰/۶۱
درصد نشاسته مدفوع (StF)	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۰/۶۱
P-Value	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۰/۶۱
کیلوگرم نشاسته مدفوع (StFKg)	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۰/۶۱
P-Value	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۰/۶۱
pH مدفوع (pHF)	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۰/۶۱
P-Value	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۰/۶۱
درصد پروتئین خام مدفوع (CPF)	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۰/۶۱
P-Value	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۰/۶۱
کیلوگرم پروتئین خام مدفوع (CPFKg)	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۰/۶۱
P-Value	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۰/۶۱
درصد NDF مدفوع (NDF%)	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۰/۶۱
P-Value	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۰/۶۱
کیلوگرم NDF مدفوع (NDFFKg)	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۰/۶۱
P-Value	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۰/۶۱
ماده آلی مدفوع (OMF)	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۰/۶۱
P-Value	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۰/۶۱

بطوریکه Pan et al., (2017) با افزایش نشاسته جیره از ۲۰ به ۳۳ درصد با استفاده از دانه ذرت، کاهش pH مدفوع را مشاهده کردند. همچنین Abeyta et al., (2019) روزانه ۴ کیلوگرم نشاسته را به شکمبه گاوهای شیرده از طریق کانال فیستولا وارد کردند و مشاهده کردند که pH مدفوع از ۷/۲ به ۵/۸ کاهش یافت. همچنین van Gastelen et al., (2021) نیز ۳ کیلوگرم جو و ۳ کیلوگرم ذرت آسیاب شده را مستقیماً به شکمبه گاوهای فیستولدار تزریق کردند و مشاهده کردند که pH مدفوع از ۶/۵ به ۵/۱۵ کاهش یافت. لازم به ذکر است که برخی از محققان گزارش کردند که در صورت افزایش در مقادیر نشاسته ورودی به انتهای دستگاه گوارش، غلظت بوتیرات در کولون و مدفوع گاو افزایش می‌یابد که نشان دهنده افزایش تخمیر در انتهای دستگاه گوارش می‌باشد که متعاقباً می‌تواند به کاهش دفع نشاسته کمتر از واقعیت و برآورد بیش از حد و غیرواقعی قابلیت هضم نشاسته در کل دستگاه گوارش گاو شیرده شود (Abeyta et al., 2023). Patton et al., (2012)

اعلام داشتند افزایش مصرف نشاسته باعث کاهش قابلیت هضم شکمبه‌ای نشاسته از ۷۵۰ به ۶۰۰ گرم در کیلوگرم به ازای مصرف نشاسته بالاتر از ۴ کیلوگرم در روز شد (Patton et al., 2012). همچنین در خلاصه‌ای از داده‌های منتشر شده 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).

طی مطالعه‌ای مفهوم تغییر محل هضم نشاسته به روده کوچک (نشاسته محافظت شده) برای غلبه بر اثرات منفی مرتبط با تخمیر بیش از حد نشاسته در شکمبه، مانند اسیدوز شکمبه، کاهش تخمیر فیبر و کاهش کارایی تولید پروتئین میکروبی پیشنهاد شده است (Allen et al., 2021). اما، محققین مذکور گزارش کردند که افزایش بیش از حد نشاسته در روده کوچک می‌تواند خطر دفع نشاسته را به واسطه محدودیت هضم نشاسته (محدودیت جذب گلوکز) در روده کوچک به همراه داشته باشد (Trotta et al., 2022). McCarthy et al., (2020) کاهش قابل توجهی در pH مدفوع گاوهای شیرده تغذیه شده با جیره‌های غنی از کنسانتره را گزارش کردند. همچنین نشان داده شده است که شدت کاهش در pH مدفوع ارتباط معکوسی با تولید شیر و غلظت پروتئین‌های فاز حاد (APP) که به عنوان شاخصی وجود التهاب در بدن گاوهای شیرده مطرح می‌باشند، دارد (Rodriguez-Jimenez et al., 2019)، بنابراین محققان مذکور گزارش کردند که التهاب می‌تواند در اثر تخمیر بیش از حد در روده بزرگ، اتفاق بیافتد.

طی مطالعه‌ای Fredin et al., (2014) گزارش کردند که علاوه بر غلظت نشاسته عوامل دیگری نیز در قابلیت هضم نشاسته در کل دستگاه گوارش موثر هستند از جمله آنها می‌توان به جریان بیشتر NDF به روده و انتهای دستگاه گوارش اشاره کرد. همچنین گزارش کردند که هر یک درصد نشاسته مدفوعی معادل کاهش ۱/۲۵ درصدی در قابلیت هضم نشاسته در کل دستگاه گوارش است (Fredin et al., 2014). Liu et al., (2023) گزارش کردند زمانی که از جیره با نشاسته بالاتر در گاوهای پرتولید استفاده می‌شود قابلیت هضم NDF و ADF و نشاسته کاهش پیدا می‌کند در حالیکه بر قابلیت هضم پروتئین تاثیر معنی‌داری ندارد و محققین مذکور اعلام داشتند که افزایش نسبت نشاسته در جیره در گاوهای پرتولید با کاهش در نسبت NDF جیره و بالعکس همراه می‌باشد که این عامل از یک طرف مدت زمان ماندگاری در شکمبه را کاهش می‌دهد و از طرف دیگر pH شکمبه را کاهش داده و خطر اسیدوز را بالا می‌برد. بنابراین، از پیامدهای آن کاهش قابلیت هضم NDF و ADF است. لذا حضور همزمانی پروتئین، انرژی (نشاسته) و NDF برای کارایی بهتر شکمبه امری لازم و ضروری است (Liu et al., 2023).

طی مطالعه‌ای Khorami et al., (2022) گزارش کردند که با افزایش مصرف کنسانتره و به تبع آن افزایش مصرف نشاسته، مقدار دفع نشاسته از طریق مدفوع افزایش یافت. همچنین pH مدفوع را برای تیمار فاقد کنسانتره، تیمار حاوی ۴۰ درصد کنسانتره و تیمار حاوی ۶۵ درصد کنسانتره به ترتیب ۸، ۶/۸ و ۵ گزارش کردند. همچنین گزارش کردند که نتایج مرتبط با شستشوی مدفوع (با الک‌های با توری‌های ۴، ۲، ۱/۱۸ و ۰/۵ میلی‌متر) نشان داد که با افزایش نسبت $PeNDF > 8$ به نشاسته مصرفی، مقدار الیاف باقیمانده روی دو الک ۰/۵ و ۱/۱۸ بطور معنی‌داری افزایش یافت و علت آن را نیز به هضم بهتر مواد مغذی در دستگاه گوارش و کاهش خطر بروز اسیدوز در دستگاه گوارش نسبت دادند. همچنین Cueva et al., (2024) گزارش کردند در صورتی که قابلیت هضم نشاسته در کل دستگاه گوارش گاوهای پرتولید افزایش پیدا کند، قابلیت هضم NDF و ADF افزایش می‌یابد اما بر قابلیت هضم پروتئین خام اثر معنی‌داری ندارد. همچنین Darabighan et al., (2021) گزارش کردند افزایش درصد نشاسته از ۲۲ به ۳۲ درصد ماده خشک جیره در گاوهای شیرده با افزایش درصد قابلیت هضم نشاسته و پروتئین خام و کاهش درصد قابلیت هضم NDF و ADF همراه است. Firkins et al., (2001) گزارش کردند که به طور متوسط قابلیت هضم نشاسته به ازای هر یک درصد افزایش در غلظت NDF جیره تقریباً ۰/۶ درصد افزایش می‌یابد.

طی مطالعه‌ای Van Gastelen et al., (2021)، مقدار نشاسته ذرت مصرفی (۰، ۱/۵ و ۳ کیلوگرم) را در گاوهای شیری پرتولید مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند با افزایش مصرف نشاسته قابلیت هضم ماده خشک، پروتئین و نشاسته کاهش

یافت. درحالی که تفاوت معنی داری در قابلیت هضم NDF و ADF مشاهده نشد (Van Gastelen et al. 2021). همچنین برخی از محققان گزارش کردند که اگرچه با افزایش مقدار نشاسته مصرفی روزانه (گرم در روز)، مقدار نشاسته هضم شده در کل دستگاه گوارش (گرم در روز) افزایش می یابد اما به لحاظ درصدی (یعنی مقدار نشاسته هضم شده تقسیم بر مقدار نشاسته مصرفی)، قابلیت هضم کاهش می یابد (Cueva et al., 2024).

نتیجه گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که غلظت نشاسته دفعی از طریق مدفوع در گاوهای پرتولید کشور در حدود ۱۱/۵ درصد (بر اساس ماده خشک) بوده و به طور قابل توجهی بالاتر از مقدار توصیه شده (۵ درصد) می باشد. همچنین نتایج آنالیز تابعیت تک متغیره نشان داد که متغیر pH مدفوعی و به دنبال آن درصد پروتئین و NDF مدفوعی بیشترین اثرگذاری را در برآورد نشاسته دفعی از طریق مدفوع دارند. همچنین هر کدام از سه عامل pH مدفوع، درصد پروتئین و NDF مدفوع دارای ضریب همبستگی منفی با درصد نشاسته دفع شده از طریق مدفوع می باشند. فلذا، افزایش در دفع پروتئین و NDF از طریق مدفوع با کاهش درصد نشاسته دفع شده همراه می باشد ($P\text{-value} \leq 0.01$). همچنین نتایج مربوط به تابعیت چندمتغیره نشان داد که معادله مدل حاوی سه عامل pH مدفوع، درصد پروتئین مدفوع و درصد NDF مدفوع ($48.52 - 3.66 \text{ pH} - 3.77 \text{ CPF} + 1.11$) بهترین برآورد نشاسته دفعی از طریق مدفوع با ضریب تبیین ۰/۶۱ را به دست می دهد. در نهایت این که برآورد غلظت نشاسته دفعی با استفاده از سایر فراسنجه های مدفوعی می تواند با صحت و دقت بالایی برآورد گردد.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از هولدینگ کشاورزی و دامپروری فردوس پارس بخاطر تامین بخشی از هزینه مالی مطالعه حاضر و همچنین همکاری واحدهای تابعه آن در انجام مطالعه حاضر نهایت تقدیر و تشکر را داریم.

REFERENCES

- Abeyta, M. A., Horst, E. A., Mayorga, E. J., Goetz, B. M., Al-Qaisi, M., McCarthy, C. S., ... & Baumgard, L. H. (2023). Effects of hindgut acidosis on metabolism, inflammation, and production in dairy cows consuming a standard lactation diet. *Journal of Dairy Science*, 106(2), 1429-1440. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22303>
- Abeyta, M. A., Horst, E. A., Rodriguez-Jimenez, S. J., May-Orga, E. J., Goetz, B. M., Al-Qaisi, M., ... & Baumgard, L. H. (2019, January). Effects of hindgut acidosis on metabolism, inflammation, and production in dairy cows acclimated to a low-starch diet. In *JOURNAL OF DAIRY SCIENCE* (Vol. 102, pp. 402-402). STE 800, 230 PARK AVE, NEW YORK, NY 10169 USA: ELSEVIER SCIENCE INC.
- Adesogan, A. T., Arriola, K. G., Jiang, Y., Oyebade, A., Paula, E. M., Pech-Cervantes, A. A., ... & Vyas, D. (2019). Symposium review: Technologies for improving fiber utilization. *Journal of dairy science*, 102(6), 5726-5755. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15334>
- Allen, M. S., Longuski, R. A., & Ying, Y. (2021). Effects of corn grain endosperm type and fineness of grind on feed intake, feeding behavior, and productive performance of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(7), 7630-7640. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18991>
- AOAC. (2012). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists, 881-82.
- Atkinson, G. A., Smith, L. N., Smith, M. L., Reynolds, C. K., Humphries, D. J., Moorby, J. M., ... & Kingston-Smith, A. H. (2020). A computer vision approach to improving cattle digestive health by the monitoring of faecal samples. *Scientific Reports*, 10(1), 17557. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74511-0>
- 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>
- Conway, L. K., Hallford, D. M., & Soto-Navarro, S. A. (2012). Effects of wet corn gluten feed and yellow grease on digestive function of cattle fed steam-flaked corn-based finishing diets. *Animal feed science and technology*, 178(1-2), 20-26. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.09.003>
- Cueva, S. F., Wasson, D. E., Martins, L. F., Räisänen, S. E., Silvestre, T., & Hristov, A. N. (2024). Lactational performance, ruminal fermentation, and enteric gas emission of dairy cows fed an amylase-enabled corn silage in diets with different starch concentrations. *Journal of dairy science*, 107(7), 4426-4448. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23957>
- 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>
- Darabighane, B., Tapio, I., Ventto, L., Kairenius, P., Stefański, T., Leskinen, H., ... & Bayat, A. R. (2021). Effects of starch level and a mixture of sunflower and fish oils on nutrient intake and digestibility, rumen fermentation, and ruminal methane emissions in dairy cows. *Animals*, 11(5), 1310. <https://doi.org/10.3390/ani11051310>
- Fernandez, J. A., Coppock, C. E., & Schake, L. M. (1982). Effect of calcium buffers and whole plant processing on starch digestibility of sorghum based diets in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 65(2), 242-249. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82183-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82183-8)
- Ferraretto, L. F., P. M. Crump, and R. D. Shaver. 2013. Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods on intake, digestion, and milk production by dairy cows through a meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 96:533-550. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5932>
- Firkins, J. L., Eastridge, M. L., St-Pierre, N. R., & Nofstger, 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>
- Fredin, S. M., Ferraretto, L. F., Akins, M. S., Hoffman, P. C., & Shaver, R. D. (2014). Fecal starch as an indicator of total-tract starch digestibility by lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 97(3), 1862-1871. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7395>
- Gallo, A., Giuberti, G., & Masoero, F. (2016). Gas production and starch degradability of corn and barley meals differing in mean particle size. *Journal of dairy science*, 99(6), 4347-4359. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10779>
- Grant, R. J., & Chazy, N. Y. (2010). Lowering cost of production with feed efficiency and cow comfort. *Agricultural Research Institute Chazy, NY*.
- 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>
- Harmon, D. L., & McLeod, K. R. (2001). Glucose uptake and regulation by intestinal tissues: Implications and whole-body energetics. *Journal of Animal Science*, 79(suppl_E), E59-E72. <https://doi.org/10.2527/jas2001.79E-SupplE59x>
- Hoffman, P. C., Esser, N. M., Shaver, R. D., Coblenz, W. K., Scott, M. P., Bodnar, A. L., ... & Charley, R. C. (2011). Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. *Journal of dairy science*, 94(5), 2465-2474. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3562>
- 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.
- Khorrami, B., Kheirandish, P., Zebeli, Q., & Castillo-Lopez, E. (2022). Variations in fecal pH and fecal particle size due to changes in dietary starch: Their potential as an on-farm tool for assessing the risk of ruminal acidosis in dairy cattle. *Research in Veterinary Science*, 152, 678-686. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.10.001>
- Kljak, K., Heinrichs, B. S., & Heinrichs, A. J. (2019). Fecal particle dry matter and fiber distribution

- of heifers fed ad libitum and restricted with low and high forage quality. *Journal of dairy science*, 102(5), 4694-4703. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15457>
- Krogstad, K. C., & Bradford, B. J. (2023). Does feeding starch contribute to the risk of systemic inflammation in dairy cattle?. *JDS communications*, 4(1), 14-18. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2022-0303>
- 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>
- Liu, Y. F., Zhao, H. B., Liu, X. M., You, W., Cheng, H. J., Wan, F. C., ... & Zhang, X. L. (2015). Substitution of wheat for corn in beef cattle diets: digestibility, digestive enzyme activities, serum metabolite contents and ruminal fermentation. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 29(10), 1424. <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0866>
- 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>
- Matthé, 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>
- McCarthy, C. S., Dooley, B. C., Branstad, E. H., Kramer, A. J., Horst, E. A., Mayorga, E. J., ... & Baumgard, L. H. (2020). Energetic metabolism, milk production, and inflammatory response of transition dairy cows fed rumen-protected glucose. *Journal of Dairy Science*, 103(8), 7451-7461. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18151>
- Mertens, D. R. (2002). Determination of starch in large particles. *Ro-Tap shaker method. US Dairy Forage Research Center, Madison, WI. Revised April*.
- Mills, J. A., France, J., Ellis, J. L., Crompton, L. A., Bannink, A., Hanigan, M. D., & Dijkstra, J. (2017). A mechanistic model of small intestinal starch digestion and glucose uptake in the cow. *Journal of Dairy Science*, 100(6), 4650-4670. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12122>
- Mutsvangwa, T., Davies, K. L., McKinnon, J. J., & Christensen, D. A. (2016). Effects of dietary crude protein and rumen-degradable protein concentrations on urea recycling, nitrogen balance, omasal nutrient flow, and milk production in dairy cows. *Journal of dairy science*, 99(8), 6298-6310. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10917>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (NASEM) (2021). Nutrient Requirements of Dairy Cattle.
- Neubauer, V., Petri, R. M., Humer, E., Kröger, I., Reisinger, N., Baumgartner, W., ... & Zebeli, Q. (2020). Starch-rich diet induced rumen acidosis and hindgut dysbiosis in dairy cows of different lactations. *Animals*, 10(10), 1727. <https://doi.org/10.3390/ani10101727>
- 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)
- Offner, A., Bach, A., & Sauvant, D. (2003). Quantitative review of in situ starch degradation in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, 106(1-4), 81-93. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00038-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00038-5)
- 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>
- Owens, F. N., & Zinn, R. A. (2005, March). Corn grain for cattle: Influence of processing on site and extent of digestion. In *Proc. Southwest Nutr. Conf* (Vol. 86, p. 112). Tucson: University of Arizona.
- Pan, X. H., Yang, L., Beckers, Y., Xue, F. G., Tang, Z. W., Jiang, L. S., & Xiong, B. H. (2017).

- Thiamine supplementation facilitates thiamine transporter expression in the rumen epithelium and attenuates high-grain-induced inflammation in low-yielding dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(7), 5329-5342. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11966>
- 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>
- Rodriguez-Jimenez, S., McCarthy, C. S., Horst, E. A., Mayorga, E. J., Al-Qaisi, M., Abeyta, M. A., ... & Baumgard, L. H. (2019, January). Relationships between fecal pH and milk production, metabolism, and acute phase protein response in periparturient dairy cows. In *JOURNAL OF DAIRY SCIENCE* (Vol. 102, pp. 402-402). STE 800, 230 PARK AVE, NEW YORK, NY 10169 USA: ELSEVIER SCIENCE INC.
- Salfer, I. J., Morelli, M. C., Ying, Y., Allen, M. S., & Harvatine, K. J. (2018). The effects of source and concentration of dietary fiber, starch, and fatty acids on the daily patterns of feed intake, rumination, and rumen pH in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101(12), 10911-10921. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15071>
- Sanz-Fernandez, M. V., Daniel, J. B., Seymour, D. J., Kvidera, S. K., Bester, Z., Doelman, J., & Martín-Tereso, J. (2020). Targeting the hindgut to improve health and performance in cattle. *Animals*, 10(10), 1817. <https://doi.org/10.3390/ani10101817>.
- 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>
- Trotta, R. J., Harmon, D. L., Matthews, J. C., & Swanson, K. C. (2021). Nutritional and physiological constraints contributing to limitations in small intestinal starch digestion and glucose absorption in ruminants. *Ruminants*, 2(1), 1-26. <https://doi.org/10.3390/ruminants2010001>.
- Van Gastelen, S., Dijkstra, J., Alferink, S. J., Binnendijk, G., Nichols, K., Zandstra, T., & Bannink, A. (2021). Abomasal infusion of corn starch and β -hydroxybutyrate in early-lactation Holstein-Friesian dairy cows to induce hindgut and metabolic acidosis. *Journal of Dairy Science*, 104(12), 12520-12539. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20323>.
- 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)
- Volden, H., & Larsen, M. (2011). Digestion and metabolism in the gastrointestinal tract. In *NorFor-The Nordic feed evaluation system* (pp. 59-80). Wageningen Academic. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-718-9_011
- 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>
- Zinn, R. A., Barreras, A., Corona, L., Owens, F. N., & Ware, R. A. (2007). Starch digestion by feedlot cattle: Predictions from analysis of feed and fecal starch and nitrogen. *Journal of animal science*, 85(7), 1727-1730. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-556>
- Zinn, R. A., Owens, F. N., & Ware, R. A. (2002). Flaking corn: processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 80(5), 1145-1156. <https://doi.org/10.2527/2002.8051145x>