نشریه علوم دامی
(پژوهش و سازندگی)

شماره ۱۲۶، بهـــار ۱۳۹۹
ص‌ص: ۱۲۹~۱۴۶

اثرات عمل آوری با پرتو میکروویو بر ارزش غذایی کنجاله منداب بومی

- **سیدروح اله ابراهیمی محمودآباد** (نویسنده مسئول)

دانشیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

- **علی نیکخواه**

استاد گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

- **علی اصغر صادقی**

دانشیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت : آذر ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش : فروردین ۱۳۹۸

شماره تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۳۲۷۴۳۱۸۳

Email: ebrahimiyazd@yahoo.com

چکیده

در این آزمایش، تأثیر عمل‌آوری کنجاله منداب بومی با میکروویو بر ترکیب شیمیایی، گلوکوسینولات‌ها، اسید فایتیک، تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام، قابلیت هضم برون‌تنی پروتئین خام، پروتئین قابل متابولیسم و روند تجزیه پذیری پروتئین حقیقی در زمان‌های مختلف انکوباسیون در شکمبه با روش الکتروفورز بررسی شد. ابتدا میزان رطوبت نمونه‌ها (سه نمونه ۵۰۰ گرمی) به ۲۵۰ گرم در کیلوگرم رسانده شد و سپس با پرتو میکروویو به مدت۲، ٤ یا ٦ دقیقه و با قدرت ۸۰۰ وات عمل آوری شدند.ترکیب شیمیایی، اسید فایتیک و گلوکوسینولات با روش‌های استاندارد و تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام با روش کیسه‌های نایلونی اندازه‌گیری شد. قابلیت هضم برون‌تنی پروتئین خام با روش آنزیمی سه مرحله‌ای و روند تجزیه پذیری پروتئین حقیقی در شکمبه و نگاری با روش الکتروفورز ژل پلی آکریلامید (SDS-PAGE) اندازه گیری شد. نتایج آزمایش نشان داد که عمل‌آوری با میکروویو تاثیری بر ترکیب شیمیایی کنجاله منداب نداشت؛ ولی سبب کاهش اسید فایتیک و گلوکوسینولات‌ها شد (P<۰/۰۱). با افزایش زمان عمل‌آوری با میکروویو ناپدید شدن شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام کنجاله منداب در زمان‌های مختلف انکوباسیون کاهش یافت (P<۰/۰۵). پرتودهی سبب کاهش بخش سریع تجزیه، نرخ ثابت تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک و پروتئین خام و افزایش بخش کند تجزیه ماده خشک و پروتئین خام کنجاله منداب شد (P<۰/۰۵). پرتوتابی، قابلیت هضم برون‌تنی پروتئین خام کنجاله منداب را افزایش داد (P<۰/۰۱). عمل‌آوری با میکروویو میزان پروتئین قابل تجزیه در شکمبه را کاهش و میزان پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه و پروتئین قابل متابولیسم را در سرعت عبور ۵ و ۸ درصد در ساعت افزایش داد (P<۰/۰۱). عمل‌آوری با میکروویو به مدت ۲، ٤ و ٦ دقیقه میزان پروتئین قابل متابولیسم کنجاله منداب را در سرعت عبور ۸ درصد در ساعت به میزان ۳، ۵ و ۸ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده افزایش داد. بر پایه نتایج این آزمایش، عمل‌آوری با میکروویو بیش از ۲ دقیقه سبب کاهش مقدار اسید فایتیک، گلوکوسینولات‌ها و تجزیه‌پذیری پروتئین خام و افزایش پروتئین عبوری، پروتئین قابل متابولیسم و قابلیت هضم برون‌تنی پروتئین خام کنجاله منداب شد و در نهایت در بهبود ارزش غذایی آن جهت استفاده در جیره نشخوارکنندگان موثر بود.

واژه‌های کلیدی: الکتروفورز، پرتو میکروویو، پروتئین قابل متابولیسم، تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای، کنجاله منداب بومی

Animal Science Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 126 pp: 129-146

Effects of microwave irradiation on nutritional value of native rapeseed meal

By: [1]Sayyed Roohollah Ebrahimi-Mahmoudabad, [2] Ali Nikkhah, [3] Ali Asghar Sadeghi
[1] Associate prof, *Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
[2,3] Professor and associate Prof, respectively, *Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*.

Received: December 2018 **Accepted: April 2019**

In this research, effect of treating native rapeseed meal (NRSM) with microwave irradiation on chemical composition, glucosinolate, phytic acid, ruminal dry matter (DM) and crude protein (CP) degradability, metabolizable protein (MP) and *in vitro* CP digestibility of before and after irradiation were investigated. At first, moisture content of samples (three sample of 500 g) were increased to 250 g/kg. Then, were subjected to microwave irradiation at a power of 800 W for 2, 4 or 6 min. Chemical composition, phytic acid and glucosinolate contents of untreated and irradiated samples were determined by standard methods. Degradation kinetics of CP were determined according to *in situ* procedure. Sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) was used to monitor protein subfractions and the fate of true proteins of untreated and irradiated feed samples in the rumen. The results of experience showed that irradiation had no significant effect on chemical composition, but decreased the total glucosinolate and phytic acid content of NRSM ($P<0.001$). Ruminal disappearance of DM and CP in different incubation times linearly increased ($P<0.05$) as irradiation time increased. Microwave irradiation decreased the washout fraction, degradation rate and effective degradability (ED) of CP and increased potentially degradable fraction of CP and DM of NRSM ($P<0.05$). Microwave irradiation increased *in vitro* CP digestibility of NRSM ($P<0.01$). Microwave irradiation for 2, 4 and 6 min decreased rumen degradation protein and increased rumen undegradable protein and MP of NRSM at a ruminal outflow rate of 0.05 and 0.08 h^{-1}. Microwave irradiation for 2, 4 and 6 min increased MP of NRSM at a ruminal outflow rate of 0.08 h^{-1} by 3, 5 and 8%, respectively. Based on results of this study, microwave irradiation more than 2 min decreased glucosinolate and phytic acid content and ruminal degradability of CP and increased by pass protein, *in vitro* CP digestibility and MP of NRSM and eventually, microwave irradiation was effective in improving nutritional value of NRSM for using in ruminant diet.

Key words: Electrophoresis, Microwave irradiation, metabolizable protein, Rapeseed Meal, Ruminal degradability.

مقدمه

با توجه به کمبود مواد خوراکی مورد استفاده در جیره دام و طیور در شرایط کنونی و برای دستیابی به تولید مطلوب و اقتصادی، استفاده بهینه از منابع ارزان قیمت داخل کشور ضروری است. منداب بومی از دانه‌های روغنی است که در مناطق مرکزی ایران به دلیل شرایط اقلیمی و مقاومت در برابر آفات کشت می‌شود و انرژی و پروتئین خام مناسبی دارد. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۵)، میزان پروتئین خام، عصاری اتری و الیاف نامحلول در شوینده خنثی دانه منداب بومی را به ترتیب ۲۲، ۳۶ و ۲۲ درصد گزارش کردند. طحان و همکاران (۱۳۹۰)، میزان پروتئین خام، چربی خام و الیاف نا محلول در شوینده خنثی کنجاله کلزا را به ترتیب ۳۹/۸، ۹/۶ و ۲۷/۳ درصد گزارش کردند؛ ولی دانه و کنجاله منداب بومی علی رغم داشتن ترکیب اسید های آمینه مناسب به دلیل تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای زیاد، بخش زیادی از پروتئین کنجاله منداب در شکمبه تجزیه شده و ارزش غذایی آن برای نشخوارکنندگان کاهش می‌یابد. همچنین، دانه و کنجاله منداب بومی دارای مواد ضد تغذیه‌ای مانند گلوکوسینولات‌ها و اسید فایتیک است که سبب

محدودیت مصرف آن در جیره دام می‌شوند (Mandiki و همکاران، ۲۰۰۲ و ابراهیمی و همکاران؛ ۱۳۹۵). بنابراین، کاهش تجزیه‌پذیری شکمبه ای و مواد ضد تغذیه‌ای و افزایش پروتئین عبوری این کنجاله اهمیت زیادی دارد (NRC، ۲۰۰۱؛ Gozho و همکاران، ۲۰۰۹؛ قنبری و همکاران، ۱۳۹۳؛ ابراهیمی محمودآباد و همکاران، ۱۳۹۵).

گلوکوسینولات‌ها ترکیبات حاوی گوگرد و از متابولیت‌های ثانویه گیاهان هستند. مصرف این ترکیبات سبب کاهش مصرف خوراک، باروری و تولید شیر در گاوهای شیری و کاهش سطح هورمون تیروکسین سرم در گوساله های نر پرواری شده است (Ahlin و همکاران، ۱۹۹۴؛ Lardy و Kerley، ۱۹۹۴). از سوی دیگر اسید فایتیک (هگزا فسفات میو اینوزیتول) با عناصر دو و سه ظرفیتی مانند کلسیم، منیزیوم، روی، مس و آهن و اسیدهای آمینه پیوند برقرار کرده و فراهمی آنها را در روده کوچک کاهش می‌دهد (Duskova و همکاران، ۲۰۰۱؛ Alajaji و El-Adawy، ۲۰۰۶). Duskova و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که گوساله‌ها توانایی تجزیه کامل اسید فایتیک جیره استارتر را نداشتند و بخشی از فسفر مصرفی به شکل اسید فایتیک از طریق مدفوع دفع شد. عدم تجزیه اسید فایتیک در دستگاه گوارش سبب کاهش قابلیت هضم مواد غذایی و دفع فسفر آن آلودگی زیست محیطی را به همراه دارد.

طی سالیان گذشته از روش‌های حرارتی شامل اکسترود کردن[1]، تفت دادن[2]، اتوکلاو کردن[3] و میکرونیزه کردن[4] برای کاهش تجزیه پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام و کاهش مواد ضد تغذیه‌ای مواد خوراکی استفاده شده است (Haung و همکاران، ۱۹۹۵؛NRC، ۲۰۰۱؛ Samdi و همکاران، ۲۰۱۱؛ Taghinejad Roudbaneh، ۲۰۱؛ باشتنی و همکاران، ۱۳۹۷)؛ ولی استفاده از دماهای زیاد در روش‌های حرارتی سبب تشکیل کمپلکس پروتئین-کربوهیدرات (واکنش میلارد) می‌شود و قابلیت هضم پروتئین در روده کوچک کاهش می‌یابد (Van Soest، ۱۹۹۴؛ NRC، ۲۰۰۱). یکی دیگر از روش‌های عمل‌آوری مواد خوراکی استفاده از امواج میکروویو است (Ebrahimi و همکاران، ۲۰۱۰؛ جلیلیان و همکاران، ۱۳۹۴). امواج کوتاه مانند امواج نور یا امواج رادیویی، قسمتی از طیف الکترومغناطیس انرژی است که دو میدان الکتریکی و مغناطیسی دارند و به آنها اجازه اعمال فشار بر بارهای الکتریکی و قطب‌های مغناطیسی به طور همزمان می‌دهد. هر چه طول موج کمتر باشد انرژی بیشتری توسط موج منتقل می‌شود. برخورد امواج میکروویو با ماده خوراکی سبب حرکت شدید مولکول‌های آب شده و برخورد مولکول‌ها و تولید گرما در سطح و درون غذا به صورت یکسان را به همراه دارد. از مزایای عمل آوری با پرتو میکروویو کاهش زمان عمل‌آوری و تبدیل شدن کامل انرژی الکترومغناطیس به حرارت است (Oliveira و Franca، ۲۰۰۲). در آزمایش‌های قبلی تأثیر پرتوتابی میکروویو بر ارزش غذایی کنجاله کلزا، کنجاله پنبه دانه، دانه منداب بومی و دانه جو بررسی شده است (Sadeghi و Shawrang، ۲۰۰۷؛ ابراهیمی محمود آباد و همکاران، ۱۳۹۵؛ پیر عدل و همکاران، ۱۳۹۶)؛ ولی تاکنون تأثیر عمل‌آوری با میکروویو بر ارزش غذایی کنجاله منداب بومی مطالعه نشده است.

به هر حال بررسی ارزش غذایی مواد خوراکی پروتئینی پس از اعمال روش عمل آوری ، نیازمند دانستن میزان تجزیه پروتئین ماده خوراکی در شکمبه و قابلیت هضم آن‌ها در روده باریک است. سیستم پروتئین قابل متابولیسم یکی از روش‌های متداول ارزیابی کیفیت پروتئین دانه‌ها و کنجاله‌های عمل‌آوری شده است که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. این سیستم برمبنای پروتئین میکروبی سنتز شده در شکمبه و پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه که قابلیت هضم و جذب در روده باریک دارند، استوار است. (AFRC، ۱۹۹۲). همچنین، Van Soest (۱۹۹۴) گزارش کرد بهترین ملاک ارزشیابی پروتئین مواد خوراکی مورد استفاده در جیره نشخوارکنندگان، اندازه‌گیری مقدار تجزیه‌پذیری پروتئین حقیقی در شکمبه است. تکنیک الکتروفورز ژل پلی آکریلامید، امکان مطالعه نوع پروتئین موجود در ماده خوراکی، تعداد زیر واحدهای هر پروتئین، وزن مولکولی زیرواحدها و نحوه تجزیه‌پذیری زیر واحدهای پروتئین در شکمبه را فراهم می‌کند. با استفاده از این تکنیک می‌توان نوع پروتئین

1-Extrusion
2-Toasting
3-Autoclaving
4-Micronization

عبـوری از شـکمبه را تشـخیص داد (صـادقی و شـورنگ، ۲۰۰۷). بنابراین؛ اهداف ایـن آزمـایش بررسـی تـأثیر عمـل‌آوری بـا پرتـو میکروویو بر ارزش غذایی کنجاله منداب بومی با اندازه‌گیری مواد ضد تغذیه‌ای (اسید فایتیک و گلوکوسینولات)، تجزیه‌پذیری ماده خشـک و پـروتئین خـام، پـروتئین قابـل متابولیسـم، قابلیـت هضـم برون‌تنی پروتئین خام و روند تجزیه‌پذیری پـروتئین حقیقـی آن بـا روش الکتروفورز ژل پلی آکریلامید بود.

مواد و روش‌ها

عمل‌آوری با میکروویو

کنجاله منداب بومی از شرکت تعاونی دامداران شهرستان یزد تهیه و پس از تعیین ماده خشک، رطوبت ماده خـوراکی بـه ۲۵ درصـد رسانده شد (شورنگ و همکاران، ۱۳۸۵). نمونه‌های ماده خوراکی هر کدام به میزان ۵۰۰ گرم با اسـتفاده از دسـتگاه میکروویـو مـدل بوتان با قدرت ۸۰۰ وات به مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه در معرض امـواج میکروویو قرار گرفتند (شورنگ و همکاران، ۱۳۸۵).

تعیین ترکیب شیمیایی، اسید فایتیک وگلوکوسینولات‌ها

تجزیـه شـیمیایی (مـاده خشـک، پـروتئین خـام، عصـاره اتـری و خاکستر) کنجاله منداب بومی با روش‌های استاندارد آزمایشـگاهی (AOAC، ۱۹۹۵) اندازه گیـری شـد. مـاده خشـک بـا قـرار دادن نمونه‌های ماده خوراکی در آون به مدت ۴۸ سـاعت در دمـای ۵۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شـد. بـا قـرار دادن نمونـه‌هـای مـاده خوراکی در کوره الکتریکی با دمـای ۶۰۰ درجـه سـانتی‌گـراد بـه مدت ۲ ساعت، خاکستر آنها اندازه‌گیری شد. چربی خام با استفاده از دستگاه Soxtec و یک ساعت شستشو بـا دی اتیـل اتـر انـدازه گیری شد. مقـدار پـروتئین خـام مـاده خـوراکی نیـز بـا اسـتفاده از دستگاه کجلدال تعیین شد (نیتـروژن × ۶/۲۵). کربوهیـدارت غیـر فیبری کنجاله منداب طبق رابطـه زیـر انـدازه گیـری شـد (NRC، ۲۰۰۱).

%NFC=100-(%NDF+%CP+%EE+%ASH)

NFC= کربوهیدارت های غیر الیافی (درصد ماده خشک)

NDF=الیاف نا محلول در شوینده خنثی (درصد ماده خشک)

CP= پروتئین خام (درصد ماده خشک)

EE=عصاره اتری (درصد ماده خشک)

ASH= خاکستر (درصد ماده خشک)

الیـاف نـامحلول در شـوینده خنثـی بـه روش Van Soest و همکـاران (۱۹۹۱) و بـا اسـتفاده از دسـتگاه فایبرتـک (فایبرتـک سیستم، تکاتور، سوئد) اندازه‌گیری شد. اسید فایتیک با استفاده از روش De Boland و همکاران (۱۹۷۵) اندازه گیـری شـد. طبـق این روش، ۲ گـرم از نمونـه هـای آسـیاب شـده در ۱۰۰ میلـی‌لیتـر محلول حاوی ۱/۲ درصد اسید کلریدریک و ۱۰ درصـد سـولفات سدیم به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند و سپس با سانتریفیوز کـردن به مدت ۱۵ دقیقه (g × ۱۴۳۰) عصاره‌گیری شدند. ده میلـی‌لیتـر از عصاره‌ها پس از رقیق کردن با ۱۰ میلی‌لیتـر آب و اضـافه کـردن ۵ میلی‌لیتر کلرید آهن جوشانده شد و به مدت ۱۵ دقیقه (g × ۳۲۲۰) سانتریفیوژ شدند. فسفر موجود در نمک آهن غیـر محلـول پـس از هضم با ۳ میلی‌لیتر اسید سولفوریک و ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک، بـه وسیله اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۶۰ نانومتر انـدازه‌گیـری شـد. با فرض اینکه اسید فایتیک حاوی ۲۸/۲ درصد فسـفر اسـت، اسـید فایتیک نمونه‌ها محاسبه شد.

گلوکوسـینولات‌هـا بـه روش اسـپکتروفتومتری انـدازه‌گیـری شـد (Clifford و Smith، ۱۹۸۷). ابتدا به نمونـه‌هـای آسـیاب شـده ۱۰۰ میکرولیتر آنزیم میروزیناز اضـافه و بـه مـدت نـیم سـاعت در دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتنـد. سـپس گلـوکز حاصـل از هیدرولیز گلوکوسینولات‌هـا بـا دسـتگاه اسـپکتروفوتومتردر طـول موج ۳۴۰ نانومتر اندازه گیری شد.

اندازه گیری قابلیت هضم برون‌تنی پروتئین خام

قابلیـت هضـم بـرون‌تنـی پـروتئین بـه روش سـه مرحلـه‌ای Calsamiglia و Stern (۱۹۹۵) انـدازه‌گیـری شـد. بـه طـور خلاصه،کیسه‌های حاوی نمونـه‌هـای مـاده خـوراکی بـه مـدت ۱۶ ساعت در شکمبه نگهداری شد و باقیمانده هضم نشـده شـکمبه‌ای در ۱۰ میلی‌لیتر محلول اسید کلریدریک حـاوی ۱ گـرم پپسـین در هـر لیتـر، انکوباسـیون شـد. سـپس pH مخلـوط بـا ۰/۵ میلـی‌لیتـر هیدروکسید سدیم و ۱۳/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات با pH ۷/۸،خنثی و

۳۷/۵ میلی گرم پانکراتین به مخلوط اضافه شد. نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۸ درجه سانتی‌گراد انکوباسیون شدند. سپس، پروتئین‌های هضم نشده با محلول اسید تری کلرو استیک رسوب داده شدند. مخلوط به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد و محلول بالائی برای تجزیه نیتروژن جدا شد. قابلیت هضم پروتئین به صورت پروتئین محلول در اسید تری کلرو استیک تقسیم بر مقدار پروتئین در نمونه (مواد باقیمانده در کیسه‌های نایلونی) اندازه‌گیری شد.

الکتروفورز پروتئین

برای تعیین وضعیت زیرواحدهای پروتئین ماده خوراکی و نحوه تجزیه شدن پروتئین حقیقی کنجاله منداب عمل آوری نشده و یا عمل آوری شده با پرتو میکروویو، از تکنیک الکتروفورز ژل پلی‌آکریلامید با اندکی تغییرات به روش Laemmli (۱۹۷۰) انجام شد. از دستگاه الکتروفورز عمودی مدل TV400 برای الکتروفورز استفاده شد.

استخراج پروتئین حقیقی ماده خوراکی برای انجام الکتروفورز

برای استخراج پروتئین حقیقی مقدار ۱۵ میلی‌گرم نمونه‌های عمل‌آوری نشده، میکروویو شده، یا انکوباسیون شده در ساعات مختلف در شکمبه توزین و هر یک به درون لوله‌های اپندورف منتقل شد. سپس ۷۵۰ میکرولیتر بافر استخراج به نمونه ها اضافه شد. از بافر استخراج حاوی ۰/۶۲۵ مولار Tris-Hcl (pH=۶/۸)، ۱۰ درصد سدیم دودسیل سولفات (SDS)، ۲/۵ درصد بتا مرکاپتو اتانول، ۷ درصد گلیسرول و ۴ میلی‌گرم برومونفل بلو استفاده شد. پس از به هم زدن بر روی همزن مخصوص لوله اپندورف در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه، پروتئین نمونه‌ها استخراج و پس از قرار دادن در آب ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ دقیقه و سانتریفیوژ به مدت ۱ دقیقه (g × ۱۰۰۰۰) مایع بالایی صاف و جدا شد. مایع بالائی به لوله‌های اپندورف منتقل و برای انجام الکتروفورز استفاده شد (Laemmli، ۱۹۷۰).

رنگ‌آمیزی و رنگ‌بری ژل

برای رنگ آمیزی ژل‌های الکتروفورز از محلول حاوی ۰/۰۲۵ گرم رنگ کوماسی بلو G-250، ۷ درصد اسید استیک گلیسیال و ۴۰ درصد متانول استفاده شد. پس از رنگ آمیزی، ژل ها سه مرتبه با محلول حاوی ۷ درصد اسید استیک گلیسیال و ۵ درصد متانول و با استفاده از دستگاه شیکر رنگ‌بری شدند و سپس با دوربین معمولی تصویربرداری شدند (Laemmli، ۱۹۷۰).

برآورد وزن مولکولی زیرواحدهای پروتئین‌ها

برای تعیین وزن مولکولی زیرواحدهای پروتئینی از نرم افزار Phopto Capture (ویرایش ۱۹۹۹) استفاده شد. نرم افزار فوق بر اساس محاسبه حرکت نسبی هر پروتئین مارکر در ژل و مقایسه آن با حرکت نسبی هر زیرواحد، وزن مولکولی آن زیرواحد را تعیین می‌کند (PHOTO-CAPT، ۱۹۹۹).

تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام

تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام با استفاده از روش Ørskov و McDonald (۱۹۷۹) اندازه‌گیری شد. در این روش، ابتدا کنجاله منداب بومی با الک ۲ میلی‌متری آسیاب شدند. مقدار ۶ گرم نمونه ماده خوراکی عمل‌آوری نشده یا عمل‌آوری شده با میکروویو به مدت صفر، ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۲۴ و ۴۸ ساعت در شکمبه سه رأس گاو نر نژاد تالشی دارای فیستولای شکمبه با میانگین وزن ۱۸±۴۱۶ کیلوگرم انکوباسیون شد (Michalet-Doreau و Ould-Bah، ۱۹۹۲). گاوها با جیره حاوی ۷۰ درصد علوفه (یونجه خشک و کاه گندم به نسبت ۷۰ به ۳۰) و ۳۰ درصد کنسانتره (۵۳ درصد آرد جو، ۱۳ درصد کنجاله کانولا، ۱۶ درصد کنجاله منداب بومی، ۴ درصد کنجاله پنبه دانه، ۱۲ درصد سبوس گندم، ۱ درصد کربنات کلسیم و ۱ درصد مکمل مواد معدنی و ویتامینی) به مقدار ۸ کیلوگرم ماده خشک در روز به صورت جیره کاملاً مخلوط در دو نوبت صبح و عصر دو هفته قبل و طی دوره آزمایش تغذیه شدند. فراسنجه‌های مختلف تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام کنجاله منداب با استفاده از بسته نرم افزاری

Fit Curve و رابطه های زیر محاسبه شد (AFRC، ۱۹۹۲).

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

$$QDP=a\times CP$$
$$SDP=[(b\times c)/(c+k)]\times CP$$
$$RDP=QDP+SDP$$
$$ERDP=0.8(QDP)+SDP$$
$$RUP=CP(1-a-(bc/c+k)$$
$$DUP=0.9[(RUP)-(6.25\times ADIN)$$
$$MP=0.6375\ (ERDP)+DUP$$
$$ED=a+bc/(c+k)$$

در این رابطه‌ها a بخش سریع تجزیه پروتئین، b بخش کند تجزیه پروتئین، c نرخ ثابت تجزیه در واحد زمان، e عدد نپر (۲/۷۱۸۲)، t زمان تخمیر در شکمبه، P ناپدید شدن ماده خشک یا مغذی از کیسه‌ها، QDP پروتئین سریع تجزیه در شکمبه، SDP پروتئین کند تجزیه شونده در شکمبه، RDP پروتئین قابل تجزیه در شکمبه، ERDP پروتئین قابل تجزیه موثر در شکمبه، RUP پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه، DUP پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه ولی قابل هضم در روده باریک، ADIN نیتروژن غیر محلول در شوینده اسیدی، MP پروتئین قابل متابولیسم و ED تجزیه پذیری موثر ماده خشک و پروتئین خام است.k سرعت عبور از شکمبه است که در این مطالعه ۵ و ۸ درصد در ساعت در نظر گرفته شد. داده‌های ترکیب شیمیایی در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش تکرار تجزیه شد. مدل آماری مورد استفاده به صورت $Y_{ijk}= \mu + T_i + e_{ijk}$ بود. فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری، قابلیت هضم و اجزای پروتئین قابل متابولیسم در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با شش تکرار (سه حیوان × دو کیسه برای هر زمان انکوباسیون در هر گاو) تجزیه آماری شد. مدل آماری مورد استفاده به صورت $Y_{ijk}= \mu + T_i + Bj + e_{ijk}$ بود. در این مدل ها Y_{ijk} مقدار هر مشاهده، μ میانگین صفت مورد مطالعه، Ti اثر عمل آوری، Bj اثر حیوان و eij خطای آزمایشی است. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از رویه GLM نرم افزار SAS (1996) صورت گرفت. میانگین‌ها با آزمون کم ترین اختلاف معنی‌دار (LSD) مقایسه شدند.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی، اسید فایتیک و گلوکوسینولات

طبق جدول ۱، عمل‌آوری با پرتو میکروویو اثر معنی‌داری بر ترکیب شیمیایی کنجاله منداب بومی نداشت (P>۰/۰۵) که همسو با نتایج آزمایش‌های Ebrahimi و همکاران، ۲۰۱۰ و جلیلیان و همکاران، ۱۳۹۴ و با نتایج آزمایش پیر عدل و همکاران، ۱۳۹۶ در تضاد است. جلیلیان و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که پرتوتابی کنجاله آفتاب‌گردان با میکروویو به مدت ۴ دقیقه با قدرت ۸۰۰ وات تاثیری بر پروتئین خام، عصاره اتری و خاکستر نداشت. پیر عدل و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که پرتوتابی ارقام مختلف جو با میکروویو به مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه سبب کاهش ماده خشک، پروتئین خام، چربی خام، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی شد. میزان رطوبت نمونه‌ها قبل از پرتوتابی، قدرت امواج میکروویو و نوع ماده

جدول ۱-اثر عمل‌آوری با میکروویو بر ترکیب شیمیایی و مواد ضد تغذیه‌ای کنجاله منداب بومی

مشخصه	کنجاله عمل‌آوری نشده	کنجاله عمل‌آوری شده با میکروویو			خطای استاندارد میانگین‌ها[1]	سطح معنی داری
		۲دقیقه	۴ دقیقه	۶ دقیقه		
ماده خشک (گرم در کیلوگرم وزن تازه)	۹۰۰	۸۹۸	۸۹۴	۸۹۶	۴/۲	۰/۷۳
پروتئین خام (گرم در کیلوگرم ماده خشک)	۳۲۱	۳۲۲	۳۲۰	۳۲۲	۲/۶	۰/۹۳
عصاره اتری (گرم در کیلوگرم ماده خشک)	۸۱	۸۱	۷۹	۷۹	۰/۹۵	۰/۲۴
کربوهیدارت های غیرالیافی (گرم در کیلوگرم ماده خشک)	۲۲۶	۲۲۳	۲۳۰	۲۲۳	۶/۱	۰/۸۴
الیاف نا محلول در شوینده خنثی (گرم در کیلوگرم ماده خشک)	۳۱۱	۳۱۳	۳۱۱	۳۱۶	۵/۳	۰/۹۰
الیاف نا محلول در شوینده اسیدی (گرم در کیلوگرم ماده خشک)	۱۹۴	۱۹۲	۱۹۴	۱۹۳	۵/۱	۰/۹۴
خاکستر (گرم در کیلوگرم ماده خشک)	۶۱/۳	۶۱/۳	۶۰/۷	۶۰/۳	۱/۴۷	۰/۹۵
اسید فایتیک (گرم در کیلوگرم ماده خشک)	۴۰/۶[a]	۳۴/۷[b]	۲۹/۰[c]	۲۴/۹[d]	۰/۷۷	۰/۰۰۱
گلوکوسینولات‌ها (میکرومول در گرم ماده خشک)	۱۰۸/۵[a]	۷۱/۴[b]	۵۵/۴[c]	۳۹/۷[d]	۲/۲۳	۰/۰۰۱

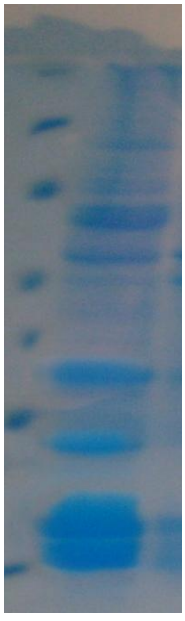
[a b c d] میانگین های در یک ردیف با حروف متفاوت تفاوت معنی دار دارند (P<۰/۰۰۱). 1-Standard error of the means

خوراکی بر ترکیب شیمیایی ماده خوراکی بعد از پرتوتابی موثر است (Oliveira و Franca، ۲۰۰۲ و پیر عدل و همکاران، ۱۳۹۶). در پژوهش حاضر، پرتوتابی با میکروویو سبب کاهش اسید فایتیک و مقدار گلوکوسینولات‌های کنجاله منداب بومی شد (P<۰/۰۰۱) که با نتایج آزمایش‌های ابراهیمی محمودآباد و همکاران (۱۳۹۵) موافق بود. عمل آوری با میکروویو به مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه سبب کاهش اسید فایتیک کنجاله منداب به ترتیب به میزان ۱۵، ۲۹ و ۳۹ درصد نسبت به کنجاله عمل آوری نشده شد (P<۰/۰۵). همچنین، ابراهیمی محمودآباد و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند که عمل آوری با میکروویو به مدت۲، ۴ و ۶ دقیقه سبب کاهش اسید فایتیک دانه منداب به میزان ۲۱، ۴۹ و ۶۲ درصد نسبت به دانه خام شد. همچنین، Kala و Mohan (۲۰۱۲) تاثیر پرتو میکروویو به مدت ۲، ۴، ۸، ۱۰ و ۱۲ دقیقه بر اسید فایتیک دانه لوبیا بررسی کردند و گزارش کردند با افزایش زمان عمل‌آوری اسید فایتیک دانه لوبیا کاهش یافت. پرتوتابی با تجزیه فیتات به اینوزیتول فسفات‌های با گروه‌های فسفر کمتر و یا با شکاف حلقه فیتات سبب کاهش مقدار اسید فایتیک می‌شود (Siddhuraju و همکاران، ۲۰۰۲). ابراهیمی محمودآباد و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند که عمل‌آوری دانه منداب بومی با میکروویو به مدت ۴ و ۶ دقیقه سبب کاهش گلوکوسینولات‌های آن به ترتیب به میزان ۵۲ و ۶۴ درصد نسبت به دانه عمل آوری نشده شد. هرچند نحوه کاهش گلوکوسینولات‌ها با پرتودهی مشخص نیست؛ اما به نظر می‌رسد عمل‌آوری با میکروویو با تجزیه گلوکوسینولات‌ها و حذف فراورده ها حاصل از تجزیه آنها بویژه ایزوتیوسیانات‌ها و اکسازولیدین تیون (Oerlemans و همکاران، ۲۰۰۶) سبب کاهش گلوکوسینولات‌ها شده است.

نتایج مطالعات قبلی نشان داده است که گوساله‌ها توانایی تجزیه کامل اسید فایتیک را ندارند و بخش زیادی از فسفر خوراک از طریق مدفوع دفع می‌شود (Duskova و همکاران، ۲۰۰۱). علاوه بر این، مصرف کنجاله منداب دارای گلوکوسینولات زیاد سبب کاهش مصرف ماده خشک، التهاب دستگاه گوارش، هایپرتروفی کبد و تیروئید، کاهس سطح هورمون تیروکسین و افزایش کیست تخمدانی، روزهای باز، مرده زایی و سقط جنین و کاهش درصد باروری در گاو شیری و کاهش وزن در گوسفند شده است (Ahlin و همکاران، ۱۹۹۴؛ Mandiki و همکاران، ۲۰۰۲؛

هـــدایتی و همکـــاران، ۱۳۹۱). همچنـــین، Lardy و Kerley (۱۹۹۴) گزارش کردند که افزایش مصرف کنجاله منداب در جیره گوساله های نر پرواری سبب کاهش مصرف ماده خشک و پروتئین خام و کاهش سطح هورمون تیروکسین سرم شد. بنابراین با عمل آوری کنجاله منداب، مقادیر بیشتری از کنجاله منداب بومی عمل‌آوری شده را می‌توان در جیره نشخوارکنندگان استفاده کرد و تأثیرات منفی حاصل از مصرف اسید فایتیک و آلودگی زیست محیطی را کاهش داد.

الگوی زیر واحدهای پروتئین کنجاله منداب بومی



شکل ۱- الگوی مارکر پروتئینی (۱) و زیرواحدهای پروتئین کنجاله منداب بومی (۲)

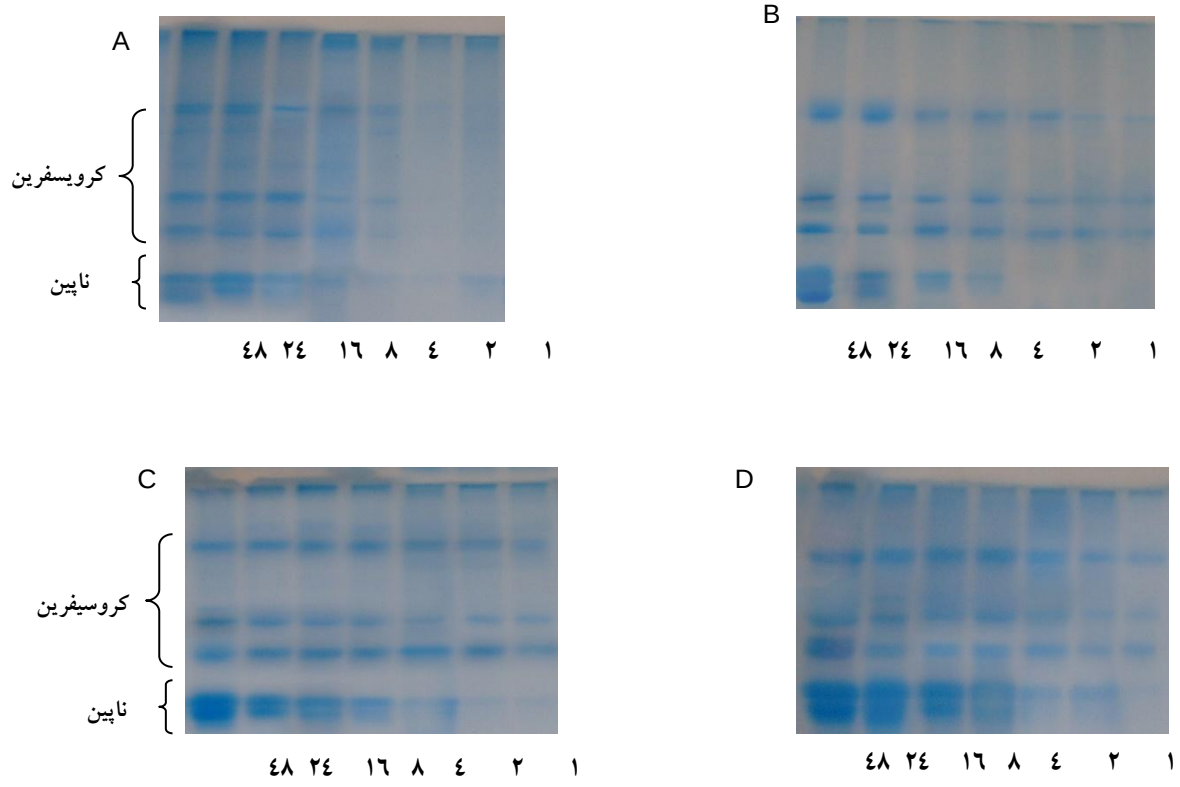
Bhatty و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که پروتئین دانه منداب دارای چهار زیرواحد کروسیفرین با وزن مولکولی ۳۲/۰، ۲۸/۲، ۲۱/۰ و ۱۸/۲ کیلودالتون و دو زیر واحد ناپین با وزن مولکولی ۱۰/۳ و ۸/۰ کیلو دالتون بود. عواملی چون واریته منداب، شرایط انجام الکتروفورز نمونه ها و غلظت ژل سبب تفاوت در وزن مولکولی زیر واحدهای پروتئین می شوند.

اثرات عمل‌آوری با میکروویو بر زیرواحدهای پروتئین کنجاله منداب بومی

الگوی زیرواحدهای کنجاله منداب بومی عمل‌آوری نشده، عمل‌آوری شده با میکروویو به مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه در زمان‌های مختلف انکوباسیون در شکمبه (صفر، ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۲۴ و ۴۸ ساعت) در شکل ۲ گزارش شده است. نتایج تجزیه الکتروفورز پروتئین کنجاله منداب در زمان‌های مختلف انکوباسیون در شکمبه نشان داد که تجزیه پذیری پروتئین ناپین سریع تر از پروتئین

الگوی زیر واحدهای پروتئین کنجاله منداب بومی و مارکر پروتئینی در شکل ۱ نشان داده شده است. الکتروفورز پروتئین کنجاله منداب بومی نشان داد که عمده پروتئین در کنجاله منداب بومی شامل آلبومین ۲S (ناپین) با دو زیر واحد به وزن مولکولی ۱۶/۳ و ۱۵/۲ کیلودالتون و کروسیفرین (گلوبولین ۱۲S) با چهار زیر واحد به وزن مولکولی ۴۰/۲، ۳۷/۵، ۲۳/۴ و ۱۹/۷ کیلودالتون بود که با نتایج به دست آمده توسط ابراهیمی محمودآباد و همکاران (۱۳۹۵) همسو و با Bhatty و همکاران (۱۹۹۹) در تضاد است.

کروسیفرین بود. تجزیه الکتروفورز پروتئین کنجاله عمل‌آوری نشده (شکل ۲A) نشان داد که اکثر زیر واحدهای پروتئین تا ۱۶ ساعت انکوباسیون در شکمبه تجزیه شدند؛ ولی تجزیه الکتروفورز کنجاله منداب عمل آوری شده به مدت ۲ دقیقه در شکمبه (شکل ۲B) نشان داد که یک زیر واحد از کروسیفرین در زمان صفر انکوباسیون ناپدید شد؛ ولی زیرواحدهای دیگر کروسیفرین تا ۴۸ ساعت انکوباسیون در شکمبه مقاوم به تجزیه بودند. زیر واحدهای ناپین کنجاله منداب عمل‌آوری شده با میکروویو به مدت ۲ دقیقه پس از ۴ ساعت انکوباسیون در شکمبه ناپدید شدند. تجزیه الکتروفورز پروتئین کنجاله منداب بومی عمل‌آوری شده با میکروویو به مدت ۴ دقیقه در شکمبه (شکل ۲C) و کنجاله منداب بومی عمل‌آوری شده با میکروویو به مدت ۶ دقیقه در شکمبه (شکل ۲D) نشان دادند که یک زیرواحد از کروسیفرین در زمان صفر انکوباسیون ناپدید شد. پرتو میکروویو به مدت ۴ و ۶ دقیقه تاثیر یکسانی در به تاخیر انداختن تجزیه شکمبه‌ای پروتئین کروسیفرین داشتند؛ ولی زیر واحدهای ناپین کنجاله منداب عمل‌آوری شده با میکروویو به مدت ۴ و ۶ دقیقه به ترتیب تا۸ و ۱۶ ساعت انکوباسیون در شکمبه در برابر تجزیه شکمبه‌ای مقاوم بودند. Sadeghi و Shawrang (۲۰۰۶) گزارش کردند که عمل‌آوری کنجاله کانولا با میکروویو با قدرت ۸۰۰ وات به مدت ۴ و ۶ دقیقه مانع از تجزیه زیر واحد ناپین در زمان صفر انکوباسیون شد و به ترتیب پس از ۴ و ۶ ساعت انکوباسیون در شکمبه تجزیه شدند. در کل نتایج الکتروفورز نشان داد که عمل آوری با میکرویو سبب کاهش تجزیه پذیری پروتئین حقیقی (زیر واحدهای کروسیفرین و ناپین) کنجاله منداب شد که افزایش پروتئین حقیقی عبوری را به دنبال خواهد داشت.



شکل ۲ الکتروفورز ژل پلی آکریلامید کنجاله منداب بومی عمل‌آوری نشده (A)، کنجاله منداب بومی عمل‌آوری شده با میکروویو به مدت ۲ دقیقه (B)، کنجاله منداب بومی عمل‌آوری شده با میکروویو به مدت ۴ دقیقه (C) و کنجاله منداب بومی عمل‌آوری شده با میکروویو به مدت ۶ دقیقه

Folawiyo و Apenten(1997) با استفاده از شدت انتشار آلینیونافالن ۸ اسید سولفونیک به عنوان کاوشگر فلورسنس آب‌گریز، اثر فرایند حرارتی بر ساختمان پروتئین‌های منداب را مطالعه کردند. این محققان گزارش کردند که فرایند حرارتی سبب تغییراتی در پروتئین ناپین و کروسیفرین می‌شود که آب‌گریزی پروتئین ناپین و کروسیفرین را به دنبال دارد. افزایش آب‌گریزی پروتئین به دلیل جدا شدن پیوندهای هیدروژنی و سایر پیوندهای ضعیف غیر کووالانسی است. در نتیجه، با تغییر در ساختمان پروتئین، موقعیت آمینواسیدها و آب‌گریزی پروتئین و واسرشتی پروتئین، تجزیه‌پذیری پروتئین کروسیفرین و ناپین در شکمبه کاهش یافت (Van Soest، ۱۹۹۴؛ Samadi و Yu، ۲۰۱۱؛ Peng و همکاران، ۲۰۱۴).

اثر پرتوتابی با میکروویو بر ناپدید شدن شکمبه ای ماده خشک و پروتئین خام

اثر عمل‌آوری با میکروویو بر ناپدید شدن شکمبه ای ماده خشک و پروتئین خام کنجاله منداب در زمان‌های مختلف انکوباسیون به ترتیب در جدول ۲ و ۳ آمده است. نتایج آزمایش نشان داد، اثر پرتو میکروویو بر تجزیه پذیری ماده خشک کنجاله منداب در همه زمان‌های انکوباسیون معنی دار بود ($P<0/05$) و با افزایش زمان عمل‌آوری با میکروویو ناپدید شدن شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام کنجاله منداب کاهش یافت. بیشترین و کمترین مقدار ناپدید شدن شکمبه ای ماده خشک پس از ۴۸ ساعت انکوباسیون در شکمبه، به ترتیب ۸۱/۹۶ درصد برای کنجاله منداب عمل‌آوری نشده و ۷۸/۳۵ درصد برای کنجاله منداب عمل‌آوری شده با میکروویو به مدت ۶ دقیقه مشاهده شد. بیشترین و کمترین مقدار ناپدید شدن شکمبه‌ای پروتئین خام کنجاله منداب پس از ۴۸ ساعت انکوباسیون در شکمبه، به ترتیب ۹۲/۵۴ درصد برای کنجاله منداب عمل‌آوری نشده و ۸۹/۰۹ درصد برای کنجاله منداب عمل‌آوری با میکروویو به مدت ۶ دقیقه مشاهده شد (جدول ۳). بیشترین تاثیر عمل‌آوری با میکروویو بر ناپدید شدن شکمبه ای پروتئین خام کنجاله منداب در زمان صفر مشاهده شد ($P<0/01$). عمل‌آوری کنجاله با میکروویو به مدت ۶ دقیقه

جدول ۲ -اثر عمل‌آوری با میکروویو بر ناپدیدشدن شکمبه‌ای ماده خشک در ساعات مختلف انکوباسیون (درصد ماده خشک)

ماده خوراکی	صفر	۲	۴	۸	۱۶	۲۴	۴۸
کنجاله منداب عمل‌آوری نشده	۲۶/۲۵^{a}	۳۱/۳۹^{a}	۳۷/۵۴^{a}	۴۸/۳۱^{a}	۶۴/۳۴^{a}	۷۶/۶۰^{a}	۸۱/۹۶^{a}
کنجاله منداب عمل‌آوری شده به مدت ۲ دقیقه	۲۱/۳۷^{b}	۲۳/۸۹^{b}	۳۲/۱۳^{b}	۴۳/۰۲^{ab}	۶۴/۲۸^{ab}	۷۴/۳۹^{ab}	۸۱/۰۴^{ab}
کنجاله منداب عمل‌آوری شده به مدت ۴ دقیقه	۱۶/۵۰^{c}	۲۵/۸۲^{b}	۲۹/۴۳^{bc}	۳۹/۸۷^{b}	۶۰/۰۲^{b}	۷۰/۸۴^{b}	۸۱/۴۴^{b}
کنجاله منداب عمل‌آوری شده به مدت ۶ دقیقه	۱۴/۳۶^{c}	۲۳/۰۷^{b}	۲۶/۲۲^{c}	۳۷/۵۱^{b}	۵۰/۷۰^{c}	۶۳/۴۷^{c}	۷۸/۳۵^{b}
خطای استاندارد میانگین‌ها[1]	۱/۱۰	۱/۷۷	۱/۲۰	۱/۸۷	۱/۷۹	۱/۳۹	۱/۰۸
سطح معنی داری	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۲۰

^{a,b,c} در هر ستون، میانگین‌های با حروف متفاوت تفاوت معنی‌دار دارند ($P<0/05$).

1-Standard error of the means

میزان ناپدید شدن شکمبه ای پروتئین خام را در زمان صفر به میزان ۴۹/۷ درصد نسبت به کنجاله منداب عمل آوری نشده کاهش داد. کاهش تجزیه پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام مواد خوارکی پس از عمل‌آوری با میکروویو و سایر روش‌های عمل‌آوری حرارتی نیز گزارش شده است (جلیلیان و همکاران، ۱۳۹۴؛ پایا و همکاران، ۱۳۹۵؛ پیر عدل و همکاران، ۱۳۹۶). پیر عدل و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که عمل‌آوری ارقام مختلف دانه جو با میکروویو به مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه سبب کاهش تجزیه پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام در زمان‌های مختلف انکوباسیون در شکمبه شد و عمل آوری با میکروویو به مدت ۶ دقیقه بیشترین تاثیر بر کاهش تجزیه پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام ارقام مختلف دانه جو داشت. تاثیر پرتوتابی با میکروویو را می‌توان ناشی از حرارت ایجاد شده طی این عمل آوری دانست.

جدول ۳- اثر عمل‌آوری با میکروویو بر ناپدیدشدن شکمبه‌ای پروتئین خام در ساعات مختلف انکوباسیون (درصد ماده خشک)

مواد آزمایشی	صفر	۲	۴	۸	۱۶	۲۴	۴۸
کنجاله منداب عمل‌آوری نشده	۳۳/۸۸^{a}	۴۱/۲۳^{a}	۴۹/۶۲^{a}	۶۱/۱۴^{a}	۷۶/۹۳^{a}	۸۵/۷۰^{a}	۹۲/۵۴^{a}
کنجاله منداب عمل‌آوری شده به مدت ۲ دقیقه	۲۷/۸۵^{b}	۳۲/۷۷^{b}	۴۲/۴۹^{b}	۵۵/۲۹^{b}	۷۴/۶۳^{a}	۸۳/۸۷^{a}	۹۰/۳۲^{ab}
کنجاله منداب عمل‌آوری شده به مدت ۴ دقیقه	۲۰/۹۶^{c}	۱۷/۷۲^{b}	۳۹/۰۴^{c}	۵۰/۹۲^{bc}	۶۹/۳۸^{b}	۷۹/۰۲^{b}	۹۰/۴۲^{ab}
کنجاله منداب عمل‌آوری شده به مدت ۶ دقیقه	۱۷/۰۳^{d}	۲۸/۷۰^{b}	۳۴/۰۷^{d}	۴۷/۰۴^{c}	۶۰/۸۱^{c}	۷۲/۸۲^{c}	۸۹/۰۹^{b}
خطای استاندارد میانگین‌ها[1]	۱/۰۵	۲/۴۹	۱/۱۶	۱/۶۶	۱/۲۹	۱/۰۲	۰/۷۹
سطح معنی‌داری	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۰

^{a,b,c,d} در هر ستون، میانگین‌های با حروف متفاوت تفاوت معنی‌دار دارند (P<۰/۰۵).

1-Standard error of the means

حرارت سبب دناتوره شدن ساختار پروتئین شده و با تغییر ساختار ماتریکس پروتئین، کاهش حلالیت پروتئین را به همراه دارد. با کاهش حلالیت پروتئین، قابلیت دسترسی میکروارگانسیم های شکمبه ای و تجزیه پذیری شکمبه ای پروتئین خام کاهش یافت (NRC، ۲۰۰۱؛ Peng و همکاران، ۲۰۱۴). کاهش تجزیه پذیری پروتئین خام کنجاله منداب پس از عمل آوری با میکروویو سبب افزایش پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه کنجاله منداب می شود که از نظر تغذیه ای مصرف آن در جیره نشخوارکنندگان بهبود عملکرد آن ها را به همراه خواهد داشت (NRC، ۲۰۰۱).

اثر پرتو میکروویو بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و قابلیت هضم پروتئین خام

فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام در جدول ۲ گزارش شده است. تجزیه‌پذیری بالقوه ($a+b$) ماده خشک و پروتئین خام کنجاله منداب عمل‌آوری نشده در مطالعه حاضر (به ترتیب ۸۴۹ و ۹۴۱ گرم در کیلوگرم) زیاد بود. همچنین، مقادیر بخش تند تجزیه شونده، بخش کند تجزیه شونده و تجزیه‌پذیری بالقوه پروتئین خام کنجاله منداب بومی بیشتر از مقادیر گزارش شده توسط قنبری و همکاران (۱۳۹۳) بود. قنبری و همکاران (۱۳۹۳)، بخش تند تجزیه شونده، بخش کند تجزیه شونده و تجزیه‌پذیری بالقوه پروتئین خام کنجاله کانولا را به ترتیب ۱۹/۷۳، ۵۹/۰۵ و ۷۸/۷۸ درصد گزارش کردند. این تفاوت را می‌توان به اختلاف در نوع رقم گیاه و ترکیب شیمیایی نسبت داد. عمل‌آوری کنجاله منداب بومی با میکروویو سبب کاهش بخش سریع تجزیه و افزایش بخش کند تجزیه ماده خشک و پروتئین خام شد (P<۰/۰۵) که با نتایج آزمایش‌های سایر محققان (Ebrahimi و همکاران، ۲۰۱۰ ؛ Yan و همکاران ۲۰۱۴؛ پایا و همکاران، ۱۳۹۵) موافق است. عمل‌آوری با میکروویو به مدت ۴ و ۶ دقیقه بخش سریع تجزیه ماده خشک را کاهش و بخش کند تجزیه ماده خشک را نسبت به کنجاله منداب عمل‌آوری نشده افزایش داد.

جدول ٤-اثر عمل‌آوری با میکروویو بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام و قابلیت هضم برون‌تنی پروتئین خام کنجاله منداب بومی

مشخصه	کنجاله منداب بومی عمل‌آوری نشده	کنجاله منداب بومی عمل‌آوری شده با میکروویو			خطای استاندارد میانگین‌ها[1]	سطح معنی داری
		۲دقیقه	۴ دقیقه	۶ دقیقه		
ماده خشک						
a (گرم در هر کیلوگرم)	۲۰۷/۴^{a}	۱۷۲/۸^{b}	۱۴۴/۵^{bc}	۱۳۵/۹^{c}	۱۱/۲۴	۰/۰۴
b (گرم در هر کیلوگرم)	۶۴۱/۲^{b}	۶۷۸/۸^{ab}	۷۱۶/۵^{a}	۷۲۹/۹^{a}	۲۰/۴۹	۰/۰۵
a+b (گرم در کیلوگرم)	۸۴۸/۶	۸۵۱/۶	۸۶۰/۹	۸۶۵/۹	۱۷/۰۶	۰/۸۴
نرخ ثابت تجزیه (c) در ساعت	۰/۰۷۹^{a}	۰/۰۷۱^{ab}	۰/۰۶۲^{b}	۰/۰۴۸^{c}	۰/۰۰۵۰	۰/۰۱
تجزیه‌پذیری مؤثر در سرعت عبور (گرم در کیلوگرم)						
۰/۰۵	۵۹۸/۰^{a}	۵۶۸/۷^{b}	۵۳۷/۷^{c}	۴۸۹/۳^{d}	۸/۴۰	۰/۰۱
۰/۰۸	۵۲۶/۰^{a}	۴۹۰/۸^{a}	۴۵۴/۵^{b}	۴۰۶/۸^{c}	۸/۵۶	۰/۰۱
پروتئین خام						
a (گرم در هر کیلوگرم)	۳۱۳/۹^{a}	۲۵۴/۳^{b}	۲۱۴/۶^{c}	۱۷۱/۴^{d}	۱۰/۵۱	۰/۰۱
b (گرم در هر کیلوگرم)	۶۲۶/۹^{d}	۶۷۴/۸^{c}	۷۲۰/۲^{b}	۷۶۸/۶^{a}	۱۰/۸۶	۰/۰۱
a+b (گرم در کیلوگرم)	۹۴۰/۸	۹۲۹/۱	۹۳۴/۹	۹۴۰/۰	۹/۸۹	۰/۸۷
نرخ ثابت تجزیه (c) در ساعت	۰/۰۸۴^{a}	۰/۰۷۹^{ab}	۰/۰۶۸^{bc}	۰/۰۵۶^{c}	۰/۰۰۴۶	۰/۰۵
تجزیه‌پذیری مؤثر در سرعت عبور (گرم در کیلوگرم)						
۰/۰۵	۷۰۴/۸^{a}	۶۶۶/۵^{b}	۶۲۸/۸^{c}	۵۷۶/۷^{d}	۶/۴۲	۰/۰۱
۰/۰۸	۶۲۳/۵^{a}	۵۸۸/۸^{b}	۵۴۵/۰^{c}	۴۸۸/۳^{d}	۷/۰۴	۰/۰۱
قابلیت هضم برون‌تنی پروتئین خام (گرم در کیلوگرم)	۶۶۰/۶^{c}	۶۹۸/۳^{b}	۷۵۱/۳^{a}	۷۲۹/۸^{ab}	۶/۰۹	۰/۰۱

^{a,b,c,d} در هر ردیف، میانگین‌های با حروف متفاوت تفاوت معنی‌دار دارند (P<۰/۰۵). 1-Standard error of the means

عمل‌آوری با میکروویو به مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه بخش سریع تجزیه پروتئین خام را به میزان ۲۵/۸، ۳۱/۶ و ۴۵/۴ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده کاهش داد. Yan و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که عمل آوری دانه جو با میکروویو میزان بخش سریع تجزیه پروتئین خام را از ۴۵/۲۲ درصد در دانه عمل آوری نشده به ۶/۳۶ درصد در دانه جو عمل آوری شده با میکروویو به مدت ۵ دقیقه کاهش داد. پایا و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند که عمل آوری دانه گلرنگ با میکروویو به مدت ۳ دقیقه با قدرت ۸۰۰ وات سبب کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین خام و افزایش ناپدید شدن روده‌ای پروتئین خام دانه گلرنگ شد. عمل‌آوری کنجاله منداب بومی با میکروویو به مدت ۶ دقیقه تاثیری بر تجزیه‌پذیری بالقوه پروتئین خام نداشت (P>۰/۰۵)؛ ولی پیر عدل و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که پرتوتابی رقم های مختلف جو با میکروویو به مدت ۴ و ۶ دقیقه با قدرت ۹۰۰ وات سبب کاهش تجزیه‌پذیری بالقوه پروتئین خام آن شد. پرتوتابی با میکروویو به مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه تجزیه پذیری موثر پروتئین خام کنجاله

منداب را در سرعت عبور ۸ درصد در ساعت به ترتیب به میزان ۵/۶، ۱۲/۶ و ۲۱/۷ درصد نسبت به کنجاله منداب عمل‌آوری نشده کاهش داد. کاهش تجزیه پذیری پروتئین خام کنجاله منداب عمل‌آوری با میکروویو نیز به وسیله نتایج تجزیه الکتروفورز(شکل ۲) تائید می شود. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود، پرتوتابی تجزیه پذیری شکمبه ای پروتئین حقیقی (زیر واحدهای کروسیفرین و ناپین) را کاهش داد. کاهش تجزیه پذیری شکمبه ای پروتئین خام پس از عمل آوری با حرارت توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Samadi و Yu، ۲۰۱۱؛ باشتنی و همکاران، ۱۳۹۷). Samadi و Yu (۲۰۱۱) گزارش کردند که عمل آوری دانه سویا با حرارت به مدت ۱ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد سبب کاهش تجزیه پذیری شکمبه ای پروتئین خام و افزایش قابلیت هضم روده ای پروتئین خام شد.

عمل‌آوری با میکروویو با واسرشتی و افزایش درجه آب‌گریزی پروتئین سبب کاهش بخش سریع تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام می‌گردد (Van Soest، ۱۹۹۴). هرچه مولکول پروتئین آب‌گریزتر باشد، ساختمان متراکم‌تری داشته و دسترس بودن گروه‌های شیمیایی آن برای آنزیم‌های میکروبی کاهش می‌یابد و همچنین تشکیل ژل بر اثر حرارت، این وضعیت را شدیدتر می‌کند (Van Soest، ۱۹۹۴؛ Peng، ۲۰۱۴). Van Soest (۱۹۹۴) گزارش کرد که سرعت و میزان تجزیه‌پذیری پروتئین در شکمبه با آب‌گریزی نسبی پروتئین ارتباط دارد. Samadi و Yu (۲۰۱۱) گزارش کردند که حرارت با تغییر ساختار و واسرشتی پروتئین دانه سویا، سبب کاهش تجزیه پذیری شکمبه ای پروتئین آن شد. واسرشتی پروتئین و آب‌گریز شدن سطح مولکول پروتئین سبب کاهش محلولیت پروتئین می‌شود. علاوه بر این، واکنش‌های شیمیایی مانند واکنش میلارد، ایجاد پیوند عرضی بین زنجیره‌های پپتیدها و کربوهیدرات‌ها و تغییر ساختار پروتئین، ممکن است سبب کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین در شکمبه شوند (Voragen و همکاران، ۱۹۹۵ ؛Samadi و Yu، ۲۰۱۱؛ Yan و همکاران ۲۰۱۴).کاهش تجزیه پذیری موثر پروتئین خام پس از عمل آوری سبب افزایش پروتئین عبوری می شود که از نظر تغذیه ای برای گاوهای شیری پرتولید و گوساله‌های در حال رشد مفید است (NRC، ۲۰۰۱).

قابلیت هضم برون‌تنی پروتئین خام در تمامی تیمارهای کنجاله منداب پرتودهی‌شده نسبت به کنجاله خام بیشتر بود (P<۰/۰۱). قابلیت هضم پروتئین خام کنجاله منداب میکروویو شده به مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه به ترتیب در حد ۶، ۱۴ و ۱۱ درصد افزایش یافت. جلیلیان و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که پرتوتابی کنجاله آفتاب‌گردان با میکروویو به مدت ۴ دقیقه سبب افزایش قابلیت هضم روده‌ای پروتئین آن شد. Ebrahimi و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند عمل‌آوری دانه کانولا با میکروویو تا ۶ دقیقه سبب افزایش قابلیت هضم برون‌تنی پروتئین خام شد. ولی Sadeghi و Shawrang (۲۰۰۷)، کنجاله پنبه دانه را با میکروویو به مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه عمل آوری نمودند و گزارش کردند که عمل‌آوری با میکروویو تا ۴ دقیقه سبب افزایش قابلیت هضم روده‌ای پروتئین خام شد. حرارت زیاد سبب تشکیل محصولات میلاردی مقاوم به هضم آنزیمی مانندکمپلکس پروتئین-کربوهیدرات می‌شود و کاهش قابلیت هضم پروتئین را به دنبال خواهد داشت (Van Soest، ۱۹۹۴). واسرشتی پروتئین پس از عمل‌آوری با میکروویو سبب افزایش قابلیت هضم پروتئین می‌شود (Alajaji و همکاران، ۲۰۰۶). حرارت سبب بازشدن جزیی تاخوردگی پروتئین کروسیفرین می‌شود. در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد تاخوردگی‌های ساختمان ناپین و کروسیفرین به صورت غیرقابل برگشت باز شده و تغییرات زیادی در آب‌گریزی سطحی این دو پروتئین روی می‌دهد و در نتیجه حساسیت پروتئین به پروتئاز و قابلیت هضم برون‌تنی آن افزایش می‌یابد (Folawiyo و Apenten، ۱۹۹۷). همچنین، پرتوتابی سبب ایجاد پیوندهای عرضی، شکستن پیوندهای هیدروژنی و سایر پیوندهای ضعیف غیر کووالانسی و تغییر موقعیت اسیدهای آمینه شده و در نهایت سبب افزایش آب گریزی سطحی پروتئین‌ها می‌شود. با توجه به اینکه گروه های جانبی اسیدهای آمینه آب گریز، گروه های فعال شیمیایی آنزیم‌های تریپسین و کیموتریپسین هستند، بنابراین پرتوتابی با میکروویو سبب افزایش قابلیت هضم پروتئین خام کنجاله منداب شد (Murray و همکاران، ۲۰۰۳).

اثرات پرتو میکروویو بر پروتئین قابل تجزیه در شکمبه، پروتئین غیر قابل تجزیه موثر در شکمبه، پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه و پروتئین قابل متابولیسم

داده های جدول ۵ اثرات پرتو میکروویو بر پروتئین قابل تجزیه در شکمبه (RDP)، پروتئین غیر قابل تجزیه موثر در شکمبه، پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه (ERDP)، پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه (RUP) و پروتئین قابل متابولیسم (MP) در سرعت عبور ۵ و ۸ درصد در ساعت را نشان می هد. پرتو میکروویو سبب کاهش RDP و پروتئین قابل تجزیه موثر در شکمبه (ERDP) و افزایش RUP و MP کنجاله منداب شد ($P<0/01$). بیشترین و کمترین میزان RDP و ERDP در سرعت عبور ۵ درصد در ساعت به ترتیب با تیمار کنجاله منداب عمل‌آوری نشده و تیمار کنجاله منداب عمل‌آوری شده با میکروویو به مدت ۶ دقیقه مشاهد شد. داده‌های بدست آمده نشان می‌دهد که بیشترین مقدار پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه (۱۶۵/۵۰ گرم در هر کیلوگرم ماده خشک) با تیمار کنجاله منداب عمل‌آوری شده با میکروویو به مدت ۶ دقیقه در سرعت عبور ۸ درصد در ساعت مشاهده شد. Yan و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش کردند که عمل آوری دانه جو با میکروویو به مدت ۳ و ۵ دقیقه سبب کاهش RDP و افزایش RUP دانه جو شد. کاهش پروتئین قابل تجزیه در شکمبه مواد خوراکی با سایر روش های عمل‌آوری حرارتی نیز مشاهده شده است (Samadi و Yu، ۲۰۱۱، باشتنی و همکاران، ۱۳۹۷). در مطالعه حاضر، با افزایش زمان عمل‌آوری کنجاله با میکروویو، میزان پروتئین قابل متابولیسم افزایش یافت؛ به طوریکه بیشترین میزان پروتئین قابل متابولیسم در سرعت عبور ۸ درصد در ساعت با ۲۴۱/۵۱ گرم در هر کیلوگرم ماده خشک با تیمار کنجاله عمل‌آوری با میکروویو به مدت ۶ دقیقه مشاهده شد. عمل آوری با میکروویو به مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه میزان پروتئین قابل متابولیسم کنجاله منداب را در سرعت عبور ۸ درصد در ساعت به میزان ۳، ۵ و ۸ درصد نسبت به کنجاله عمل‌آوری نشده افزایش داد. میزان پروتئین قابل متابولیسم ماده خواراکی تحت تاثیر ERDP و RUP است (AFRC، ۱۹۹۲). افزایش MP کنجاله منداب پس از عمل‌آوری با میکروویو به دلیل کاهش RDP و افزایش RUP است. کاهش تجزیه پذیری پروتئین و افزایش پروتئین عبوری کنجاله منداب پس از عمل‌آوری به اثرات حرارتی و غیر حرراتی میکروویو نسبت داده می‌شود (Banik و همکاران، ۲۰۰۳). نفوذ امواج میکروویو در ساختار درونی کنجاله سبب ایجاد حرارت یکنواخت بر اثر افزایش حرکت و برخورد مولکول‌های دو قطبی می‌شود. همچنین، برخورد امواج میکروویو با پروتئین‌های ماده خوراکی، تغییر ساختار آن‌ها را به همراه دارد. حرارت و آثار غیر حرارتی ناشی از عمل‌آوری با میکروویو با ایجاد تغییرات ساختمانی در پروتئین ها و افزایش آب‌گریزی سطح مولکول پروتئین به دلیل جدا شدن پیوندهای هیدروژنی و سایر پیوندهای ضعیف غیر کووالانسی و تغییر موقعیت اسیدهای آمینه سبب تشکیل ژل پروتئینی می شود (Folawiyo و Apenten، ۱۹۹۷) که به کاهش محلولیت پروتئین و کاهش در دسترس بودن گروههای فعال شیمیایی و در نتیجه کاهش RDP منجر می شود و در نهایت بهبود ارزش غذایی برای نشخوارکنندگان را به همراه دارد (Van Soest، ۱۹۹۴؛ NRC، ۲۰۰۱).

جدول ۵-اثر عمل‌آوری با میکروویو بر پروتئین قابل تجزیه در شکمبه، پروتئین قابل تجزیه موثر در شکمبه، پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه و پروتئین قابل متابولیسم کنجاله منداب بومی

مشخصه	کنجاله منداب بومی عمل‌آوری نشده	کنجاله منداب بومی عمل‌آوری شده با میکروویو			خطای استاندارد میانگین‌ها[1]	سطح معنی داری
		۲دقیقه	۴ دقیقه	۶ دقیقه		
پروتئین قابل تجزیه در شکمبه در سرعت عبور (گرم در هر کیلوگرم ماده خشک)						
۰/۰۵	۲۲۵/۶۲[a]	۲۱۴/۵۶[b]	۲۰۰/۸۶[c]	۱۸۵/۲۰[d]	۲/۸۲	۰/۰۱
۰/۰۸	۲۰۲/۷۲[a]	۱۸۹/۵۳[b]	۱۷۴/۰۰[c]	۱۵۶/۴۵[d]	۲/۹۲	۰/۰۱
پروتئین قابل تجزیه موثر در شکمبه در سرعت عبور (گرم در کیلوگرم ماده خشک)						
۰/۰۵	۲۰۵/۵۰[a]	۱۹۸/۱۹[a]	۱۸۷/۱۰[b]	۱۷۴/۱۵[c]	۲/۵۱	۰/۰۱
۰/۰۸	۱۸۲/۶۰[a]	۱۷۳/۱۶[b]	۱۶۰/۲۴[c]	۱۴۵/۴۰[d]	۲/۵۹	۰/۰۱
پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه در سرعت عبور (گرم در هر کیلوگرم ماده خشک)						
۰/۰۵	۹۵/۰۵[b]	۱۰۷/۳۹[ab]	۱۱۹/۱۹[a]	۱۳۶/۷۵[a]	۲/۳۳	۰/۰۱
۰/۰۸	۱۱۷/۸۹[d]	۱۳۲/۴۹[c]	۱۴۶/۰۵[b]	۱۶۵/۵۰[a]	۲/۶۲	۰/۰۱
پروتئین قابل متابولیسم(گرم در هر کیلوگرم ماده خشک)						
۰/۰۵	۲۱۶/۳۹[c]	۲۲۲/۸۷[b]	۲۲۶/۴۳[b]	۲۲۳/۹۶[a]	۱/۹۴	۰/۰۱
۰/۰۸	۲۲۴/۴۰[c]	۲۲۹/۴۴[b]	۲۳۳/۴۸[b]	۲۴۱/۵۱[a]	۲/۰۱	۰/۰۱

[a,b,c,d] در هر ردیف، میانگین‌های با حروف متفاوت تفاوت معنی‌دار دارند (P<۰/۰۵).

1-Standard error of the means

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که عمل‌آوری با پرتو میکروویو نه تنها مقدار اسید فایتیک، گلوکوسینولات، تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام و حقیقی کنجاله منداب بومی را کاهش داد؛ بلکه سبب افزایش قابلیت هضم برون‌تنی پروتئین خام، پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه و پروتئین قابل متابولیسم آن نیز شد. بنابراین، پرتودهی میکروویو به مدت بیش از ۲ دقیقه در بهبود ارزش غذایی کنجاله منداب بومی برای استفاده در جیره نشخوارکنندگان مؤثر بود. به هر حال، پیشنهاد می‌شود تاثیر مصرف کنجاله منداب بومی عمل‌آوری شده با پرتو میکروویو بر عملکرد تولیدی نشخوارکنندگان در شرایط درون تنی بررسی شود.

سپاسگزاری

از همکاری و مساعدت دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات که امکان انجام آزمایش را فراهم نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

ابراهیمی محمودآباد، س.ر.، نیکخواه، ع. و صادقی، ع.ا. (۱۳۹۵). ترکیبات ضدتغذیه‌ای و تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه منداب بومی عمل‌آوری شده با پرتو گاما و میکروویو. نشریه پژوهش‌های علوم دامی ایران. ۸ (۱): ص ص ۷۲-۸۵.

باشتنی، م.، فرهنگ فر، ه. و گنجی، ف. (۱۳۹۷). تاثیر فرایند پلت بر ترکیب شیمیایی، بخش های نیتروژن دار و خصوصیات تجزیه پذیری کنسانتره تجاری با استفاده از دو روش برون تنی. نشریه پژوهش‌های علوم دامی. ۲۸(۲): ص ص ۳۵-۵۰.

پایا، ح.، تقی زاده، ا.، جانمحمدی، م.، مقدم، غ.ع. و حسینخانی، ع. (۱۳۹۵). اثر پرتوتابی با میکروویو بر ناپدید شدن شکمبه‌ای و روده‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه گلرنگ با استفاده از روش کیسه‌های نایلونی و کیسه‌های نایلونی متحرک. نشریه پژوهش‌های علوم دامی. ۲۶ (۲): ص ص ۱۳۰-۱۲۱.

پیر عدل، ا.، میر محمدی، ر. و خلیل وندی 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. ۵ (۴): ص ص ۱۴۴-۱۱۹.

جلیلیان، س.، فتاح نیا، ف.، شورنگ، پ. و محمد زاده، ح.(۱۳۹۴). اثر روش‌های مختلف پرتوتابی بر بخش‌های مختلف پروتئین و تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و قابلیت هضم روده‌ای پروتئین کنجاله آفتابگردان. نشریه پژوهش‌های علوم دامی. ۲۵ (۲): ص ص ۸۰-۶۹.

شورنگ، پ.، نیکخواه، ع.، زارع شحنه، ا. و رئیسعلی، غ. ر. (۱۳۸۵). مطالعه اثرات پرتوتابی بر ناپدید شدن شکمبه ای و پس شکمبه ای پروتئین برخی مواد خوراکی با استفاده از تکنیک کیسه های نایلونی و الکتروفورز ژل پلی آکریلامید. رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

طحان، ق.، فتحی نصری، م.ح.، ریاسی، ا.، بهگر، م. و فرهنگ فر، ه. (۱۳۹۰). اثر پرتوتابی الکترونی بر فراسجه های تجزیه پذیری و قابلیت هضم شکمبه ای و پس شکمبه ای ماده خشک و پروتئین خام برخی مواد خوراکی. نشریه پژوهش‌های علوم دامی ایران. ۳(۴): ص ص ۴۳۴-۴۲۲.

قنبری، ف.، قورجی، ت.، شورنگ، پ.، منصوری، ه. و تربتی نژاد، ن. (۱۳۹۳). تاثیر پرتوتابی بر ناپدید شدن شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام و قابلیت هضم برون تنی کنجاله کانولا. نشریه علوم دامی (پژوهش و سازندگی). ۲۶:ص ص ۶۶-۵۵.

هدایتی، ع.خ.، امانلو، ح.، نیکخواه، ع.، امیرآبادی فراهانی، ط. و اسلامیان فارسونی، ن. (۱۳۹۱). مقایسه ارزش غذایی کنجاله منداب و کنجاله تخم پنبه در تغذیه گاوهای هلشتاین. مجله علوم دامی ایران. ۴۳ (۱). ۷۰-۶۱.

AFRC. (1992). Nutritive requirements of ruminant animal: Protein. Nutrition Abstracts and Reviews. 62: 787-835. CAB. International Wallingford.

Alajaji, S.A. and El-Adawy, T.A. (2006). Nutritional composition of chickpea (*Cicer arietinum L.*) as affected by microwave cooking and other traditional cooking methods. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19: 806–812.

AOAC. (1995). Official Methods of Analysis, 16th Ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA, USA.

Banik, S., Bandyopadhyay, S. and Ganguly. S. 2003. Bio effects of microwave-a brief review. *Bioresource Technology*. 87: 155-159.

Bhatty, R.S., McKenzie, S.L. and Finlayson, A.J. (1999). The proteins of rapeseed soluble in salt solutions. *Canadian Journal of Biochemistry*. 46, 1191-1197.

Calsamiglia, S. and Stern, M.D. (1995). A three-step *in vitro* procedure for estimating intestinal digestion of protein in ruminants. *Journal of Animal Science.* 73: 1459-1465.

Clifford, A. and Smith, D.V. (1987). Rapid method for determining total glucosinolates in rapeseed by enzimatically released glucose. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 38: 141-150.

De Boland, A.R., Garner, G.B. and O Dell, B.L. (1975). Identification and properties of phytate in cereal grains and oilseed products. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 23: 1186- 1189.

Duskova, D., Dvorak, R., Rada, V., Doubek, J. and Marounek, M. (2001). Concentration of phytic acid in faeces of calves fed sterter diets. *Acta Veterinaria Brno.* 70: 381-385.

Ebrahimi, S.R., Nikkhah, A. and Sadeghi, A.A. (2010). Changes in nutritive value and digestion kinetics of canola seed due to microwave irradiation. *Asian-Australasian Journal of Animal Science.* 27: 347-354.

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.

Gozho, G.H., McKinnon, J.J., Christensen, D.A., Racz, V. and Mustsvangwa, T. (2009). Effect of type of canola protein supplement on ruminal fermentation and nutrient flow to the duodenum in beef heigers. *Journal of Animal Science*. 87: 3363-3371.

Kala, B.K. and Mohan, V.R. (2012). Effect of microwave irradiation on the antinutritional of two accessions of velvet bean, Mucuna pruriens (L.,) DC. Var. utilis (Wall. ex Burck). *International Food Research*. 19 (3): 961-969.

Huang, S., Liang, M., Lardy, G., Huff, H.E., Kerley M.S. and Hsieh, F. (1995). Extrusion process of rapeseed meal for reducing glucosinolates. *Animal and Feed Science and. Technology*. 56: 1-9.

Laemmli, U.K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of head of bacteriophage T4. *Nature,* 227, 680-685.

Lardy, G.P. and Kerley, M.S. (1994). Effect of increasing the dietary level of rapeseed meal on intake by growing beef steers. *Journal of Animal Science.* 72: (8) 1936-1942.

Mandiki, S.N.M., Derycke, G.J., Bister, L., Mabon, N., Wathelet, J.P., Marlier, M. and Paquay, R. (2002). Chemical changes and influence of rapeseed antinutritional factor on gestating and lactating ewes. Part 1. Animal performances and plasma hormones and glucose. *Animal and Feed Science and. Technology.* 98: 25–35.

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 and Feed Science and. Technology*. 40: 57-86.

Murray, R.K., Granner, D.K., Mayes, P.A. and Rodwell, V.W. (2003). Harper's Biochemistry, 26th Ed. McGraw-Hill, New York, NY, USA.

National Research Council. (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Ed. National Academy of Sciences, Washington, DC. Ananymous.

Oerlemans, K. Barrett, D.M. Suades, C.B. Verkerk, R. and Dekker. M. (2006). Thermal degradation of glucosinolates in red cabbage. *Food Chemistry.* 95: 19–29.

Oliveira, M.E.C. and Franca, A.S. (2002).

Microwave heating of foodstuffs. *Journal of Food Engineering*. 53: 347-359.

Ørskov E.R. and McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation weighed according to rate of passage. *Journal of Agriculture Science (Camb.)*. 92: 499-503.

Peng, Q., Khan, N.A., Wanng, Z. and Moist, D. (2014). Dry heating induced changes in protein molecular stracture, protein subfractions and nutrient profiles in camelina seed. Journal of Dairy Science. 97: 446-457.

PHOTO-CAPT. 1999. V. 99. B.P. 66 TORCY. http://www.vilber.com

Sadeghi, A.A. and P. Shawrang, (2006). Effects of microwave irradiation on ruminal degradability and *in vitro* digestibility of canola meal. *Animal Feed Science and Technology*. 127: 45-54.

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. *Jouranal of dairy Science*. 94: 6092-6102.

SAS. (1996). Statistical Analysis System. SAS Intit. Inc., Cary, NC, USA.

Siddhuraju, P., Makkar, H.P.S. and Becker, K. (2002). The effect of ionising radiation on antinutritional factors and the nutritional value of plant materials with reference to human and animal food. *Food Chemistry*. 78: 187-205.

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

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 nonstarch polysaccharidesin relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74: 3583–3597.

Voragen, A.G.J., Gruppen, H., Marsman, G.J.P. and Mul, A.J. (1995). Effect of some manufacturing technologies on chemical, physical and nutritional properties of feed. In: Recent Advances in Animal Nutrition (Ed. P.C. Gransworthy and D.J.A. Cole, (Eds), Nottingham university press, Nottingham, UK, pp. 93-126.

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 subfractions, and digestion in dairy cows. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 62 (28): 6546-6555.