نشریه علوم دامی
(پژوهش و سازندگی)

شماره ۱۳٤، بهـار ۱٤۰۱
ص‌ص: ۲۹~٤۲

تأثیر پرتودهی با اشعه الکترون و مادون قرمز بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام و پروتئین قابل متابولیسم کنجاله دانه گلرنگ

- **محمدرضا عزیزی**
دانشجوی دکتری تغذیه دام، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس.
- **سید روح اله ابراهیمی محمود آباد** (نویسنده مسئول)
دانشیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس.
- **امیر فتاح**
استادیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس.

تاریخ دریافت : خرداد ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش : مرداد ۱۴۰۰
شماره تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۳۲۷۴۳۱۸۳
Email: ebrahimiyazd@yahoo.com

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ASJ.2021.355075.2160

چکیده

این آزمایش با هدف بررسی تأثیر پرتودهی کنجاله گلرنگ با الکترون با دُزهای ۲۰ و ٤۰ کیلوگری و مادون قرمز به مدت ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام و پروتئین قابل متابولیسم به روش کیسه‌های نایلونی انجام شد. بدین منظور از سه رأس گاو نر بالغ دشتیاری با وزن زنده ۱۰±۲۹۷ کیلوگرم مجهز به فیستولای شکمبه‌ای استفاده شد. نتایج آزمایش نشان داد که پرتوتابی با الکترون و مادون قرمز تأثیر معنی‌داری بر ترکیبات شیمیایی کنجاله گلرنگ داشت (P<۰/۰۱). پرتوتابی سبب افزایش بخش سریع تجزیه و کند تجزیه ماده خشک و پروتئین خام شد (P<۰/۰۱). تحت تأثیر پرتودهی با الکترون و مادون قرمز، تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک و پروتئین خام نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده افزایش یافت. پرتودهی با مادون قرمز سبب افزایش پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه در سرعت عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت شد. بیشترین مقدار پروتئین قابل متابولیسم مربوط به پرتوتابی با مادون قرمز به مدت ۱۲۰ ثانیه بود (P<۰/۰۱). بر اساس نتایج این آزمایش پرتوتابی کنجاله گلرنگ با مادون قرمز به مدت ۱۲۰ ثانیه نسبت به سایر تیمارها می‌تواند بر افزایش پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه، پروتئین قابل متابولیسم و در نهایت بهبود کیفیت این کنجاله مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: اشعه الکترون، اشعه مادون قرمز، پروتئین قابل‌متابولیسم، تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای، کنجاله گلرنگ.

Animal Science Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 134 pp: 29-42

The effects of electron beam and infrared irradiation on ruminal crude protein and dry matter degradation and metabolizable protein of safflower meal

By: azizi, mohamadreza [1],Sayyed Roohollah Ebrahimi-Mahmoudabad *[2], Fattah, Amir[2]
1: Islamic Azad university, Shahr-e- Qods , Tehran, Iran
2: Department of Animal Science, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: June 2021 **Accepted: August 2021**

The objective of this study was completed to evaluate the effects of electron beam irradiation (EBI) at doses of 20 and 40 KGy and infrared irradiation (IR) for 90 and 120 second on ruminal degradation of dry matter (DM) and crude protein (CP), and Metabolizable protein (MP) of safflower meal (SM) by nylon bags technique. Three ruminally fistulated Dashtyari cows with an average live weight of 520±5 kg were used. The result of experiment showed that chemical composition of SM was affected by radiations(P<0.01). EBI and IR increased rapidly degradable fraction (*a*) and slowely degradation fraction (b) of DM and CP (P<0.01). Effective degradability of DM and CP was increased by EBI and IR compared to untreated SM. IR increased rumen undegradable protein (RUP) at ruminal outflow rate 0.02, 0.05 and 0.08/h. The highest values of MP were observed by irradiation of SM with IR for 120 seconds (P<0.01). According to results of this study, irradiation of SM with IR for 120 seconds relative to other treatments had better effect on increasing of RUP and MP and improving of quality of safflower meal.

Key words: Electron, Infrared, Metabolizable protein, Ruminal degradation, Safflower meal.

مقدمه

اقلیم خشک و نیمه‌خشک کشور کاهش تولید محصولات کشاورزی، کمبود خوراک دام و در نهایت افزایش هزینه تأمین خوراک مورد نیاز جمعیت دامی را به دنبال داشته است (Shakeri، ۲۰۱۶). در این راستا استفاده بهینه از منابع موجود قابل استفاده در خوراک دام، به ویژه منابع پروتئینی که گرانترین اجزای جیره هستند راه‌کار موفقی جهت کاهش هزینه‌های خوراک و توسعه صنعت دامپروری می‌باشد. کنجاله حاصل از روغن‌گیری دانه‌ها به عنوان مکمل‌های پروتئینی در جیره نشخوارکنندگان استفاده می‌شوند. اما تجزیه‌پذیری گسترده پروتئین این کنجاله‌ها بوسیله میکروارگانیسم‌های شکمبه استفاده از آن‌ها را به عنوان یک منبع پروتئین عبوری با محدودیت همراه می‌کند (Tuncer و Sacakli، ۲۰۰۳). افزایش مقدار پروتئین قابل تجزیه شکمبه‌ای در جیره، سبب افزایش تولید آمونیاک در شکمبه می‌شود که با توجه به ظرفیت محدود شکمبه در استفاده از آن برای ساخت پروتئین میکروبی، مازاد آن جذب شده و در کبد به اوره تبدیل می شود (NRC، ۲۰۰۱). افزایش آمونیاک شکمبه و در نتیجه افزایش اوره پلاسما کاهش عملکرد تولیدی و تولیدمثلی، هدرروی انرژی جهت دفع نیتروژن اضافی، افزایش دفع نیتروژن به محیط، افزایش هزینه خوراک و کاهش کیفیت شیر را در پی دارد (Schwab و همکاران، ۲۰۰۷). از این‌رو عمل‌آوری کنجاله‌ها با روش‌های فیزیکی یا شیمیایی راهکار مؤثری جهت کاهش تجزیه پروتئین در شکمبه و افزایش پروتئین عبوری جیره است (McNiven و همکاران، ۲۰۰۲). از جمله روش‌های فیزیکی که اخیراً در کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین خام دانه‌ها و کنجاله‌های پروتئینی به وسیله میکروارگانیسم‌های شکمبه موفق بوده است،

استفاده از پرتوهای الکترون (غیرحرارتی) و مادون قرمز (حرارتی) می‌باشد (Mani و Chandra، ۲۰۰۳). پرتوهای الکترون یون‌ساز بوده و عمل‌آوری با این پرتوها بدون افزایش دما در ماده خوراکی انجام می‌شود؛ در حالی‌که عمل‌آوری با مادون قرمز با تولید گرما وافزایش حرکت و برخورد مولکول‌های آب در ماده خوراکی اتفاق می‌افتد (Aboud و همکاران، ۲۰۱۹). دانه گلرنگ یکی از انواع دانه‌های روغنی است که در بیشتر از ۶۰ کشور جهان جهت استحصال روغن کشت می‌شود، روغن حاصل از این دانه با داشتن مقدار بالای اسید لینولئیک مقبولیت زیادی جهت مصارف انسانی دارد. همچنین کنجاله حاصل از روغن‌گیری این محصول با داشتن مقدار مطلوب پروتئین، قابلیت ویژه‌ای جهت استفاده در تغذیه دام دارد (Alizadeh و همکاران، ۲۰۱۱). در تحقیقات انجام شده بر کنجاله گلرنگ کیفیت کنجاله آن را به مقدار پوسته و روغن باقی‌مانده در آن نسبت داده‌اند؛ به‌طوری که بیان شده است کنجاله پوست‌گیری نشده دارای ۲۰ تا ۲۵ درصد پروتئین‌خام و ۴۰ درصد فیبر و کنجاله پوست‌گیری شده دارای ۴۰ درصد پروتئین خام و ۱۰ درصد فیبر می‌باشد (Buendía-Rodríguez و همکاران، ۲۰۱۹). در مطالعات متعدد، تأثیر پرتوتابی بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری دانه‌ها و کنجاله‌ها نشان داده شده است. در یک بررسی پرتودهی دانه جو با مادون قرمز به مدت ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ ثانیه سبب کاهش بخش کند تجزیه شونده و بخش بالقوه تجزیه پذیر نشاسته جو شد و تجزیه‌پذیری مؤثر نشاسته با افزایش مدت زمان پرتودهی به ۹۰ ثانیه به طور خطی کاهش یافت (Fattahو همکاران، ۲۰۱۳). در مطالعه دیگری پرتوتابی کنجاله سویا با الکترون با دُز ۴۵ کیلوگری و مادون قرمز به مدت ۳۰ ثانیه سبب کاهش مقدار بخش سریع تجزیه و کند تجزیه، ثابت نرخ تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام شد (شورنگ و همکاران، ۱۳۹۶). در مطالعه دیگری دُزهای متفاوت الکترون تأثیرات متفاوتی بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری انواع کنجاله داشت؛ بطوری که دُز ۱۵۰کیلوگری الکترون سبب افزایش مقدار بخش سریع تجزیه پروتیئن و کاهش بخش کند تجزیه، ثابت نرخ تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر کنجاله سویا شد و دُزهای ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگری الکترون سبب کاهش بخش سریع تجزیه و بخش کند تجزیه پروتئین خام کنجاله کلزا شد. همچنین مشخص شد دُز ۱۵۰کیلوگری الکترون فقط بر کاهش بخش کند تجزیه ماده خشک و پروتئین خام دانه خلر مؤثر بود (طحان و همکاران، ۱۳۹۰). در مطالعات قبلی تأثیر پرتوهای مختلف بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام برخی مواد خوراکی بررسی شده است؛ ولی از آن‌جا که اثرات پرتو الکترون و مادون قرمز بر ارزش غذایی کنجاله گلرنگ مورد بررسی قرار نگرفته است و پرتوتابی تأثیرات متفاوتی بر تجزیه‌پذیری و ارزش غذایی دانه‌ها و انواع کنجاله‌های قابل استفاده در خوراک دام دارد، این تحقیق به منظور بررسی تأثیر پرتوهای الکترون و مادون قرمز بر ترکیبات شیمیایی و تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام و پروتئین قابل متابولیسم کنجاله گلرنگ انجام شد.

مواد و روش‌ها

جهت تهیه کنجاله گلرنگ، 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. سپس با افزودن آب دیونیزه به نمونه‌ای از کنجاله‌ها رطوبت آن‌ها به ۲۵ درصد رسانده شد. پرتودهی نمونه‌ها با دُز ۲۰ و ۴۰ کیلوگری الکترون در مرکز پرتو فرآیند یزد با استفاده از شتاب‌دهنده الکترون مدل TT200 با انرژی ثابت ۱۰ مگا الکترون ولت و جریان باریکه الکترونی ۶ میلی‌آمپر و با خطای حداکثر ۱۰ درصد انجام شد. پرتودهی نمونه‌ها با مادون‌قرمز به مدت ۹۰ و ۱۲۰ ثانیه با استفاده از دستگاه آون مجهز به لامپ مادون قرمز با قدرت ۱۰۰۰ وات انجام گرفت (Fellows، ۲۰۰۰).

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 Van Soest و همکاران (۱۹۹۱) تعیین شد.

آزمایش تجریه‌پذیری با استفاده از تکنیک کیسه‌های نایلونی انجام شد (Ørskov و McDonald، ۱۹۷۹). بدین منظور از سه رأس گاو نر بالغ نژاد دشتیاری با وزن زنده ۱۰±۲۹۷ کیلوگرم مجهز به فیستولای شکمبه‌ای(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 ۱۶/۰۰تغذیه شدند (AFRC، ۱۹۹۲). برای تعیین میزان تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای، نمونه‌های کنجاله گلرنگ بدون پرتودهی 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 ابعاد۱۰×۲۰ 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. محتویات کیسه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شد (Adesogan، ۲۰۰۵).

جدول ۱- جیره غذایی گاوهای نر اخته شده آزمایشی

مواد خوراکی	درصد ماده خشک
یونجه	۵۰/۰۰
کاه گندم	۱۶/۶۷
جو	۲۶/۶۷
دانه ذرت	۳/۳۳
سبوس گندم	۱/۶۶
کنجاله پنبه‌دانه	۱/۳۳
مکمل ویتامینی و معدنی	۰/۳۴

برای تعیین تجزیه‌پذیری ماده خشک، باقی‌مانده داخل کیسه‌ها توزین شد، همچنین جهت تعیین تجزیه‌پذیری پروتئین، میزان پروتئین‌خام محتویات کیسه‌ها اندازه‌گیری شد. فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین‌خام تیمارهای آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار*Fit curve* و به کمک رابطه‌های زیر برآورد شد (AFRC، ۱۹۹۲).

$$P=a+b(1-e^{-ct})$$
$$QDP=a\times CP$$
$$SDP=[(b\times c)/(c+k)]\times CP$$
$$RDP=QDP+SDP$$
$$ERDP=0/8(QDP)+SDP$$
$$RUP=CP(1-a-(bc/c+k))$$
$$DUP=0/9[(RUP)-(6.25\times AIDN)]$$
$$MP=0/6375(ERDP)+DUP$$
$$ED=a+[(b\times c)/(c+k)]$$

که در این رابطه‌ها، P: مقدار ناپدیدشدن در زمان t، a: بخش با تجزیه سریع، b: بخش با تجزیه کند، e: عدد نپر(۲/۷۱۸۲)، c:ثابت نرخ تجزیه، t: مدت زمان انکوباسیون در شکمبه (ساعت)، QDP: پروتئین سریع تجزیه در شکمبه، SDP، پروتئین کند تجزیه در شکمبه، RDP: پروتئین قابل تجزیه در شکمبه، ERDP: پروتئین قابل تجزیه مؤثر در شکمبه، RUP: پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه، DUP: پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه اما قابل هضم در روده باریک، 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 در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی (مدل ۲) با استفاده از نرم‌افزارSAS و رویه

GLM تجزیه آماری شدند. میانگین‌ها با آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار در سطح خطای پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

مدل۱ $Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}$

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

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

اثرات عمل‌آوری با پرتو الکترون و مادون قرمز بر ترکیبات شیمیایی کنجاله گلرنگ در جدول ۱ گزارش شده است. عمل‌آوری با پرتو الکترون و مادون قرمزتأثیر معنی‌داری بر ترکیبات شیمیایی کنجاله گلرنگ داشت (P<۰/۰۱)؛ به‌طور مشابه در تحقیقات پیرعدل و همکاران (۱۳۹۶) پرتودهی با مایکروویو سبب تغییر ترکیبات شیمیایی دانه جو شد.در مقابل شورنگ و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که پرتودهی کنجاله سویا با پرتوهای گاما، الکترون، مایکروویو و مادون قرمز تأثیری بر ترکیبات شیمیایی آن نداشت. در این تحقیق تحت تأثیر پرتودهی، ماده خشک کنجاله گلرنگ افزایش یافت. نتایج تحقیقات انجام شده در مورد تأثیر پرتودهی بر ماده خشک مواد خوراکی متفاوت است بطوری که تحت تأثیر پرتودهی با مایکروویو افزایش ماده خشک دانه سویا (Golshan و همکاران، ۲۰۱۹) و کاهش ماده خشک دانه جو (پیرعدل و همکاران، ۱۳۹۶) گزارش شده است. Golshan و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر امواج مایکروویو بر افزایش ماده خشک دانه سویا را به تأثیر این امواج بر کاهش ظرفیت نگهداری رطوبت در سویا نسبت دادند. از این‌رو تفاوت در نتایج ذکر شده می‌تواند ناشی از متفاوت بودن نوع ماده خوراکی، مدت زمان پرتودهی، درجه حرارت و میزان رطوبت‌دهی ماده خوراکی قبل از پرتودهی باشد. پرتودهی با الکترون با دُز ۲۰ کیلوگری و افزایش مدت زمان پرتودهی با مادون قرمز از ۹۰ به ۱۲۰ ثانیه سبب کاهش پروتئین خام کنجاله گلرنگ شد. تأثیرات مخرب حرارت که موجب واکنش میلارد و تشکیل کمپلکس بین پروتئین و اجزای دیواره سلولی می‌شود بر کاهش پروتیئن خام کنجاله گلرنگ نیز مؤثر است. همچنین با توجه به اینکه ترکیبات شیمیایی به صورت درصدی از ماده خشک بیان می‌شوند از این‌رو همگام با افزایش ماده خشک کنجاله گلرنگ غلظت پروتئین خام و خاکستر خام کاهش یافت.

جدول ۲- ترکیب شیمیایی کنجاله گلرنگ بدون پرتودهی و پرتودهی شده (درصد از ماده خشک)

	شاهد	الکترون(کیلوگری)		مادون قرمز(ثانیه)		انحراف استاندارد	سطح
		۲۰	۴۰	۹۰	۱۲۰	میانگین‌ها	معنی‌داری
ماده خشک	۹۵/۷۱^{c}	۹۵/۸۳^{b}	۹۵/۸۴^{b}	۹۵/۸۳^{b}	۹۵/۹۲^{a}	۰/۰۲۲	۰/۰۰۲
پروتئین خام	۲۷/۴۹^{b}	۲۶/۷۴^{d}	۲۷/۶۳^{a}	۲۷/۳۳^{c}	۲۵/۹۷^{e}	۰/۲۰۴	<۰/۰۰۰۱
عصاره اتری	۰/۴۱^{c}	۰/۶۴^{b}	۰/۴۳^{c}	۰/۹۳^{a}	۰/۹۲^{a}	۰/۰۷۶	۰/۰۰۰۱
خاکستر خام	۳/۸۲^{a}	۳/۸۴^{a}	۳/۶۶^{b}	۳/۷۲^{b}	۳/۴۶^{c}	۰/۰۴۶	۰/۰۰۰۱
الیاف نامحلول در شوینده خنثی	۶۰/۰۰^{a}	۴۷/۴۳^{c}	۴۷/۲۳^{d}	۵۶/۴۰^{b}	۶۰/۰۲^{a}	۱/۹۲۵	<۰/۰۰۰۱
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی	۴۰/۰۴^{a}	۳۱/۶۲^{e}	۳۲/۰۴^{d}	۳۷/۲۶^{c}	۳۹/۲۵^{b}	۱/۱۸۶	<۰/۰۰۰۱

میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P<۰/۰۵).

در تحقیقات محمدزاده و یقبانی (۱۳۸۴) تأثیر افزایش ماده خشک بر افزایش چربی دانه کلزا نشان داده شده است. آن‌ها بیان کردند که با افزایش رطوبت، حرارت تأثیر بیشتری بر کاهش چربی دانه‌های روغنی دارد. از این‌رو در این تحقیق همگام با افزایش ماده خشک مقدار عصاره اتری کنجاله گلرنگ افزایش یافت. تحت تأثیر پرتودهی با الکترون و مادون قرمز به مدت ۹۰ ثانیه الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کاهش یافت. در تضاد با نتایج این تحقیق، مطالعات Golshan و همکاران (۲۰۱۹)، تأثیر امواج مایکروویو را بر افزایش الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی دانه سویا را نشان داد. در حالی که پیرعدل و همکاران (۱۳۹۶) تأثیر امواج مایکروویو بر کاهش الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی دانه جو را گزارش کردند.

تأثیر پرتوهای الکترون و مادون قرمز بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین‌خام کنجاله گلرنگ به ترتیب در جدول ۳ و ۴ نشان داده شده است. ماده خشک کنجاله عمل‌آوری نشده منحنی تجزیه‌پذیری با بخش سریع تجزیه ۲۳۴/۸ گرم در کیلوگرم، بخش کند تجزیه ۳۷۶/۰ گرم در کیلوگرم و نرخ ثابت تجزیه بخش کند تجزیه ۰/۰۴۵ درصد در ساعت داشت. بخش سریع تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک گزارش شده در این آزمایش بیشتر از مقادیر گزارش شده توسط Alves و همکاران (۲۰۱۸) برای دانه گلرنگ بود که این تفاوت را می‌توان به متفاوت بودن روش اندازه‌گیری تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای، نوع واریته و ترکیب شیمیایی کنجاله گلرنگ و دانه گلرنگ مورد آزمایش نسبت داد. پرتوتابی الکترون و مادون قرمز سبب افزایش معنی‌دار بخش سریع تجزیه ماده خشک و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک کنجاله گلرنگ در سرعت‌های عبور ۵ و ۸ درصد در ساعت نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده گردید (P<۰/۰۱). بخش کند تجزیه ماده خشک تحت تأثیر پرتودهی کاهش یافت (P<۰/۰۵). پتانسیل تجزیه‌پذیری، نرخ ثابت تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک کنجاله گلرنگ در سرعت عبور ۲ درصد در ساعت تحت تأثیر عمل‌آوری‌های مختلف قرار نگرفت. پرتو الکترون در برابر پرتو مادون قرمز سبب افزایش بخش سریع تجزیه ماده خشک و پرتو مادون قرمز در برابر پرتو الکترون سبب افزایش بخش کند تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثرماده خشک در سرعت‌های عبور ۵ و ۸ درصد در ساعت شد (P<۰/۰۵). پرتودهی با الکترون با دُز ۲۰ کیلوگری بخش سریع تجزیه ماده خشک را به میزان ۳۱ درصد، نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده افزایش داد. تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو الکترون با دُز ۲۰ کیلوگری در سرعت‌های عبور ۵ و ۸ درصد درساعت به ترتیب به میزان ۸ و ۱۲ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده افزایش یافت. در مغایرت با نتایج این تحقیق، شورنگ و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند عمل‌آوری کنجاله سویا با دُز ۴۵ کیلوگری الکترون و پرتو مادون قرمز به مدت ۳۰ ثانیه تأثیری بر بخش کند تجزیه شونده نداشت؛ ولی سبب کاهش بخش سریع تجزیه شونده و نرخ ثابت تجزیه ماده خشک شد. در تحقیقی دیگر پرتودهی کنجاله آفتابگردان با دُزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری الکترون بدون تأثیر بر بخش کند تجزیه شونده ماده خشک، سبب کاهش بخش سریع تجزیه و بخش بالقوه تجزیه‌پذیر ماده خشک شد (Ghanbari و همکاران، ۲۰۱۵). مشابه با نتایج این آزمایش، Shahbazi و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند پرتودهی با الکترون تأثیری بر بخش سریع تجزیه ماده خشک نداشت؛ ولی پتانسیل تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثرماده خشک کاه جو افزایش یافت، آن‌ها این اثر را ناشی از تأثیر پرتوی یونیزه‌کننده الکترون بر کاهش دیواره سلولی و افزایش کربوهیدرات‌های محلول کاه جو دانسته‌اند. در تحقیقی دیگر نیز افزایش قابلیت هضم ماده خشک پوست پنبه دانه، پوست بادام زمینی، کنجاله آفتابگردان و کاه گندم تحت تأثیر پرتو گاما به تأثیر پرتوهای یونیزه‌کننده بر دپلیمریزاسیون و لیگنین‌زدایی دیواره سلولی نسبت داده شد (Al-Masri و Guenther، ۱۹۹۹).

جدول ۳- تأثیر پرتوهای الکترون ومادون قرمز بر فراسنجه‌های مختلف تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده‌خشک کنجاله گلرنگ (گرم در کیلوگرم ماده خشک)

		فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری[1]				تجزیه‌پذیری مؤثر[2] (درصد)		
		A	b	a+b	c	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۸
شاهد		۲۳۴/۸۳^{c}	۳۷۶/۰۲^{a}	۶۱۰/۸۶	۰/۰۴۵	۴۹۵/۹۰	۴۱۳/۸۵^{c}	۳۷۱/۰۵^{c}
الکترون (کیلوگری)	۲۰	۳۰۸/۶۹^{a}	۲۶۸/۵۶^{b}	۵۷۷/۲۵	۰/۰۵۳	۵۰۳/۸۲	۴۴۷/۱۴^{a}	۴۱۶/۰۰^{a}
	۴۰	۲۵۳/۵۱^{b}	۳۵۴/۱۲^{a}	۶۰۷/۶۴	۰/۰۴۹	۴۹۷/۸۳	۴۲۲/۵۳^{bc}	۳۸۳/۲۵^{bc}
مادن قرمز(ثانیه)	۹۰	۲۴۶/۵۳^{bc}	۳۵۱/۱۲^{a}	۵۹۷/۶۶	۰/۰۴۸	۴۹۴/۷۳	۴۱۹/۰۲^{bc}	۳۷۸/۷۲^{bc}
	۱۲۰	۲۵۷/۸۸^{b}	۳۲۴/۸۳^{a}	۵۸۲/۷۲	۰/۰۵۸	۴۹۳/۵۳	۴۲۶/۵۸^{b}	۳۸۹/۷۴^{b}
انحراف استاندارد میانگین‌ها		۷/۰۴۵	۱۱/۸۴۹	۷/۶۳۵	۰/۰۰۳۰	۲/۰۸۷	۳/۷۸۱	۴/۷۸۹
سطح معنی‌داری		<۰/۰۰۰۱	۰/۰۱	۰/۶۴	۰/۷۳	۰/۵۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۸
مقایسات متعامد								
شاهد در برابر پرتوتابی		۰/۰۰۰۴	۰/۰۲	۰/۳۷	۰/۴۰	۰/۷۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲
شاهد در برابر الکترون		<۰/۰۰۰۱	۰/۰۱	۰/۴۳	۰/۵۱	۰/۴۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۷
شاهد در برابر مادون قرمز		۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۳۸	۰/۳۹	۰/۷۶	۰/۰۹	۰/۰۳
الکترون در برابر مادون قرمز		۰/۰۰۰۴	۰/۱۵	۰/۹۰	۰/۷۹	۰/۱۹	۰/۰۱	۰/۰۰۸

۱: a= بخش سریع تجزیه (گرم در کیلوگرم ماده خشک)، b= بخش کند تجزیه (گرم در کیلوگرم ماده خشک)، a+b =بخش بالقوه تجزیه‌پذیر(گرم در کیلوگرم ماده خشک) و c= نرخ ثابت تجزیه(درصد در ساعت)

۲: تجزیه‌پذیری موثر با فرض سرعت‌های عبور۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت

میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P<۰/۰۵).

در این تحقیق کنجاله گلرنگ از دانه با پوست که حاوی فیبر بالا می‌باشد تهیه شده است، از این‌رو افزایش ناپدید شدن شکمبه‌ای ماده خشک کنجاله گلرنگ پرتودهی شده با الکترون را می‌توان به تأثیر پرتوی یونیزه‌کننده الکترون بر کاهش دیواره سلولی و افزایش مقدار کربوهیدرات‌های قابل هضم آن نسبت داد. پتانسیل تجزیه‌پذیری ماده خشک کنجاله گلرنگ عمل‌آوری نشده در این آزمایش (۶۱۱ گرم در کیلوگرم ماده خشک) بود که نسبت به کنجاله کانولا عمل‌آوری نشده ۸۸۲ گرم در کیلوگرم ماده خشک (Taghinejad-Roudbaneh و همکاران، ۲۰۱۰)، کنجاله سویا ۸۸۰ گرم در کیلوگرم ماده خشک (شورنگ و همکاران، ۱۳۹۶) و کنجاله آفتابگردان ۶۹۳ گرم درکیلوگرم ماده خشک (Ghanbari و همکاران، ۲۰۱۵) پائین‌تر بود و این می‌تواند تأثیر کم پرتودهی بر بهبود فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک کنجاله گلرنگ، در این تحقیق را توجیه کند.

روند تجزیه‌پذیری پروتئین‌خام کنجاله گلرنگ تحت تأثیر پرتوهای الکترون و مادون قرمز در جدول ۴ نشان می‌دهد پرتودهی با الکترون با دُز ۲۰ کیلوگری سبب افزایش بخش سریع تجزیه پروتئین به میزان ۳۰ درصد و افزایش نرخ ثابت تجزیه به میزان ۵۳ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده شد. همچنین پرتودهی با دُز ۲۰ کیلوگری سبب کاهش بخش کند تجزیه پروتئین خام به میزان ۴۰ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده شد.(P<۰/۰۵). تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام در سرعت‌های

عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت، تحت تأثیر پرتودهی با الکترون با دُز ۲۰ کیلوگری، به ترتیب به میزان ۴، ۸ و ۱۱ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده افزایش یافت. پرتودهی با مادون‌قرمز به مدت ۱۲۰ ثانیه تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین‌خام را در سرعت عبور ۸ درصد در ساعت به میزان ۱۳ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده کاهش داد ($P<0/05$). به‌طور مشابه پرتوتابی محصولات فرعی پسته با الکترون با دُزهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوگری سبب افزایش بخش سریع تجزیه و کاهش بخش کند تجزیه شونده پروتئین خام شد (Moradi و همکاران، ۲۰۱۵). در تحقیقی دیگر پرتودهی دانه سویا با الکترون، سبب افزایش بخش سریع تجزیه و نرخ ثابت تجزیه پروتئین‌خام و کاهش بخش کند تجزیه پروتئین خام شد (Akbarian و همکاران، ۲۰۱۴). متفاوت با نتایج این آزمایش، پرتودهی کنجاله آفتابگردان با دُزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری الکترون سبب کاهش بخش سریع تجزیه پروتئین خام شد؛ ولی سایر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین‌خام تحت تأثیر پرتودهی قرار نگرفت (Ghanbari و همکاران، ۲۰۱۵). در آزمایش شورنگ و همکاران (۱۳۹۶) پرتودهی کنجاله سویا با الکترون با دُز ۴۵ کیلوگری و مادون قرمز به مدت ۳۰ ثانیه تأثیری بر بخش کند تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام نداشت؛ ولی سبب کاهش بخش سریع تجزیه شونده و نرخ ثابت تجزیه پروتئین خام شد. افزایش بخش سریع تجزیه پروتئین خام و تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام کنجاله گلرنگ، می‌تواند ناشی از تأثیر پرتوی یونیزه‌کننده الکترون بر آزاد شدن پروتئین‌های متصل به دیواره سلولی، باز شدن زنجیره پروتئین‌ها، شکستن پیوندهای عرضی و تبدیل پروتئین به مولکول‌های با وزن کم و یا افزایش حساسیت پروتئین‌های کنجاله گلرنگ به هیدرولیز آنزیمی شده باشد (Moradi و همکاران، ۲۰۱۵؛ Van Soest,۱۹۹۴).

در این تحقیق پرتودهی با مادون قرمز سبب کاهش معنی‌داری در تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین‌خام کنجاله گلرنگ شد که با نتایج آزمایش Fattah و همکاران (۲۰۱۳) هماهنگی دارد. Fattah و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که پرتو مادون قرمز به مدت ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ ثانیه سبب کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین خام دانه جو شد. کاهش در تجزیه‌پذیری پروتئین خام پس از پرتوتابی با مادون قرمز می‌تواند به دلیل دناتوره شدن پروتئین، کاهش محلولیت و تشکیل کمپلکس‌هایی بین ترکیبات پروتئینی و غیر پروتئینی باشد(Mwangwela و همکاران، ۲۰۰۷؛ Van Soest، ۱۹۹۴). در مطالعات دیگر پرتودهی حرارتی (پرتو میکروویو) سبب کاهش تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام کنجاله منداب (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۸)، کنجاله پنبه‌دانه (Sadeghi و Shawrang، ۲۰۰۷) و کنجاله سویا (شورنگ و همکاران، ۱۳۹۶) شد. آن‌ها کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین را به دناتوره شدن پروتئین و ایجاد پیوندهای عرضی بین زنجیره‌های پروتئین نسبت داده‌اند. همچنین، عمل‌آوری با مادون قرمز سبب واسرشتی پروتئین و عرضه گروه‌های غیرقطبی اسیدهای آمینه موجود در ساختار گلوبولی پروتئین شده و در نتیجه سبب افزایش آب‌گریزی پروتئین و کاهش تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام شد (Folawiyo و Apenten، ۱۹۹۷؛ NRC، ۲۰۰۱). از این‌رو در این تحقیق نیز این عوامل می‌تواند کاهش ناپدید شدن پروتئین‌خام کنجاله گلرنگ تحت تأثیر فرآیند حرارتی مادون قرمز را توجیه کند.

جدول ٤- تأثیر پرتوهای الکترون ومادون قرمز بر فرآسنجه‌های تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین‌خام کنجاله گلرنگ (گرم در کیلوگرم ماده خشک)

		فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری[1]				تجزیه‌پذیری مؤثر[2] (درصد)		
		A	B	a+b	c	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۸
شاهد		۵۱۳/۰۲^{bc}	۳۸۲/۵۷^{a}	۸۹۵/۵۹^{a}	۰/۲۲۱^{b}	۸۵۰/۰۱^{b}	۸۰۲/۱۲^{b}	۷۶۸/۲۷^{c}
الکترون (کیلوگری)	۲۰	۶۶۷/۸۵^{a}	۲۳۰/۹۲^{c}	۸۹۸/۷۷^{a}	۰/۳۳۸^{a}	۸۸۳/۸۴^{a}	۸۶۵/۱۸^{a}	۸۴۹/۸۴^{a}
	۴۰	۵۳۸/۲۷^{b}	۳۴۴/۵۲^{ab}	۸۸۲/۷۹^{a}	۰/۳۰۴^{ab}	۸۵۵/۵۸^{ab}	۸۲۳/۲۳^{b}	۷۹۷/۸۴^{b}
مادون‌قرمز(ثانیه)	۹۰	۵۰۰/۲۱^{bc}	۳۵۲/۶۵^{ab}	۸۵۲/۸۶^{ab}	۰/۲۰۹^{b}	۷۶۶/۵۹^{c}	۷۱۲/۶۲^{c}	۶۸۳/۰۵^{d}
	۱۲۰	۴۸۳/۲۷^{c}	۲۸۵/۸۱^{bc}	۷۶۹/۰۸^{b}	۰/۲۲۲^{b}	۷۳۱/۹۸^{d}	۶۹۴/۰۹^{c}	۶۶۷/۸۹^{d}
انحراف استاندارد میانگین‌ها		۲۲/۰۷۰	۱۶/۹۳۲	۱۹/۸۴۴	۰/۰۴۹۵	۱۶/۵۵۳	۱۷/۸۰۱	۱۸/۸۱۱
سطح معنی‌داری		۰/۰۰۰۲	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۰۴	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱
مقایسات متعامد								
شاهد در برابر پرتوتابی		۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۲	۰/۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۵
شاهد در برابر الکترون		۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۹	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۳
شاهد در برابر مادون قرمز		۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱
الکترون در برابر مادون قرمز		<۰/۰۰۰۱	۰/۲	۰/۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱

۱: a= بخش سریع تجزیه (گرم در کیلوگرم ماده خشک)، b= بخش کند تجزیه (گرم در کیلوگرم ماده خشک)، a+b = بخش بالقوه تجزیه‌پذیر(گرم در کیلوگرم ماده خشک) و c= نرخ ثابت تجزیه(درصد در ساعت)

۲: تجزیه‌پذیری مؤثر با فرض سرعت‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت

- میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P<۰/۰۵).

میانگین مقدار پروتئین قابل تجزیه در شکمبه، پروتئین قابل تجزیه مؤثر، پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه و پروتئین قابل متابولیسم کنجاله گلرنگ پرتودهی شده با الکترون و مادون قرمز به ترتیب در جدول ۵ و ۶ نشان داده شده است. پرتودهی کنجاله گلرنگ با الکترون تأثیر معنی‌داری بر پروتئین قابل تجزیه در شکمبه، پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه و پروتئین قابل متابولیسم داشت (P<۰/۰۵). پرتودهی کنجاله گلرنگ با دُز ۲۰ کیلوگری الکترون، سبب افزایش پروتئین قابل تجزیه در شکمبه کنجاله گلرنگ در سرعت‌های عبور ۵ و ۸ درصد در ساعت به ترتیب به میزان ۷ و ۸ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده شد. (P<۰/۰۵). تحت تأثیر پرتودهی کنجاله گلرنگ با مادون قرمز به مدت ۹۰ ثانیه مقدار پروتئین قابل تجزیه در شکمبه در سرعت‌های عبور ۵ و ۸ درصد در ساعت به ترتیب ۵ و ۷ درصد افزایش یافت و با افزایش زمان پرتودهی به ۱۲۰ ثانیه مقدار پروتئین قابل تجزیه در شکمبه در سرعت عبور ۸ درصد در ساعت، ۴ درصد افزایش یافت (P<۰/۰۵).

جدول ۵- تاثیر پرتوهای الکترون ومادون قرمز بر پروتئین قابل تجزیه و پروتئین قابل تجزیه مؤثردر شکمبه کنجاله گلرنگ (گرم در کیلوگرم ماده خشک)

		پروتئین قابل تجزیه در شکمبه در سرعت عبور			پروتئین قابل تجزیه مؤثردر شکمبه در سرعت عبور		
		۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۸
شاهد		۲۳۳/۶۷^{b}	۲۲۰/۵۰^{c}	۲۱۱/۲۰^{c}	۲۰۵/۴۷^{b}	۱۹۲/۳۰^{b}	۸۱/۴۵^{a}
الکترون (کیلوگری)	۲۰	۲۵۴/۵۳^{a}	۲۳۶/۶۰^{a}	۲۲۷/۶۳^{a}	۲۲۱/۳۱^{a}	۲۰۳/۳۹^{a}	۸۳/۵۵^{a}
	۴۰	۲۴۰/۰۹^{b}	۲۲۷/۶۶^{bc}	۲۲۰/۲۸^{ab}	۲۰۶/۵۰^{b}	۱۹۷/۵۷^{ab}	۷۴/۰۰^{ab}
مادن قرمز(ثانیه)	۹۰	۲۳۶/۷۸^{b}	۲۳۱/۷۸^{ab}	۲۲۶/۷۸^{ab}	۲۰۰/۹۹^{b}	۱۹۵/۹۹^{ab}	۶۳/۰۶^{b}
	۱۲۰	۲۳۶/۲۲^{b}	۲۲۷/۲۹^{bc}	۲۱۹/۰۷^{b}	۲۰۸/۳۸^{b}	۱۹۵/۹۶^{ab}	۷۳/۲۴^{ab}
انحراف استاندارد میانگین‌ها		۲/۷۲۹	۱/۷۳۰	۱/۹۹۰	۲/۲۲۸	۱/۴۹۳	۴/۶۲۶
سطح معنی‌داری		۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۱	۰/۱	۰/۱
مقایسات متعامد							
شاهد در برابر پرتوتابی		۰/۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۲	۰/۰۷	۰/۲
شاهد در برابر الکترون		۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۲
شاهد در برابر مادون قرمز		۰/۵	۰/۰۱	۰/۰۰۴	۰/۶	۰/۱	۰/۲
الکترون در برابر مادون قرمز		۰/۰۱	۰/۲	۰/۶	۰/۰۰۵	۰/۲	۰/۹

میانگین‌های با حروف متفاوت در هرردیف دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P <۰/۰۵).

پرتودهی با الکترون در دُز ۲۰ کیلوگری سبب افزایش پروتئین قابل تجزیه مؤثر در سرعت‌های عبور ۲ و ۵ درصد در ساعت به ترتیب به میزان ۸ و ۶ درصد شد (P<۰/۰۵). تحت تأثیر پرتودهی کنجاله گلرنگ با مادون قرمز به مدت ۹۰ ثانیه، مقدار پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه در سرعت‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت به ترتیب به میزان ۸۷، ۷۵ و ۶۵ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده افزایش یافت (P<۰/۰۱). پرتودهی با مادون قرمز به مدت ۱۲۰ ثانیه سبب افزایش مقدار پروتئین قابل متابولیسم در سرعت عبور۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت به ترتیب به میزان ۲۵، ۲۴ و ۳۳ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده شد (P<۰/۰۱). اکبریان و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که دُز ۶۰ کیلوگری الکترون سبب افزایش بخش سریع تجزیه دانه سویا به میزان ۶۴ درصد نسبت به دانه عمل‌آوری نشده شد. ابراهیمی محمودآباد و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند پرتو گاما سبب کاهش بخش سریع تجزیه پروتئین خام دانه منداب بومی به میزان ۲۹ و ۴۳ درصد و افزایش بخش کند تجزیه پروتئین خام به میزان ۱۲ و ۲۰ درصد به ترتیب در دُزهای ۳۰ و ۴۵ کیلوگری نسبت به دانه عمل‌آوری نشده شد. پرتو گاما تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام را ۶، ۱۱ و ۲۲ درصد به ترتیب در دُزهای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ کیلوگری در سرعت عبور ۵ درصد نسبت به دانه منداب بومی عمل‌آوری نشده کاهش داد. در مطالعات دیگر نیز روش‌های مختلف عمل‌آوری حرارتی سبب کاهش پروتئین قابل تجزیه در شکمبه دانه جو (Yan و همکاران، ۲۰۱۴)، کنسانتره (باشتنی و همکاران، ۱۳۹۷)، دانه سویا (Samadi و Yu، ۲۰۱۱) و پنبه‌دانه (Taghinejad و همکاران، ۲۰۱۶) شده است.

جدول ٦- تأثیر پرتوهای الکترون ومادون قرمز بر پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه و پروتئین قابل متابولیسم کنجاله گلرنگ (گرم در کیلوگرم ماده خشک)

		پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه در سرعت عبور			پروتئین قابل متابولیسم در سرعت عبور		
		۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۸
شاهد		۴۱/۲۲^{b}	۵۴/۳۹^{b}	۶۳/۶۹^{b}	۱۳۶/۴۱^{c}	۱۳۹/۸۳^{c}	۷۷/۲۷^{b}
الکترون (کیلوگری)	۲۰	۳۱/۱۲^{b}	۳۶/۱۱^{c}	۴۰/۲۲^{d}	۱۳۰/۳۹^{c}	۱۳۱/۶۹^{d}	۵۰/۳۱^{c}
	۴۰	۳۹/۸۷^{b}	۴۸/۸۰^{b}	۵۵/۸۱^{c}	۱۳۳/۹۶^{c}	۱۳۶/۲۹^{cd}	۶۹/۶۳^{b}
مادن قرمز(ثانیه)	۹۰	۷۷/۴۷^{a}	۹۵/۳۹^{a}	۱۰۵/۲۱^{a}	۱۴۶/۳۸^{b}	۱۵۱/۰۴^{b}	۷۷/۰۷^{b}
	۱۲۰	۸۷/۹۰^{a}	۱۰۰/۳۳^{a}	۱۰۸/۹۲^{a}	۱۷۰/۰۹^{a}	۱۷۳/۳۲^{a}	۱۰۲/۵۱^{a}
انحراف استاندارد میانگین‌ها		۶/۳۴۸	۶/۹۹۸	۷/۴۳۲	۳/۹۰۷	۴/۰۵۲	۴/۷۹۲
سطح معنی داری		<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱
مقایسات متعامد							
شاهد در برابر پرتو		۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۶	۰/۰۱	۰/۴
شاهد در برابر الکترون		۰/۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۷	۰/۱	۰/۰۶	۰/۰۰۱
شاهد در برابر مادون‌قرمز		<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۷
الکترون در برابر مادون‌قرمز		<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱

میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P <۰/۰۵).

ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۸) نیز تأثیر افزایش زمان حرارت‌دهی با مایکروویو را بر افزایش پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه و پروتئین قابل متابولیسم کنجاله منداب بومی را گزارش کردند. از این‌رو در این تحقیق با افزایش زمان پرتودهی با مادون قرمز تحت تأثیر حرارت ایجاد شده، کاهش در پروتئین قابل تجزیه در شکمبه مشاهده شد. از آنجا که مقدار پروتئین قابل متابولیسم تحت تأثیر پروتئین قابل تجزیه مؤثر و پروتئین عبوری است (AFRC، ۱۹۹۲)، پرتودهی با مادون قرمز با افزایش پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه سبب افزایش پروتئین قابل متابولیسم کنجاله گلرنگ شد. افزایش مقدار پروتئین عبوری کنجاله گلرنگ تحت تأثیر پرتودهی با مادون قرمز می‌تواند به ایجاد حرارت یکنواخت در نتیجه نفوذ امواج کوتاه به ساختار مولکول‌ها و افزایش حرکت و برخورد مولکولی مربوط باشد، بطوری که با ایجاد تغییر در ساختمان دوم و سوم پروتئین و تغییرموقعیت اسیدهای آمینه موجب افزایش آب‌گریزی سطح مولکول پروتئین و تشکیل پیوندهای دی‌سولفیدی (Davies و Delsignore، ۱۹۸۷) می‌شود، که به کاهش در دسترس بودن گروه‌های فعال شیمیایی مولکول‌های پروتئین و کاهش محلولیت و در نتیجه کاهش تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین در شکمبه منجر می‌شود (NRC، ۲۰۰۱). کاهش تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام پس از عمل‌آوری سبب افزایش پروتئین عبوری و پروتئین قابل متابولیسم می‌شود که از نظر تغذیه‌ای برای گاوهای شیری پرتولید و گوساله‌های در حال رشد مفید است (NRC، ۲۰۰۱)

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که پرتو الکترون و مادون قرمز بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام مؤثر بود. عمل‌آوری با پرتو مادون قرمز نسبت به پرتو الکترون سبب افزایش پروتئین قابل متابولیسم کنجاله گلرنگ شد. بر اساس نتایج این

آزمایش پرتودهی کنجاله گلرنگ با مادون قرمز به مدت ۱۲۰ ثانیه جهت محافظت پروتئین آن از تجزیه شکمبه‌ای و افزایش مقدار پروتئین قابل متابولیسم و بهبود ارزش غذایی آن مؤثر بود.

منابع

ابراهیمی محمودآباد، س.ر. نیکخواه، ع. و صادقی، ا.ا. (۱۳۹۴). ترکیبات ضد تغذیه‌ای و تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه منداب بومی عمل‌آوری شده با پرتو گاما و میکروویو. نشریه پژوهش‌های علوم دامی ایران. شماره ۱، ص ص. ۷۲-۸۵

ابراهیمی محمودآباد، س.ر. نیکخواه، ع. و صادقی، ا.ا. (۱۳۹۸). اثرات عمل‌آوری با پرتو میکروویو بر ارزش غذایی کنجاله منداب بومی. نشریه علوم دامی. شماره ۱۲۶، ص ص. ۱۲۹-۱۴۶.

باشتنی، م. فرهنگ‌فر، ه. و گنجی، ف. (۱۳۹۷). تأثیر فرآیند پلت بر ترکب شیمیایی، بخش‌های نیتروزن‌دار و خصوصیات تجزیه‌پذیری کنسانتره تجاری با استفاده از دو روش برون‌تنی. نشریه پژوهش‌های علوم دامی. شماره ۲۸، ص ص. ۵۰-۳۵.

پیرعدل، ا. میرمحمدی، ر. و خلیل‌وندی بهروزیار، ح. (۱۳۹۶). بررسی تغییرات شیمیایی، روند تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و هضم روده‌ای نشاسته و پروتئین خام واریته‌های مختلف دانه جو پرتوتابی شده با میکروویو. نشریه پژوهش در نشخوارکنندگان. شماره ۵، ص ص. ۱۴۴-۱۱۹.

شورنگ، پ. جلیلیان، س. فتاح‌نیا، ف. صادقی، ا.ا. مهرابی، ا.ا. (۱۳۹۶). اثرات پرتوتابی گاما، الکترون، مایکروویو و مادون‌قرمز بر هضم‌پذیری شکمبه‌ای و برون‌تنی پروتئین کنجاله سویا. نشریه پژوهش‌های علوم دامی ایران. شماره ۴، ۲۳۰-۲۱۷.

طحان، ق. فتحی‌نصری، م.ح. ریاسی، ا. بهگر،م. و فرهنگ‌فر، ه. (۱۳۹۰). اثر پرتوتابی الکترونی بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و قابلیت هضم شکمبه‌ای و پس‌شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین‌خام برخی منابع پروتئینی گیاهی. نشریه پژوهش‌های علوم دامی ایران. شماره ۴، ص ص. ۴۳۴-۴۲۲.

محمدزاده، ج. و یقبانی، م. (۱۳۸۴). تأثیر رطوبت زمان برداشت و دمای خشک کردن دانه کلزا بر کیفیت روغن استحصالی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. شماره ۵، ص ص. ۱۲۲-۱۱۲.

Aboud, S.A. Altemimi, A.B. Al-HiIphy, A.R.S. Yi-Chen, L. and Cacciola, F. (2019). Comprehensive Review on Infrared Heating Applications in Food Processing. *Molecules*. 15: 2-21.

Adesogan, A.T. (2005). Effect of bag type on the apparent digestibility of feeds in Ankom Daisy^{II} Incubators. *Animal Feed Science and Technology*. 119: 333-344.

Agricultural and Food Research Council (AFRC). (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.

Akbarian, A. Khorvash, M. Ghorbani, G.R. Ghasemi, E. Dehghan-Banadaky, M. Shawrang, P (2014). Effects of roasting and electron beam irradiating on protein characteristics, ruminal degradability and intestinal digestibility of soybean and the performance of dairy cows. *Livestock Science*. 168: 45-52.

Alizadeh, A.R. Alikhani, M. Ghorbani, G.R. Rahmani, H.R. Rashidi, L. and Loor, J.J. (2011). Effects of feeding roasted safflower seeds (variety IL-111) and fish oil on dry matter intake, performance and milk fatty acid profiles in dairy cattle. *Animal Physiology and Animal Nutrition*. 96: 466-473.

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: 323-329.

Alves, J.L.R. Goes, R.H.T. Martinez, A.C. Nakamura, A.Y. Gandra, J.R. and Souza, L.C.F. (2018). Ruminal parameters and ruminal degradability of feedlot sheep fed safflower grains. *Revista Brasileira de Saude e Producao Animal*. 19: 324-335.

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis, 15th Edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.

Buendía-Rodríguez, G. Vallejo, L.H. Elghandour, M.M.Y. Salem, A.Z.M. and Mlambo, V. (2019). Effect of dietary inclusion of safflower meal on ruminal fermentation, growth performance, carcass characteristics, and meat quality of lambs. *Canadian Journal of Animal Science*. 99: 1-23.

Davies, K.J. and Delsignore, M.E. (1987). Protein damage and degradation by oxygen radicals. III. Modification of secondary and tertiary structure. *Journal of Biological Chemistry*. 262: 9908-9913.

Fattah, A. Sadeghi, A.A. Nikkhah, A. Chamani, M. Shawrang, P. (2013). Degradation characteristics of infrared processed barley grain and its feeding effects on ruminal pH of sheep. *Iranian Journal of Applied Animal Sciences*. 3: 451-457.

Fellows, P.J. (2000). Food Processing Technology: Principles and Practice, 3rd Edition. CRC press, Oxford, UK.

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

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: 21-28.

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.

Mani, V. and Chandra, P. (2003). Effect of feeding irradiated soybean on nutrient intake, digestibility and N-balance in goats. *Small Ruminants Research*. 48: 77-81.

McNiven, M.A. Prestlokken, E. Mydland, L.T. and Mitchell, A.W. (2002). Laboratory procedure to determine protein digestibility of heat-treated feedstuffs for dairy cattle. *Animal Feed Science and Technology*. 96: 1–13.

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.

Mwangwela A.M. Waniska, R.D. Mc Donough, C. and Minnaar A. (2007). Cowpeas cooking characteristics as affected by micronisation temperature: a study of the physicochemical and functional properties of starch. *Journal of Science of Food and Agricalture*. 87: 399- 410.

NRC. (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Edition. National Academy of Sciences. Press, Washington, DC.

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: 499-503.

Sadeghi, A.A. and Shawrang, P. (2007). Effects of microwave irradiation on ruminal protein degradation and intestinal digestibility of cottonseed meal. *Livestock Science*. 106: 176-181.

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

Schwab, C.G. Boucher, S.E. and Sloan, B.K. (2007). Metabolizable protein and amino acid nutrition of the cow. In: Proceedings of the Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers. P. 121-138.

Shahbazi, H.R. Sadeghi, A.A. Fazaeli, H. Raisali, G. Chamani, M. and Shawrang, P. (2008). Effects of electron beam irradiation on ruminal NDF and ADF degradation characteristics of barely straw. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 7: 464-468.

Shakeri, P. (2016). Pistachio by-product as an alternative forage source for male lambs: Effects on performance, blood metabolites, and urine characteristics. *Animal Feed Science and Technology*. 211: 92-99.

Taghinejad-Roudbaneh, M. Ebrahimi, S.R. Azizi, S. and Shawrang, P. (2010). Effects of electron beam irradiation on chemical composition, anti nutritional factors, ruminal degradation and in vitro protein digestibility of canola meal. *Radiation Physics and Chemistry*. 79: 1264-1269.

Taghinejad-Roudbaneh, M. Kazemi-Bonchenari, M. Salem,A.Z.M. 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: 144-150.

Tuncer, S.D. and Sacakli, P. (2003). Rumen degradability characteristics of xylose treated canola and soybean meals. *Animal Feed Science and Technology*. 107: 211-218.

Van Soest, P.J. (1994). Nutritional Ecology of the Ruminants. 2nd Edition. Cornell University Press. NY. USA.

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. *Dairy Science*.74: 3583-3597.

Yan, X. Khan, N.A. 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 agricultural and food chemistry*. 62: 6546-6555.