

اثرات پرتوتابی با گاما و مایکروویو بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام و پروتئین قابل متابولیسم کنجاله گلرنگ

محمد رضا عزیزی، سید روح اله ابراهیمی محمودآباد^{۱*} و امیر فتح^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۳

^۱ دانشجوی دکتری گروه علوم دامی، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲ به‌ترتیب دانشیار و استادیار گروه علوم دامی، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*مسئول مکاتبه: Email: Ebrahimiya@yaho.com

چکیده

زمینه مطالعاتی: از پرتوتابی می‌توان به عنوان یک روش عمل‌آوری کنجاله دانه‌های روغنی در تغذیه نشخوارکنندگان استفاده کرد. هدف: این آزمایش به منظور مطالعه اثرات پرتوتابی گاما و مایکروویو بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام، پروتئین قابل تجزیه در شکمبه، پروتئین قابل تجزیه مؤثر، پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه، و پروتئین قابل متابولیسم کنجاله گلرنگ انجام شد. روش کار: نمونه‌های کنجاله گلرنگ با پرتو گاما با دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری و با پرتو مایکروویو با قدرت ۸۰۰ وات به مدت ۳ و ۵ دقیقه عمل‌آوری شد. از سه رأس گاو نژاد دشتیاری با میانگین وزن زنده 297 ± 10 کیلوگرم و دارای فیستولای شکمبه‌ای برای تعیین تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام با روش کیسه‌های نایلونی استفاده شد. نتایج: تیمارهای مختلف اثر معنی داری بر ترکیبات شیمیایی کنجاله گلرنگ نداشتند ($p > 0.05$). قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی کنجاله گلرنگ در اثر پرتوتابی کاهش یافت ($p < 0.05$). پرتوتابی با گاما با دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری سبب کاهش بخش سریع تجزیه ماده خشک و پروتئین خام شد ($p < 0.05$). تحت تأثیر پرتوتابی با مایکروویو به مدت ۳ و ۵ دقیقه تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک و پروتئین خام نسبت به پرتوتابی با گاما افزایش یافت ($p < 0.05$). پرتو دهی با گاما سبب افزایش بخش کندتجزیه پروتئین خام شد ($p < 0.05$). پرتوتابی با گاما با دز ۲۰ کیلوگری سبب افزایش پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه در سرعت‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد شد و همچنین پرتو گاما با دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری سبب کاهش پروتئین قابل تجزیه در شکمبه در سرعت‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت شد ($p < 0.05$). پروتئین قابل متابولیسم کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو گاما در دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری و عمل‌آوری شده با مایکروویو به مدت ۳ دقیقه نسبت به گروه شاهد کاهش یافت ($p < 0.05$). نتیجه گیری نهایی: نتایج این آزمایش نشان داد هر چند پرتو دهی کنجاله گلرنگ با پرتو گاما سبب کاهش پروتئین قابل متابولیسم کنجاله گلرنگ شد؛ ولی نسبت به سایر تیمارها سبب کاهش تجزیه پذیری شکمبه‌ای پروتئین و افزایش پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه شد.

واژگان کلیدی: پرتو دهی گاما، پرتو دهی مایکروویو، تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای، کنجاله گلرنگ

مقدمه

کنجاله‌ها از منابع غنی از پروتئین در تغذیه نشخوارکنندگان هستند، اما مقدار زیادی از پروتئین آن‌ها، در شکمبه تجزیه می‌شود. تجزیه پروتئین‌های جیره به وسیله میکروارگانیسم‌های شکمبه، باعث از دست رفتن نیتروژن به صورت اوره در ادرار می‌شود (کامالاک و همکاران ۲۰۰۵). افزایش مقدار پروتئین قابل تجزیه شکمبه‌ای در جیره، سبب افزایش تولید آمونیاک در شکمبه می‌شود که با توجه به محدودیت استفاده از آن در شکمبه برای تولید پروتئین میکروبی، مازاد آن جذب و در کبد به اوره تبدیل می‌شود (انجمن تحقیقات ملی ۲۰۰۱). افزایش آمونیاک شکمبه و در نتیجه افزایش اوره خون موجب افت تولید و عملکرد تولیدمثلی، هدرروی انرژی جهت دفع مازاد نیتروژن، افزایش دفع نیتروژن به محیط، افزایش هزینه خوراک و کاهش کیفیت شیر را به همراه دارد (شواب و همکاران ۲۰۰۷). گلرنگ (*Carthamus tinctorious L.*)، گیاهی علفی و یکساله است که در نقاط مختلف کشور از نظر ذخایر ژنتیکی به وفور یافت می‌شود. کنجاله گلرنگ با انرژی قابل سوخت و ساز ۲۶۸۱ کیلوکالری در کیلوگرم، حاوی ۳۲ درصد الیاف خام، ۱۰ درصد روغن و ۲۰ درصد پروتئین خام است که تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای آن بسیار زیاد است (طیپی پور و کرمانشاهی ۲۰۰۴؛ امینی پور و همکاران، ۲۰۱۰؛ مافی، ۲۰۰۷؛ نجف یار، ۲۰۰۹). محققان نشان دادند که پرتوتابی روی ساختار پروتئین در دمای محیط مؤثر است. دونوع پرتوتابی شامل پرتوهای یونساز و غیریونساز وجود دارد. پرتوهای یونساز مثل پرتو گاما که انرژی بسیار زیادی دارد و می‌تواند الکترون‌ها را از اتم‌ها جدا کند و سبب تکه تکه شدن، پیوندهای متقابل، تجمع و اکسیداسیون توسط رادیکال‌های اکسیژن تولید شده در رادیولیزی آب در پروتئین‌ها می‌شود (لی و همکاران ۲۰۰۲). پرتوهای غیریونساز، انرژی کافی برای حرکت اتم‌ها در اطراف مولکول‌ها را دارد یا موجب ارتعاش آن‌ها می‌شود؛ اما

برای حذف الکترون‌ها از اتم‌ها کافی نیست (دویمان ۲۰۱۴). مایکروویو با افزایش حرکت مولکول‌های آب داخل مواد خوراکی و در نهایت تولید گرما سبب پخته شدن آن‌ها می‌شوند. امواج مایکروویو با نفوذ در ساختارهای درونی مواد خوراکی حرارت یکنواخت ایجاد می‌کند و به دلیل تبدیل شدن کامل انرژی الکترومغناطیس به حرارت، بازده این روش زیاد است (فلوز ۲۰۰۰). پرتوهای یونساز مثل پرتو گاما بر ساختار پروتئین اثر گذاشته و سبب واسرشتی آن می‌شوند. همچنین پرتوتابی ممکن است باعث تشکیل پیوندهای عرضی و به هم چسبیدگی پروتئین‌ها شود و در نتیجه موجب کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین خام در شکمبه می‌شود (گابز، ۲۰۰۵؛ ابراهیمی و همکاران ۲۰۱۱، صادقی و شورنگ ۲۰۰۸). تحقیقات نشان داده که پرتوتابی گاما در کنجاله آفتابگردان (قنبری و همکاران ۲۰۱۵)، کنجاله پنبه‌دانه (قنبری و همکاران ۲۰۱۲) و کنجاله کانولا (شورنگ و همکاران ۲۰۰۸) در کاهش تجزیه پروتئین توسط میکروارگانیسم‌های شکمبه موفقیت آمیز بوده است. روش‌های زیادی برای پیش بینی ارزش خوراک وجود دارد که روش کیسه‌های نایلونی با قراردادن مواد خوراکی در شکمبه نشخوارکنندگان، امکان نزدیکی خوراک مورد آزمایش را با محیط طبیعی تخمیر به وجود می‌آورد و می‌توان گفت که بهترین روش برای تقلید از محیط شکمبه (از نظر درجه حرارت، pH، بافر و آنزیم‌ها) است (منصوری و همکاران ۲۰۰۳). گزارشات اخیر در ارتباط با اثر عمل‌آوری مواد خوراکی مورد استفاده در جیره دام و طیور با پرتو گاما و مایکروویو نشان داده است که مواد ضد تغذیه‌ای و تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام کاهش و قابلیت هضم روده‌ای برخی مواد خوراکی افزایش یافته است ولی در رابطه با اثر عمل‌آوری با مایکروویو و گاما بر تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام و قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی کنجاله گلرنگ اطلاعات کمی در دسترس است. بنابراین

صیح و از طریق فیستولا جمع‌آوری شده و در آزمایشگاه به وسیله دو لایه پارچه مخصوص صاف و استفاده شد. پس از وارد نمودن گاز دی اکسید کربن درب ارلن را بسته و در حمام آب گرم ۳۹ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. به منظور تهیه بزاق مصنوعی، مقادیر ۹/۸ گرم بی‌کربنات سدیم، ۳/۷۱ گرم فسفات هیدروژن دی سدیم دهیدرات، ۰/۵۷ گرم کلریدپتاسیم، ۰/۴۷ گرم کلریدسدیم و ۰/۱۲ گرم سولفات منیزیم را در آب مقطر دوبار تقطیر حل شد و در بالن ۱ لیتری به حجم رسانده شدند. برای هر نمونه مقدار ۴۰ میلی‌لیتر از بزاق مصنوعی استفاده شد. حدود نیم ساعت قبل از هضم بی‌هوازی، ۱ میلی‌لیتر محلول ۴ درصد (حجم/وزن) کلریدکلسیم به هر لیتر بزاق مصنوعی اضافه شد و با وارد کردن گاز دی‌اکسید کربن به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه، اسیدیته محلول به ۶/۹ تا ۷ کاهش داده شد. سپس بزاق مصنوعی و مایع شکمبه که در حمام آب گرم قرار داشتند، به نسبت ۴ به ۱ (۴ حجم بزاق مصنوعی و ۱ حجم مایع شکمبه) با هم مخلوط شدند. سپس به محلول به دست آمده به مدت ۴ تا ۵ دقیقه گاز دی‌اکسیدکربن وارد گردید. به هریک از ارلن‌های شاهد و حاوی نمونه، ۵۰ میلی‌لیتر از مخلوط تهیه شده از بزاق مصنوعی و شیرابه شکمبه اضافه شد. بلافاصله به مدت ۱۵ ثانیه به داخل هر ارلن گاز دی‌اکسیدکربن وارد نموده و درب هریک محکم بسته شد. سپس ارلن‌ها به مدت ۴۸ ساعت در حمام آب گرم با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. در طی این مدت، ارلن‌ها در فواصل زمانی معین و مساوی تکان داده شدند. در پایان ۴۸ ساعت هضم بی‌هوازی، تمامی ارلن‌ها از حمام آب گرم خارج شده و درب آن‌ها به آرامی باز شد. سپس در طی ۳ مرحله، ۶ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲۰ درصد به هر ارلن اضافه شد. بعد از آن ۲ میلی‌لیتر محلول پپسین ۲۰ درصد نیز اضافه شد. سپس درب تمامی ارلن‌ها را بسته و به مدت ۴۶ ساعت در حمام آب‌گرم با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در

هدف از انجام این پژوهش بررسی اثرات عمل‌آوری با پرتو گاما و مایکروویو بر ترکیبات شیمیایی، قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی و روند تجزیه‌پذیری پروتئین خام و پروتئین قابل متابولیسم کنجاله گلرنگ بود.

مواد و روش‌ها

عمل‌آوری مواد خوراکی با پرتو گاما و مایکروویو

این پژوهش در موسسه تحقیقات علوم دامی کرج انجام شد. ابتدا دانه‌های گلرنگ رقم گلمهر از مؤسسه مورد تایید اداره کل دانه‌های روغنی وزارت جهاد کشاورزی تهیه گردید و روغن آن‌ها به روش مکانیکی با دستگاه روغن‌کشی خارج شد و پس از تعیین ترکیب شیمیایی، رطوبت آن به ۲۵ درصد رسانده شد. سپس نمونه‌های ماده خوراکی در پژوهشکده کاربرد پرتوها وابسته به سازمان انرژی اتمی، با دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری در معرض پرتو گاما قرار گرفت. برای عمل‌آوری با مایکروویو، نمونه‌های ماده خوراکی در مایکروفر مدل بوتان با قدرت ۸۰۰ وات به مدت ۳ و ۵ دقیقه عمل‌آوری شد. ترکیب شیمیایی کنجاله‌های گلرنگ عمل‌آوری شده و نشده تعیین شد. مقدار ماده خشک، پروتئین‌خام، عصاره اتری و خاکستر نمونه‌ها با استفاده از روش‌های استاندارد (AOAC ۱۹۹۰) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی مطابق با روش ون سوئست و همکاران (۱۹۹۱) تعیین شد.

قابلیت هضم ماده آلی و ماده خشک

به منظور تعیین قابلیت هضم کنجاله از روش هضم دو مرحله‌ای استفاده شد (تیلی و تری ۱۹۶۳). ابتدا نمونه‌ها با الک ۱ میلی‌متری آسیاب شده و سپس توسط آون خشک شدند. سپس ۰/۵ گرم از هر نمونه در ارلن‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد. برای هر نمونه ۳ تکرار در نظر گرفته شد. ۳ ارلن هم بدون عمل‌آوری و به عنوان شاهد استفاده شد. مایع شکمبه قبل از خوراک‌دهی

آسیاب شدند. سپس ۶ گرم از هر نمونه (۵ تیمار آزمایشی) داخل کیسه‌های نایلونی از جنس داکرون با ابعاد ۲۰×۱۰ سانتی‌متر و قطر منافذ ۴۵ تا ۵۰ 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 به مدت ۳۰ دقیقه در ماشین لباسشویی با آب سرد شسته شدند. ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شد.

برای تعیین تجزیه‌پذیری ماده خشک، باقی مانده داخل کیسه‌ها توزین شد، همچنین جهت تعیین تجزیه‌پذیری پروتئین، میزان پروتئین خام محتویات کیسه‌ها اندازه‌گیری شد. فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام تیمارهای آزمایشی با استفاده از نرم افزار Fit curve و به کمک رابطه‌های زیر برآورد شد (AFRC ۱۹۹۲).

$$P=a+b(1-e^{-ct})$$

$$RDP=QDP+SDP$$

$$ERDP=0/8(QDP)+SDP$$

$$RUP=CP(1-a-(bc/c+k))$$

$$MP=0/6375(ERDP)+DUP$$

$$ED = a + [(b \times c) / (c + k)]$$

که در این رابطه‌ها، P: مقدار ناپدیدشدن در زمان t، a: بخش با تجزیه سریع، b: بخش کند تجزیه، e: عدد نپر (۲/۷۱۸۲)، c: ثابت نرخ تجزیه، t: مدت زمان انکوباسیون در شکمبه (ساعت)، RDP: پروتئین قابل تجزیه در شکمبه، ERDP: پروتئین قابل تجزیه مؤثر در شکمبه، RUP: پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه، MP: پروتئین قابل متابولیسم، ED: تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک و پروتئین خام، k: سرعت عبور از شکمبه با فرض ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت است.

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی در قالب طرح کاملاً تصادفی (مدل ۱) و داده‌های مربوط به تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام و اجزای پروتئین قابل متابولیسم در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی (مدل ۲) با شش تکرار (سه حیوان* دو کیسه برای هر زمان انکوباسیون در هر گاو) با شش

این مرحله نیز مطابق مرحله قبل ارلن‌ها تکان داده شدند. پس از پایان مرحله هضم مواد خوراکی با پپسین، نمونه‌های موجود درهرارلن با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۱، قیف بوختر و پمپ خلأ صاف شده و محتویات هضم نشده را به آرامی از قیف بوختر جدا کرده و پس از تا نمودن، به مدت ۲۴ ساعت در آن با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس وزن خشک آن‌ها تعیین شد. سپس کاغذهای صافی به مدت ۴ ساعت در کوره الکتریکی با دمای ۵۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. این کار به منظور تعیین مقدار خاکستر خام مواد هضم نشده موجود در کاغذهای صافی صورت گرفت.

تجزیه‌پذیری ماده خشک، پروتئین خام با استفاده از کیسه‌های نایلونی

آزمایش تجزیه‌پذیری با استفاده از روش کیسه‌های نایلونی اندازه‌گیری شد (ارسکوف و مکدونالد ۱۹۷۹). برای انجام این آزمایش از سه رأس گاو نر بالغ دشتیاری با میانگین وزن زنده 297 ± 10 کیلوگرم مجهز به فیستولای شکمبه‌ای موجود در مؤسسه تحقیقات علوم دامی کشور استفاده شد. دام‌ها مطابق استاندارد تکنیک کیسه‌های نایلونی، در سطح نگهداری و با جیره کاملاً مخلوط (جدول ۱) روزانه دو نوبت در ساعات ۸/۰۰ و ۱۶/۰۰ تغذیه شدند (AFRC ۱۹۹۲).

Table 1-Bull's diet during experimental period (%)

Feed ingredients	%
Alfalfa hay	50
Wheat straw	16.67
Barley	26.67
Corn grain	3.33
Wheat bran	1.66
Cottonseed meal	1.33
Mineral and vitamin peremix	0.34

برای تعیین میزان تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای، نمونه‌های کنجاله گلرنگ بدون پرتودهی و پرتودهی شده بوسیله آسیاب چکشی آزمایشگاهی دارای غربال ۲ میلی‌متری

پروتئین خام، چربی خام و فیبرخام دانه سویا مطالعه کردند. پرتوتابی اثری بر ترکیبات شیمیایی نداشت.

قابلیت هضم ماده آلی و ماده خشک

جدول ۲ مقایسه میانگین قابلیت هضم ماده آلی و ماده خشک کنجاله گلرنگ عمل‌آوری نشده و عمل‌آوری شده با پرتوهای گاما، مایکروویو را نشان می‌دهد. پرتوتابی سبب کاهش قابلیت هضم ماده خشک نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده شد. پرتوهای گاما با دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری، مایکروویو به مدت ۳ و ۵ دقیقه، به ترتیب سبب کاهش قابلیت هضم ماده خشک به میزان (۱۹/۸۴، ۱۹/۳۷، ۱۹/۱۳، ۳/۲۸ درصد) نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده شدند ($p < 0/05$). همچنین این پرتوها باعث کاهش قابلیت هضم ماده آلی نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده به ترتیب به میزان (۱۹/۸۸، ۱۹/۳۹، ۱/۱۷، ۳/۱۵ درصد) شدند ($p < 0/05$). شایشیر و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند با افزایش زمان پرتوتابی با مایکروویو، سبب کاهش قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی قابل هضم در ماده خشک شد؛ ولی ابراهیمی محمودآباد و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند پرتو مایکروویو سبب افزایش قابلیت هضم برون تنی پروتئین خام کنجاله منداب بومی شد. دانگ و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که پرتو مایکروویو سبب کاهش قابلیت هضم پروتئین در شرایط برون تنی شد. ساز و کار کاهش قابلیت هضم در خوراک‌های عمل‌آوری شده توسط حرارت بسیار پیچیده است. ممکن است طی عمل‌آوری حرارتی واکنش‌های شیمیایی (از قبیل واکنش میلارد)، تغییر ساختار پروتئین و پیوندهای عرض بین پروتئین و کربوهیدرات تشکیل شود. این واکنش‌ها باعث تبدیل پروتئین خوراک به ترکیباتی مقاوم به هضم می‌شوند و مسئول کاهش قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی پس از عمل‌آوری با مایکروویو می‌باشند (ون سوئست ۱۹۹۴؛ انجمن تحقیقات ملی ۲۰۰۱). مشابه با نتایج مطالع حاضر، زارعی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که پرتو گاما و الکترون در دزهای کمتر از ۲۰ کیلوگری

تکرار 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.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij} \quad \text{مدل ۱}$$

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + k_j + e_{ijk} \quad \text{مدل ۲}$$

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

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی

تیمارهای مختلف بر مقدار ماده خشک، پروتئین خام، فیبر خام، عصاره اتری، خاکستر، لیاف نامحلول در شوینده خنثی و لیاف نامحلول در شوینده اسیدی تأثیری نداشت ($p > 0/05$) که با نتایج آزمایش‌های سایر محققین (ابراهیمی محمودآباد و همکاران ۲۰۰۹؛ جلیلیان و همکاران ۲۰۱۵) هماهنگی دارد ولی با نتایج آزمایش پیرعدل و همکاران (۲۰۱۷) هماهنگی ندارد. شیخعلی پور و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که پرتوتابی دانه ماشک با مایکروویو به مدت ۳ دقیقه با قدرت ۸۰۰ وات تأثیری بر ترکیبات شیمیایی آن نداشت. پیرعدل و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که پرتوتابی وارسته‌های مختلف جو با مایکروویو به مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه با قدرت ۹۰۰ وات سبب کاهش ماده خشک، پروتئین خام، چربی خام، لیاف نامحلول در شوینده اسیدی و لیاف نامحلول در شوینده خنثی آن شد. شورنگ و همکاران (۲۰۰۶ و ۲۰۰۸) و فارگ (۱۹۹۸) نیز گزارش کردند پرتو گاما در دزهای کمتر از ۷۵ کیلوگری اثر معنی‌داری بر ماده خشک، رطوبت، خاکستر، پروتئین خام و لیاف خام دانه و کنجاله سویا و کنجاله کانولا نداشته است. فارگ (۱۹۹۸)، اثر دزهای مختلف پرتو گاما (۵، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ کیلوگری) بر ماده خشک، رطوبت، خاکستر،

عمل‌آوری نشده افزایش دادند. محققین نشان داده‌اند که قابلیت هضم، تحت تأثیر بخش‌های لیگنینی و دیواره سلولی است که لیگنین، بخش غیرقابل هضم و یک عامل محدودکننده برای عمل آنزیم‌های میکروبی بر روی پلی ساکاریدهای دیواره سلولی می‌باشد. در این تحقیق در اثر پرتوتابی، تأثیر معنی داری روی ترکیب شیمیایی کنجاله گلرنگ نداشته است، لذا ممکن است بخش‌های دیواره سلولی دارای یک اثر منفی بر قابلیت هضم داشته باشند (ون سوست ۱۹۹۴). همچنین، اثر پرتوهای یونساز بر قابلیت هضم مواد غذایی تحت تأثیر دز پرتوتابی، ساختار شیمیایی، میزان دیواره سلولی و مواد ضد تغذیه‌ای ماده خوراکی است (جکسون و همکاران ۱۹۹۶؛ انجمن تحقیقات ملی ۲۰۰۱). محققین بیان کرده‌اند که مقدار رادیکال‌های آزاد تولید شده در یک ماده پرتوتابی شده به طور مستقیم با دز پرتوتابی متناسب است. با افزایش دز پرتوتابی، تأثیر آن روی واسرشتی پروتئین بیشتر می‌شود (سیسلا و همکاران ۲۰۰۰).

به ترتیب سبب کاهش و عدم تغییر قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی دانه انار شد؛ ولی جلیلیان و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که پرتوتابی گاما در دز ۵۰ کیلوگری سبب افزایش قابلیت هضم روده‌ای کنجاله آفتاب‌گردان شد. در مغایرت با نتایج این تحقیق شورنگ و همکاران (۲۰۰۸) اثرات دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری گاما را روی قابلیت هضم روده‌ای پروتئین خام عبوری کنجاله کتان مورد بررسی قرار دادند. با افزایش دز پرتوتابی، قابلیت هضم روده‌ای پروتئین خام نیز افزایش پیدا کرد. مقدار این افزایش برای دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری به ترتیب ۴، ۱۳ و ۲۰ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده بود. ابراهیمی و همکاران (۲۰۰۹) نیز اثرات پرتوتابی گامای دانه کانولا با دزهای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ کیلوگری را روی قابلیت هضم پروتئین خام تجزیه نشده در شکمبه مورد بررسی قرار دادند. با افزایش دز پرتوتابی، قابلیت هضم پروتئین خام افزایش یافت. دزهای ۳۰ و ۴۵ کیلوگری پرتو گاما، قابلیت هضم پروتئین خام را ۱۵ و ۲۱ درصد نسبت به کنجاله

Table2: The effects gamma and microwave rays on dry matter and organic matter digestibility of safflower meal

		DMD ¹	OMD ²	DOMD ³
Control		45.05 ^a	46.87 ^a	48.47 ^a
Gamma irradiation (kGy)	20	36.11 ^c	37.55 ^c	39.44 ^c
	40	36.32 ^c	37.78 ^c	39.63 ^c
Microwave irradiation (minutes)	3	44.54 ^{ab}	46.32 ^{ab}	47.79 ^{ab}
	5	43.57 ^b	45.39 ^b	46.98 ^b
SEM		0.542	0.586	0.493
P-Value		0.0001	0.0001	0.0001
Group comparisons				
Control vs Irradiation		0.0001	0.0001	0.0001
Control vs Gamma		0.0001	0.0001	0.0001
Control vs Microwave		0.0001	0.0001	0.0001
Gamma vs Microwave		0.0001	0.0001	0.0001

1: Dry matter digestibility

2: Organic matter digestibility

3: Digestible organic matter in dry matter.

* The means with different letters in each column have a significant difference (P<0.05).

در جدول ۳ مقایسه میانگین فراسنجه‌های مختلف تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک کنجاله گلرنگ عمل‌آوری نشده (شاهد) و عمل‌آوری شده با

تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام به روش کیسه‌های نایلونی

۱۹۹۴؛ انجمن تحقیقات ملی ۲۰۰۱). همچنین، عوامل مختلفی شامل نوع جیره تغذیه شده به گاوها، میکروفلور شکمبه، نوع عمل آوری، دز پرتو دهی و ... بر فراسنجه-های تجزیه‌پذیری اثرگذار هستند (ارسکوف و مکدونالد ۱۹۷۹؛ انجمن تحقیقات ملی ۲۰۰۱). پرتوتابی گاما با دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری بخش سریع تجزیه ماده خشک کنجاله گلرنگ را به ترتیب به میزان ۲۲/۹۶ و ۲۲/۲۱ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده کاهش یافت. پرتوتابی با مایکروویو به مدت ۳ و ۵ دقیقه به ترتیب، سبب افزایش بخش سریع تجزیه ماده خشک به میزان (۲۸/۱۵ و ۲۹/۱۷ درصد) نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده شد ($p < 0.05$) و سبب کاهش بخش کند تجزیه به ترتیب به میزان ۲۴/۲۸ و ۲۳/۷۷ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده شد ($p < 0.05$). در مغایرت با نتایج این تحقیق ابراهیمی محمودآباد و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که پرتوتابی کنجاله منداب بومی با مایکروویو به مدت ۴ و ۶ دقیقه سبب کاهش بخش سریع‌تجزیه و افزایش بخش کند تجزیه ماده خشک شد. کاهش بخش سریع تجزیه‌شونده ماده خشک پس از پرتوتابی گاما به دلیل کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین خام کنجاله است. مشابه با نتایج این آزمایش، قربانی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند پرتوتابی گاما بر روی دانه سویا سبب کاهش بخش کند تجزیه و افزایش ثابت نرخ تجزیه شد. پرتوگاما سبب کاهش تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک شدند ($p < 0.05$). پرتوتابی گاما در دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری سبب کاهش تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک به میزان (۱۴/۹۸، ۵/۶۰ درصد در ساعت) نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده شدند. نتایج تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک بدست آمده در این پژوهش پس از پرتوتابی با گاما با نتایج آزمایش‌های سایر محققین هماهنگی دارد (شورنگ و همکاران ۲۰۰۶؛ قنبری و همکاران ۲۰۱۵). قنبری و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند پرتو گاما در دزهای ۵۰ و ۷۵ کیلوگری، مقدار تجزیه پذیری مؤثر ماده خشک را به ترتیب ۱۳/۱۵ و ۱۳/۵۶

دزهای مختلف پرتوهای گاما و مایکروویو ارائه شده است. با توجه به مقایسات گروهی اختلاف بین پرتوهای گاما و مایکروویو از نظر تأثیر بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک معنی دار شد ($p < 0.05$). بخش سریع تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک گزارش شده در این آزمایش بیشتر از مقادیر گزارش شده توسط آلوس و همکاران (۲۰۱۸) برای دانه گلرنگ بود که این تفاوت را می‌توان به متفاوت بودن روش اندازه‌گیری تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای، نوع وارپته و ترکیب شیمیایی کنجاله گلرنگ و دانه گلرنگ مورد آزمایش نسبت داد. پرتوتابی گاما سبب کاهش و پرتوتابی با مایکروویو سبب افزایش معنی دار بخش سریع تجزیه ماده خشک و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک کنجاله گلرنگ در سرعت عبورهای ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده شد ($p < 0.05$). بخش کند تجزیه ماده خشک تحت تأثیر پرتوتابی با مایکروویو کاهش یافت ($p < 0.05$). پتانسیل تجزیه‌پذیری و نرخ ثابت تجزیه تحت تأثیر عمل‌آوری کنجاله با پرتوی مایکروویو قرار نگرفتند ($p < 0.05$). صادقی و شورنگ (۲۰۰۸) گزارش کردند که پرتو مایکروویو سبب افزایش بخش سریع تجزیه ماده خشک دانه جو شد. سروری و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که بخش کند تجزیه ماده خشک دانه جو پس از تفت دادن کاهش یافت. تقی نژاد رودبند و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که پرتو مایکروویو تاثیری بر بخش کند تجزیه شونده ماده خشک پنبه دانه نداشت؛ پرتوتابی کنجاله منداب بومی با مایکروویو به مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه سبب کاهش بخش سریع تجزیه و افزایش بخش کند تجزیه ماده خشک و پروتئین خام شد (ابراهیمی محمودآباد و همکاران، ۲۰۱۹). ممکن است عمل آوری حرارتی سبب تغییرات فیزیکی و شیمیایی پروتئین‌ها شده و با شکستن باندهای هیدروژنی محلولیت و قابلیت دسترسی میکروارگانسیم ها به پروتئین کنجاله گلرنگ را افزایش دهد (ون سوئست

پروتئینها و ایجاد پلهای عرضی در داخل زنجیره‌های پپتیدی و بین زنجیره‌های پپتیدی با کربوهیدراتها، سبب کاهش قابلیت حل شدن پروتئین، کاهش قابلیت دسترسی پروتئین برای آنزیم‌های میکروبی و کاهش نرخ تجزیه آن در شکمبه می‌شود. همانطور که شورنگ و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند پرتوتابی گاما می‌تواند تجزیه ماده خشک را با ژلاتینه کردن نشاسته و پروتئین کاهش دهند. در مغایرت با نتایج به دست آمده پرتو گاما در دزهای ۱۵، ۳۰ و ۴۰ کیلوگری اثر معنی داری روی بخش‌های سریع تجزیه و کند تجزیه ماده خشک کنجاله تخم پنبه نداشت (تقی نژاد و همکاران، ۲۰۱۶)؛ اما محققان دیگر پرتوتابی گاما در دزهای ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگری گزارش کردند تجزیه‌پذیری ماده خشک سورگوم را افزایش داد (وایونو و همکاران ۲۰۱۷). البته دلیل تمایز بین نتایج به دست آمده در آزمایشات مختلف با این تحقیق ممکن است با دزهای پرتوتابی و وجود یا عدم وجود پریکارپ دانه مرتبط باشد.

درصد کاهش داد. مطالعات پیرعدل و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک دانه جو پس از پرتوتابی با پرتو گاما در سرعت عبور (۲، ۵ و ۸ درصد) کاهش یافت؛ به طوری که بیشترین میزان کاهش در نرخ عبور ۸ درصد در ساعت مشاهده شد. نتایج آزمایش شورنگ و همکاران (۲۰۰۶)، نشان داد که پرتوتابی با پرتو گاما با دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری سبب کاهش تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک کنجاله کانولا گردید. فتاح و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند پرتوتابی با مادون قرمز (عمل‌آوری حرارتی) بخش سریع تجزیه ماده خشک را کاهش و بخش کند تجزیه ماده خشک را افزایش داد. کاهش تجزیه‌پذیری ماده خشک می‌تواند به علت تشکیل کمپلکس ترکیبات پروتئینی و غیرپروتئینی مثل نشاسته باشد که موجب کاهش دسترسی میکروارگانیسم‌های شکمبه می‌شود. استرن و همکاران (۱۹۸۵) گزارش کردند که اکستروود کردن سویا، تجزیه‌پذیری ماده خشک را در شکمبه کاهش داد که با نتایج حاضر همخوانی داشت. حرارت با تغییر ساختمان

Table 3 -The effects of gamma and microwave rays on rumen degradation parameters of dry matter

	Degradability parameters ¹ (%)				Effective degradability ² (%)		
	a	b	a+b	c	0.02	0.05	0.08
Control	23.48 ^b	37.60 ^a	61.08 ^a	0.045 ^b	49.59 ^a	41.38 ^b	37.10 ^b
Gamma irradiation (KGy)	20	18.09 ^c	33.44 ^a	51.53 ^b	0.056 ^{ab}	33.42 ^c	31/54 ^d
	40	18.50 ^c	34.32 ^a	52.83 ^b	0.074 ^a	45.54 ^b	35/02 ^c
Microwave irradiation (minutes)	3	30.09 ^a	28.47 ^b	58.57 ^a	0.047 ^b	49.99 ^a	40/59 ^a
	5	30.33 ^a	28.66 ^b	59.0 ^a	0.046 ^b	50.19 ^a	40/73 ^a
SEM	0.714	1.907	1.70	0.008	0.536	0.658	0/755
P-Value	0.0001	0.006	0.002	0.008	0.0001	0.0001	0/0001
Group comparisons							
Control vs Irradiation	0.2	0.001	0.0019	0.13	0.0001	0.13	0.83
Control vs Gamma	<0.0001	0.04	0.0001	0.02	<0.0001	<0.0001	0.0002
Control vs Microwave	<0.0001	0.0003	0.14	0.84	0.3	0.0013	0.0003
Gamma vs Microwave	<0.0001	0.002	0.0003	0.01	<0.0001	<0.0001	<0.0001

1:a=Washout fraction(%), b=Slowly degradable fraction (%), a+b=Potentially degradable fraction (%), c=The rate of degradation

2:Effective degradability was calculated at passage rate of 0.02, 0.05 and 0.08

3= The means with different letters in each column have a significant difference (P<0.05)

خام شد (یان و همکاران ۲۰۱۴). متفاوت با نتایج این آزمایش، پرتوهای کنجاله منداب بومی با مایکروویو با دزهای ۲، ۴ و ۶ دقیقه، سبب کاهش بخش سریع تجزیه پروتئین خام و افزایش بخش کند تجزیه شونده پروتئین خام شد (ابراهیمی محمودآباد و همکاران ۲۰۱۵). در آزمایش شورنگ و همکاران (۲۰۱۷)، پرتوهای کنجاله سویا با مایکروویو به مدت ۴ دقیقه و گاما با دز ۵۰ کیلوگری، تأثیری بر تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام نداشت؛ ولی سبب کاهش بخش سریع تجزیه‌شونده و نرخ ثابت تجزیه پروتئین خام شد. در مطالعه شورنگ و همکاران (۲۰۰۸) پرتوتابی با اشعه گاما باعث کاهش بخش سریع تجزیه، ثابت نرخ تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر و افزایش بخش کندتجزیه‌ی پروتئین خام کنجاله سویا شد که این پژوهشگران علت کاهش بخش سریع تجزیه را در اثر تغییر ساختار سوم پروتئین و ایجاد اتصالات عرضی جدید و متراکم شدن پروتئین‌ها گزارش کردند. تشعشعات یونیزه‌کننده از طریق تولید رادیکال‌های آزاد می‌توانند با القای واکنش‌هایی مانند پیوند پروتئین-پروتئین، دامیناسیون، جدا شدن پیوند پپتیدی و دی سولفیدی و از طریق پیوندهای هتروسیکلیک بر پروتئین‌ها تأثیر بگذارند (ابو و همکاران ۲۰۰۶). دزهای بالای تابش یونیزه ممکن است منجر به پیوند متقابل، تجمع و تشکیل پروتئین با وزن مولکولی بالا شود (سیسلا و همکاران ۲۰۰۰؛ لی و همکاران ۲۰۰۵). رادیکال‌های اکسیژنی که در فرآیند تابش تولید می‌شوند، می‌توانند پیوندهای دی سولفیدی و سایر پیوندهای متقابل دخیل در ساختار پروتئین ثانویه و سوم را بشکنند و منجر به دناتوره شدن و تکه تکه شدن پروتئین‌ها شوند (لی و همکاران ۲۰۰۵).

روند تجزیه‌پذیری پروتئین خام کنجاله گلرنگ تحت تأثیر پرتوهای گاما و مایکروویو در جدول ۴ نشان داده شده است. پرتوهای با مایکروویو به مدت ۳ و ۵ دقیقه سبب افزایش بخش سریع تجزیه پروتئین به ترتیب به میزان ۱۶.۳۲ و ۲۷/۰۷ درصد و افزایش نرخ ثابت تجزیه به ترتیب به میزان ۴۵/۴۵ و ۷۲/۷۲ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده شد. همچنین پرتوهای با مایکروویو سبب کاهش بخش کند تجزیه پروتئین خام به میزان ۴۳/۰۸ و ۳۷/۲۸ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده شد. تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام در سرعت عبورهای ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت تحت تأثیر پرتوهای با مایکروویو به ترتیب به میزان ۳/۳۸، ۷/۴۵ و ۱۰/۳۳ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده افزایش یافت. پرتوهای با گاما با دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری، تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام در سرعت عبور ۸ درصد به ترتیب به میزان ۱۲/۷۱ و ۶/۵۲ درصد کاهش یافت. اختلاف بین پرتوهای گاما و مایکروویو از نظر تأثیر بر بخش کند تجزیه، سریع تجزیه، ثابت نرخ تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام معنی‌دار شد ($p < 0.05$). به طور مشابه پرتوتابی کنجاله کانولا با پرتو گاما با دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری سبب کاهش تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام در سرعت عبورهای ۲، ۵ و ۸ درصد شد (قنبری و همکاران ۲۰۱۵). پرتو گاما باعث باز شدن ساختارهای پروتئینی و دناتوره شدن پروتئین می‌شود، در نتیجه آب‌گریزی سطح پروتئین‌ها را از طریق قرار گرفتن در معرض گروه‌های غیرقطبی را افزایش می‌دهد (گابر ۲۰۰۵). ممکن است تحت این شرایط، پروتئین‌های باز شده پیوندهای متقاطع و توده‌هایی را تشکیل دهند که کمتر به هیدرولیز آنزیمی حساس هستند؛ زیرا اکثر باکتری‌های دخیل در تجزیه پروتئین در شکمبه دارای پروتئازهایی هستند که با سطح سلول و جذب پروتئین‌های محلول مرتبط هستند (ون سوئست ۱۹۹۴). در تحقیقی دیگر پرتوهای دانه جو با مایکروویو سبب کاهش بخش کند تجزیه شونده پروتئین

Table 4-The effect of gamma and microwave rays on rumen degradation parameters of crude protein

	Degradability parameters ¹				Effective degradability ²		
	(%)				(g/kg)		
	a	b	a+b	c	0.02	0.05	0.08
Control	51.30 ^b	38.25 ^b	89.55	0.22 ^b	85 ^{ab}	80.21 ^b	76.82 ^b
Gamma irradiation (K Gy)	20	37.26 ^c	47.32 ^a	84.59	0.21 ^b	77.70 ^c	67.05 ^d
	40	42.26 ^c	46.56 ^a	88.82	0.21 ^b	82.39 ^b	71.81 ^c
Microwave irradiation (minutes)	3	67.80 ^a	21.77 ^c	89.58	0.32 ^a	88.04 ^a	86.16 ^a
	5	65.19 ^a	23.99 ^c	89.19	0.38 ^a	87.88 ^a	86.19 ^a
SEM	2.521	3.386	4.347	0.027	1.433	0.432	0.620
P-Value	0.0001	0.0001	0.17	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Group comparisons							
Control vs Irradiation	0.37	0.24	0.66	0.016	0.4	0.42	0.62
Control vs Gamma	0.0004	0.014	0.46	0.76	0.002	<0.0001	<0.0001
Control vs Microwave	<0.0001	0.0004	0.96	0.0002	0.038	<0.0001	<0.0001
Gamma vs Microwave	<0.0001	<0.0001	0.4	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

1: a=Washout fraction (%), b=Slowly degradable fraction (%), a+b=Potentially degradable fraction (%), c=The rate of degradation

2: Effective degradability was calculated at passage rate of 0.02, 0.05 and 0.08

پروتئینی حرارتی گروه‌های غیر قطبی اسیدهای آمینه را در سطح پروتئین قرار می‌دهد، به همین دلیل حلالیت پروتئین‌ها را کاهش می‌دهد. از طرفی آبریزی پروتئین‌ها با رسوب آن‌ها، سبب کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین‌ها می‌شوند (ارسکف و مکدونالد ۱۹۷۹؛ ون سوئست ۱۹۹۴).

اثرات پرتو گاما و مایکروویو بر پروتئین قابل تجزیه در شکمبه، پروتئین قابل تجزیه مؤثر در شکمبه، پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه و پروتئین قابل متابولیسم

میانگین مقدار پروتئین قابل تجزیه در شکمبه، پروتئین قابل تجزیه مؤثر، پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه و پروتئین قابل متابولیسم کنجاله گلرنگ پرتو دهی شده با گاما و مایکروویو به ترتیب در جدول ۵ و ۶ نشان داده شده است. پرتو تابی کنجاله گلرنگ با دز ۲۰ کیلوگری گاما، سبب کاهش پروتئین قابل تجزیه در شکمبه کنجاله گلرنگ در سرعت عبورهای ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت به ترتیب به میزان ۲۳/۹۲، ۲۶/۰۷ و ۲۷/۴۱ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده شد ($P < 0.05$).

همچنین می‌توانند حلالیت پروتئین را به دلیل دناتور شدن، پیوند متقابل زنجیره‌ها و تجمع پروتئین‌ها کاهش دهد (سیسلا و همکاران ۲۰۰۰؛ لاکرون و همکاران ۲۰۰۲). تقی نژاد و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که پرتو تابی کنجاله کانولا با پرتو گاما با دز ۴۵ کیلوگری بخش سریع تجزیه و ثابت نرخ تجزیه را کاهش داد. همچنین در دزهای ۳۰ و ۴۵ کیلوگری بخش کند تجزیه پروتئین خام افزایش یافت. پروتئین‌های آب‌گریز کمتر توسط باکتریهای شکمبه‌ای تجزیه می‌شوند (فتحی نسری ۲۰۰۸). فلاویو و آپنتن (۱۹۹۷) گزارش کردند پرتو تابی حرارتی سبب ایجاد تغییر در ساختمان پروتئین‌ها و افزایش آبریزی سطح آنها می‌شود که این تغییر به دلیل شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی و پیوندهای ضعیف غیر کووالانسی و در نتیجه تغییر ساختمان پروتئین است. پرتو تابی حرارتی سبب کاهش قابلیت حل شدن پروتئین‌ها می‌شود که این فرآیند را با ایجاد پیوندهای عرضی در زنجیره‌های پروتئین و رسوب پروتئین‌ها انجام می‌دهد. حلالیت پروتئین‌ها به نوع اسیدهای آمینه سطح آن‌ها بستگی دارد. اسیدهای آمینه آبریز بسیاری در ساختمان پروتئین‌های کروی وجود دارند که در درون پروتئین پنهان شده‌اند.

Table 5 - The effect of gamma and microwave rays on rumen degradable protein and effective rumen degradable protein of safflower meal

		RDP ¹ (%)			ERDP ² (%)		
		0.02	0.05	0.08	0.02	0.05	0.08
Control		23.36 ^b	22.05 ^c	21.12 ^c	20.54 ^{ab}	19.23 ^b	8.14 ^a
Gamma irradiation (kGy)	20	17.77 ^d	16.30 ^e	15.33 ^f	16.06 ^d	14.59 ^d	7.49 ^b
	40	18.90 ^c	17.44 ^d	16.47 ^e	16.96 ^c	15.51 ^c	7.55 ^b
Microwave irradiation (minutes)	3	23.49 ^b	22.99 ^b	22.59 ^b	19.87 ^b	19.37 ^{ab}	5.94 ^c
	5	25.34 ^a	24.85 ^a	24.44 ^a	21.58 ^a	21.09 ^a	7.14 ^{ab}
SEM		0.381	0.108	0.157	0.301	0.116	0.563
P-Value		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Group comparisons							
Control vs Irradiation		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.032
Control vs Gamma		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.23
Control vs Microwave		0.009	<0.0001	<0.0001	0.4900	<0.0001	0.008
Gamma vs Microwave		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.033

* The means with different letters in each column have a significant difference (P<0.05)

1=RDP: Rumen Degradable Protein

2=ERDP: Effective Rumen Degradable Protein

Table 6 - The effect of gamma and microwave rays on rumen undegradable protein and metabolizable protein of safflower meal

		RUP ¹ (%)			MP ² (%)		
		0.02	0.05	0.08	0.02	0.05	0.08
Control		4.12 ^b	5.43 ^b	6.36 ^b	13.64 ^a	13.98 ^a	7.72 ^a
Gamma irradiation (KGy)	20	5.09 ^a	6.56 ^a	7.53 ^a	10.59 ^c	10.97 ^c	7.29 ^a
	40	4.03 ^{bc}	5.49 ^b	6.46 ^b	10.97 ^c	11.35 ^c	7.13 ^a
Microwave Irradiation (minutes)	3	3.19 ^c	3.69 ^d	4.09 ^c	12.79 ^b	12.92 ^b	4.69 ^c
	5	3.49 ^{bc}	3.98 ^c	4.39 ^c	13.92 ^a	14.04 ^a	5.49 ^b
SEM		0.381	0.108	0.157	0.217	0.204	0.258
P-Value		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Group comparisons							
Control vs Irradiation		0.59	0.0002	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Control vs Gamma		0.2	<0.0001	0.0009	<0.0001	<0.0001	0.046
Control vs Microwave		0.04	<0.0001	<0.0001	0.16	0.018	<0.0001
Gamma vs Microwave		0.0011	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

* The means with different letters in each column have a significant difference (P<0.05)

1=RUP: Rumen Undegradable Protein

2=MP: Metabolizable Protein

درصد در ساعت به ترتیب ۸/۴۷، ۱۲/۶۹ و ۱۵/۷۱ درصد افزایش یافت (p<۰/۰۵). تحت تأثیر پرتو دهی کنجاله گلرنگ با مایکروویو به مدت ۳ دقیقه، مقدار پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه در سرعت های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت به ترتیب به میزان ۲۲/۵۷، ۳۲/۰۴ و ۳۵/۶۹ درصد نسبت به کنجاله عمل آوری نشده

پرتو دهی کنجاله گلرنگ با مایکروویو به مدت ۳ دقیقه مقدار پروتئین قابل تجزیه در شکمبه در سرعت های عبور ۵ و ۸ درصد در ساعت به ترتیب ۴/۲۶ و ۶/۹۶ درصد نسبت به کنجاله عمل آوری نشده افزایش یافت و با افزایش زمان پرتو دهی به مدت ۵ دقیقه مقدار پروتئین قابل تجزیه در شکمبه در سرعت های عبور ۲، ۵ و ۸

کاهش یافت ($p < 0.05$). پرتودهی با مایکروویو به مدت ۳ دقیقه سبب کاهش مقدار پروتئین قابل متابولیسم در سرعت عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت به ترتیب به میزان ۶/۲۳، ۷/۵۸ و ۳۹/۲۴ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده شد ($p < 0.05$). پرتودهی با گاما در دز ۲۰ کیلوگری سبب کاهش پروتئین قابل تجزیه مؤثر در سرعت‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت به ترتیب به میزان ۲۱/۸۱، ۲۴/۱۲ و ۷/۹۸ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده شد ($p < 0.05$). پرتودهی با گاما با دز ۲۰ کیلوگری، مقدار پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه را در سرعت‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت به ترتیب به میزان ۲۳/۵۴، ۲۰/۸۱ و ۱۸/۳۹ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده افزایش داد ($p < 0.05$). مقایسه اثر کلی پرتوهای گاما و الکترون بر RDP، ERDP، RUP و MP معنی دار شد ($p < 0.05$).

تأثیر پرتودهی با گاما ۲۰ کیلوگری بر کاهش مقدار پروتئین قابل تجزیه در شکمبه و افزایش مقدار پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه را می‌توان به کاهش مقدار پروتئین خام با تجزیه سریع کنجاله گلرنگ نسبت داد. به طوری که در مطالعات قبلی نیز تحت تأثیر پرتودهی با دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری پرتوهای یون‌سان، همگام با کاهش در مقدار پروتئین خام با تجزیه سریع، کاهش در ناپدید شدن ماده خشک کنجاله آفتابگردان مشاهده شد (قنبری و همکاران ۲۰۱۵). پرتوی گاما سبب باز شدن رشته‌های پروتئین شده و با ایجاد پیوندهای عرضی پروتئین‌ها و تشکیل ژل سبب ایجاد پیوندهای مقاوم در برابر آنزیم‌ها و میکروارگانیزم‌ها به سوبسترا شده و در نتیجه افزایش پروتئین عبوری از شکمبه به روده می‌شود (لی و همکاران ۲۰۰۵؛ ون سوئست ۱۹۹۴).

در مغایرت با نتایج این تحقیق در برخی مطالعات نیز روش‌های مختلف عمل‌آوری حرارتی سبب کاهش پروتئین قابل تجزیه در شکمبه دانه جو (یان و همکاران

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که پرتو گاما و مایکروویو بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام مؤثر بود. عمل‌آوری با پرتو گاما نسبت به پرتو مایکروویو سبب افزایش پروتئین عبوری و کاهش پروتئین قابل تجزیه در شکمبه و افزایش پروتئین قابل متابولیسم کنجاله گلرنگ شد. پیشنهاد می‌شود تأثیر مصرف کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو گاما و مایکروویو بر عملکرد تولیدی نشخوارکنندگان مورد بررسی قرار گیرد.

پروتئین قابل تجزیه در شکمبه دانه جو (یان و همکاران

منابع مورد استفاده

- Abu J O, Muller K, Duodu K G and Minnaar A 2006. Gamma irradiation cowpea (*Vigna unguiculata L, Walp*) flours and pastes: effects of functional, thermal and molecular properties if isolated proteins. *Food Chemistry*. 95:138-147.
- AOAC 1990. Official Methods of Analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.
- AFRC 1992. Nutritive requirements of ruminant animal: Protein. *Nutrition Abstracts and Reviews*. 62:787-835. CAB. International Wallingford.
- Alves JLR, Goes RHT, Martinez AC, Nakamura AY, Gandra JR and Souza LCF 2018. Ruminant parameters and ruminal degradability of feedlot sheep fed safflower grains. *Revista Brasileira de Saude e Producao Animal*. 19: 324-335.
- Aminipour H, Salamatdoost Nobar R, Maheri Sis N, Najafyar S and Salamat Azar M 2010. Determination of whole safflower seed cultivar IL-112 degradability by nylon bag method. *Journal of Animal Science*. 3:43-50.
- Bashtani M, Farhangfar H and Ganji F 2017. Effect of pelleting on the chemical composition, nitrogen fraction and degradability characteristics of a commercial concentrate by two in vitro methods. *Journal of Animal Science*. 28(2): 35-50.
- Ciesla K, Roos Y and Gluszewski W 2000. Denaturation processes in gamma irradiated proteins studied by differential scanning calorimetry. *Radiation Physics and Chemistry*. 58:233-243.
- Dong X, Wang J and Raghavan V 2021. Impact of microwave processing on the secondary structure, *in-vitro* protein digestibility and allergenicity of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) proteins. *Food Chemistry*. 337:127811.
- Doymaz I 2014. Infrared Drying Characteristics of Bean Seeds. *Journal Food Process Preservation*. 39(6): 933-939.
- Ebrahimi SR, Nikkhah A, Sadeghi AA and Raisali G 2009. Chmical composition, secondry compounds, ruminal degradation and in vitro crude protein digestibility of gamma irradiated canola seed. *Animal Feed Science Technology*. 151:184-193.
- Ebrahimi SR, Nikkhah A and Sadeghi AA 2011. Changes in nutritive value and digestion kinetics of canola seed due to microwave irradiation. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*. 27: 347-354.
- Ebrahimi SR, Nikkhah A and Sadeghi AA 2019. Effect of microwave irradiation on nutritional value of native rapeseed meal. *Journal of Animal Science (Pajooresh and Sazandegi)*.126: 129-146.
- Farag MDEH 1998. Effect of radiation and other processing methods on protein quality of sunflower meal. *Journal of Science Food Agriculture*. 79:1565-1570.
- Fathi Nasri MH, France J, Danesh Mesgaran M and Kebreab E 2008. Effect of heat processing on ruminal degradability and intestinal disappearance of nitrogen and amino acid in Iranian whole soybean. *Journal of Livestock Science*. 113:43-51.
- Fattah A, Sadeghi AA, Nikkhah A, chamani M and Shawrang P 2013. Degradation characteristics of infrared processed barley grain and its feeding effects on ruminal PH of sheep. *Iranian Journal of Applied Animal Science*. 3(3): 451-457.
- Fellows PJ 2000. *Food Processing Technology. Principles and Practice, Third Edition*. CRC press, Oxford, UK.
- Folawiyo YL and Apenten RKO 1997. The effect of heat- and acid-treatment on the structure of rapeseed albumin (napin). *Food Chemistry*. 58:237-243.
- Gaber MH 2005. Effect of Gamma irradiation on molecular properties of bovine serum albumin. *Journal of Bioscience Bioengineering*. 100: 203-206.
- Ghanbari F, Ghoorchi T, Shawrang P, Mansouri H and Torbati- Nejad NM 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(6): 672-678.
- Ghanbari F, Ghorchi T, Shawrang P, Mansouri H and Torbatinejad N 2015. Effect of irradiation on ruminal disappearance of dry matter and crude protein and in vitro digestibility of canola meal. *Journal of Animal Science (pajouhesh and sazandegi)*. 26:55-66.

- Ghorbani B, Ghoorchi T, Shawrang P and Zerehdaran S 2017. Effects of different level of gamma irradiation on barley and soybean seeds on rumen degradation rate and performance of lambs. *Research on Animal Production*. 8 (15): 58-67.
- Jalilian S, Fatahnia F, Showrang P, Mousavi SGR and Mohammadzadeh H 2015. Effect of different irradiation methods of different protein fractions, ruminal degradability and intestinal digestibility of safflower meal protein. *Journal of Animal Science*. 25(2): 69-80.
- Jackson FS, Barry TN, Lascano C and Palmer B 1996. The extractable and bound condensed tannin content of leaves from tropical tree. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 71: 103-110.
- Kamalak A, Canbolat O, Gurbuz Y and Ozan O 2005. Protected protein and amino acids in ruminant nutrition. *Journal of Science and Engineering* 8: 84-88.
- Lacroix M Le T C Ouattara B Yu H Letendre M Sabato S F 2002. Use of gamma irradiation to produce films from whey, casein and soya proteins: structure and functionals characteristics. *Radiation Physics and Chemistry*. 63:827-832.
- Lee Y, Bin-Song K 2002. Effect of g-Irradiation on the Molecular Properties of Myoglobin. *Journal Biochemistry Molecular and Biology*. 35(6): 590-594.
- Lee SL, Lee MS and Song KB, 2005. Effect of gamma-irradiation on the physicochemical properties of gluten films. *Food Chemistry* 92:621-625.
- Mafi H 2007. Safflower (Cultivation of Industrial Plants). Master Thesis. Islamic Azad university, Takestan Branch.
- Mansuri H, Nikkhah A, Rezaeian M, Moradi Shahrababak M and Mirhadi SA 2003. Determination of Roughages Degradability through In vitro Gas Production and Nylon Bag Techniques. *Journal of Iran Agricultural Science*. 34(2): 495-507.
- National Research Council 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, seventh revised ed. National Academy of Sciences, Washington, D.C.
- Najafyar S 2009. Estimation of metabolizable energy and intestinal digestibility of whole processed safflower seeds by laboratory and enzymatic gas production methods. Master Thesis. Islamic Azad University, Shabstar Branch.
- Orskov ER and Mc Donald IM 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science*. 92: 499 -503.
- Orskov ER and McDonald IM 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science* 127:113-123.
- Piradl E Pirmohammadi R and Khalilvandi H 2017. Effect of gamma irradiation on barley grain varieties on changes of chemical compounds and rumen starch and crude protein degradability. *Journal of Animal Science*. 1:153-173.
- Sadeghi AA and Shawrang P 2008. Effects of microwave irradiation on ruminal dry matter, protein and starch degradation characteristics of barley grain. *Animal Feed Science and Technology*. 141: 184-194.
- Sarvari S, Hosseinkhani A, Taghizadeh A, Janmohammadi H and Mohammadzadeh H 2017. The effect of variety and roasting on physical characteristics and ruminal degradability of barley grain. *Journal of Animal Science*. 27: 47-63.
- 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*. 94:6092-6102.
- Schwab CG Boucher SE and Sloan BK 2007. Metabolizable protein and amino acid nutrition of the cow. In: *Proceedings of the Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers*. P. 121-138.
- Shawrang P and Sadeghi AA 2006. Effects of gamma irradiation on protein degradation of safflower meal in the rumen. *Proceedings of the British Society of Animal Science*. University of York, UK. PP 168.
- Shawrang P Nikkhah A Sadeghi AA Zareh A and Raisali G 2006. Monitoring the fate of gamma irradiated canola meal proteins in the rumen. *Journal of Animal Science*. 84, Suppl. 1/ *Journal of Dairy Science*. 89. (Suppl.1). pp. 368.
- Shawrang P, Nikkhah A, Sadeghi AA, Zareh A, Raisali G and Moradi Shahrehababak M 2007. Effects of gamma irradiation on protein degradation of soybean meal in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*. 134: 140-151.
- Shawrang P, Nikkhah A, Sadeghi AA, Zareh A, Raisali G and Moradi Shahrehababak M 2008. Effect of gamma irradiation on chemical composition and ruminal protein degradation of canola meal. *Radiation Physics and Chemistry*. 77: 918-922.

- Shawrang P, Jalilian S, Fatahnia F, Sadeghi AA and Mehrabi AA 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*. 27(4): 217-229.
- Sheikhalipour A, Hosseinkhani A, Taghizadeh A and Mohammadzadeh H 2018. Effect of different heat processing methods on nutritive value of common vetch seed in ruminant. *Iranian Journal of Animal Science*. 49(3): 427-436.
- Shishir SR, Brodie G, Cullen B, Kaur R Cho K and Cheng L 2020. Microwave heat treatment induced changes in forage hay digestibility and cell microstructure. *Applied Science*. 10: 1-11.
- Siddhuraju P, Makkar HPS and Becker K 2002. The effect of ionizing radiation on antinutritional factors and the nutritional value of plant materials with reference to human and animal food. *Food Chemistry*. 78: 187-205.
- Stern M, Santos K and Satter L 1985. Protein degradation in rumen and amino acid absorption in small intestine of lactating dairy cattle fed heat-treatment whole soybeans. *Journal of Dairy Science*. 68:45-56.
- Taghinejad-Roudbaneh M, Kazemi-Bonchenari M, Salem AZM and Kholif AE, 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: 144-150.
- Taghinejad-Roudbaneh M Ebrahimi SR Azizi S and Shawrang P 2010. Effect of electron beam irradiation on chemical composition, antinutritional factors, ruminal degradation and in vitro protein digestibility of canola meal. *Radiation Physics and Chemistry*. 79, 1264-1269.
- Taibipour k and Kermanshahi H 2004. Effect of levels of tallow and NSP degrading enzyme supplements on nutrient efficiency of broiler chickens. *Proceeding of the Annual Conference of the British Society of Animal Science* 273: 5-7. University of York, UK.
- Tilly JMA and Terry RA 1963 A two stages technique for the in vitro digestion of forage crops. *Journal British Grassland Society*. 18: 104-111.
- Van Soest PJ, Robertson JB and Lewis BA 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74, 3583-3597.
- Van Soest PJ 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2nd Edition. Cornell University Press. NY. USA.
- Wahyono T, Lelaningtyas N and Sihono S, 2017. Effects of gamma irradiation on ruminal degradation of Samurai 1 Sweet Sorghum. *At Indones*. 43(1): 35-39.
- Yan X, Khan NA, 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 subfractions, and digestion in dairy cows. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 62(28):6546-6555.
- Zarei M, Kafilzadeh F and Shawrang P 2016. In vitro gas production and dry matter digestibility of irradiated pomegranate (*Punica granatum*) seeds. *Iranian Journal of Applied Animal Science*. 6(1): 25-34.

Effect of gamma and microwave irradiation on ruminal degradability of dry matter, crude protein and metabolizable protein of safflower meal

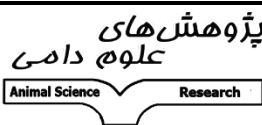

MR Azizi¹, SR Ebrahimi-Mahmoudabad^{2*} and A Fattah²

Received: December 1, 2021 Accepted: May 24, 2023

¹PhD student, Department of Animal Science, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

²Associate Professor and Assistant Professor, respectively, Department of Animal Science, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

*Corresponding author: Ebrahimiya@d@yahoo.com

 <p>پژوهش‌های علوم دامی Animal Science Research</p>	<p>Journal of Animal Science/vol.33 No.2/ 2023/pp 1-17 https://animalscience.tabrizu.ac.ir</p>	 <p>OPEN ACCESS</p>
<p>© 2009 Copyright by Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/) DOI: 10.22034/AS.2022.49072.1639</p>		

Introduction: Safflower meal (SF) is utilized as a protein source in ruminant diet, however the protein of is highly degradable by rumen microorganisms. One of the most important factors in determining the protein value of feed for growing or lactating ruminants is the amounts of dietary proteins escape from rumen degradation. Several processing methods such as chemical and physical treatments have been well applied to protect crude protein from microbial degradation. Chemical processing causes environmental pollution which may adversely affect protein digestibility in the small intestine and in some cases may appear in animal products (NRC 2001; Schwab et al 2007). Ionizing radiation such as gamma ray has so much energy it can knock electrons out of atoms and causes fragmentation, cross-linking, aggregation, and oxidation by oxygen radicals generated in the radiolysis of water in proteins. Advantages of microwave irradiation compared to conventional heating are faster heating rates, shorter processing times and energy efficiency. Studies have shown that GR irradiation of sunflower meal, cottonseed meal, and canola meal were successful in reducing degradation of CP by rumen microorganisms (Ghanbari et al 2015; Taghinejad-Roudbaneh 2016). However, there is lack of information on effects of heating and irradiation with gamma ray and microwave irradiation on SF protein degradability. Therefore, the purpose of present study was to evaluate and compare the effects of gamma irradiation at doses of 20 and 40 kGy and microwave irradiation for 3 and 5 minutes on ruminal DM and CP degradation kinetics as well as digestibility of SF.

Material and methods: This research was carried out in Karaj Animal Science Research Institute. First, safflower seeds of Golmehr cultivar were prepared from the institute approved by the General Department of Oilseed of the Ministry of Jihad-e-Agriculture. The DM of SF was determined and then, sufficient water was added to sample to increase the moisture content SF to 250 g/kg. Then, two samples (500 g each) were subjected to microwave irradiation at a power of 800 W for 3 and 5 min. Another two samples (500 g each) were subjected to gamma irradiation at doses of 20 and 40 kGy. The samples were ground to pass a 2 mm screen for the ruminal *in situ* study. Degradation kinetics of DM and CP were determined according to *in situ* procedure (Orskov and McDonald 1979). Six g of untreated or irradiated feed samples were incubated in the rumen of three ruminally fistulated bulls for periods of 0, 2, 4, 8, 16, 24 and 48 h. Then, bags were removed from rumen and washed with cold water and dried in an oven at 65 °C for 48 hours and weighed. To determine the

degradability of the DM and protein, residuals of bags were weighed. In order to determine the digestibility of SF, two-stage digestion was used method (Tilly and Terry 1963). DM and CP degradability parameters were estimated by using equation of $P=a+b(1-e^{-ct})$. Chemical composition data were statistically analyzed in a completely randomized design and degradability data were statistically analyzed in a completely randomized block design with GLM procedures of SAS software. Differences among the means were determined by LSD test, at a significant level of $P<0.05$.

Results and discussion: Different treatments had not significant effect on the chemical composition of SF ($P>0.05$). The DM and organic matter digestibility of SF was reduced by irradiation ($P<0.05$). The mechanism for reducing digestibility in heat-processed feeds is very complex. During heat treatment, chemical reactions (such as the Millard reaction), protein structure changes, and cross-linking between protein and carbohydrates may occur. These reactions convert feed proteins into resistant digestible compounds and are responsible for reducing the digestibility of DM and organic matter after microwave processing (Van Soest 1994). Microwave irradiation for 3 and 5 minutes increased the rapidly degradable fraction of DM and CP and degradation rate of CP. Microwave irradiation for 3 and 5 minutes decreased the potentially degradable fraction of DM and CP ($P<0.05$), also irradiation by microwave for 3 and 5 minutes decreased slowly degradable fraction of DM and CP ($P<0.05$). Gamma irradiation at doses of 20 and 40 KGy reduced the rapidly degradable fraction of DM and CP ($P<0.05$). Gamma irradiation at doses 20 and 40 KGy reduced the effective degradability of CP and DM at ruminal outflow rate of 2, 5 and 8% ($P<0.05$). Reduction of CP degradability as a result of irradiation is due to the occurrence of cross-linking of polypeptide chains, denaturation and protein aggregation (Ciesla et al 2000). Under the effect of microwave irradiation for 3 and 5 minutes, the effective degradability of DM and CP increased compared to gamma irradiation ($P<0.05$). Gamma irradiation increased the potentially degradable fraction of CP ($P<0.05$). Gamma irradiation increased the slowly degradable fraction of CP ($P<0.05$). Gamma irradiation at dose of 20 kGy increased undegradable protein at ruminal outflow rate of 2, 5 and 8%. Also, microwave irradiation for 3 and 5 minutes reduced undegradable protein compared to the control ($P<0.05$). Microwave irradiation for 3 and 5 minutes increased the rumen degradable protein at ruminal outflow rate of 5 and 8% ($P<0.05$). The highest amount of rumen degradable protein was related to microwave irradiation for 5 minutes ($P<0.05$). metabolizable protein (MP) of microwave irradiated-SF at ruminal outflow rate of 5 and 8% was not significantly different compared to control ($P>0.05$), however microwave radiation for 3 minutes significantly reduced MP of SF compared to control ($P<0.05$). Microwave irradiation for 3 minutes at ruminal outflow rate of 0.02, 0.05 and 0.08% decreased MP of SF by 6.23, 7.58 and 39.24% compared to untreated samples, respectively. Gamma radiation at doses of 20 and 40 kGy decreased MP at ruminal outflow rate of 2 and 5%, but at ruminal outflow rate of 8% was not significantly different compared to control.

Conclusion: The results of this experiment showed that however, gamma irradiation of SF decreased MP of SF, but gamma irradiation compared to other treatments decreased rumen degradable protein and increased rumen undegradable protein. Subsequently, *in vivo* studies are required to investigate effect of feeding irradiated-SF on performance of ruminants.

Keyword: Gamma Irradiation, Microwave, Rumen degradability, Safflower meal