Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Ruminant Research

Print ISSN: 2345 - 4261
Online ISSN: 2345 - 4253

Effects of irradiation on ruminal protein degradation and *in vitro* digestibility of sunflower meal

Habib Aminy Esfid Vajani[1], Amir Fattah[2*], Seyed Roohollah Ebrahimi-Mahmoudabad[3]

[1]PhD student, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[2]Assistant Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: amir1356fattah@yahoo.com
[3]Associate professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 05/09/2021
Revised: 26/09/2021
Accepted: 04/10/2021

Keywords:
Gamma irradiation
Metabolizable protein
Microwave irradiation
Ruminal degradation
Sunflower meal

ABSTRACT

Background and Objectives: The imbalance between the production of rumen degradable protein (RDP) and microbial protein (MP) decreases animal performance and increases environmental pollution. Therefore, to meet the requirements for microbial protein without excessive N, rations must also be balanced for RUP and RDP. Sunflower meal (SFM) is a protein source for ruminants. However, its use in ruminant nutrition is often limited by the high protein degradability in the rumen. Irradiation is a new method that is considered in the processing of protein sources. The aim of this study was to investigate the effect of irradiation on rumen degradation kinetics and *in vitro* digestibility of SFM.

Materials and Methods: SFM samples were irradiated with the use of the gamma-ray (GR) in doses of 20 and 40 KGy and microwave (MV) at 800 W for 3 and 5 minutes. The irradiation of samples was done at the Radiation Application Research Institute affiliated with the Atomic Energy Organization. The chemical composition of unirradiated and irradiated SFM was determined. Degradability parameters of the samples were measured by nylon bag technique using three rumen-fistulated Dashtyari cattle for 0, 2, 4, 8, 16, 24, and 48 hours. The two-step digestion technique was used to determine the digestibility of SFM. Statistical analysis of data was performed using SAS software.

Results: GR irradiation decreased DM of SFM. Irradiation of SFM caused a reduction in EE, NDF, ADF, and Ash and increased CP compared to unirradiated SFM. GR irradiation decreased washout fraction degradation, the rate constant of degradation of b fraction and ERD, and increased potentially degradable fraction of SFM. MV irradiation for 5 minutes increased the washout fraction of CP and decreased the potentially degradable fraction ($P<0.05$). Treatment of SFM by MV for 5 minutes caused a reduction in the potential degradability of CP ($P<0.01$). Processing of SFM with MV for 3 minutes decreased ERD of CP at a rumen outflow rate of $0.02h^{-1}$($P<0.05$). GR irradiation decreased RDP and increased RUP and metabolizable protein (MP) ($P<0.01$). Irradiation of SFM with GR increased ERD of CP at rumen outflow rates of $0.05h^{-1}$ and $0.08h^{-1}$ ($P<0.01$). Irradiation of SFM with MV increased RDP ($P<0.01$) and increased ERD and MP at a rumen outflow rate of $0.02h^{-1}$ ($P<0.01$). MV irradiation for 3 minutes at rumen outflow rates of $0.02h^{-1}$ and $0.05h^{-1}$ increased RUP ($P<0.05$). The coefficient of crude protein conversion into

RDP and RUP in GR- irradiated SFM was decreased and increased respectively ($P<0.01$). MV irradiation for 3 minutes at rumen outflow rate of $0.02h^{-1}$ coefficient of crude protein converts into RDP and RUP decreased and increased respectively ($P<0.05$). The *in vitro* digestibility of SFM was unaffected by irradiation ($P>0.05$).

Conclusion: The experiment results indicated that irradiation of SFM with GR had a better effect on increasing RUP and improving the quality of SFM for use in diets of lactating cows.

Cite this article: Aminy Esfid Vajani, H., Fattah, A., Ebrahimi Mahmoudabad, S.R. (2022). Effects of irradiation on ruminal protein degradation and *in vitro* digestibility of sunflower meal. *Journal of Ruminant Research*, 10 (1), 17-34.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejrr.2021.19452.1806
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

پژوهش در نشخوارکنندگان
شاپا چاپی: ۴۲۶۱-۲۳۴۵
شاپا الکترونیکی: ۴۲۵۳-۲۳۴۵

اثرات پرتودهی بر روند تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام و قابلیت هضم برون‌تنی کنجاله آفتابگردان

حبیب امینی اسفید واجانی[۱]، امیر فتاح[۲*]، سیدروح‌الله ابراهیمی محمودآباد[۳]

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم دامی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس.
۲. استادیار، گروه علوم دامی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، رایانامه: amir1356fattah@yahoo.com
۳. دانشیار، گروه علوم دامی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۱۴
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۷/۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۱۲

واژه‌های کلیدی:
پرتو گاما
پرتو مایکروویو
پروتئین قابل‌متابولیسم
تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای
کنجاله آفتابگردان

چکیده

سابقه و هدف: عدم تعادل بین تجزیه پروتئین خوراک و تولید پروتئین میکروبی در شکمبه، کاهش عملکرد تولیدی حیوان و آلودگی‌های زیست محیطی را در پی دارد. از این‌رو توازن بین مقدار پروتئین قابل تجزیه در شکمبه و پروتئین عبوری از شکمبه در جیره ضروری است. کنجاله آفتابگردان یکی از انواع کنجاله‌ها با مقدار مطلوب پروتئین است، اما تجزیه‌پذیری گسترده پروتئین آن در شکمبه، استفاده از این کنجاله را در تغذیه نشخوارکنندگان با محدودیت همراه می‌کند. پرتودهی به عنوان یکی از روش‌های نوین، برای کاهش تجزیه‌پذیری منابع پروتئینی در شکمبه عنوان شده است. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر پرتودهی کنجاله آفتابگردان بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و قابلیت هضم به روش برون‌تنی انجام شد.

مواد و روش‌ها: پرتودهی کنجاله آفتابگردان با دُزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری پرتو گاما و مایکروویو با قدرت ۸۰۰ وات به مدت ۳ و ۵ دقیقه در پژوهشکده کاربرد پرتوها وابسته به سازمان انرژی اتمی انجام شد. ترکیب شیمیایی کنجاله آفتابگردان پرتودهی شده و پرتودهی نشده اندازه‌گیری شد. آزمایش تجزیه‌پذیری به روش کیسه‌های نایلونی و با استفاده از سه رأس گاو نر بالغ دشتیاری مجهز به فیستولای شکمبه‌ای به مدت صفر، ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۲۴ و ۴۸ ساعت انجام شد. قابلیت هضم برون‌تنی، با روش هضم دومرحله‌ای تعیین شد. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری قابلیت هضم و ترکیبات شیمیایی در قالب طرح کاملاً تصادفی و داده‌های مربوط به تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه آماری شدند.

یافته‌ها: پرتو گاما، ماده خشک کنجاله آفتابگردان را کاهش داد. پرتودهی، سبب افزایش پروتئین خام و کاهش عصاره اتری، الیاف نامحلول در شوینده خنثی، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و خاکستر خام کنجاله آفتابگردان شد. تحت تأثیر پرتو گاما بخش سریع تجزیه، نرخ ثابت تجزیه بخش کند تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر در سرعت عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت کاهش و بخش کند تجزیه پروتئین خام کنجاله آفتابگردان افزایش یافت ($P<0/01$). پرتو مایکروویو به مدت ۵ دقیقه، سبب افزایش بخش سریع تجزیه و کاهش بخش کند تجزیه پروتئین خام شد ($P<0/05$). پتانسیل تجزیه‌پذیری پروتئین خام تحت تأثیر پرتودهی با مایکروویو کاهش یافت ($P<0/01$). پرتودهی با مایکروویو به مدت ۳ دقیقه سبب کاهش تجزیه‌پذیری مؤثر در سرعت عبور ۲ درصد در ساعت شد ($P<0/05$). پرتو گاما پروتئین قابل

تجزیه در شکمبه را کاهش و پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه و پروتئین قابل متابولیسم را در سرعت عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت افزایش داد (P<۰/۰۱). تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام تحت تأثیر پرتو گاما در سرعت عبور ۵ و ۸ درصد در ساعت افزایش یافت (P<۰/۰۱). پرتو مایکروویو، پروتئین قابل تجزیه در شکمبه را در سرعت عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت افزایش داد (P<۰/۰۱). پرتودهی با مایکروویو سبب افزایش تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام و پروتئین قابل متابولیسم در سرعت عبور ۲ درصد در ساعت شد (P<۰/۰۱). پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه در سرعت عبور ۲ و ۵ درصد در ساعت تحت تأثیر پرتو مایکروویو به مدت ۳ دقیقه افزایش یافت (P<۰/۰۵). ضریب تبدیل پروتئین خام به پروتئین قابل تجزیه در شکمبه و پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه در سرعت عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت تحت تأثیر پرتو گاما به ترتیب کاهش و افزایش یافت (P<۰/۰۱). پرتودهی کنجاله آفتابگردان با پرتو مایکروویو به‌مدت ۳ دقیقه، ضریب تبدیل پروتئین خام به پروتئین قابل تجزیه در شکمبه و پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه در سرعت عبور ۲ درصد در ساعت را به‌ترتیب کاهش و افزایش داد (P<۰/۰۵). پرتودهی تأثیری بر قابلیت هضم برون‌تنی کنجاله آفتابگردان نداشت (P>۰/۰۵).

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این آزمایش، پرتو گاما بر افزایش پروتئین عبوری از شکمبه و بهبود کیفیت کنجاله آفتابگردان مؤثر بود.

استناد: امینی اسفید واجانی، ح.، فتاح، ا.، ابراهیمی محمودآباد، س.ر. (۱٤۰۱). اثرات پرتودهی بر روند تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام و قابلیت هضم برون‌تنی کنجاله آفتابگردان. *پژوهش در نشخوارکنندگان*، ۱۰ (۱)، ۳٤-۱۷.

DOI: 10.22069/ejrr.2021.19452.1806

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

در نشخوارکنندگان، استفاده نا مؤثر از نیتروژن طی متابولیسم شکمبه‌ای، سبب کاهش بازده پروتئین مصرفی نسبت به غیر نشخوارکنندگان می‌شود، به‌طوری که عدم تعادل بین تجزیه پروتئین خوراک و تولید پروتئین میکروبی افزایش تولید آمونیاک در شکمبه را در پی دارد. افزایش آمونیاک شکمبه‌ای و در نتیجه افزایش اوره پلاسمایی، موجب کاهش عملکرد تولیدی حیوان و آلودگی‌های زیست محیطی می‌شود (۱). ازاین‌رو در یک جیره متعادل علاوه بر اینکه باید مقدار کافی پروتئین قابل تجزیه در شکمبه برای استفاده میکروبی فراهم باشد؛ وجود مقادیر کافی پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه با یک الگوی مناسب اسیدآمینه‌ای برای تکمیل پروتئین میکروبی و به حداکثر رساندن تولیدات دامی و همچنین کاهش اتلاف نیتروژن ضروری است (۱). تحقیقات نشان داده‌اند عمل‌آوری منابع پروتئینی ازجمله کنجاله‌ها روش مؤثری برای تغییر میزان تجزیه‌پذیری پروتئین در شکمبه و تغییر مکان هضم از شکمبه به روده کوچک است. بدین منظور روش‌های مختلف عمل‌آوری فیزیکی و شیمیایی استفاده شده است. بررسی‌های انجام شده در دهه‌های اخیر، استفاده از مواد شیمیایی را به علت خطرات زیست محیطی و تأثیرات نامطلوب بر عملکرد دام را مورد تردید قرار داده است (۲)؛ از این‌رو بر روش‌های فیزیکی عمل‌آوری منابع پروتئینی بیشتر تأکید شده است. پرتوتابی یکی ازروش‌های نوین عمل‌آوری فیزیکی است، که برای افزایش کیفیت پروتئین دانه‌ها و کنجاله‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (۳). پرتوتابی فرآیندی است که در آن مواد خوراکی در معرض پرتوهای پر انرژی، یون‌ساز و غیرحرارتی مانند گاما (٤) و یا پرتوهای ریزموج و حرارتی مانند مایکروویو (۵) قرار می‌گیرند. پرتودهی از طریق تخریب، ایجاد پیوندهای عرضی، متراکم کردن و اکسیداسیون توسط رادیکال‌های اکسیژن بر منابع پروتئینی مؤثر هستند (٦). سرعت و شدت این تغییرات به ویژگی‌های پروتئین و شرایط پرتودهی بستگی دارد. پرتوهای مایکروویو با افزایش حرکت و برخورد مولکول‌های آب داخل مواد خوراکی سبب تولید گرما می‌شوند (۷)، در حالی‌که پرتوهای گاما با تشکیل یون طی برخورد پرتوها با اتم‌ها و جدا شدن الکترون‌ها از اتم‌ها بر منابع پروتئینی مؤثر هستند. دانه آفتابگردان یکی از باارزش‌ترین دانه‌های روغنی است که روغن حاصل از آن از نظر مقدار مصرف رتبه سوم جهانی را دارد، همچنین مقدار روغن تولیدی آن نسبت به دانه سویا و دانه تخم‌پنبه بیشتر است. کنجاله حاصل از روغن‌گیری دانه آفتابگردان با داشتن مقدار مطلوب پروتئین (۲۳ تا ۵۹ درصد) مقبولیت بالایی برای استفاده در خوراک دام دارد (۵). مطالعات نشان داده‌اند میزان تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین کنجاله آفتابگردان نسبت به کنجاله سویا بیشتر است (٣٤ درصد در برابر۱۷ درصد نیتروژن)؛ از این‌رو افزایش عبور این منبع پروتئینی به بعد از شکمبه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۸). در مطالعات زیادی تأثیر پرتودهی بر انواع دانه‌ها و کنجاله‌ها به منظور بررسی میزان کیفیت پروتئین آنها انجام شده است. در یک بررسی، تأثیر دُزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری پرتوی گاما بر کنجاله آفتابگردان نشان داد، دُز ۷۵ کیلوگری، سبب بهبود فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری پروتئین خام شد (۹). در مطالعه‌ی دیگری پرتوتابی کنجاله سویا با الکترون با دُز ٤۵ کیلوگری و مادون قرمز به مدت ۳۰ ثانیه سبب کاهش بخش سریع تجزیه و کند تجزیه، ثابت نرخ تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام شد (۱۰). در بررسی مقایسه تأثیر پرتوهای گاما با دُز ۵۰ کیلوگرمی و مایکروویو به مدت ٤ دقیقه بر کنجاله آفتابگردان، بخش سریع تجزیه و کند تجزیه پروتئین

خام تحت تأثیر پرتوهای مایکروویو به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار را نسبت به پرتودهی با گاما داشت؛ در حالی‌که سرعت تجزیه بخش کند تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر تحت تأثیر پرتودهی گاما نسبت به مایکروویو کاهش بیشتری یافت (۱۱). در تحقیقی دیگر پرتودهی کنجاله منداب با امواج مایکروویو به مدت ۳ دقیقه سبب کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین خام در شکمبه و افزایش قابلیت هضم پروتئین در روده شد (۱۲) و یا در تحقیقات جوزف و دیکشیت (۱۹۹۳)، دُز ۰/۰۴۲ کیلوگری گاما بر بهبود قابلیت هضم پروتئین خام کنجاله آفتابگردان مؤثر بود (۱۳). مطالعات زیادی در ارتباط با تأثیر پرتوهای گوناگون و با شدت‌های متفاوت بر بهبود عبور پروتئین انواع کنجاله از شکمبه انجام شده است، اما تحقیقات در ارتباط با تأثیر پرتودهی بر کنجاله آفتابگردان کمتر مورد توجه قرار گرفته است؛ از این‌رو تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر دُزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری پرتو گاما و پرتو مایکروویو به‌مدت ۳ و ۵ دقیقه بر ترکیبات شیمیایی، تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام و قابلیت هضم آزمایشگاهی کنجاله آفتابگردان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۹ در مؤسسه تحقیقات علوم دامی کشور انجام شد. برای تهیه کنجاله آفتابگردان، دانه‌های آفتابگردان از مؤسسه تحقیقات اصلاح نهال و بذر تهیه و روغن آن‌ها به روش مکانیکی با دستگاه روغن‌کشی خارج گردید. قبل از پرتودهی کنجاله‌ها، رطوبت آن‌ها با استفاده از آب دیونیزه به ۲۵ درصد رسانده شد. نمونه‌ای از کنجاله‌ها در پژوهشکده کاربرد پرتوها وابسته به سازمان انرژی اتمی در معرض پرتوی گاما با دُزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری قرار گرفت. همچنین پرتودهی با مایکروویو با استفاده از آون مایکروویو با قدرت ۸۰۰ وات به‌مدت ۳ و ۵ دقیقه انجام شد. ترکیب شیمیایی کنجاله‌های آفتابگردان پرتودهی شده و پرتودهی نشده اندازه‌گیری شد. مقدار ماده خشک، پروتئین خام، عصاره اتری و خاکستر نمونه‌ها با استفاده از روش‌های استاندارد (۱۴) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی مطابق با روش ون‌سوست و همکاران (۱۵) تعیین شد. آزمایش تجزیه‌پذیری با استفاده از تکنیک کیسه‌های نایلونی انجام شد. بدین منظور از سه رأس گاو نر بالغ دشتیاری با وزن زنده ۵±۲۹۷ کیلوگرم مجهز به فیستولای شکمبه‌ای استفاده شد. دام‌ها مطابق استاندارد تکنیک کیسه‌های نایلونی، در سطح نگهداری و با جیره کاملاً مخلوط روزانه دو نوبت در ساعات ۸:۰۰ و ۱۶:۰۰ تغذیه شدند (۱۶). برای تعیین میزان تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای، نمونه‌های کنجاله آفتابگردان پرتودهی نشده و پرتودهی شده توسط آسیاب چکشی آزمایشگاهی دارای غربال ۲ میلی‌متری آسیاب شدند. سپس ۶ گرم از هر نمونه (۵ تیمار آزمایشی) داخل کیسه‌های نایلونی از جنس داکرون با ابعاد ۱۰×۲۰ سانتی‌متر و قطر منافذ ۴۵ تا۵۰ میکرون ریخته شد و به مدت صفر، ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۲۴ و ۴۸ ساعت داخل شکمبه انکوباسیون شدند. کیسه‌ها پس از زمان‌های مذکور از شکمبه خارج شدند و به‌مدت ۳۰ دقیقه در ماشین لباسشویی با آب سرد شسته شدند (۱۷). محتویات کیسه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شد. میزان تجزیه‌پذیری پروتئین خام نمونه‌ها با توجه به مقدار ماده خشک باقی‌مانده و تعیین میزان پروتئین خام قبل و بعد از انکوباسیون نمونه‌ها توسط دستگاه کجلدال (مدل ۲۳۰۰) اندازه‌گیری شد. فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام تیمارهای آزمایشی، با استفاده از معادله پیشنهادی ارسکوف و

مکدونالد (۱۹۷۹) و نرم‌افزار *Fit curve* محاسبه شد (۱۸). پروتئین قابل متابولیسم (MP) نمونه‌ها با استفاده از ضرایب تجزیه‌پذیری پروتئین خام (a، b و c) محاسبه شده با نرم‌افزار *Fit curve* و مقدار ADIN، بر اساس معادلات AFRC (۱) محاسبه شد.

$P=a+b(1-e^{-ct})$ (رابطه ۱)

$ED= a+[(b\times c)/(c+k)]$ (رابطه ۲)

که در این رابطه‌ها، P: مقدار ناپدیدشدن در زمان t ED= تجزیه‌پذیری مؤثر، a: بخش با تجزیه سریع، b: بخش با تجزیه کند، c: ثابت نرخ تجزیه، k: ثابت نرخ خروج از شکمبه، t: مدت زمان انکوباسیون در شکمبه (ساعت) و e: عدد نپر (۲/۷۱۸۲) بود. تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام تیمارهای آزمایشی با استفاده از رابطه ۲ و با فرض سرعت‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت محاسبه شد.

به منظور تعیین قابلیت هضم برون‌تنی کنجاله آفتابگردان، نیم گرم از هر نمونه در ارلن‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد. مایع شکمبه قبل از خوراک‌دهی صبح از طریق فیستولا جمع‌آوری شد. محلول‌های مورد نیاز برای تهیه بزاق مصنوعی براساس روش پیشنهادی منک و استینگایس (۱۹۸۸) آماده شد (۱۹). مایع شکمبه و بزاق مصنوعی به نسبت یک به چهار مخلوط شدند. مقدار ۵۰ میلی‌لیتر از مخلوط مایع شکمبه و بزاق مصنوعی به ارلن‌های حاوی نمونه اضافه شد و به‌مدت ٤٨ ساعت در حمام آب گرم ۳۹ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. بعد از پایان دوره انکوباسیون ٦ میلی‌لیتر اسید کلریک ۲۰ درصد و ۲ میلی‌لیتر محلول پپسین ۲۰ درصد به ارلن‌ها اضافه شد. ارلن‌ها به‌مدت ٤٨ ساعت دیگر در حمام آب گرم ۳۹ سانتی‌گراد نگهداری شدند. سپس محتویات ارلن‌ها با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ٤١، قیف بوخنر و پمپ خلاء صاف شده و کاغذهای صافی حاوی مواد هضم نشده به‌مدت ٢٤ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند (۲۰). نمونه‌های خشک شده پس از توزین به‌منظور تعیین خاکستر خام نمونه‌های هضم نشده، به مدت چهار ساعت در کوره الکتریکی با دمای ٥٦٠ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری قابلیت هضم برون‌تنی و ترکیبات شیمیایی در قالب طرح کاملاً تصادفی (مدل ۱) و داده‌های مربوط به تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی (مدل ۲) با استفاده از نرم‌افزار SAS و رویه GLM تجزیه آماری شدند. میانگین‌ها با آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار در سطح خطای پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

$Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}$ (مدل ۱)

$Y_{ijk} = \mu + t_i + k_j + e_{ijk}$ (مدل ۲)

که در مدل ۱ و ۲، Y_{ijk} و Y_{ij}= هر مشاهده، μ=میانگین کل، t_i = اثر تیمار، k_j= اثر حیوان و e_{ijk} و e_{ij}= اثر خطای آزمایشی می‌باشند.

نتایج و بحث

پرتودهی تأثیر معنی‌داری بر ترکیبات شیمیایی (P<۰/۰۱) کنجاله آفتابگردان داشت (جدول ۱). تحت تأثیر پرتودهی با اشعه گاما، غلظت ماده خشک کاهش یافت (P<۰/۰۱). پرتودهی با اشعه گاما و مایکروویو سبب افزایش پروتئین خام و کاهش عصاره اتری، الیاف نامحلول در شوینده خنثی، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و خاکستر خام کنجاله آفتابگردان نسبت به گروه شاهد شد (P<۰/۰۱). در تحقیقات انجام شده تأثیر انواع پرتوهای یونیزه کننده و حرارتی بر ترکیبات شیمیایی انواع دانه و کنجاله متفاوت بود، به‌طوری که عدم تأثیر پرتودهی با اشعه گاما بر ترکیب شیمیایی دانه سویا (۲۱) و کنجاله سویا (۱۰) و تأثیر پرتودهی با اشعه مایکروویو بر تغییر ترکیبات شیمیایی دانه جو (۲۲) و دانه سویا (۲۳) گزارش‌شده است. در

آزمایش اخیر تحت تأثیر اشعه گاما، غلظت ماده خشک در راستای کاهش عصاره اتری، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کنجاله آفتابگردان کاهش یافت. پیر عدل و همکاران (۲۰۱۷) تأثیر پرتودهی با مایکروویو را بر کاهش ماده خشک دانه جو گزارش کردند (۲۲). در تحقیقی دیگر پرتودهی دانه سویا با مایکروویو سبب افزایش ماده خشک شد، آن‌ها این اثر را به تأثیر امواج مایکروویو بر کاهش ظرفیت نگهداری رطوبت در سویا نسبت دادند (۲۳). از این‌رو تفاوت در نتایج ذکر شده با نتایج آزمایش حاضر می‌تواند ناشی از متفاوت بودن نوع ماده خوراکی، مدت زمان پرتودهی، درجه حرارت و میزان رطوبت‌دهی ماده خوراکی قبل از پرتودهی باشد. در تحقیقات محمدزاده و یقبانی (۲۰۰۵) تأثیر کاهش ماده خشک بر کاهش چربی دانه کلزا نشان داده شده است. آنها بیان کردند که با افزایش رطوبت، حرارت تأثیر بیشتری بر کاهش چربی دانه‌های روغنی دارد (۲). از این‌رو کاهش ماده خشک می‌تواند عامل مؤثری بر کاهش عصاره اتری کنجاله آفتابگردان باشد.

جدول ۱- تأثیر پرتوهای گاما و مایکروویو بر ترکیبات شیمیایی کنجاله آفتابگردان[1] (گرم در کیلوگرم)

Table 1- Effects of gamma and microwave irradiation on the chemical composition of sunflower meal[1] (g/kg)

خاکسترخام Ash	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF	الیاف نامحلول در شوینده خنثی NDF	عصاره‌اتری EE	پروتئین‌خام CP	ماده‌خشک DM	تیمارها[2] Treatments[2]
57.65[a]	360.05[a]	486.15[a]	28.10[a]	241.00[c]	950.40[a]	شاهد Control
55.05[b]	320.20[c]	470.00[b]	22.10[c]	255.80[b]	861.80[b]	پرتوی گاما (۲۰ کیلوگری) GR-irradiated (20kGy)
55.00[b]	288.05[d]	401.90[e]	19.00[e]	257.65[ab]	808.85[c]	پرتوی گاما (۴۰ کیلوگری) GR-irradiated (40kGy)
55.10[b]	320.25[c]	460.00[d]	19.90[d]	264.40[a]	952.90[a]	پرتوی مایکروویو (۳ دقیقه) MV-irradiated (3m)
53.65[c]	328.10[b]	464.10[c]	25.25[b]	256.25[b]	950.65[a]	پرتوی مایکروویو (۵ دقیقه) MV-irradiated (5m)
0.434	7.652	9.559	1.130	2.648	19.767	خطای استاندارد میانگین‌ها SEM
<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.004	<0.0001	سطح معنی‌داری P-value

[1] میانگین‌های هر ستون با حروف غیرمشترک دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P<۰/۰۱).

[1]Means in the same column with different letters differ (P<0.01).

گزارش شده است پرتودهی بر کاهش الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی مؤثر است (۲۲). آل مصری و گوئنتر (۱۹۹۹) تأثیر پرتودهی بر کاهش دیواره سلولی را به لیگنین‌زدایی، تخریب ساختار کریستالی سلولز و شکستن پیوندهای لیگنوسلولزی ضایعات کشاورزی نسبت دادند (۲٤)، این اثر می‌تواند کاهش الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کنجاله آفتابگردان تحت تأثیر پرتودهی در این آزمایش را توجیه کند. همچنین با توجه به تأثیر پرتودهی بر کاهش الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کنجاله آفتابگردان، آزاد شدن ترکیبات نیتروژنی ناشی از تخریب دیواره سلولی محتمل است که می‌تواند

افزایش پروتئین خام کنجاله آفتابگردان را در پی داشته باشد (۲۵).

روند تجزیه‌پذیری پروتئین خام کنجاله آفتابگردان تحت تأثیر پرتوهای گاما و مایکروویو در جدول ۲ نشان داده شده است. پروتئین خام کنجاله آفتابگردان پرتودهی نشده، منحنی تجزیه‌پذیری با بخش سریع تجزیه ۵۹۲/۵۳ گرم در کیلوگرم، بخش کند تجزیه ۳۶۹/۱۳ گرم در کیلوگرم و نرخ ثابت تجزیه بخش کند تجزیه ۰/۲٤٦ درصد در ساعت داشت. در آزمایش اخیر، پروتئین خام کنجاله آفتابگردان پرتودهی نشده، بخش با تجزیه سریع (۵۹۲/۵۳ گرم در کیلوگرم ماده خشک در برابر ۳۱۱/٦) و نرخ ثابت تجزیه بخش کند تجزیه (۰/۲٤٦ در ساعت در برابر ۰/۲۰۷) بیشتر و بخش کند تجزیه پروتئین خام (۳٦۹/۱۳ گرم در کیلوگرم ماده خشک در برابر ۵۸٦/۷) کمتر از مقدار گزارش‌شده در مطالعه قنبری و همکاران (۲۰۱۵) داشت (۹) که می‌تواند به تفاوت در واریته، میزان حذف پوسته از دانه و نوع روغن‌گیری دانه آفتابگردان مربوط باشد. پتانسیل تجزیه‌پذیری کنجاله آفتابگردان پرتودهی نشده ۹٦۱/٦۰ گرم در کیلوگرم ماده خشک بود؛ که در دامنه گزارش‌شده (۹۸۷/۰۰ گرم در کیلوگرم ماده خشک) توسط ندلکو (۲۰۱۹) بود (۲٦). پرتودهی کنجاله آفتابگردان با دُزهای ۲۰ و ٤۰ کیلوگری گاما، سبب کاهش بخش سریع تجزیه پروتئین خام (۲۸/۵٦ و ٦۳/۷۰ درصد) و نرخ ثابت تجزیه بخش کند تجزیه (٦۲/۲۳ و ۷۰/۷٦ درصد) و افزایش بخش کند تجزیه پروتئین خام (٤۲/۳۳ و ۱۰٤/۷٦ درصد) شد (P<۰/۰۱). افزایش دُز اشعه گاما از ۲۰ به ٤۰ کیلوگری بر بهبود فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری پروتئین خام مؤثر بود. پرتودهی کنجاله آفتابگردان با اشعه مایکروویو به‌مدت ۵ دقیقه سبب افزایش بخش سریع تجزیه (۹/۲۸ درصد) و کاهش بخش کند تجزیه پروتئین خام (۱۹/۸۵ درصد) شد (P<۰/۰۵). مقدار پتانسیل تجزیه‌پذیری تحت تأثیر اشعه مایکروویو کاهش یافت (P<۰/۰۱). پرتودهی کنجاله آفتابگردان با اشعه گاما در سرعت عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت (P<۰/۰۱) و اشعه مایکروویو در سرعت عبور ۲ درصد در ساعت (P<۰/۰۵)، سبب کاهش تجزیه‌پذیری مؤثر شد. کاهش تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام از طریق افزایش مقدار پروتئین عبوری بر بهبود عملکرد گاوهای شیری پرتولید و گوساله‌های در حال رشد مؤثر است (۲۷). در تحقیقات مختلف تأثیر افزایش دُز اشعه گاما از ۲۵ به۵۰ و ۷۵ کیلوگری، بر بهبود فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری پروتئین خام کنجاله آفتابگردان (۹)، کنجاله سویا (۱۹) و کنجاله پنبه دانه (۲۸) گزارش‌شده است. در مطالعات انجام‌شده پرتودهی با اشعه‌ی گاما با دُزهای ۱۵، ۳۰ و ٤۵ کیلوگرمی (۲۹) و اشعه مایکروویو به‌مدت ۲، ٤ و ٦ دقیقه (۳۰) سبب کاهش بخش سریع تجزیه، نرخ ثابت تجزیه بخش کند تجزیه و افزایش بخش کند تجزیه پروتئین خام کنجاله منداب بومی شد. همچنین افزایش مدت زمان پرتودهی با مایکروویو از ۱ به ۲ و ۳ دقیقه در کنجاله منداب (۱۲) و از ۲ به ٤ و ٦ دقیقه در کنجاله کانولا (۳۱) سبب بهبود فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری پروتئین خام شد. بیان شده است پرتوهای گاما ازطرفی با تشکیل رادیکال‌های اکسیژن، هیدروکسی و آنیونی سوپر اکسید و از طرف دیگر با تخریب پیوندهای کووالانسی بین زنجیره‌های پلی‌پتیدی سبب قرار گرفتن پروتئین در معرض رادیکال‌ها و تخریب ساختار دوم و سوم پروتئین می‌شود (۱۰)، که کاهش حلالیت پروتئین و تجزیه‌پذیری پروتئین خام را در پی دارد.

جدول ۲- تأثیر پرتوهای گاما و مایکروویو بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام[۳] کنجاله آفتابگردان[۱] (گرم در کیلوگرم)

Table 2- Effects of gamma and microwave irradiation on the ruminal degradation parameters[3] of unflower meal crude protein[1]

تیمارها[۲] Treatments[2]	فراسنجه‌ها[۳] Parameters[3]						تجزیه‌پذیری مؤثر[۴] ERD[4]		
	a (g/kg)	b (g/kg)	a+b (g/kg)	c (h^{-1})	0.02 (h^{-1})	0.05 (h^{-1})	0.08 (h^{-1})
شاهد Control	592.53^{b}	369.13^{c}	961.60^{ab}	0.246^{a}	933.34^{a}	898.31^{a}	869.93^{a}
پرتوی گاما (۲۰ کیلوگری) GR-irradiated (20kGy)	423.30^{c}	525.40^{b}	948.70^{bc}	0.093^{b}	854.28^{c}	763.05^{b}	703.81^{b}
پرتوی گاما (۴۰ کیلوگری) GR-irradiated (40kGy)	215.07^{d}	755.87^{a}	970.93^{a}	0.072^{b}	805.05^{d}	659.51^{c}	571.77^{c}
پرتوی مایکروویو (۳ دقیقه) MV-irradiated (3m)	620.87^{ab}	323.17^{cd}	944.03^{c}	0.210^{a}	915.56^{b}	881.23^{a}	854.10^{a}
پرتوی مایکروویو (۵ دقیقه) MV-irradiated (5m)	647.53^{a}	295.85^{d}	943.38^{c}	0.247^{a}	921.06^{ab}	893.29^{a}	870.65^{a}
خطای استاندارد میانگین‌ها SEM	43.664	45.951	3.395	0.0214	13.165	25.354	32.038
مقایسات متعامد Orthogonal contrasts							
شاهد در مقابل پرتودهی Control vs. irradiated	<0.0001	0.0002	0.0753	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
شاهد در مقابل پرتوی گاما Control vs. GR	<0.0001	<0.0001	0.7365	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
شاهد در مقابل اشعه مایکروویو Control vs. MV	0.0280	0.0121	0.0096	0.2670	0.0131	0.1582	0.3760
پرتوی گاما در مقابل اشعه مایکروویو GR vs. MV	<0.0001	<0.0001	0.0059	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

[۱] میانگین‌های هر ستون با حروف غیرمشترک دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P<۰/۰۱).

[1]Means in the same column with different letters differ (P<0.01).
[2]GR: gamma ray, MV: Microwave
[3]a: washout fraction, b: potentially degradable fraction, a+b: potential degradability, c: degradation rate of b fraction, ERD: effective ruminal degradability.
[4] ERD: effective ruminal degradability

همچنین تشکیل پیوندهای کووالانسی بین پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه آزاد و بین پپتیدها و پروتئین‌ها در طی پرتودهی، عامل مؤثر دیگری بر کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین بیان شده است (۷). این عوامل می‌تواند بر کاهش ناپدید شدن پروتئین خام کنجاله آفتابگردان تحت تأثیر پرتوی گاما در این آزمایش مؤثر باشد. تأثیر اشعه مایکروویو بر افزایش بخش سریع تجزیه و کاهش بخش کند تجزیه پروتئین خام کنجاله آفتابگردان در این آزمایش می‌تواند به کاهش دیواره سلولی (جدول ۱) و آزاد شدن پروتئین‌های متصل به آن مربوط باشد. در تحقیقات انجام شده به تأثیر اشعه حرارتی مایکروویو به مدت ٦ دقیقه بر کاهش استحکام دیواره سلولی و افزایش تولید گاز آزمایشگاهی (۵) و تأثیر اشعه یونیزه کننده مانند الکترون بر آزاد شدن پروتئین‌های متصل به دیواره سلولی اشاره شده است (۲۵). پرتودهی کنجاله آفتابگردان با اشعه گاما و مایکروویو تأثیر معنی‌داری (P<۰/۰۱) بر پروتئین قابل‌تجزیه در شکمبه، پروتئین

قابل‌تجزیه مؤثر، پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه و پروتئین قابل متابولیسم داشت (جدول ۳ و ٤). اشعه گاما در سرعت عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت، پروتئین قابل‌تجزیه در شکمبه را کاهش و پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه و پروتئین قابل متابولیسم کنجاله آفتابگردان را نسبت به کنجاله آفتابگردان پرتودهی نشده افزایش داد (P<۰/۰۱). تجزیه‌پذیری مؤثر در سرعت عبور ۵ و ۸ درصد در ساعت، در کنجاله آفتابگردان پرتودهی شده با اشعه گاما نسبت به شاهد افزایش یافت (P<۰/۰۱).

جدول ۳- تأثیر پرتوهای گاما و مایکروویو بر پروتئین قابل‌تجزیه شکمبه‌ای و تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام کنجاله آفتابگردان[1] (گرم در کیلوگرم)

Table 3- Effects of gamma and microwave irradiation on the ruminal degradable protein and effective degradability of sunflower meal crude protein[1] (g/kg)

تجزیه‌پذیری مؤثر شکمبه‌ای ERD[3]			پروتئین قابل‌تجزیه در شکمبه RDP			تیمارها[2] Treatments[2]
0.08 h^{-1}	0.05 h^{-1}	0.02 h^{-1}	0.08 h^{-1}	0.05 h^{-1}	0.02 h^{-1}	
125.80^{bc}	139.40^{c}	196.37^{c}	209.65^{b}	216.49^{b}	224.93^{c}	شاهد Control
141.28^{b}	175.10^{b}	196.87^{c}	180.03^{c}	195.18^{c}	218.52^{d}	پرتوی گاما (۲۰ کیلوگری) GR-irradiated (20kGy)
183.48^{a}	236.07^{a}	196.30^{c}	147.28^{d}	169.89^{d}	207.38^{e}	پرتوی گاما (٤۰ کیلوگری) GR-irradiated (40kGy)
116.74^{cd}	131.17^{cd}	209.24^{a}	225.82^{a}	232.99^{a}	242.07^{a}	پرتوی مایکروویو (۳ دقیقه) MV-irradiated (3m)
107.53^{d}	119.02^{d}	202.79^{b}	223.06^{a}	220.86^{a}	235.97^{b}	پرتوی مایکروویو (۵ دقیقه) MV-irradiated (5m)
7.386	11.477	1.440	8.017	6.319	3.330	خطای استاندارد میانگین‌ها SEM
مقایسات متعامد Orthogonal contrasts						
0.0904	0.0038	0.0063	<0.0001	0.0004	0.3695	شاهد در مقابل پرتودهی Control vs. irradiated
0.0005	<0.0001	0.8893	<0.0001	<0.0001	<0.0001	شاهد در مقابل پرتوی گاما Control vs. GR
0.0691	0.0774	0.0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	شاهد در مقابل اشعه مایکروویو Control vs. MV
<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	پرتوی گاما در مقابل اشعه مایکروویو GR vs. MV

[1] میانگین‌های هر ستون با حروف غیرمشترک دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P<۰/۰۱).

[1]Means in the same column with different letters differ (P<0.01).
[2]GR: gamma ray, MV: microwave.
[3]ERD: effective ruminal degradability

افزایش دُز اشعه گاما به ٤۰ کیلوگری بر کاهش پروتئین قابل‌تجزیه و افزایش پروتئین عبوری مؤثرتر بود. تحت تأثیر اشعه مایکروویو، پروتئین قابل‌تجزیه در شکمبه کنجاله آفتابگردان در سرعت عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت افزایش یافت (P<۰/۰۱). اشعه مایکروویو در سرعت عبور ۲ درصد در ساعت تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام، پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه و پروتئین قابل متابولیسم کنجاله

آفتابگردان را نسبت به شاهد افـزایش داد (P<۰/۰۱). به‌طور مشابه در مطالعـات انجـام شـده، تحـت تـأثیر پرتودهی با اشعه گاما، همگام با کاهش بخـش سـریع تجزیه و افزایش بخش کند تجزیه پروتئین خام، مقدار پروتئین غیرقابل تجزیـه کنجالـه منـداب (۸)، کنجالـه کانولا (٤)، کنجاله سویا (۳۲) و کنجاله آفتابگردان (۹) افزایش یافت.

جدول ٤- تأثیر پرتوهای گاما و مایکروویو بر پروتئین غیر قابل تجزیه شکمبه‌ای و پروتئین قابل متابولیسم کنجاله آفتابگردان[1] (گرم در کیلوگرم)

Table 4- Effects of gamma and microwave irradiation on the rumen undegradable protein and metabolizable protein of sunflower meal[1] (g/kg)

تیمارها[2] Treatments[2]	پروتئین عبوری از شکمبه RUP			پروتئین قابل متابولیسم MP		
	0.02 h^{-1}	0.05 h^{-1}	0.08 h^{-1}	0.02 h^{-1}	0.05 h^{-1}	0.08 h^{-1}
شاهد Control	16.06^{d}	24.50^{d}	31.34^{d}	136.79^{e}	108.07^{c}	105.56^{c}
پرتوی گاما (۲۰ کیلوگری) GR-irradiated (20kGy)	37.27^{b}	60.61^{b}	75.76^{b}	156.47^{b}	163.60^{b}	155.68^{b}
پرتوی گاما (٤۰ کیلوگری) GR-irradiated (40kGy)	50.21^{a}	87.70^{a}	110.31^{a}	167.66^{a}	226.76^{a}	213.57^{a}
پرتوی مایکروویو(۳ دقیقه) MV-irradiated (3m)	22.32^{c}	31.40^{c}	38.57^{c}	150.57^{c}	108.97^{c}	106.22^{c}
پرتوی مایکروویو (۵ دقیقه) MV-irradiated (5m)	20.22^{c}	27.33^{cd}	33.13^{cd}	144.40^{d}	97.40^{c}	95.29^{c}
خطای استاندارد میانگین‌ها SEM	3.427	6.573	8.304	2.818	13.098	11.945
مقایسات متعامد Orthogonal contrasts						
شاهد در مقابل پرتودهی Control vs. irradiated	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
شاهد در مقابل پرتوی گاما Control vs. GR	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
شاهد در مقابل اشعه مایکروویو Control vs. MV	0.0027	0.0286	0.0610	<0.0001	0.3267	0.3158
پرتوی گاما در مقابل اشعه مایکروویو GR vs. MV	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

[1] میانگین‌های هر ستون با حروف غیر مشترک دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P<۰/۰۱).

[1]Means in the same column with different letters differ (P<0.01).
[2]GR: gamma ray, MV: microwave

مقدار پروتئین قابل‌تجزیه مؤثر و پروتئین عبـوری بر مقدار پروتئین قابل متابولیسم مؤثر اسـت (١٦). در آزمایش اخیر تحت تـأثیر اشـعه گامـا کـاهش بخـش سریع تجزیه و افزایش بخش کند تجزیه پروتئین خام کنجالـه آفتـابگردان (جـدول ۲) در راسـتای کـاهش پروتئین قابل‌تجزیه در شکمبه (جـدول ۳) و افـزایش پروتئین عبوری از شکمبه و پروتئین قابـل متابولیسـم (جـدول ٤) بـود. تحقیقـات تـأثیر انـواع روش‌هـای عمل‌آوری حرارتی را بر کاهش پروتئین قابـل تجزیـه در شکمبه دانه جو (۳۳)، کنسـانتره (۳٤)، دانـه سـویا (۳) و پنبـه‌دانـه (۳۵) نشـان داده اسـت. ابراهیمـی محمودآباد و همکاران (۲۰۱۹) نیز تأثیر افزایش زمـان حرارت‌دهـی بـا مـایکروویو را بـر افـزایش پـروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه و پروتئین قابـل متابولیسـم کنجاله منداب بومی را گزارش کردند (۳۰).

جدول ۵- تأثیر پرتوهای گاما و مایکروویو بر ضریب تبدیل پروتئین خام به پروتئین قابل‌تجزیه در شکمبه و پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه کنجاله آفتابگردان[1] (درصد)

Table 5- Effects of gamma and microwave irradiation on the crude protein to RDP and RUP conversion coefficients of sunflower meal[1] (%)

تیمارها[2] Treatments[2]	ضریب تبدیل پروتئین خام به پروتئین قابل‌تجزیه در شکمبه RDP/CP			ضریب تبدیل پروتئین خام به پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه RUP/CP		
	0.02 h^{-1}	0.05 h^{-1}	0.08 h^{-1}	0.02 h^{-1}	0.05 h^{-1}	0.08 h^{-1}
شاهد Control	93.33[a]	89.83[a]	86.99[a]	6.66[d]	10.16[c]	13.00[c]
پرتوی گاما (۲۰ کیلوگری) GR-irradiated (20kGy)	85.42[c]	76.30[b]	70.38[b]	14.57[b]	23.69[b]	29.61[b]
پرتوی گاما (٤٠ کیلوگری) GR-irradiated (40kGy)	80.50[d]	65.95[c]	57.17[c]	19.49[a]	34.04[a]	42.82[a]
پرتوی مایکروویو (۳ دقیقه) MV-irradiated (3m)	91.55[b]	88.12[a]	85.41[a]	8.44[c]	11.87[c]	14.58[c]
پرتوی مایکروویو (۵ دقیقه) MV-irradiated (5m)	92.10[ab]	89.32[a]	86.06[a]	7.89[cd]	10.67[c]	13.93[c]
خطای استاندارد میانگین‌ها SEM	1.316	2.535	3.203	1.316	2.535	3.203
مقایسات متعامد Orthogonal contrasts						
شاهد در مقابل پرتودهی Control vs. irradiated	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
شاهد در مقابل پرتوی گاما Control vs. GR	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
شاهد در مقابل اشعه مایکروویو Control vs. MV	0.0131	0.1582	0.3760	0.0131	0.1582	0.3760
پرتوی گاما در مقابل اشعه مایکروویو GR vs. MV	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

[1] میانگین‌های هر ستون با حروف غیرمشترک دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P<۰/۰۱).

[1]Means in the same column with different letters differ (P<0.01).
[2]GR: gamma ray, MV: microwave

در مطالعه حاضر پرتودهی با اشعه حرارتی مایکروویو هر دو پروتئین قابل‌تجزیه و غیرقابل تجزیه در شکمبه را نسبت به شاهد افزایش داد. در دام‌های نشخوارکننده پروتئین خام خوراک یا در شکمبه تجزیه می‌شود با بدون تجزیه از شکمبه عبور می‌کند. از این‌رو با توجه به افزایش پروتئین خام کنجاله آفتابگردان پرتودهی شده با دُزهای ۲۰ و ٤٠ کیلوگری اشعه گاما (۲۵۵/۸ و ۲۵۷/٦ گرم در کیلوگرم ماده خشک) و مایکروویو به مدت ۳ و ۵ دقیقه (۲٦٤/٤٠ و ۲۵٦/۲۰ گرم در کیلوگرم ماده خشک) در مقایسه با کنجاله آفتابگردان پرتودهی نشده (۲٤۱/۰۰ گرم در کیلوگرم ماده خشک) که در جدول ۱ این آزمایش گزارش‌شده است، محاسبه ضریب تبدیل پروتئین خام خوراک مصرفی به پروتئین تجزیه‌پذیر در شکمبه و پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه لازم به نظر می‌رسد. بر این اساس نتایج نشان داد، که هر دو اشعه گاما و مایکروویو بر بهبود پروتئین عبوری مؤثر بود (جدول ۵). به‌طوری‌که تحت تأثیر پرتو گاما، ضریب تبدیل پروتئین خام کنجاله آفتابگردان پرتودهی نشده به پروتئین قابل‌تجزیه در شکمبه و پروتئین غیرقابل

تجزیه در شکمبه در سرعت عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت به ترتیب کاهش و افزایش یافت (P<۰/۰۱). پرتودهی با اشعه مایکروویو به مدت ۳ دقیقه ضریب تبدیل پروتئین خام کنجاله آفتابگردان پرتودهی نشده به پروتئین قابل‌تجزیه در شکمبه و پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه در سرعت عبور ۲ درصد در ساعت را به ترتیب کاهش و افزایش داد (P<۰/۰۵). تأثیر اشعه گاما بر افزایش پروتئین عبوری بیشتر از مایکروویو بود و افزایش دُز پرتودهی با اشعه گاما به ۴۰ کیلوگری بر افزایش پروتئین عبوری مؤثرتر بود. بنابراین می‌توان بیان کرد، در صورت تغییر مقدار پروتئین خام خوراک تحت تأثیر پرتودهی، محاسبه ضریب تبدیل پروتئین خام به پروتئین قابل‌تجزیه در شکمبه و پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه معیار مناسب‌تری برای بررسی تأثیر پرتودهی بر پروتئین عبوری و پروتئین قابل متابولیسم است (۷). در بیان تأثیر اشعه مایکروویو بر بهبود پروتئین عبوری از شکمبه در این تحقیق می‌توان به اثرات حرارتی و غیرحرارتی مایکروویو اشاره کرد به‌طوری که با نفوذ امواج مایکروویو به ساختار کنجاله، افزایش حرکت و برخورد مولکول‌های دوقطبی اتفاق می‌افتد که منجر به ایجاد حرارت یکنواخت داخل مولکول‌ها می‌شود. همچنین برخورد امواج مایکروویو با ذرات پروتئین کنجاله، سبب تغییر ساختار پروتئین می‌شود، این اثرات، افزایش آب‌گریزی و کاهش حلالیت مولکول‌های پروتئین در شکمبه را در پی دارد که بر افزایش پروتئین عبوری از شکمبه مؤثر است (۳۰).

جدول ٦- تأثیر پرتوهای گاما و مایکروویو بر قابلیت هضم آزمایشگاهی کنجاله آفتابگردان[1] (درصد)

Table 6- Effects of gamma and microwave irradiation on the *in vitro* digestibility (%) of sunflower meal[1]

تیمارها[2] Treatments[2]	قابلیت هضم ماده خشک DMD	قابلیت هضم ماده آلی OMD	قابلیت هضم ماده آلی در ماده خشک DOMD
شاهد Control	57.87	56.02	53.02
پرتوی گاما (۲۰ کیلوگری) GR-irradiated (20kGy)	56.50	54.10	51.12
پرتوی گاما (٤٠ کیلوگری) GR-irradiated (40kGy)	56.87	54.89	51.87
پرتوی مایکروویو (۳ دقیقه) MV-irradiated (3m)	57.37	55.20	52.22
پرتوی مایکروویو (۵ دقیقه) MV-irradiated (5m)	57.00	55.00	51.95
خطای استاندارد میانگین‌ها SEM	0.307	0.352	0.339
سطح معنی‌داری P-value	0.7751	0.6435	0.6078

[1] میانگین‌های هر ستون با حروف غیرمشترک دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P<۰/۰۱).

[1]Means in the same column with different letters differ (P<0.01).
[2]GR: gamma ray, MV: microwave

میانگین قابلیت هضم ماده خشک، قابلیت هضم ماده آلی و قابلیت هضم ماده آلی در ماده خشک کنجاله آفتابگردان پرتودهی نشده و پرتودهی شده در جدول ٦ نشان داده شده است. پرتودهی با اشعه گاما و مایکروویو تأثیر معنی‌داری بر قابلیت هضم ماده خشک، قابلیت هضم ماده آلی و قابلیت هضم ماده

آلی در ماده خشک کنجاله آفتابگردان نداشت (P>۰/۰۵). در مطالعات مختلف تأثیر پرتودهی بر بهبود قابلیت هضم کنجاله آفتابگردان گزارش‌شده است؛ در تحقیقی پرتودهی کنجاله آفتابگردان با اشعه مایکروویو به مدت ٦ دقیقه سبب افزایش قابلیت هضم ماده آلی شد (۱۱). در مطالعه‌ای دیگر تحت تأثیر اشعه گاما با دُزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری قابلیت هضم کنجاله آفتابگردان افزایش یافت (۹). تفاوت در نتایج آزمایش اخیر با مطالعات ذکرشده می‌تواند ناشی از واریته آفتابگردان، شدت پرتودهی، میزان پوسته و روغن آن باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد که پرتوی گاما بر بهبود فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری پروتئین خام کنجاله آفتابگردان مؤثر بود.

منابع

01.Colmenero-Olmos, J.J. and Broderick, G.A. 2006. Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, 89(5): 1704-1712.

02.Mohamadzadeh, J. and Yaghbani, M. 2005. Effect of harvesting moisture and drying temperature of rapeseed on oil quality. Journal of Agriculture Science and Natural Resources, 12(5): 112-122. (In Persian).

03.Samadi, S. and Yu, P. 2011. Dry and moist heating-induced changes in protein molecular structure, protein subfraction, and nutrient profiles in soybeans. Journal of Dairy Science, 94(12): 6092–6102.

04.Shawrang, P., Nikkhah, A., Zare-Shahneh, A., Sadeghi, A.A., Raisali, G. and Moradi-Shahrebabak, M. 2008. Effects of gamma irradiation on chemical composition and ruminal protein degradation of canola meal. Radiation Physics and Chemistry, 77: 918-922.

05.Maheri-Sis, N., Baradaran-Hasanzadeh, A.R., Salamatdoust, R., Khosravifar, O., Agajanzadeh-Golshani, A. and Dolg, J. 2011. Effect of microwave irradiation on nutritive value of sunflower meal for ruminants using *in vitro* gas production technique. Journal of Animal and Plant Sciences, 21(2): 126-131.

06.Folawiyo, Y.L. and penten, R.K.O. 1997. The effect of heat and acid treatment on the structure of *rapeseed albumin* (napin). Food Chemistry, 58: 237- 243.

07.Kempner, E.S. 1993. Damage to proteins due to the direct action of ionizing radiation. Quarterly Reviews of Biophysics, 26: 27–48.

08.Bernard, J.K. 2011. Oilseed and Oilseed Meals. pp. 349-355. In Feed Ingredients: Feed Concentrates. Encyclopedia of Dairy Sciences, 2nd Edition.

09.Ghanbari, F., Ghoorchi, T., Shawrang, P., Mansouri, H. and Torbati-Nejad, N.M. 2015. Improving the nutritional value of sunflower meal by electron beam and gamma ray irradiations. Iranian Journal of Applied Animal Sciences, 5(1): 21-28.

10.Shawrang, P., Jalilian, S., Fatahnia, F., Sadeghi, A.A. and Mehrabi, A.A. 2017. The effects of irradiation from gamma, electron beam, microwave and infrared sources on ruminal degradability and *in vitro* digestibility of soybean meal. Journal of Animal Science Research (Agricultural Science), 27(4): 217-230. (In Persian).

11.Jalilian, S., Fatahnia, F., Shawrang, P., Mousavi, S.G.R. and Mohammadzadeh, H. 2015. Effect of different irradiation methods on different protein fractions, ruminal degradability and intestinal digestibility of sunflower meal protein. Journal of Animal Science Research (Agricultural Science), 25(2): 69-80. (In Persian).

12.Shawrang, P., Nikkhah, A. and Sadeghi, A.A. 2009. Effects of microwave irradiation on ruminal protein degradation of rapeseed meal. Animal Science Journal, 78: 117-124. (In Persian).

13.Joseph, A. and Dikshit, M. 1993. Effect of Irradiation on the proteinase inhibitor activity and digestibility (*in vitro*) of safflower oilcake. Journal of the American Oil Chemists' Society,70(9): 935-937.

14.AOAC International. 1990. Official Methods of Analysis. 15th Edition, Arlington, VA, USA.
15.Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science, 74(10): 3583-3597.
16.Agricultural and Food Research Council. 1992. Technical Committee on Responses to Nutrients, report No. 9. Nutritive requirements of ruminant animals: protein. Nutrition Abstracts and Reviews, series B. CAB. International Wallingford, 62: 787–835.
17.Michalet-Doreau, B. and Ould-Bah, M.Y. 1992. *In vitro* and *in sacco* methods for the estimation of dietary nitrogen degradability in the rumen: a review. Animal Feed Science and Technology, 40:57–86.
18.Ørskov, E.R. and McDonald, I.M. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. Journal of Agricultural Science, 92(2): 499-503.
19.Menke, K.H. and Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Animal Research and Development, 28: 7-55.
20.Tilly, J.M.A. and Terry, R.A. 1963. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. Journal of the British Grassland Society, 18(2): 104-111.
21.Taghinejad, M., Nikkhah, A., Sadeghi, A.A., Raisali, G. and Chamani, M. 2009. Effects of gamma irradiation on chemical composition, anti nutritional factors, ruminal degradation and *In vitro* protein digestibility of full-fat soybean. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 22: 534-541.
22.Pir-Adl, E., Pirmohammadi, R. and Khalilvandi-Behroozyar, H. 2017. Radiation effects of microwave on chemical compounds, rumen degradability, starch digestion and crude protein of different barley grain varieties. Journal of Ruminant Research, 5(4): 119-144. (In Persian).
23.Golshan, S., Pirmohammadi, R. and Khalilvandi-Behroozyar, H. 2019. Microwave irradiation of whole soybeans in ruminant nutrition: Protein and carbohydrate metabolism *in vitro* and *in situ*. Veterinary Research Forum, 4: 343-350.
24.Al-Masri, M.R. and Guenther, K.D.1999. Changes in digestibility and cell-wall constituents of some agricultural by-products due to gamma irradiation and urea treatments. Radiation Physics and Chemistry, 55(3): 323-329.
25.Moradi, M., Afzalzadeh, A., Behgar, M. and Norouzian, M.A. 2015. Effects of electron beam, NaOH and urea on chemical composition, phenolic compounds, *in situ* ruminal degradability and *in vitro* gas production kinetics of pistachio by-products. Veterinary Research Forum, 6: 111-117.
26.Nedelkov, K.V. 2019. *In situ* evaluation of ruminal degradability and intestinal digestibility of sunflower meal compared to soybean meal. Iranian Journal of Applied Animal Science, 9: 395-400.
27.NRC, 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Edition, National Academy of Sciences Press, Washington, DC.
28.Ghanbari, F., Ghoorchi, T., Shawrang, P., Mansouri, H. and Torbati-Nejad, N.M. 2012. Comparison of electron beam and gamma ray irradiations effects on ruminal crude protein and amino acid degradation kinetics, and *in vitro* digestibility of cottonseed meal. Radiation Physics and Chemistry, 81: 572-578.
29.Ebrahimi-Mahmoudabad, S.R., Nikkhah. A., Sadeghi, A.A. and Raisali, G.H. 2011. Study of gamma irradiation effects on chemical composition anti nutrition factors, protein degradation kinetics and *in vitro* protein digestibility of native rapeseed meal and canola meal. Animal Science Journal, 92: 19-30. (In Persian).
30.Ebrahimi- Mahmoudabad, S.R., Nikkhah, A. and Sadeghi, A.A. 2019. Effect of microwave irradiation on nutritive value of native rapeseed meal. Animal Science Journal, 126: 129-146. (In Persian).
31.Sadeghi, A.A. and Shawrang, P. 2006. Effects of microwave irradiation on ruminal degradability and *in vitro* digestibility of canola meal. Animal Feed Science and Technology, 127: 45-54.

32.Ghanbari, F., Ghoorchi, T., Shawrang, P., Mansouri, H. and Torbati-Nejad, N.M. 2014. Effect of electron beam and gamma ray irradiations on ruminal crude protein and amino acid degradation kinetics of soybean meal. Iranian Journal of Animal Science Research, 5(4): 344-354. (In Persian).

33.Yan, X., Khan, N.A., Zhang, F., Yang, L. and Yu, P. 2014. Microwave irradiation induced changes in Protein molecular structures of barley grains: relationship to changes in protein chemical profile, protein sub fractions, and digestion in dairy cows. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 62: 6546-6555.

34.Bashtani, M., Farhangfar, H. and Ganji, F. 2016. Effect of pelleting on the chemical composition, nitrogen fractions and degradability characteristics of a commercial concentrates by two *in vitro* methods. Journal of Animal Science Research (Agricultural Science), 28(2): 35-50. (In Persian).

35.Taghinejad-Roudbaneh, M., Kazemi-Bonchenari, M., Abdelfattah, Z.M., Salem, A. and Kholif, A.E. 2016. Influence of roasting, gamma ray irradiation and microwaving on ruminal dry matter and crude protein digestion of cottonseed. Italian Journal of Animal Science, 15(1): 144-150.