

# The Effect of Chemical Processing Through Steam Flaking or Steam Infrared Flaking of Barley Grain on Physical and Chemical Properties, and Protein and Carbohydrates Fractionation

Amir Honarmand<sup>1</sup>, Alireza Vakili<sup>2\*</sup>, Mohsen Danesh Mesgaran<sup>2</sup>, Abdolmansour Tahmasebi<sup>2</sup>

1-PhD. Candidate of Animal Science, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

2-Professor, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Corresponding Author's Email: savakili@um.ac.ir

DOI: 10.22067/ijasr.2023.82800.1151

**Introduction** Barley grain is the main feed for cattle in many regions of the world. The digestibility of barley grain is restricted by its fibrous shell and intact pericarp. The extent and rate of digestion of ruminal carbohydrates and barley grain can be manipulated through processing. Barley processing can be a valuable tool to optimize the production of lactating dairy cows. The application of combinations of heat, moisture, time and mechanical action may influence the quality of processed barley grains. Micronization is a rapid thermal treatment (30-90 s) using infrared radiation and has great application potential in the feed industry due to simple construction and operation. It has been demonstrated in a number of experiments that organic acids, including lactic acid and malic acid, alter the chemical composition and nutritional value of cereals. Essential oils are naturally occurring plant products that are rich in chemical composition and have various biological properties. The interactions between starch and phenolic compounds have attracted increasing attention in recent years. The aim of this study was developed to determine the impact of chemical processing through steam flaking or steam-infrared flaking of barley grain on physical and chemical properties, and protein and carbohydrate fractionations.

**Materials and methods** The ethanolic *Foeniculum vulgare* (Pv) or *Acanthophyllum* (Ap) extract were prepared by dissolving 100 g of dried and ground Pv or Ap in 500 mL of 96% v/v ethanol/water and shaking for 72 h. Then, the extracts were filtered through a Whatman No. 1 paper (Whatman Ltd., Maidstone, England). The residual solvent of the ethanolic extract was removed using a rotary evaporator. Distilled water was added to barley grain at a ratio of 10% by weight and mixed completely, then treated with 1% Lactic acid (La) or 1% malic acid (Ma). The samples were then treated with 5% solution of Ap or Pv. Subsequently, processed grains were steamed for approximately 35 min at 96 °C. Steam cooked grains were then divided in 2 groups, which one of those was exposed under an infrared radiation for 55 seconds (SIF). All cooked grain were then flaked (SF) passing through a designed flaker machine. physical properties (Giger-Reverdin., 2000) and chemical composition (AOAC, 2012) of the samples were then performed in. Crude protein was calculated as  $N \times 6.25$ ; NDF and ADF contents were determined as proposed by Van Soest et al, (1991). Starch was evaluated by anthrom and sulfuric acid (Rose *et al.*, 1991). The bulk density was determined by weighting of 100 ml of the samples. Water holding capacity was determined using a method described by Robertson, J.A., and Eastwood (1998). The grain density was defined as the ratio of the mass of the grain to the particle volume occupied by the sample (Aghajani *et al.*, 2012). Crude protein and carbohydrate fractionations were performed according to Higgs *et al* (2015). Carbohydrates were divided into five fractions based on different degradation

rates in the rumen: A4 (water soluble carbohydrates or sugar), B1 (starch), B2 (soluble fiber), B3 (digestible fiber), and CC (ingestible fiber).

**Results and discussion** All the Physical properties of the processed barley grain were significantly affected by chemically and physically methods applied in this study ( $P < 0.05$ ). The highest bulk density and water holding capacity were shown in both SF and SIF processing. The results of this study indicated that the contents of CP, ADF, NDF, EE, Ash, amylose and amylopectine were significantly affected by the chemically and physically processing ( $P < 0.05$ ). The CP content of the grains treated with Ap and Ma had higher compared with that of Pv and La. In addition, NDF concentration of the grains processed by SF method was greater than that of SIF ( $P < 0.05$ ). Both CP and NDF content of the processed grain were higher for (SIFB<sub>ApMa</sub>) and (SIFB<sub>ApLa</sub>) rather than those of the other treatments ( $P < 0.05$ ). The soluble true protein, insoluble true protein and indigestible protein fractions of the processed grain were affected by both chemically and physically processing methods ( $P < 0.05$ ). The soluble true protein fraction in the grain treated by Ap was greater than that of the Pv. The indigestible protein fraction increased in Pv treatments compared the Ap treatments. Significant differences were found between the processed grains regarding the total carbohydrates, non fiber carbohydrates, soluble fiber, digestible fiber and Indigestible fiber carbohydrate fractions ( $P < 0.05$ ). The carbohydrates, non fiber carbohydrates and soluble fiber carbohydrate fractions were greater ( $P < 0.05$ ) in the SIF than those of SF method. Digestible fiber and Indigestible fiber fractions were lower ( $P < 0.05$ ) in La than Ma treatments.

**Conclusion** Our results demonstrate that processed barley grain with organic acids (Malic acid or Lactic acid) and using extracts of *Acanthophyllum* or *Foeniculum vulgare* accompany through physical processing (steam flaking or steam- infrared -flaking) make an improvement in nutritional value of the grain. In this study, bulk density and water holding capacity were greater in steam flaking rather than steam-infrared-flaking method. Regarding the CP fractionations, processed barley grain with *Acanthophyllum* extract through steam-infrared-flaking displayed significant alter in the fractions. Lactic acid processed grain through steam-infrared-flaking showed an enhancedment in both non fiber carbohydrates and soluble fiber concentration of the grain. Present data showed a positive impact of both chemically and physically methods applied in barley grain, however, further investigation regarding protein and carbohydrate molecular responses are needed to be evaluated.

**Keywords:** Barley grain, Chemically, Physically, Protein, Carbohydrate.

# تأثیر فرآوری‌های شیمیایی همراه با پخت رطوبتی - حرارتی - تشعشعی دانه جو پولکی شده بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، و بخش‌بندی پروتئین و کربوهیدرات‌ها

امیر هنرمند<sup>۱</sup>، سید علیرضا وکیلی<sup>۲\*</sup>، محسن دانش مسگران<sup>۲</sup>، عبدالمنصور طهماسبی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری تغذیه دام، دانشکده کشاورزی، گروه علوم دامی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استاد گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، گروه علوم دامی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

[savakili@um.ac.ir](mailto:savakili@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/ijasr.2023.82800.1151

## چکیده

این آزمایش به منظور بررسی تأثیر عمل‌آوری دانه کامل جو با عصاره‌های چوبک، رازیانه، اسید مالیک و یا اسیدلاکتیک همراه با فرآوری فیزیکی بخارپز- پولکی یا بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی بر ویژگی‌های فیزیکی، ترکیب شیمیایی و بخش‌بندی پروتئین و کربوهیدرات‌های دانه انجام شد. عمل‌آوری‌های شیمیایی دانه عبارت بودند از: دانه جو بدون افزودنی، دانه جو فرآوری شده با چوبک و اسید مالیک، دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و اسید لاکتیک، دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و اسید مالیک، دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و اسید لاکتیک که هر کدام با یکی از روش‌های فیزیکی بخارپز- پولکی یا بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی همراه شدند. ویژگی‌های فیزیکی شامل جرم توده ای، ظرفیت نگهداری آب، جرم حجمی و حجم تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند ( $P < 0/05$ ). نتایج نشان داد که غلظت مواد مغذی (به جز نشاسته و قندهای محلول) دانه‌های فرآوری شده به طور معنی‌داری تحت تأثیر روش‌های شیمیایی و فیزیکی استفاده شده در این آزمایش قرار گرفت ( $P < 0/05$ ). بخش‌های پروتئین حقیقی محلول، پروتئین حقیقی نامحلول و پروتئین غیر قابل هضم در ویرایش ۶/۵ سیستم CNCPS دارای تفاوت معنی‌دار در بین تیمارهای آزمایشی بودند ( $P < 0/05$ ). بخش‌بندی کربوهیدرات‌های دانه جو نشان داد که غلظت مجموع کربوهیدرات‌ها، کربوهیدرات‌های غیر الیافی، الیاف محلول، الیاف قابل هضم و الیاف غیر قابل هضم در بین تیمارهای آزمایشی متفاوت و معنی‌دار بود ( $P < 0/05$ ). در روش بخارپز- پولکی غلظت‌های مجموع کربوهیدرات‌ها، کربوهیدرات‌های غیر الیافی و الیاف محلول در دانه‌های فرآوری شده به طور معنی‌داری کمتر از دانه‌های فرآوری شده به روش بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی بودند ( $P < 0/05$ ). نتایج این آزمایش نشان داد که عمل‌آوری دانه جو با عصاره گیاهی چوبک و اسید مالیک همراه با روش بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی (تیمار ۷) بیشترین غلظت پروتئین خام در ترکیب شیمیایی و کمترین غلظت پروتئین غیر قابل هضم در بخش بندی پروتئین داشت. استفاده از اسید لاکتیک و عصاره رازیانه در عمل‌آوری دانه جو به همراه روش بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی (تیمار ۱۰) غلظت بخش‌های کربوهیدرات‌های غیر الیافی و الیاف محلول را نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی افزایش داد که از نظر ارزش غذایی دانه حائز اهمیت است.

## واژه‌های کلیدی: دانه جو، شیمیایی، فیزیکی، نیتروژن و کربوهیدرات.

### مقدمه

مدیریت خوراک مصرفی از موارد اساسی است که به وسیله آن می‌توان تولید شیر و همچنین ترکیب آن را در کوتاه مدت در گاوهای شیری کنترل کرد (Brun-Lafleur *et al.*, 2010). بهبود بازدهی خوراک در گاوهای شیری به فرمولاسیون دقیق جیره وابسته است. مواد مغذی مختلفی در فرآیند تولید شیر نقش دارند، ولی انرژی و پروتئین مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد (Fernando *et al.*, 2010). برای استفاده حداکثری از پتانسیل ژنتیکی حیوان در تولید شیر، باید میزان استفاده و دسترسی منابع انرژی و پروتئین را برای حیوان افزایش داد (Knowlton., 2001). دانه غلات منبع اصلی ترکیبات گلوکوژنیک جیره هستند زیرا که بخش اصلی ماده خشک آن‌ها را نشاسته تشکیل داده و این نشاسته در اندوسپرم آن‌ها ذخیره می‌شود. لذا انتخاب نوع دانه غلات از نظر میزان نشاسته در دسترس (انرژی در دسترس دانه) و نرخ تخمیر آن به هنگام تهیه و تنظیم جیره اهمیت زیادی دارد (González *et al.*, 2012). دانه ذرت و جو، غلات اصلی در میان غلات مورد استفاده در جیره گاوهای شیری هستند، و به طور معمول استفاده از آن‌ها وابسته به دسترسی و قیمت آن‌ها است (Yang *et al.*, 2000). دانه جو در مقایسه با دانه ذرت از پروتئین خام بالاتر و انرژی قابل هضم کمتری (به دلیل بیشتر بودن مقدار الیاف) برخوردار است. نشاسته دانه جو در دامنه ۵۵ تا ۶۵ درصد است، در حالیکه این مقدار برای دانه ذرت در حدود ۷۰ درصد گزارش شده است (Zhao *et al.*, 2015). در مورد نشاسته غلات، قابلیت تخمیر آن و آزادسازی اسیدهای چرب فرار (VFA<sup>۱</sup>) دو بخش حائز اهمیت است. بخش نخست، توجه به مقدار نشاسته سریع تجزیه در انواع دانه‌ها است بعنوان نمونه این مقدار برای دانه جو ۷/۵ درصد و برای دانه ذرت ۲۲/۵ درصد است. بخش دومی که باید به آن توجه داشت، مقدار نشاسته ای است که دارای قابلیت تجزیه پذیری کندتر می‌باشد، این بخش در دانه جو بیشتر از دانه ذرت است (Yang *et al.*, 2013). بافت‌های تشکیل دهنده دانه جو شامل پوسته، پریکارپ، تستا، لایه آلورون، جوانه و اندوسپرم می‌باشند. شکسته شدن پوسته جو اولین دلیل فرآوری آن می‌باشد که در نتیجه آن دسترسی میکروارگانیزم‌های شکمبه و آنزیم‌های گوارشی روده به نشاسته (واقع در اندوسپرم) فراهم می‌شود (Corbett., 2000). این چنین بیان می‌گردد که مقدار زیاد دانه جو در جیره، منجر به تخمیر سریع نشاسته در شکمبه و متعاقباً کاهش pH آن می‌شود که ممکن است کاهش قابلیت هضم الیاف، مصرف خوراک و تولید شیر را منجر شود. به همین سبب نمی‌توان تعیین نمود که استفاده از چه مقدار جو در جیره زیاد است و تعیین میزان آن وابسته به روش فرآوری آن است (Corbett., 2000). به طور کلی فرآوری دانه غلات به دو دسته فیزیکی و شیمیایی تقسیم بندی می‌شوند (Humer and Zebeli., 2017). فرآوری‌های فیزیکی شامل فرآوری حرارتی و فرآوری غیر حرارتی می‌باشد. روش‌های بخارپز- پولکی<sup>۲</sup> با و یا بدون استفاده از امواج حرارتی مادون قرمز<sup>۳</sup> عنوان بهترین روش فیزیکی دانه غلات محسوب می‌شود (Sajjadi *et al.*, 2022). عواملی همانند دما، رطوبت و فشار به صورت همزمان در روش پولکی- بخاری سبب تغییر ساختاری و شیمیایی گرانول‌های نشاسته و نیز ماتریکس پروتئینی پیرامون آن می‌شود و در نتیجه گوارش پذیری نشاسته افزایش می‌یابد. این فرآیند باعث بهبود انرژی در دسترس میکروارگانیزم‌های شکمبه شده و تولید پروتئین میکروبی افزایش می‌یابد (Kokić *et al.*, 2013). همچنین استفاده از نور مادون قرمز (روش میکرونیزه) به عنوان منبع تشعشعی-حرارتی، به دلیل بالا بودن پتانسیل انتقال حرارت از منبع نور به بافت‌های مواد خوراکی، موجب

<sup>1</sup> Volatile fatty acid

<sup>2</sup> Steam-flaking

<sup>3</sup> Micronizing

کاهش مدت زمان فرآوری، بازدهی مناسب انرژی و نیز افزایش کیفیت دانه‌های فرآوری شده می‌شود (Hebbar *et al.*, 2004). اوبی لاک و همکاران (۲۰۰۴) بیان نمودند که میکرونیزه کردن مناسب (از نظر دما و زمان) دانه گندم سبب تغییر مقاومت آن‌ها در مقابل آسیاب کردن و یا پولکی شدن می‌شود (Opielak *et al.*, 2004). پولکی کردن دانه جو با بخار نسبت به غلطک خورده خشک آن انرژی قابل هضم را در حدود ۳/۵ درصد و انرژی خالص را ۷ تا ۸ درصد افزایش می‌دهد (Zinn *et al.*, 1996). همچنین پولکی کردن هضم شکمبه‌ای ماده آلی و نشاسته را نیز افزایش می‌دهد (Zinn *et al.*, 1996). در سال‌های اخیر علاقه به شناسایی روش‌های جدید فرآوری شیمیایی دانه غلات که برای حیوان بی‌خطر باشد و ویژگی‌های هضمی مواد مغذی را بهبود دهد، افزایش یافته است (Khampa and Wanapat, 2007). استفاده از اسیدهای آلی<sup>۱</sup> در بهبود خصوصیات شیمیایی غلات یکی از این روش‌هاست. اسیدهای آلی متعلق به گروه نگهدارنده‌ها در لیست مواد افزودنی مجاز خوراک توسط اتحادیه اروپا است و استفاده از آن‌ها در حال حاضر در همه گونه‌های دام اهلی مجاز است. اسیدهای آلی در بافت‌های بیولوژیک بدن یافت شده یا در دستگاه گوارش تولید می‌گردد و در متعادل نمودن نرخ تخمیر در شکمبه نقش دارند (Khampa and Wanapat, 2007). استفاده از اسیدهای آلی یا نمک‌های آنان در فرآوری نشاسته جو و گندم نشان داده است که با تغییر در ساختار مولکولی نشاسته و افزایش مقاومت آن نسبت به هضم آمیلولایتیکی باعث کاهش نرخ هضم آن در شرایط درون تنی و برون تنی می‌شود (Harder *et al.*, 2015). اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهی ترکیبات مفیدی هستند که به عنوان یک افزودنی می‌توانند اثرات مثبتی بر هضم و سوخت - ساز شکمبه‌ای و سلامت حیوان داشته باشند. این ترکیبات از طریق تأثیری که بر باکتری‌های تولید کننده آمونیاک دارند می‌توانند غلظت آمونیاک در شکمبه را کاهش دهند (Benchaar *et al.*, 2008). استفاده از ترکیبات فنولیک در فرآوری غلات می‌تواند یک روش مناسب در جهت محافظت از پروتئین و نشاسته در مقابل هضم شکمبه‌ای باشد. تأثیر آن‌ها بر ماهیت پروتئین‌ها می‌تواند نسبت بهینه بین پروتئین قابل تجزیه در شکمبه و پروتئین عبوری را منجر گردد. ناصحی و همکاران (۲۰۱۸) دانه جو را با عصاره ضایعات چای به عنوان منبع تانن در سطوح مختلف فرآوری کردند. هضم پذیری شکمبه‌ای ماده خشک، پروتئین خام و نشاسته در دانه‌های فرآوری شده با غلظت ۱۰ درصد بیشترین کاهش را نشان داد (Nasehi *et al.*, 2018). لذا با توجه به اهمیت و لزوم فرآوری دانه جو، مطالعه حاضر به بررسی عمل‌آوری دانه جو با افزودنی‌های گیاهی و اسیدهای آلی همراه با فرآوری فیزیکی با روش بخارپز- پولکی یا بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی، ترکیب شیمیایی و بخش‌بندی پروتئین و کربوهیدرات‌ها پرداخته است. همچنین بکارگیری این نوع از فرآوری‌ها می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری خوراک، کاهش هزینه‌های تولید و در نهایت کاهش خروج ارز برای واردات نهاده‌های مورد نیاز گردد. علاوه بر آن با افزایش راندمان هضم و جذب نشاسته و پروتئین بتوان از بروز اختلالات دستگاه گوارش در هنگام مصرف جیره بر پایه دانه جو جلوگیری نمود.

## مواد و روش‌ها

### آماده سازی نمونه‌های آزمایشی

این آزمایش در سال ۱۴۰۰ در آزمایشگاه تغذیه دام گروه علوم دامی دانشگاه فردوسی مشهد انجام و دانه‌های جو وارداتی از کشور قزاقستان و واریته آن آسم<sup>۲</sup> بود. جو ماده خشک (درصد) و غلظت مواد مغذی (گرم در کیلوگرم ماده خشک) دانه‌های جو مورد استفاده در این آزمایش عبارت بودند از: ماده خشک = ۹۱۰، پروتئین خام = ۱۱۳، دیواره

<sup>۱</sup> Organic acids

<sup>۲</sup> Asem

سلولی (NDF) = ۲۱۳، دیواره سلولی بدون همی سلولز (ADF) = ۷۰ و نشاسته = ۵۵۵ گرم در کیلوگرم. تهیه عصاره‌های گیاهی بر اساس روش خیساندن بدست آمد. برای عصاره گیری دانه رازیانه<sup>۱</sup> (Pv) و چوبک<sup>۲</sup> (Ap) ابتدا ذرات اضافی جدا شدند سپس، به ازای هر ۱۰۰ گرم نمونه ۵۰۰ میلی لیتر اتانول ۹۶ درصد (نسبت ۴ به ۱ به ترتیب برای الکل و آب مقطر) به آن‌ها افزوده شد. برای استخراج عصاره نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت بر روی دستگاه همزن (GFL، Orbital shaker 3005) قرار داده شدند. بعد از گذشت زمان مذکور محتویات با کاغذ صافی شماره ۱ صاف شدند. محلول‌های صاف شده بوسیله دستگاه روتاری اواپراتور (Rotary evaporators LABOROTA4000) غلیظ شدند. عصاره به دست آمده در ظرف فویل آلومینیومی کشیده شده ریخته شده و تا زمان آزمایش درون یخچال در دمای ۴ سلسیوس نگهداری شدند.

دانه‌های خام جو پس از الک شدن در ظرف پلاستیکی قرار داده شدند. ابتدا ۱۰ درصد از وزن دانه به آن‌ها آب مقطر اضافه شد و کاملاً مخلوط گردید. سپس بر اساس یک درصد وزن دانه‌ها به آن‌ها اسید لاکتیک (La) با خلوص ۸۵ درصد (Metzler-Zebeli et al., 2014) و یا یک درصد اسید مالیک (Ma) با خلوص ۹۹ درصد (Humer and Zebeli., 2017) افزوده شد و همانند مرحله قبل کاملاً مخلوط گردید. در انتها به میزان ۵ درصد یکی از عصاره‌های گیاهی به آن‌ها اضافه شد و کاملاً مخلوط گردید. دانه‌های جو مخلوط با افزودنی‌های بالا در دستگاه بخار پز ریخته شده و به مدت یک ساعت مورد پخت با بخار قرار گرفتند (بخار اشباع و دمای ۹۶ درجه سانتیگراد). بعد از خارج کردن دانه‌ها از محفظه بخار، بخشی از آن‌ها بلافاصله با دستگاه میکرونایزر مورد فرآوری قرار گرفتند. منبع امواج در این مدل میکرونایزر آزمایشگاهی سفال‌هایی بودند که بوسیله المنت برقی حرارت داده شده بودند. زمان قرار گیری در معرض امواج ۵۵ ثانیه بود به گونه‌ای که دمای سطحی دانه به ۱۰۵ درجه سانتی گراد می‌رسید و نمونه‌ها در این مدت بوسیله ویبراتور تکان داده می‌شدند. فاصله دانه‌ها تا منبع تشعشع مادون قرمز (فرکانس ۱۲۰۰ نانومتر و دمای ۸۰۰ تا ۱۴۰۰ درجه سلسیوس) ۹ سانتی متر بود. پس از استفاده از امواج بلافاصله در دستگاه فلیکر (مقیاس آزمایشگاهی) دانه‌ها به شکل پولک درآمدند (SIF). بخشی دیگر از دانه‌های فرآوری شیمیایی و بخارپز شده پس از خروج از محفظه بخار، بدون استفاده از میکرونایزر، بلافاصله در دستگاه فلیکر پولکی شدند (SF). روش‌های فرآوری شامل: (۱) دانه جو خام (B<sub>0</sub>) بخارپز - پولکی شده (SF) (SFB<sub>0</sub>)، (۲) دانه جو (B) عمل‌آوری شده با چوبک (Ap) و اسید مالیک (Ma) همراه با روش (SF) (SFB<sub>ApMa</sub>)، (۳) (B) عمل‌آوری شده با (Ap) و اسید لاکتیک (La) همراه با روش (SF) (SFB<sub>ApLa</sub>)، (۴) (B) عمل‌آوری شده با رازیانه (Pv) و (Ma) همراه با روش (SF) (SFB<sub>PvMa</sub>)، (۵) (B) عمل‌آوری شده با (Pv) و (La) همراه با روش (SF) (SFB<sub>PvLa</sub>)، (۶) (B<sub>0</sub>) بخارپز - تشعشعی مادون قرمز - پولکی شده (SIF) (SIFB<sub>0</sub>)، (۷) (B) عمل‌آوری شده با (Ap) و (Ma) همراه با روش (SIF) (SIFB<sub>ApMa</sub>)، (۸) (B) عمل‌آوری شده با (Ap) و (La) همراه با روش (SIF) (SIFB<sub>ApLa</sub>)، (۹) (B) عمل‌آوری شده با (Pv) و (Ma) همراه با روش (SIF) (SIFB<sub>PvMa</sub>)، (۱۰) (B) عمل‌آوری شده با (Pv) و (La) همراه با روش (SIF) (SIFB<sub>PvLa</sub>)

### تعیین ویژگی‌های فیزیکی

**اندازه‌گیری جرم توده‌ای<sup>۳</sup>:** جرم توده‌ای معادل با وزن نمونه در حجم اشغال شده است. یک استوانه مدرج ۱۰۰ میلی لیتری با قطر داخلی ۲/۵ سانتیمتر، تا ۵۰ میلی لیتر با نمونه پر و برای ۱۵ ثانیه تکان داده می‌شود. وزن نمونه‌ها و حجم اشغال شده ثبت می‌گردد. مقدار نمونه تا پر شدن استوانه و رسیدن به حجم ۱۰۰ میلی لیتر اضافه شد. استوانه به

<sup>1</sup> *Foeniculum vulgare* (Pv)

<sup>2</sup> *Acanthophyllum* (Ap)

<sup>3</sup> Bulk density

مدت ۱۰ ثانیه تکان داده میشود. کل وزن و حجم ثبت میگردد. مجدداً استوانه خالی و یک بار تا حجم ۱۰۰ میلی لیتر از نمونه پر شده برای ۵ ثانیه تکان داده میشود و کل وزن و حجم نهایی ثبت می‌گردد. این روش سریع و ساده و قابل تکرار است (Giger-Reverdin., 2000).

**اندازه‌گیری ظرفیت نگهداری آب<sup>۱</sup>:** ظرفیت نگهداری آب بر اساس روش رابرتسون و ایست وود (۱۹۹۸) انجام شد. بدین منظور ۲/۵ گرم نمونه به مدت ۲۴ ساعت در ۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر خیسانیده شد سپس نمونه‌ها با کروزه مشبک با قطر ۲ صاف شدند و بعد از ۱۰ دقیقه وزن کشی شدند (Robertson and Eastwood., 1981).

**اندازه‌گیری حجم و جرم حجمی<sup>۲</sup>:** اندازه‌گیری با استفاده از پیکنومتر و تولوئن انجام شد. مقدار کافی از نمونه را درون پیکنومتر قرار داده و وزن کشی شد (به اندازه یک سوم حجم پیکنومتر). بقیه حجم پیکنومتر را با مقدار کافی تولوئن پر شد. هوای محبوس شده درون خلل و فرج دانه‌ها داخل پیکنومتر توسط پمپ خلا خارج شد و پر کردن بخش خالی پیکنومتر با تولوئن انجام شد (Aghajani et al., 2012).

$$V = \frac{Mtd}{\rho t d} = \frac{(Mt - Mp) - (Mpts - Mps)}{\rho t} \quad \text{و} \quad \rho = \frac{Mps - Mp}{Vp} \quad (1)$$

وزن نمونه و پیکنومتر (Mps)، وزن پیکنومتر نمونه و تولوئن (Mpts)، وزن پیکنومتر خشک خالی (Mp)، وزن پیکنومتر پر شده با تولوئن (Mt)، دانسیته ( $\rho t$ )

### تعیین ترکیب شیمیایی:

برای اندازه‌گیری پروتئین خام مقدار ۱ گرم از هر نمونه دانه جو در لوله هضم ریخته شد و سپس ۴ گرم کاتالیزور و ۱۵ میلی لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد به آن افزوده و سه ساعت در دستگاه هضم کدال قرار داده شد. پس از افزودن ۷۵ میلی لیتر آب مقطر به هر لوله و قرار دادن در دستگاه اتوماتیک کدال، میزان نیتروژن آن‌ها ثبت شد. میزان پروتئین خام هر نمونه از ضرب ۶/۲۵ در درصد نیتروژن محاسبه شد. برای اندازه‌گیری خاکستر خام ۳ گرم نمونه دانه جو به میزان ۶ ساعت در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس استفاده شد. اختلاف وزن قبل و بعد از قرار دادن در کوره برای محاسبه استفاده شد (AOAC., 2012). چربی خام (عصاره اتری) به روش استخراج از طریق هگزان و با استفاده از توسط دستگاه سوکسله اندازه‌گیری شد. الیاف نامحلول در شوینده خنثی (دیواره سلولی، NDF) و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (دیواره سلولی بدون همی سلولز، ADF) بر اساس روش ون سوست و همکاران (۱۹۹۱) استفاده شد (Van Soest et al., 1991). به ازای هر ۰/۵ گرم از هر نمونه با ۶۰ میلی لیتر محلول استفاده شد. مدت زمان اتوکلاو ۱ ساعت بود. برای اندازه‌گیری نشاسته نمونه‌های دانه جو بر اساس روش رز و همکاران (۱۹۹۱) و با استفاده از پرکلریک اسید و معرف انترن استفاده شد. بدین صورت که، ابتدا جهت استخراج قندهای محلول در نمونه پس از افزودن اتانول ۸۰٪ به آن‌ها به مدت ۲ ساعت جوشانده و سپس سانتریفیوژ شدند. مواد باقیمانده با پرکلریک اسید ۳۵٪ شسته شده و سپس محلول آنترون-سولفوریک اسید به آن‌ها اضافه تا محلول سبز زنگ بوجود آید و جذب در طول موج ۶۲۵ نانومتر غلظت نشاسته اندازه‌گیری شد. مقدار آمیلوز و آمیلوپکتین نمونه‌های دانه جو بر اساس روش هو و همکاران (۲۰۱۰) تعیین شد. بدین منظور ۲ میلی لیتر آب مقطر به ۱۰۰ میلی گرم دانه جو آسیاب شده اضافه شد و نشاسته جو با ۲ میلی لیتر سود ۲ مولار استخراج شد. بعد از ۳۰ دقیقه نگهداری در دمای اتاق، نشاسته با ۴ میلی لیتر اسید کلریدریک ۱ مولار خنثی و با آب مقطر با نسبت ۱ به ۳۰ رقیق شد. سپس ۲ میلی لیتر محلول ید-پتاسیم یدید به ۰/۵ میلی لیتر نشاسته افزوده و بعد از ۱۰ دقیقه میزان جذب نمونه در طول موج های ۵۳۵ و ۶۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتری

<sup>1</sup> Water holding capacity

<sup>2</sup> Density

قرائت شد. با استفاده از رابطه (نسبت جذب ۶۲۰ به ۵۳۵\*۲۷۰)  $\exp * ۱/۴۹۳۵$ ، مقدار آمیلوز محاسبه شد. محتوی آمیلوپکتین نمونه ها از تفاضل میزان آمیلوز از کل نشاسته بدست آمد. (Rose et al., 1991; Hu and Yang., 2010).

### بخش بندی پروتئین و کربوهیدرات:

در این پژوهش بخش بندی پروتئین و کربوهیدرات نمونه های آزمایشی بر اساس رویه سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کرنل<sup>۱</sup> ویرایش ۶/۵ انجام شد (Van Amburgh et al., 2015). مواد آزمایشی و حلال های مورد استفاده جهت تعیین بخش های محلول و غیر محلول پروتئین و کربوهیدرات ها بر اساس دستورالعمل های ارائه شده توسط هیگنر و همکاران (۲۰۱۵) تهیه شد. در این روش پروتئین خام به ۵ بخش تقسیم شد که عبارتند از: آمونیاک معادل پروتئین (A<sub>1</sub>)، پروتئین حقیقی محلول (A<sub>2</sub>)، پروتئین حقیقی نامحلول (B<sub>1</sub>)، پروتئین متصل به الیاف (B<sub>2</sub>) و پروتئین غیر قابل هضم (C).

$$(۲) \quad \text{Ammonia} \times (SP/100) \times (CP/100) \text{ (معادل پروتئینی آمونیاک آزاد)}$$

$$(۳) \quad A_2 \% = SP \times CP/100 - PA_1 \text{ (پروتئین حقیقی محلول)}$$

$$(۴) \quad B_1 \% = CP - (PA_1 - PA_2 - PB_2 - PC) \text{ (پروتئین حقیقی نامحلول)}$$

$$(۵) \quad B_2 \% = (NDIP - ADIP) \times CP / 100 \text{ (پروتئین متصل شده به الیاف)}$$

$$(۶) \quad C \% = ADIP \times CP / 100 \text{ (پروتئین حقیقی نامحلول)}$$

$$(۷) \quad SP = \text{پروتئین محلول}, NDIP = \text{پروتئین نامحلول در شوینده خنثی و } ADIP = \text{پروتئین نامحلول در شوینده اسیدی}$$

کربوهیدرات های موجود در نمونه های آزمایشی نیز به بخش های شامل: کربوهیدرات های کل (CHO)، کربوهیدرات های غیر الیافی (NFC)، اسیدهای چرب فرار (استات، پروپیونات، بوتیرات و ایزوبوتیرات) (A<sub>1</sub>)، اسید لاکتیک (A<sub>2</sub>)، سایر اسیدهای آلی (A<sub>3</sub>)، کربوهیدرات های محلول در آب (A<sub>4</sub>)، نشاسته (B<sub>1</sub>)، الیاف محلول (B<sub>2</sub>)، الیاف قابل هضم (B<sub>3</sub>) و الیاف غیر قابل هضم (CC)، بخش بندی شدند.

$$(۸) \quad CHO(g/kg) = 1000 - (CP + EE + ASH) \text{ (معادل مجموع کربوهیدرات ها)}$$

$$(۹) \quad NFC(g/kg) = CHO - aNDFom \text{ (معادل کربوهیدرات های غیرالیافی). } A_4 = \text{قندهای محلول} \text{ و } B_1 = \text{نشاسته}$$

$$(۱۰) \quad B_3 = aNDFom - CC \text{ (الیاف محلول). } B_2 = NFC - A_4 - BI \text{ (الیاف قابل هضم)}$$

$$(۱۱) \quad CC = aNDFom - aNDFom \times uNDFom \text{ (الیاف غیر قابل هضم)}$$

$$(۱۲) \quad NDF = aNDFom \text{ تصحیح شده فاقد خاکستر. } NDF = uNDFom \text{ غیر قابل هضم بعد از } ۲۴۰ \text{ ساعت کشت و فاقد خاکستر}$$

### تجزیه آماری:

<sup>1</sup> Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS)



در این آزمایش داده‌های به‌دست آمده در قالب طرح کاملاً تصادفی با رویه GLM و با استفاده از نرم افزار آماری SAS و برپایش 9.4 مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال کمتر از ۵ درصد بعنوان معنی داری گزارش شد. جهت تعیین اثرات مربوط به روش‌های عمل‌آوری شیمیایی و فرآوری‌های فیزیکی مقایسات مستقل اورتوگونال صورت پذیرفت. مدل ریاضی طرح آماری استفاده شده عبارت بودند از:  $Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$  بود. که  $Y_{ij}$  = متغییر وابسته،  $\mu$  = اثر ثابت میانگین،  $T_i$  = اثر تیمار و  $e_{ij}$  = خطای آزمایش است.

## نتایج و بحث

در جدول شماره ۱ نتایج مربوط به تأثیر روش‌های فرآوری بر ویژگی‌های فیزیکی دانه جو نشان داده شده است. جرم توده‌ای، ظرفیت نگهداری آب، حجم و جرم حجمی دانه جو خام اولیه به ترتیب ۶۶۷ (گرم در لیتر)، ۰/۷ (مترمکعب در تن)، ۰/۹ (مترمکعب در تن) و ۱۱۰۵/۶ (کیلوگرم در مترمکعب) بود. تمام روش‌های فرآوری بر ویژگی‌های فیزیکی تأثیر معنی دار داشتند ( $P < 0.05$ ). نتایج نشان داد، تیمارهای SIFB<sub>0</sub> و SFB<sub>ApLa</sub> به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار جرم توده‌ای را در بین تیمارهای آزمایشی داشتند (به ترتیب ۴۱۲/۳ و ۳۴۰/۷ گرم در لیتر). به طور کلی دانه‌های جو فرآوری شده با روش SIF به طور معنی داری جرم توده‌ای بیشتری نسبت به جوهای فرآوری شده به روش SF داشتند (۳۷۷/۳۷ در مقابل ۳۶۵/۱۱ گرم در لیتر)، ( $P < 0.05$ ). مقایسات مستقل نشان داد که جوهای عمل‌آوری شده با Ma نسبت La جرم توده‌ای بیشتری داشتند (۵/۶ درصد). تیمار FB<sub>0</sub> با ۱/۹۶ متر مکعب در تن بیشترین و تیمار SFB<sub>PvMa</sub> با ۱/۳۸ متر مکعب در تن کمترین ظرفیت نگهداری آب را در بین تیمارهای آزمایشی داشتند. برخلاف جرم توده‌ای، ظرفیت نگهداری آب در جوهای فرآوری شده به روش SIF به طور معنی داری ( $P < 0.05$ ) کمتر از جوهای فرآوری شده به روش SF (۱/۵۳ در مقابل ۱/۶۵ مترمکعب در تن) بود. ظرفیت نگهداری آب در دانه‌های جو عمل‌آوری شده با Ap به طور معنی دار بیشتر از Pv بود (افزایش ۹/۵۶ درصدی). بیشترین حجم در بین تیمارهای آزمایشی مربوط به تیمار SFB<sub>0</sub> با ۱/۲۹ متر مکعب در تن بود. حجم در دانه‌های فرآوری شده به روش SF، بیشتر از دانه‌های تهیه شده به روش SIF بود ( $P < 0.05$ ). حجم در دانه‌های عمل‌آوری شده با Ap به طور معنی داری ( $P < 0.05$ ) بیشتر از دانه‌های عمل‌آوری شده با Pv بود (۱/۲۱ در مقابل ۱/۱۹ مترمکعب در تن). همچنین عمل‌آوری با La حجم دانه‌ها را به طور معنی داری نسبت Ma افزایش داد (۶/۹ درصد)، ( $P < 0.05$ ). با توجه به رابطه معکوسی که بین حجم و جرم حجمی وجود دارد، تیمار SFB<sub>0</sub> کمترین جرم حجمی را در بین تیمارهای آزمایشی داشت (۷۷۴/۲ کیلوگرم در متر مکعب). تیمارهای فرآوری شده به روش SF جرم حجمی کمتری از تیمارهای فرآوری شده به روش SIF داشتند ( $P < 0.05$ ). استفاده از Ma موجب افزایش معنی دار ( $P < 0.05$ ) این ویژگی فیزیکی در دانه‌های جو عمل‌آوری شده گردید (۵/۹ درصد). تعیین ویژگی‌های فیزیکی برای تبیین تأثیر روش‌های فرآوری دانه غلات یک ضرورت است (Schwandt *et al.*, 2017). جرم توده‌ای در واقع وزن خالص دانه در یک لیتر حجم است که می‌تواند نقش مهمی در هضم و همچنین ذخیره سازی دانه‌های فرآوری شده داشته باشد. جرم توده‌ای برای دانه‌های جو پولکی در دامنه ۲۴۰ تا ۴۸۰ گرم در لیتر گزارش شده است (Tosta *et al.*, 2019; Sindt *et al.*, 2006). جرم توده‌ای در روش پولکی کردن به میزان ۴۷ تا ۷۲ درصد نسبت به دانه خام جو کاهش پیدا می‌کند، که نتایج ما نیز آن را تأیید می‌کند (Domby *et al.*, 2014); (Koenig *et al.*, 2013). نتایج پژوهش‌های قبلی نشان داد که مصرف دانه‌های پولکی که جرم توده‌ای در آن‌ها از ۲۸۳ به ۳۳۵ و ۳۸۶ گرم در لیتر سبب افزایش یافت، منجر به کاهش هضم نشاسته و ماده آلی در کل دستگاه گوارش گوساله‌های نر شد (Ponce *et al.*, 2013). همچنین افزایش جرم توده‌ای در غلات پولکی شده، باعث کاهش بخش

محلول دانه‌ها می‌شود. پتانسیل هضم دانه نیز با افزایش جرم توده‌ای در دامنه ۲۵/۹ تا ۴۴/۲ درصد کاهش می‌یابد (Trotta et al., 2021). صفایی و همکاران (Safaei et al., 2017) جرم توده‌ای دانه جو پولکی را با توجه به فاصله بین غلطک‌ها (۰/۳، ۰/۳۵ و ۰/۴ میلی متر) در دامنه ۳۹۰، ۳۴۰ و ۲۹۰ گرم در لیتر گزارش کردند، که با دامنه نتایج آزمایش به دست آمده در آزمایش حاضر هم راستا است. هر چند که چرنکوا و همکاران (Chrenkova et al., 2018) در آزمایشی که از دانه‌های جو پولکی شده استفاده کردند، جرم توده‌ای دانه را در دامنه ۴۴۰ تا ۴۶۰ گرم در لیتر گزارش کردند که نتایج به دست آمده در آزمایش حاضر داده‌های گزارش شده را تأیید نمی‌نماید. درجه حرارت محفظه بخار، زمان بخار دهی، موج بودن غلتک‌ها<sup>۱</sup>، فاصله بین غلتک‌ها<sup>۲</sup> و فشار غلتک‌ها<sup>۳</sup> از جمله عواملی هستند که می‌تواند بر کیفیت دانه پولکی شده تاثیر بگذارد (Zinn et al., 2022) و شاید یکی از دلایل تفاوت در جرم توده ای دانه های پولکی در این مطالعه با سایر مطالعات صورت پذیرفته تفاوت در همین عوامل باشد. ظرفیت نگهداری آب یک ماده غذایی در واقع مقدار آبی است که یک ماده غذایی در محیط آبی (آب زیاد نسبت به مقدار آن ماده غذایی) می‌تواند در خود نگه دارد و معیاری از توانایی تثبیت آب در داخل ماتریکس آن است. نتایج این آزمایش نشان داد که ظرفیت نگهداری آب رابطه معکوسی با جرم توده‌ای دانه‌های جو پولکی شده دارد (جدول ۱). دلیل این امر این است که دانه‌های دارای جرم توده‌ای کم حفرات گازی متعددی در ماتریکس دیواره سلولی دارند و این حفرات می‌توانند آب را در خود نگه دارند. همچنین این مواد خوراکی ممکن است که اثر پر کنندگی (Fill effect) داشته باشند و نرخ عبورشان از شکمبه کاهش یابد. در نتیجه می‌توان چنین استنباط کرد که افزایش ظرفیت نگهداری آب باعث افزایش دسترسی به مواد مغذی می‌شود (Singh and Narang., 1991). یکی از شاخص‌هایی که بعد از عمل‌آوری تشعشعی مادون قرمز باید به آن توجه شود، میزان جذب آب توسط دانه فرآوری شده است. در مطالعاتی که بر روی فرآوری تشعشعی مادون قرمز دانه جو انجام شد، نشان داده شد که میزان جذب آب در دانه‌های تشعشعی مادون قرمز ۲ تا ۳ برابر افزایش می‌یابد. رطوبت دانه قبل و بعد از فرآوری تشعشعی مادون قرمز بسیار حائز اهمیت است (Fasina et al., 1999). ظرفیت نگهداری آب حجم آب جذب شده توسط نشاسته پس از تورم در آب زیاد را تعیین می‌نماید و نشان دهنده یکپارچگی نشاسته در محیط آبی است (Rani et al., 2020). جرم حجمی با رطوبت اولیه دانه رابطه مستقیمی دارد. از آنجایی که در فرآوری تشعشعی مادون قرمز به دلیل حرارت بالا، رطوبت دانه‌ها کاهش می‌یابد، این منجر به کاهش جرم حجمی دانه‌های فرآوری شده می‌شود، که نتایج آزمایش حاضر آن را تأیید می‌کند (Aghajani et al., 2012). نتایج قبلی نشان داده است که بین جرم حجمی با ADF یک همبستگی منفی و با نشاسته همبستگی مثبت وجود دارد، و این خصوصیت می‌تواند بر راندمان خوراک اثر بگذارد (Reynolds et al., 1992). احتمالاً تاثیر بر راندمان خوراک ناشی از افزایش ارزش غذایی دانه جو است زیرا که افزایش جرم حجمی نشان دهنده افزایش نشاسته در اندوسپرم دانه و کاهش نسبت الیاف در پوسته است.

<sup>1</sup> roll corrugation

<sup>2</sup> roll gap

<sup>3</sup> roll tension

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی دانه جو عمل‌آوری شده با عصاره‌های گیاهی چوبک، رازیانه، اسید مالیک و اسید لاکتیک همراه با فرآوری بخارپز پولکی و بخارپز-تشنشعی مادون قرمز- پولکی

**Table1-** Physical Characteristics of chemically processed barley grain using extracts of *Acanthophyllum* (Ap) or *Foeniculum vulgare* (Pv) plus malic acid (Ma) or lactic acid (La) accompany through steam flaking or steam-infrared-flaking

| خصوصیات فیزیکی<br>Physical properties   | روش‌های شیمیایی و فیزیکی عمل‌آوری |                     |                     |                      |                     |                    |                      |                      |                      |                      | P-Value (سطح معنی داری) |                            |          |        |        |
|---|-----------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------|----------|--------|--------|
|   | SFB <sub>0</sub>                  | SFB <sub>ApMa</sub> | SFB <sub>ApLa</sub> | SFB <sub>PvMa</sub>  | SFB <sub>PvLa</sub> | SIFB <sub>0</sub>  | SIFB <sub>ApMa</sub> | SIFB <sub>ApLa</sub> | SIFB <sub>PvMa</sub> | SIFB <sub>PvLa</sub> | SEM                     | مقایسات مستقل<br>Contrasts |          |        |        |
|   | (1)                               | (2)                 | (3)                 | (4)                  | (5)                 | (6)                | (7)                  | (8)                  | (9)                  | (10)                 |                         | تیمار<br>Treatment         | الف<br>A | ب<br>B | ج<br>C |
| جرم توده ای (گرم به ازای لیتر)<br>Bulk density (g/L)                              | 356.7 <sup>ef</sup>               | 380 <sup>c</sup>    | 340.7 <sup>s</sup>  | 371.2 <sup>cde</sup> | 377 <sup>cd</sup>   | 412.3 <sup>a</sup> | 397.3 <sup>b</sup>   | 360.1 <sup>ef</sup>  | 363.6 <sup>def</sup> | 353.6 <sup>fg</sup>  | 2.90                    | <0001                      | <0001    | 0.1368 | <0001  |
| ظرفیت نگهداری آب (متر مکعب در تن)<br>Water holding capacity (m <sup>3</sup> /Ton) | 1.96 <sup>a</sup>                 | 1.71 <sup>b</sup>   | 1.69 <sup>b</sup>   | 1.38 <sup>e</sup>    | 1.50 <sup>cd</sup>  | 1.75 <sup>b</sup>  | 1.53 <sup>c</sup>    | 1.44 <sup>de</sup>   | 1.45 <sup>de</sup>   | 1.47 <sup>cd</sup>   | 0.014                   | <0001                      | <0001    | <0001  | 0.4233 |
| حجم (متر مکعب در تن)<br>Volume (m <sup>3</sup> /Ton)                              | 1.29 <sup>a</sup>                 | 1.18 <sup>d</sup>   | 1.27 <sup>ab</sup>  | 1.18 <sup>d</sup>    | 1.22 <sup>c</sup>   | 1.11 <sup>f</sup>  | 1.16 <sup>de</sup>   | 1.25 <sup>bc</sup>   | 1.14 <sup>ef</sup>   | 1.23 <sup>c</sup>    | 0.006                   | <0001                      | <0001    | <0001  | <0001  |
| جرم حجمی (کیلوگرم در مترمکعب)<br>Density (Kg/m <sup>3</sup> )                     | 774.2 <sup>fg</sup>               | 846.2 <sup>c</sup>  | 819.9 <sup>e</sup>  | 841.3 <sup>cd</sup>  | 817.3 <sup>e</sup>  | 898.7 <sup>a</sup> | 861 <sup>bc</sup>    | 796.4 <sup>fe</sup>  | 875.4 <sup>b</sup>   | 812.4 <sup>e</sup>   | 11.25                   | <0001                      | 0.0006   | 0.4809 | <0001  |

میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی داری می‌باشند (P<0.05)

Means with different superscript letters in each row indicate significant different (P<0.05).

تیمارهای آزمایشی شامل: ۱) دانه جو خام بخارپز- پولکی (SFB<sub>0</sub>)، ۲) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- پولکی (SFB<sub>ApMa</sub>)، ۳) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و لاکتیک اسید بخارپز- پولکی (SFB<sub>ApLa</sub>)، ۴) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و مالیک اسید بخارپز- پولکی (SFB<sub>PvMa</sub>)، ۵) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و لاکتیک اسید بخارپز- پولکی (SIFB<sub>0</sub>)، ۶) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- تشنشعی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>ApMa</sub>)، ۷) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- تشنشعی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>ApLa</sub>)، ۸) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و لاکتیک اسید بخارپز- تشنشعی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>PvMa</sub>)، ۹) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و مالیک اسید بخارپز- تشنشعی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>PvLa</sub>)، ۱۰) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و لاکتیک اسید بخارپز- تشنشعی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>PvLa</sub>)

Experimental treatments were: 1) Steam-flaking of barley grain (SFB<sub>0</sub>), 2) Steam-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Malic acid (SFB<sub>ApMa</sub>), 3) Steam-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Lactic acid (SFB<sub>ApLa</sub>), 4) steam flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Malic acid (SFB<sub>PvMa</sub>), 5) steam flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Lactic acid (SIFB<sub>0</sub>), 6) steam- infrared-flaking of barley grain (SIFB<sub>0</sub>), 7) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Malic acid (SIFB<sub>ApMa</sub>), 8) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Lactic acid (SIFB<sub>ApLa</sub>), 9) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Malic acid (SIFB<sub>PvMa</sub>), 10) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Lactic acid (SIFB<sub>PvLa</sub>)

مقایسات مستقل: الف) بخارپز-پولکی در مقابل بخارپز- تشنشعی مادون قرمز- پولکی، ب) عصاره گیاهی چوبک در مقابل رازیانه، ج) اسید مالیک در مقابل اسید لاکتیک

Contrasts: A) Steam-flaking vs steam- infrared irradiation-flaking, B) *Acanthophyllum* vs *Foeniculum vulgare*, C) Malic acid vs Lactic acid

داده‌های مندرج در جدول ۲ نشان می‌دهد که افزودن اسیدهای آلی و عصاره‌های گیاهی همراه با فرآوری فیزیکی (روش SF یا SIF) بر غلظت چربی خام، خاکستر، پروتئین خام، NDF و ADF دانه‌های جو فرآوری شده تأثیر معنی دار دارد ( $P < 0.05$ ). غلظت چربی خام در دانه‌های جو فرآوری شده با روش SF (۲۳/۴۲ گرم در کیلوگرم) به طور معنی داری بیشتر از دانه‌های جو فرآوری شده با روش SIF (۲۲/۷۷ گرم در کیلوگرم) بود ( $P < 0.05$ ). مقایسه مستقل عمل‌آوری دانه‌های جو با Ap در مقابل Pv نشان داد که عمل‌آوری با عصاره Ap منجر به کاهش غلظت چربی خام (۳/۸۴ درصد) به طور معنی داری شد ( $P < 0.05$ ). همانند چربی خام، غلظت خاکستر در دانه‌های جو فرآوری شده با روش SF به طور معنی داری بیشتر (۲۶/۸۸ در مقابل ۲۵/۶ گرم در کیلوگرم) از دانه‌های جو فرآوری شده با روش SIF بود ( $P < 0.05$ ). نتایج مقایسات مستقل نشان داد، غلظت خاکستر در دانه‌های جو عمل‌آوری شده با Pv و Ma به ترتیب به طور معنی داری بیشتر (به ترتیب ۹/۹۵ و ۱۸/۴۹ درصد) از Ap و La بود ( $P < 0.05$ ). بیشترین غلظت پروتئین خام در بین تیمارهای آزمایشی با ۱۱۶/۶۱ گرم در کیلوگرم مربوط به تیمار  $SIFB_{ApMa}$  بود. همچنین تیمار  $SFB_{PvLa}$  کمترین غلظت پروتئین خام را در بین تیمارهای آزمایشی داشت (۱۰۹/۹۸ گرم در کیلوگرم). غلظت پروتئین خام در دانه‌های عمل‌آوری شده با Ap (۱۱۵/۲ گرم در کیلوگرم) بیشتر از دانه‌های عمل‌آوری شده با Pv (۱۱۲/۸ گرم در کیلوگرم) بود ( $P < 0.05$ ). مقایسه مستقل Ma در مقابل La نشان داد که غلظت پروتئین خام در دانه‌های عمل‌آوری شده با Ma به طور معنی داری بیشتر بود (۱۱۵/۶۵ در مقابل ۱۱۲/۳۵ گرم در کیلوگرم)، ( $P < 0.05$ ). بیشترین و کمترین غلظت NDF با مقادیر ۲۲۴/۷۳ و ۱۸۴/۳۴ گرم در کیلوگرم به ترتیب در تیمارهای  $SFB_{ApMa}$  و  $SIFB_{ApLa}$  مشاهده شد. غلظت NDF در دانه‌های فرآوری شده به روش SF به طور معنی داری بیشتر از روش SIF بود (۲۱۲/۰۱ در مقابل ۲۰۰/۵۱ گرم در کیلوگرم)، ( $P < 0.05$ ). مقایسه مستقل عمل‌آوری دانه جو با Ma در مقابل La نشان داد که عمل‌آوری با Ma باعث افزایش معنی دار (۸/۹۲ درصد) غلظت NDF در دانه‌های جو عمل‌آوری شده، شد ( $P < 0.05$ ). استفاده از عصاره Ap، موجب افزایش غلظت ADF در دانه‌های عمل‌آوری شده با آن نسبت به دانه‌های عمل‌آوری با Pv شد (۷۸/۵۱ در مقابل ۷۳/۰۳ گرم در کیلوگرم)، ( $P < 0.05$ ). بیشترین درصد آمیلوز با ۳۱/۴۱، در تیمار  $SFB_{ApMa}$  مشاهده شد. درصد آمیلوز و آمیلوپکتین تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت ( $P < 0.05$ ). بیشترین درصد آمیلوز با ۳۱/۴۱، در تیمار  $SFB_{ApMa}$  مشاهده شد. نتایج آزمایش حاضر نشان داد که درصد آمیلوز به هنگام استفاده از La در عمل‌آوری شیمیایی به میزان ۱/۸۴ درصد کاهش می‌یابد ( $P < 0.05$ ).

جدول ۲- ترکیب شیمیایی انواع مختلف دانه جو فرآوری شده (شیمیایی- حرارتی- امواجی)

**Table2-** Chemical composition of chemically processed barley grain using extracts of *Acanthophyllum* (Ap) or *Foeniculum vulgare* (Pv) plus malic acid (Ma) or lactic acid (La) accompany through steam flaking or steam-infrared-flaking

| ترکیب شیمیایی (گرم به کیلوگرم)<br>Chemical composition (g/kg) | روش های شیمیایی و فیزیکی عمل آوری |                      |                       |                       |                      |                       |                       |                      |                       |                      | SEM   | P-Value (سطح معنی داری) |                         |        |        |
|---|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------|-------------------------|-------------------------|--------|--------|
|   | SFB <sub>0</sub>                  | SFB <sub>ApMa</sub>  | SFB <sub>ApLa</sub>   | SFB <sub>PvMa</sub>   | SFB <sub>PvLa</sub>  | SIFB <sub>0</sub>     | SIFB <sub>ApMa</sub>  | SIFB <sub>ApLa</sub> | SIFB <sub>PvMa</sub>  | SIFB <sub>PvLa</sub> |       | تیمار<br>Treatment      | Contrasts مقایسات مستقل |        |        |
|   | (1)                               | (2)                  | (3)                   | (4)                   | (5)                  | (6)                   | (7)                   | (8)                  | (9)                   | (10)                 |       |                         | الف<br>A                | ب<br>B | ج<br>C |
| چربی<br>Eater Extract   | 22.74 <sup>ab</sup>               | 22.82 <sup>ab</sup>  | 22.13 <sup>b</sup>    | 24.83 <sup>a</sup>    | 24.56 <sup>a</sup>   | 24.15 <sup>ab</sup>   | 23.09 <sup>ab</sup>   | 22.17 <sup>b</sup>   | 22.16 <sup>b</sup>    | 22.26 <sup>b</sup>   | 0.446 | 0.0007                  | 0.0323                  | 0.0096 | 0.1734 |
| خاکستر<br>Ash   | 29.53 <sup>a</sup>                | 25.43 <sup>b</sup>   | 24.78 <sup>b</sup>    | 31.79 <sup>a</sup>    | 23.53 <sup>b</sup>   | 24.45 <sup>b</sup>    | 25.33 <sup>b</sup>    | 23.76 <sup>b</sup>   | 31.13 <sup>a</sup>    | 23.34 <sup>b</sup>   | 0.463 | <.0001                  | 0.0003                  | <.0001 | <.0001 |
| پروتئین خام<br>Crude Protein                                  | 114 <sup>abc</sup>                | 115.55 <sup>ab</sup> | 113.45 <sup>abc</sup> | 115.56 <sup>ab</sup>  | 109.98 <sup>c</sup>  | 113.61 <sup>abc</sup> | 116.61 <sup>a</sup>   | 115.2 <sup>ab</sup>  | 114.85 <sup>abc</sup> | 110.80 <sup>bc</sup> | 0.974 | 0.0018                  | 0.4233                  | 0.0023 | 0.0001 |
| نشاسته<br>Starch  | 558.93                            | 554                  | 557.98                | 558.54                | 558.01               | 561                   | 556.82                | 562.02               | 558.95                | 558.83               | 4.13  | 0.2453                  | 0.1939                  | 0.5058 | 0.1156 |
| الیاف نامحلول در شوینده خنثی<br>Neutral Detergent Fiber (NDF) | 204.42 <sup>abc</sup>             | 224.73 <sup>a</sup>  | 201.91 <sup>abc</sup> | 211.10 <sup>abc</sup> | 217.88 <sup>ab</sup> | 203.74 <sup>abc</sup> | 216.92 <sup>abc</sup> | 184.34 <sup>c</sup>  | 209.76 <sup>abc</sup> | 187.76 <sup>bc</sup> | 6.62  | 0.0067                  | 0.0125                  | 0.941  | 0.0012 |
| الیاف نامحلول در شوینده اسیدی<br>Acid Detergent Fiber (ADF)   | 74.74 <sup>abc</sup>              | 79.63 <sup>ab</sup>  | 85.28 <sup>a</sup>    | 63.83 <sup>c</sup>    | 75.94 <sup>abc</sup> | 69.82 <sup>bc</sup>   | 76.42 <sup>abc</sup>  | 72.72 <sup>abc</sup> | 80.64 <sup>ab</sup>   | 71.70 <sup>abc</sup> | 2.74  | 0.0015                  | 0.3604                  | 0.0104 | 0.5158 |
| قندهای محلول<br>Water soluble carbohydrates                   | 36.03                             | 34.32                | 35.91                 | 37.09                 | 39.24                | 36.79                 | 36.10                 | 38.56                | 36.06                 | 33.90                | 3.19  | 0.1043                  | 0.7564                  | 0.6779 | 0.2411 |
| آمیلولوز (درصد)<br>Amylose(%)                                 | 31.31 <sup>ab</sup>               | 31.41 <sup>a</sup>   | 30.37 <sup>c</sup>    | 30.63 <sup>bc</sup>   | 30.90 <sup>b</sup>   | 31.29 <sup>ab</sup>   | 31.38 <sup>ab</sup>   | 30.26 <sup>c</sup>   | 30.64 <sup>bc</sup>   | 30.26 <sup>c</sup>   | 0.252 | 0.009                   | 0.3308                  | 0.1883 | 0.0046 |
| آمیلوپکتین (درصد)<br>Amylopectin (%)                          | 68.93 <sup>cb</sup>               | 68.59 <sup>c</sup>   | 69.63 <sup>a</sup>    | 69.37 <sup>ab</sup>   | 69.10 <sup>b</sup>   | 68.71 <sup>bc</sup>   | 68.62 <sup>bc</sup>   | 69.76 <sup>a</sup>   | 69.36 <sup>ab</sup>   | 69.74 <sup>a</sup>   | 0.252 | 0.009                   | 0.3308                  | 0.1883 | 0.0046 |

میانگین های با حروف غیر مشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی داری می باشند (P<0/05)

Means with different superscript letters in each row indicate significant different (P<0.05).

تیمارهای آزمایشی شامل: (۱) دانه جو خام بخارپز- پولکی (SFB<sub>0</sub>)، (۲) دانه جو عمل آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- پولکی (SFB<sub>ApMa</sub>)، (۳) دانه جو عمل آوری شده با چوبک و لاکتیک اسید بخارپز- پولکی (SFB<sub>ApLa</sub>)، (۴) دانه جو عمل آوری شده با رازیانه و مالیک اسید بخارپز- پولکی (SFB<sub>PvMa</sub>)، (۵) دانه جو عمل آوری شده با رازیانه و لاکتیک اسید بخارپز- پولکی (SFB<sub>PvLa</sub>)، (۶) دانه جو عمل آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>0</sub>)، (۷) دانه جو عمل آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>ApMa</sub>)، (۸) دانه جو عمل آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>ApLa</sub>)، (۹) دانه جو عمل آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>PvMa</sub>)، (۱۰) دانه جو عمل آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>PvLa</sub>)

(SIFB<sub>ApMa</sub>)، ۸) دانه جو عمل آوری شده با چوبک و لاکتیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- - پولکی (SIFB<sub>ApLa</sub>)، ۹) دانه جو عمل آوری شده با رازیانه و مالیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- - پولکی (SIFB<sub>PvMa</sub>)، ۱۰) دانه جو عمل آوری شده با رازیانه و لاکتیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- - پولکی (SIFB<sub>PvLa</sub>)

Experimental treatments were: 1) Steam-flaking of barley grain (SFB<sub>0</sub>), 2) Steam-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Malic acid (SFB<sub>ApMa</sub>), 3) Steam-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Lactic acid (SFB<sub>ApLa</sub>), 4) steam flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Malic acid (SFB<sub>PvMa</sub>), 5) steam flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Lactic acid (SFB<sub>PvLa</sub>), 6) steam- infrared-flaking of barley grain (SIFB<sub>0</sub>), 7) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Malic acid (SIFB<sub>ApMa</sub>), 8) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Lactic acid (SIFB<sub>ApLa</sub>), 9) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Malic acid (SIFB<sub>PvMa</sub>), 10) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Lactic acid (SIFB<sub>PvLa</sub>)

مقایسات مستقل: الف) بخارپز-پولکی در مقابل بخارپز- تشعشی مادون قرمز- - پولکی ، ب) عصاره گیاهی چوبک در مقابل رازیانه، ج) اسید مالیک در مقابل اسید لاکتیک

Contrasts: A) Steam-flaking vs steam- infrared irradiation-flaking, B) *Acanthophyllum* vs *Foeniculum vulgare*, C) Malic acid vs Lactic acid

ارزش غذایی دانه جو تحت تأثیر عوامل متعددی مانند رقم، مکان پرورش، شرایط اقلیمی و عملیات زراعی قرار می‌گیرد (Abdi *et al.*, 2012). در مطالعه‌ای ارزش غذایی ۶ رقم جو داخلی مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر ماده خشک ۹۲/۶۲ درصد، پروتئین خام ۱۱/۰۹ درصد، چربی ۱/۹۲ درصد، خاکستر ۲/۶ درصد، NDF ۱۷/۳۶ درصد، ADF ۵/۱۶ درصد و انرژی خام ۳۹۵۰ کیلو کالری برای آنان گزارش شد (Janmohammadi *et al.*, 2009). داده‌های بدست آمده آزمایش حاضر با نتایج گزارش شده مغایر بوده و احتمالاً علت آن تفاوت در رقم دانه جو و انجام انواع فرآوری بر روی آن‌ها دانست. ترکیب شیمیایی و میزان انرژی قابل متابولیسم در انواع دانه جو به دلیل تغییرات جغرافیایی، محیطی و همچنین برهم کنش بین شان متنوع است (Dehghan-banadaky *et al.*, 2007). در مطالعه ژائو و همکاران (Zhao *et al.*, 2015)، غلظت پروتئین خام، NDF و نشاسته در دانه جو با جرم توده‌ای بالا به ترتیب ۱۲۸، ۱۸۶ و ۵۳۷ گرم بر کیلوگرم و برای دانه جو با جرم توده‌ای پایین به ترتیب ۱۲۴، ۱۷۹ و ۵۴۶ گرم بر کیلوگرم گزارش شد، که با نتایج آزمایش حاضر همخوانی نداشت. ناصر الاسلامی و همکاران (Naseroleslami *et al.*, 2018) در آزمایشی دانه‌های جو را با عصاره‌های گیاهی و یا ترکیبات قلیایی عمل‌آوری کردند. دامنه پروتئین خام نمونه‌های عمل‌آوری شده ۱۱۹/۵ تا ۱۳۲/۲ گرم بر کیلوگرم را گزارش شد. همچنین آن‌ها گزارش کردند که غلظت پروتئین خام نمونه‌های جو عمل‌آوری شده نسبت به دانه جو خام افزایش یافت. هر چند که دامنه اعداد گزارش شده با نتایج آزمایش حاضر همخوانی نداشت، اما با توجه به این که غلظت پروتئین در نتیجه عمل‌آوری شیمیایی افزایش یافت، نتایج این آزمایش در راستای نتایج آنهاست. در این آزمایش عمل‌آوری شیمیایی دانه جو با عصاره‌های گیاهی و ترکیبات قلیایی، دامنه غلظت‌های نشاسته ۶۱۰/۷ تا ۶۲۴/۲ گرم بر کیلوگرم، NDF از ۲۲۱/۱ تا ۲۲۶/۵ گرم بر کیلوگرم، ADF از ۸۰ تا ۸۴/۵ گرم بر کیلوگرم، خاکستر از ۱۹ تا ۲۰/۵ گرم بر کیلوگرم و چربی از ۲۰/۱ تا ۲۱/۸ گرم بر کیلوگرم گزارش شده، که غلظت این مواد مغذی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفتند (Naseroleslami *et al.*, 2018). با توجه به این که در این آزمایش دانه جو با افزودنی‌های گیاهی و اسیدهای آلی به همراه روش‌های بخارپز-پولکی یا بخارپز-تشنشعی مادون قرمز-پولکی فرآوری شده است و نیز رقم جو (جو وارداتی در مقابل جو بومی)، شرایط عمل‌آوری و ماهیت مواد شیمیایی (عدم استفاده از اسیدهای آلی و تفاوت در عصاره‌های گیاهی) متفاوت می‌باشد، لذا نتایج آزمایش حاضر با داده‌های گزارش شده توسط (Naseroleslami *et al.*, 2018) همخوانی نداشت. نکته حائز اهمیت در فرآوری به روش تشنشعی مادون قرمز، حفظ ارزش ذاتی پروتئین موجود در دانه‌ها پس از فرآوری است. بهبود ضریب بازدهی پروتئین، ترکیب و امتیاز (Score) اسیدهای آمینه در دانه‌های تشنشعی شده گزارش شده است (Khattab *et al.*, 2009). در اثر پرتوتابی آبگریزی سطح مولکول پروتئین به دلیل جدا شدن پیوندهای هیدروژنی و سایر پیوندهای کوالانسی و نیز تغییر موقعیت اسیدهای آمینه افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه گروه‌های جانبی در اسیدهای آمینه آبگریزی جایگاه فعال آنزیم‌های گوارشی تریپسین و کیمو تریپسین هستند، لذا این روش می‌تواند افزایش هضم دانه‌های فرآوری شده را به دنبال داشته باشد (Folawiyo and Apenten., 1997). هاردر و همکاران (Harder *et al.*, 2015) در آزمایشی دانه جو را با ۵ درصد La (حجمی/حجمی) عمل‌آوری کردند، و سپس تحت حرارت قرار دادند. غلظت پروتئین خام در دانه‌های جو عمل‌آوری شده کاهش یافت که با نتایج آزمایش حاضر همخوانی نداشت. این محققین علت این کاهش در غلظت پروتئین خام را شسته شدن بخش محلول پروتئین که عمدتاً از نیتروژن غیر پروتئینی یا پپتیدهای کوچک تشکیل شده است، بیان داشتند. همچنین گزارش نمودند که فرآوری دانه جو سهم مهمی در کاهش آمونیاک شکمبه‌ای و افزایش مقدار پروتئین تجزیه‌ناپذیر در شکمبه دارد. در آزمایشی دیگر، عمل‌آوری دانه جو با سطوح مختلف La (۰/۵، ۱ و ۵ درصد حجمی) همراه با حرارت (۵۵ درجه سلسیوس) منجر به کاهش نشاسته دانه‌های عمل‌آوری شده در مقایسه با دانه‌های خام جو شد، که نتایج آزمایش حاضر آن را تأیید نمی‌کند. اما خاکستر نمونه‌های عمل‌آوری شده با La نسبت

به دانه‌های خام جو کاهش یافت، که نتایج این آزمایش، آن را تأیید می‌نماید (Metzler-Zebeli *et al.*, 2014). سالم و همکاران (Salem *et al.*, 2012) گزارش کردند که پیوند ایجاد شده بین تانن‌های گیاهی و پروتئین باعث کاهش حلالیت پروتئین و افزایش مقاومت آن در برابر تجزیه پذیری شکمبه‌ای می‌شود. همچنین استفاده از تانن‌های متراکم در جیره سبب کاهش گوارش پذیری شکمبه‌ای کربوهیدرات‌های سریع التخمیر و همی سلولز در دانه‌های جو می‌شود (Patra and Saxena., 2011). تغییراتی که در ADF و NDF دانه‌های جو در طی فرآوری پولکی شدن اتفاق می‌افتد به دلیل جدا شدن هسته دانه (grain kernel) در اثر عبور از میان غلتک‌ها و فشار وارد شده به دانه و شکستن پوسته آن در طی این فرآیند است. مالکوم و کیزلینگ (Malcolm and Kiesling., 1993) بیان داشتند که افزایش غلظت ADF در طی فرآیند پولکی کردن به دلیل افزایش اتصالات لینگینی است، که در دمای بالای ۶۵ درجه سانتیگراد تشکیل می‌شود. نتایج آزمایش حاضر این را تأیید نمی‌کند، زیرا که فرآوری‌های فیزیکی به تنهایی تأثیر معنی داری بر غلظت ADF تیمارهای آزمایشی نداشتند. نتایج پژوهش‌های قبلی بیان کردند که پرتوتابی باعث آغاز واکنش‌های شیمیایی و نیز تجزیه پیوندهای شیمیایی می‌شود. همچنین پرتوتابی منجر به دپلمریزه شدن سلولز و تجزیه آن می‌گردد. علاوه بر این پرتوتابی موجب تورم الیاف سلولزی و به دنبال آن افزایش خاصیت جذب آب و حل شدن در محلول‌های قلیایی و هیدرولیز اسیدی شده است (Driscoll *et al.*, 2009). در آزمایشی دامنه NDF و ADF دانه‌های جو عمل‌آوری شده با La به ترتیب ۱۴۵ تا ۱۶۹ و ۵۳ تا ۶۳/۶ گرم به کیلوگرم بود که در دامنه نتایج آزمایش حاضر نمی‌باشد. عمل‌آوری با La و حرارت (۵۵ درجه سانتیگراد) سبب افزایش مقادیر NDF و ADF دانه‌های عمل‌آوری شده می‌شود (Metzler-Zebeli *et al.*, 2014). عمل‌آوری شیمیایی دانه جو با La به علت افزایش هیدرولیز فیتات و به دنبال آن در دسترس شدن فسفر و سایر کاتیون‌ها، غلظت خاکستر دانه‌های عمل‌آوری شده را کاهش داد (Harder *et al.*, 2015). عمل‌آوری دانه جو با La موجب افزایش هیدرولیز بخش‌های نامحلول به خصوص ترکیبات همی سلولزی و کاهش غلظت NDF می‌شود (Harder *et al.*, 2015). با توجه به کاهش غلظت خاکستر و NDF در اثر عمل‌آوری با La در آزمایش حاضر، نتایج آزمایش حاضر داده‌های گزارش شده توسط هادر و همکاران (Harder *et al.*, 2015) را تأیید می‌کند. گیاه چوبک منبع سرشاری از ترکیبات ساپونینی است. ساپونین‌ها بعنوان ترکیبات تغییر دهنده کشش سطحی بواسطه ماهیت شویندگی شان هستند. بنابراین استفاده از عصاره آن می‌تواند باعث افزایش جذب آب توسط دانه‌های فرآوری شده با آن شود و بدین لحاظ گوارش‌پذیری دانه نیز افزایش خواهد یافت (Hristov *et al.*, 2007). نتایج پژوهش‌های قبلی نشان داد که عمل‌آوری دانه ذرت با ساپونین و پولکی کردن آن با بخار منجر به افزایش تجزیه پذیری موثر ماده خشک و نشاسته به ترتیب به میزان ۱۷/۲ و ۶/۷ درصد نسبت به دانه‌های خام پولکی می‌شود (Hristov *et al.*, 2007). در آزمایش حاضر تیمار (SIFBApLa) کمترین و بیشترین غلظت NDF و نشاسته را در بین سایر تیمارهای فرآوری داشت که شاید یکی از دلایل آن خاصیت شویندگی ساپونین موجود در عصاره Ap است که باعث افزایش شسته شدن الیاف می‌شود که این نتایج همسو با گزارش (Pen *et al.*, 2007) مبنی بر تأثیر ساپونین موجود در گیاه یوکا بر کاهش غلظت NDF است. آنتول مهم ترین ترکیب موثری است که در Pv یافت می‌شود. استفاده از عصاره Pv سبب افزایش اشتها و بالا رفتن مصرف خوراک در دام می‌شود، و به تبع آن نرخ رشد دام‌ها را افزایش می‌دهد. آنتول موجود در Pv سبب بهبود اسپاسم‌های دستگاه گوارش و افزایش ترشح آنزیم‌های گوارشی و در نتیجه افزایش و یا بهبود هضم می‌گردد (Yacoub *et al.*, 2015). اسید لاکتیک یکی از اسیدهای آلی است که دارای عامل آلفا هیدروکسی اسید در رشته اصلی کربنی خود است که این عامل از طریق ایجاد قطب‌های هیدروژنی باعث اتصال آب و نشاسته و در نتیجه افزایش خروج آمیلوز از دانه‌های عمل‌آوری شده با این اسید می‌شود. در صورتی که اسید مالیک جزء اسیدهای آلی با دو عامل کربوکسیل است که موجب تقویت قدرت اسیدی آن



می‌شود. چنین پتانسیلی در اسیدهای آلی موجب هیدرولیز زنجیره‌های آمیلوز و آمیلوپکتین و در نتیجه کاهش نظم مولکولی نشاسته خواهد شد. با توجه به خاصیت اسید لاکتیک، احتمالاً همین ویژگی علت کاهش آمیلوز در دانه‌های عمل آوری شده با آن است (Hirashima et al., 2005). نوع ژلاتینه شدن نشاسته و میزان آن مهم‌ترین عامل تفاوت بین واریته‌های جو قبل و بعد از فرآوری تشعشی مادون قرمز است. بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی از گرانول‌های نشاسته دانه جو نشان داده است که گرانول‌ها قبل از میکرونیزه کروی بوده و بعد از میکرونیزه از حالت کروی خارج شده‌اند (Deepa and Umesh Hebba., 2016). پژوهش‌های صورت گرفته قبلی بیان کردند که اسیدهای آلی در اصلاح ساختار نشاسته و افزایش نشاسته مقاوم و کاهش تجزیه پذیری آن در شکمبه مؤثر است (Deckardt et al., 2014). واکنش‌های غیر کووالانسی که بین نشاسته و ترکیبات فنولی اتفاق می‌افتد می‌تواند بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و نیز هضم نشاسته مؤثر باشد. واکنش‌های غیر کووالانسی شامل باندهای هیدروژنی<sup>۱</sup>، واکنش‌های آبگریز<sup>۲</sup>، واکنش‌های یونی و الکترواستاتیکی<sup>۳</sup> است. در واقع ساختار مولکولی آمیلوز این پیوندهای قوی را بین نشاسته و ترکیبات فنولی ایجاد می‌کند (Barros et al., 2012) و همچنین تغییر در ساختار نشاسته به دلیل افزایش نسبت آمیلوز در رشته‌های  $\alpha$  گلوکان نشاسته باشد (Zhu., 2015). علاوه بر آن گزارش شده است که ترکیبات پلی فنولی یک ممانعت کننده<sup>۴</sup> متوسط آنزیم برای فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز<sup>۵</sup> و ممانعت کننده قوی برای آنزیم آلفا گلوکوزیداز<sup>۶</sup> هستند در نتیجه می‌تواند بر هضم نشاسته تأثیر بگذارند (Paun et al., 2016). ترکیبات گیاهی میزان هضم نشاسته، پروتئین و دامیناسیون اسیدهای آمینه را در شکمبه کاهش می‌دهند (Duval et al., 2007). مکانیسم حفاظت از نشاسته توسط ترکیبات فنولیک تا حدودی شبیه به ترکیبات آلدئیدی است، زیرا که گرانول‌های نشاسته توسط پروتئین‌هایی پوشش دهی شده که می‌توانند با ترکیبات آلدئیدی پیوند کووالانت تشکیل دهند (Martinez et al., 2005).

داده‌های مربوط به بخش‌بندی پروتئین خام دانه‌های جو عمل‌آوری شده شیمیایی همراه با فرآوری فیزیکی (بر اساس سیستم CNCPS ویرایش ۶/۵) در جدول شماره ۳ گزارش شده است. غلظت بخش‌های پروتئین حقیقی محلول، پروتئین حقیقی نامحلول و پروتئین غیر قابل هضم تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند ( $P < 0.05$ ). تیمار  $SFB_{ApMa}$  بیشترین و تیمار  $SIFB_{PvLa}$  کمترین غلظت پروتئین حقیقی محلول را در بین تیمارهای آزمایشی داشتند (به ترتیب ۵/۵۷ و ۳/۴۳ درصد از پروتئین خام). مقایسات مستقل عمل‌آوری با Ap در مقابل Pv نشان داد که عمل‌آوری با Ap موجب افزایش (۵۰/۸ درصدی) غلظت بخش پروتئین حقیقی محلول در مقایسه با عمل‌آوری دانه جو با Pv شد ( $P < 0.05$ ). علاوه بر آن عمل‌آوری با Ma در مقایسه با La غلظت بخش پروتئین حقیقی محلول به میزان ۲۸/۴ درصد افزایش داد ( $P < 0.05$ ). تیمار  $SFB_{PvLa}$  با ۸۸/۶۷ درصد از پروتئین خام، بیشترین غلظت پروتئین حقیقی نامحلول را در بین تیمارهای آزمایشی داشت. بیشترین و کمترین غلظت پروتئین غیر قابل هضم در بین تیمارهای آزمایشی به ترتیب در تیمارهای  $SFB_0$  و  $SIFB_{ApMa}$  مشاهده شد (۷/۶۸ و ۴/۴۳ درصد از پروتئین خام). عمل‌آوری دانه جو با Ap غلظت بخش پروتئین غیر قابل را نسبت به عمل‌آوری با Pv کاهش داد (۴/۸۴ در مقابل ۵/۷۹)، ( $P < 0.05$ ). غلظت بخش‌های مختلف کربوهیدرات دانه‌های فرآوری شده جو شامل مجموع کربوهیدرات، کربوهیدرات‌های غیر الیافی، الیاف محلول، الیاف قابل هضم و الیاف غیرقابل هضم تحت تأثیر روش‌های فرآوری قرار گرفت ( $P < 0.05$ ، جدول ۴). تیمار

<sup>1</sup> Hydrogen bonds

<sup>2</sup> Hydrophobic interaction

<sup>3</sup> Electrostatic and ionic interaction

<sup>4</sup> inhibitor

<sup>5</sup>  $\alpha$ -amylase

<sup>6</sup>  $\alpha$ -glucosidase

SIFB<sub>PvLa</sub> با ۸۴۳/۵۹، ۶۶۲/۹۳ و ۷۰/۱۹ گرم در کیلوگرم به ترتیب بیشترین غلظت مجموع کربوهیدرات، کربوهیدرات‌های غیر الیافی و الیاف محلول را در بین تیمارهای آزمایشی داشت. غلظت بخش‌های مجموع کربوهیدرات، کربوهیدرات‌های غیر الیافی و الیاف محلول در دانه‌های فرآوری شده با روش SIF بیشتر از دانه‌های فرآوری شده با روش SF بود (به ترتیب افزایش ۰/۱۷، ۲/۰۳ و ۳۰/۶۵ درصدی)، ( $P < ۰/۰۵$ ). تیمار SFB<sub>ApMa</sub> بیشترین و تیمار SIFB<sub>ApLa</sub> کمترین غلظت الیاف قابل هضم (۱۹۷/۶۹ و ۱۶۷ گرم در کیلوگرم) و الیاف غیر قابل هضم (۲۰/۰۳ و ۱۲/۱۱ گرم در کیلوگرم) را در بین تیمارهای آزمایشی داشتند. بیشترین غلظت الیاف غیر قابل هضم فرآوری فیزیکی با روش SF غلظت بخش‌های الیاف قابل هضم و الیاف غیرقابل هضم در دانه‌های جو نسبت به روش SIF افزایش معنی دار داشت (۵/۰۸ و ۱۳/۵۸ درصد). نتایج مقایسه مستقل عمل‌آوری شیمیایی با La در مقابل Ma نشان داد که عمل‌آوری با La، غلظت بخش‌های مجموع کربوهیدرات، کربوهیدرات‌های غیر الیافی و الیاف محلول را به ترتیب به میزان ۰/۹۷، ۵/۰۵ و ۷۲/۲۶ درصد افزایش معنی دار، داد ( $P < ۰/۰۵$ ). همچنین استفاده از Ma در عمل‌آوری شیمیایی موجب افزایش ۷/۲ و ۱۸/۳۲ درصدی غلظت بخش‌های الیاف قابل هضم و الیاف غیرقابل هضم شد ( $P < ۰/۰۵$ ).

جدول ۳- بخش‌بندی پروتئین انواع مختلف دانه جو فرآوری شده (شیمیایی- حرارتی- امواجی) بر اساس سیستم CNCPS و پراش ۶/۵

**Table3-** Protein fractionation of chemically processed barley grain using extracts of *Acanthophyllum* (Ap) or *Foeniculum vulgare* (Pv) plus malic acid (Ma) or lactic acid (La) accompany through steam flaking or steam-infrared-flaking

|   | روش‌های شیمیایی و فیزیکی عمل‌آوری |                     |                     |                     |                     |                     |                      |                      |                      |                      | P-Value (سطح معنی داری) |                    |          |        |        |
|---|-----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|----------|--------|--------|
|   | SFB <sub>0</sub>                  | SFB <sub>ApMa</sub> | SFB <sub>ApLa</sub> | SFB <sub>PvMa</sub> | SFB <sub>PvLa</sub> | SIFB <sub>0</sub>   | SIFB <sub>ApMa</sub> | SIFB <sub>ApLa</sub> | SIFB <sub>PvMa</sub> | SIFB <sub>PvLa</sub> | SEM                     | تیمار<br>Treatment | الف<br>A | ب<br>B | ج<br>C |
| بخش‌بندی پروتئین<br>(درصدی از پروتئین<br>خام) | (1)                               | (2)                 | (3)                 | (4)                 | (5)                 | (6)                 | (7)                  | (8)                  | (9)                  | (10)                 |                         |                    |          |        |        |
| Protein<br>fractions (%<br>of CP)             |                                   |                     |                     |                     |                     |                     |                      |                      |                      |                      |                         |                    |          |        |        |
| آمونیاک (A1)                                  | 0                                 | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | -                       | -                  | -        | -      | -      |
| پروتئین حقیقی<br>محلول (A2)                   | 5.10 <sup>a</sup>                 | 5.57 <sup>a</sup>   | 4.20 <sup>b</sup>   | 5.24 <sup>a</sup>   | 1.99 <sup>c</sup>   | 4.09 <sup>b</sup>   | 5.41 <sup>a</sup>    | 5.32 <sup>a</sup>    | 2.92 <sup>bc</sup>   | 3.43 <sup>b</sup>    | 0.85                    | 0.0826             | 0.7315   | 0.0091 | 0.0949 |
| Soluble true<br>protein                       |                                   |                     |                     |                     |                     |                     |                      |                      |                      |                      |                         |                    |          |        |        |
| پروتئین حقیقی<br>نامحلول (B1)                 | 83.46 <sup>b</sup>                | 86.63 <sup>ab</sup> | 87.72 <sup>a</sup>  | 85.67 <sup>ab</sup> | 88.76 <sup>a</sup>  | 86.14 <sup>ab</sup> | 87.01 <sup>ab</sup>  | 87.16 <sup>ab</sup>  | 88.66 <sup>a</sup>   | 87.69 <sup>a</sup>   | 0.084                   | 0.01               | 0.1104   | 0.3519 | 0.1736 |
| Insoluble<br>true protein                     |                                   |                     |                     |                     |                     |                     |                      |                      |                      |                      |                         |                    |          |        |        |
| پروتئین متصل شده<br>به الیاف (B2)             | 3.75                              | 2.6                 | 3.38                | 3.17                | 3.33                | 2.56                | 3.13                 | 2.44                 | 2.61                 | 3.31                 | 0.514                   | 0.6633             | 0.1934   | 0.5574 | 0.5178 |
| Fiber-bound<br>protein                        |                                   |                     |                     |                     |                     |                     |                      |                      |                      |                      |                         |                    |          |        |        |
| پروتئین غیرقابل<br>هضم (C)                    | 7.68 <sup>a</sup>                 | 5.19 <sup>bc</sup>  | 4.69 <sup>c</sup>   | 5.91 <sup>abc</sup> | 5.90 <sup>abc</sup> | 7.20 <sup>ab</sup>  | 4.43 <sup>c</sup>    | 5.07 <sup>c</sup>    | 5.80 <sup>abc</sup>  | 5.56 <sup>bc</sup>   | 0.423                   | 0.0005             | 0.3361   | 0.0048 | 0.9297 |
| Indigestible<br>protein                       |                                   |                     |                     |                     |                     |                     |                      |                      |                      |                      |                         |                    |          |        |        |

میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی داری می‌باشند ( $P < 0.05$ )

Means with different superscript letters in each row indicate significant different ( $P < 0.05$ ).

تیمارهای آزمایشی شامل: (۱) دانه جو خام بخارپز- پولکی (SFB<sub>0</sub>)، (۲) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- پولکی (SFB<sub>ApMa</sub>)، (۳) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و لاکتیک اسید بخارپز- پولکی (SFB<sub>ApLa</sub>)، (۴) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و مالیک اسید بخارپز- پولکی (SFB<sub>PvMa</sub>)، (۵) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و لاکتیک اسید بخارپز- پولکی (SIFB<sub>PvLa</sub>)، (۶) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>0</sub>)، (۷) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>ApMa</sub>)، (۸) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و لاکتیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>ApLa</sub>)، (۹) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و مالیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>PvMa</sub>)، (۱۰) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و لاکتیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>PvLa</sub>)

Experimental treatments were: 1) Steam-flaking of barley grain (SFB<sub>0</sub>), 2) Steam-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Malic acid (SFB<sub>ApMa</sub>), 3) Steam-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Lactic acid (SFB<sub>ApLa</sub>), 4) steam flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Malic acid (SFB<sub>PvMa</sub>), 5) steam flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Lactic acid (SFB<sub>PvLa</sub>), 6) steam- infrared-flaking of barley grain (SIFB<sub>0</sub>), 7) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Malic acid (SIFB<sub>ApMa</sub>), 8) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Lactic acid (SIFB<sub>ApLa</sub>), 9) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Malic acid (SIFB<sub>PvMa</sub>), 10) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Lactic acid (SIFB<sub>PvLa</sub>)

مقایسات مستقل: الف) بخارپز-پولکی در مقابل بخارپز- تشعشی مادون قرمز- - پولکی ، ب) عصاره گیاهی چوبک در مقابل رازیانه، ج) اسید مالیک در مقابل اسید لاکتیک

Contrasts: A) Steam-flaking vs steam- infrared irradiation-flaking, B) *Acanthophyllum* vs *Foeniculum vulgare*, C) Malic acid vs Lactic acid

یو (Yu., 2011) بیان نمود که فرآوری فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌تواند بر بخش‌بندی پروتئین خام بر اساس روش CNCPS تأثیر بگذارد. فرآوری خوراک به صورت پلت منجر به افزایش هضم شکمبه‌ای پروتئین می‌شود و این می‌تواند به علت دناتوره شدن پروتئین‌ها در حین فرآوری باشد (Huang *et al.*, 2015). فرآوری رطوبتی-حرارتی باعث افزایش بخش کند تجزیه پروتئین و کاهش بخش سریع تجزیه آن می‌شود (Peng *et al.*, 2014). احتمالاً یکی از دلایل کاهش بخش غیر قابل هضم پروتئین‌ها در حین عمل فرآوری، افزایش تجزیه پذیری دیواره سلولی و آزاد شدن پروتئین متصل به دیواره سلولی و به دنبال آن افزایش قابلیت هضم آن است. با توجه به نتایج آزمایش حاضر، استفاده از عصاره Ap باعث کاهش غلظت بخش غیر قابل هضم پروتئین دانه‌های جو عمل‌آوری شده گردید. علت این کاهش احتمالاً به دلیل خاصیت شویندگی Ap و افزایش شسته شدن دیواره سلولی متصل به پروتئین است، که موجب کاهش بخش غیر قابل هضم پروتئین می‌شود. بخش غیر قابل هضم پروتئین به‌عنوان بخش پروتئین گوارش‌ناپذیر در شکمبه شناخته می‌شود و رابطه مستقیمی با آسیب حرارتی نیتروژن و نیتروژن غیر قابل هضم دارد. بنابراین حرارت مناسب و کنترل شده حائز اهمیت است که در آزمایش حاضر فرآوری‌های رطوبتی-حرارتی-تشنه‌سعی به تنهایی تأثیر بر آن نداشتند (Mjoun *et al.*, 2010). فرآوری اکستروژن کردن سبب افزایش غلظت پروتئین متصل شده به لیاف و غیر قابل هضم پروتئین در غلات فرآوری شده می‌شود (Castro *et al.*, 2007). با توجه به این که در آزمایش حاضر هر دو نوع فرآوری شیمیایی و فیزیکی همزمان با هم انجام شده است، همچنین نوع فرآوری فیزیکی متفاوت با آن‌ها بوده است و خاصیت هیدرولیزی که در اسیدهای آلی وجود دارد و تأثیر بر آن‌ها بر لیاف دانه و خاصیت شویندگی عصاره چوبک بر دیواره سلولی متصل به پروتئین، بنابراین عدم همخوانی در نتایج مشاهده می‌شود. پرتوتابی از طریق تغییر در ساختمان پروتئین، اکسیداسیون اسیدهای آمینه، شکسته شدن پیوندهای کوالانسی و تشکیل رادیکال‌های آزاد، باعث تشکیل ژل یا شکل منظم پروتئین به صورت سه بعدی از راه ایجاد اتصالات عرضی و در نتیجه کاهش در دسترس بودن گروه‌های شیمیایی برای عمل آنزیم‌های پروتئولیتیکی میکروبی و در نهایت کاهش سرعت و میزان تجزیه‌پذیری پروتئین می‌شود (Folawiyo and Apenten., 1997). در آزمایش انجام شده توسط فنگ و همکاران (Feng *et al.*, 2023)، تأثیر فرآوری خشک، مرطوب و پرتوتابی بر بخش‌بندی کربوهیدرات‌های وارسته‌های مختلف جو اقلیم سرد، مورد بررسی قرار گرفت. فرآوری مرطوب (پخت در اتوکلاو) منجر به کاهش غلظت بخش لیاف قابل هضم کربوهیدرات‌های جو و نشاسته آن شد. فرآوری حرارتی تأثیری بر بخش‌های لیاف غیر قابل هضم، قندهای محلول و لیاف محلول کربوهیدرات نداشت که با نتایج آزمایش حاضر همخوانی نداشت. زین و همکاران (Zinn *et al.*, 2002) گزارش کردند درجه حرارت بالا و رطوبت منجر به بهبود هضم نشاسته و مجموع کربوهیدرات‌ها می‌شود. نتایج پژوهش‌های قبلی نشان داد که فرآوری رطوبتی-حرارتی دانه جو تأثیری بر مجموع کربوهیدرات‌ها، نشاسته و سلولز نداشت، اما ADF و لیگنین محلول در اسید (ADL<sup>1</sup>) را افزایش داد، که نتایج آزمایش حاضر با آن‌ها هم راستا نمی‌باشد (Feng *et al.*, 2020). فرآوری دانه جو به شکل پولکی با بخار در مقایسه با روش غلطک زدن خشک منجر به کاهش گوارش پذیری جو در شکمبه گاوهای گوشتی شده و جایگاه هضم را از شکمبه به روده انتقال می‌دهد (Richards and Hicks., 2007). اکسیداسیون کربوهیدرات‌های غیر ساختمانی و واکنش میلارد بین گروه کربونیلی و آمینی در طی فرآوری حرارتی، بر هضم پذیری کربوهیدرات‌ها در روده تأثیر می‌گذارد. فرآوری تشنه‌سعی مادون قرمز منجر به آن می‌شود که سطح کمتری از سوبسترا در معرض آنزیم‌های میکروبی قرار بگیرد (McKinnon *et al.*, 1995). فرآوری حرارتی مرطوب بقولات، منجر به کاهش بخش قندهای محلول و افزایش بخش لیاف قابل هضم در آن‌ها شد که نتایج آزمایش حاضر، نتایج آن‌ها را تأیید می‌کند (Sun *et al.*, 2018).

<sup>1</sup> Acid Detergent Lignin

جدول ۴- بخش‌بندی کربوهیدرات انواع مختلف دانه جو فرآوری شده (شیمیایی- حرارتی- امواجی) بر اساس سیستم CNCPS ویرایش ۶/۵

**Table4-** Carbohydrate fractionation of chemically processed barley grain using extracts of *Acanthophyllum* (Ap) or *Foeniculum vulgare* (Pv) plus malic acid (Ma) or lactic acid (La) accompany through steam flaking or steam-infrared-flaking

| بخش‌بندی کربوهیدرات (گرم در کیلوگرم)<br>Carbohydrate fractions (g/kg) | روش‌های شیمیایی و فیزیکی عمل‌آوری |                       |                       |                      |                      |                       |                       |                        |                      |                     | SE M | تیمار Treatment | P-Value (سطح معنی داری) |        |        |
|---|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|---------------------|------|-----------------|-------------------------|--------|--------|
|   | SFB <sub>0</sub>                  | SFB <sub>ApMa</sub>   | SFB <sub>ApLa</sub>   | SFB <sub>PvMa</sub>  | SFB <sub>PvLa</sub>  | SIFB <sub>0</sub>     | SIFB <sub>ApM</sub>   | SIFB <sub>ApLa</sub>   | SIFB <sub>PvM</sub>  | SIFB <sub>PvL</sub> |      |                 | مقایسات مستقل Contrasts |        |        |
|   | (1)                               | (2)                   | (3)                   | (4)                  | (5)                  | (6)                   | (7) <sup>a</sup>      | (8)                    | (9) <sup>a</sup>     | (10) <sup>a</sup>   |      |                 | الف A                   | ب B    | ج C    |
| نشاسته (B1)   | 558.93                            | 554                   | 557.98                | 558.54               | 558.01               | 561                   | 556.82                | 562.02                 | 558.95               | 558.83              | 4.13 | 0.2453          | 0.1939                  | 0.5058 | 0.1156 |
| Starch  |                                   |                       |                       |                      |                      |                       |                       |                        |                      |                     |      |                 |                         |        |        |
| قندهای محلول (A4)   | 36.03                             | 34.32                 | 35.91                 | 37.09                | 39.24                | 36.79                 | 36.10                 | 38.56                  | 36.06                | 33.90               | 3.19 | 0.1043          | 0.7564                  | 0.6779 | 0.2411 |
| Water soluble carbohydrate  |                                   |                       |                       |                      |                      |                       |                       |                        |                      |                     |      |                 |                         |        |        |
| مجموع کربوهیدرات Carbohydrates  | 833.72 <sup>def</sup>             | 836.19 <sup>cde</sup> | 839.63 <sup>abc</sup> | 828.42 <sup>f</sup>  | 841.91 <sup>ab</sup> | 837.78 <sup>cde</sup> | 834.97 <sup>cde</sup> | 838.86 <sup>abcd</sup> | 831.85 <sup>ef</sup> | 843.59 <sup>a</sup> | 1.09 | <0001           | 0.0508                  | 0.2229 | <0001  |
| کربوهیدرات‌های غیر الیافی Non fiber carbohydrate                      | 636.67 <sup>ab</sup>              | 618.46 <sup>b</sup>   | 644.11 <sup>ab</sup>  | 624.13 <sup>b</sup>  | 627.08 <sup>b</sup>  | 638.45 <sup>ab</sup>  | 624.85 <sup>b</sup>   | 661.50 <sup>a</sup>    | 627.02 <sup>b</sup>  | 662.93 <sup>a</sup> | 6.64 | 0.0008          | 0.0062                  | 0.6841 | <0001  |
| الیاف محلول (B2)  | 41.71 <sup>abc</sup>              | 30.14 <sup>bc</sup>   | 50.22 <sup>abc</sup>  | 28.49 <sup>c</sup>   | 29.83 <sup>bc</sup>  | 40.65 <sup>abc</sup>  | 31.93 <sup>bc</sup>   | 60.91 <sup>ab</sup>    | 32.01 <sup>bc</sup>  | 70.19 <sup>a</sup>  | 6.41 | 0.0012          | 0.0131                  | 0.493  | <0001  |
| Soluble fiber   |                                   |                       |                       |                      |                      |                       |                       |                        |                      |                     |      |                 |                         |        |        |
| الیاف قابل هضم (B3)   | 181.16 <sup>ab</sup>              | 197.69 <sup>a</sup>   | 179.77 <sup>ab</sup>  | 186.74 <sup>ab</sup> | 192.77 <sup>ab</sup> | 180.88 <sup>ab</sup>  | 191.51 <sup>ab</sup>  | 167 <sup>b</sup>       | 185.91 <sup>ab</sup> | 167.44 <sup>b</sup> | 5.63 | 0.0138          | 0.0191                  | 0.847  | 0.0026 |
| Digestible fiber  |                                   |                       |                       |                      |                      |                       |                       |                        |                      |                     |      |                 |                         |        |        |
| الیاف غیر قابل هضم (CC)   | 16.67 <sup>abc</sup>              | 20.03 <sup>a</sup>    | 15.74 <sup>abc</sup>  | 17.69 <sup>ab</sup>  | 18.50 <sup>ab</sup>  | 16.43 <sup>abc</sup>  | 18.61 <sup>ab</sup>   | 12.11 <sup>c</sup>     | 17.26 <sup>ab</sup>  | 13.72 <sup>bc</sup> | 0.99 | 0.0007          | 0.0034                  | 0.8133 | 0.0001 |
| Indigestible fiber  |                                   |                       |                       |                      |                      |                       |                       |                        |                      |                     |      |                 |                         |        |        |

میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی داری می‌باشند (P<0.05)

Means with different superscript letters in each row indicate significant different (P<0.05).

تیمارهای آزمایشی شامل: (۱) دانه جو خام بخارپز- پولکی (SFB<sub>0</sub>), (۲) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- پولکی (SFB<sub>ApMa</sub>), (۳) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و لاکتیک اسید بخارپز- پولکی (SFB<sub>ApLa</sub>), (۴) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و مالیک اسید بخارپز- پولکی (SFB<sub>PvMa</sub>), (۵) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و لاکتیک اسید بخارپز- پولکی (SFB<sub>PvLa</sub>), (۶) دانه جو خام بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>0</sub>), (۷) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>ApMa</sub>), (۸) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و لاکتیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>ApLa</sub>), (۹) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و مالیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>PvMa</sub>), (۱۰) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و لاکتیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی (SIFB<sub>PvLa</sub>)

Experimental treatments were: 1) Steam-flaking of barley grain (SFB<sub>0</sub>), 2) Steam-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Malic acid (SFB<sub>ApMa</sub>), 3) Steam-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Lactic acid (SFB<sub>ApLa</sub>), 4) steam flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Malic acid (SFB<sub>PvMa</sub>), 5) steam flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Lactic acid (SFB<sub>PvLa</sub>), 6) steam- infrared-flaking of barley grain (SIFB<sub>0</sub>), 7) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Malic acid (SIFB<sub>ApMa</sub>), 8) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Lactic acid (SIFB<sub>ApLa</sub>), 9) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Malic acid (SIFB<sub>PvMa</sub>), 10) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Lactic acid (SIFB<sub>PvLa</sub>)

مقایسات مستقل: الف) بخارپز-پولکی در مقابل بخارپز- تشعشی مادون قرمز- - پولکی ، ب) عصاره گیاهی چوبک در مقابل رازیانه، ج) اسید مالیک در مقابل اسید لاکتیک

Contrasts: A) Steam-flaking vs steam- infrared irradiation-flaking, B) *Acanthophyllum* vs *Foeniculum vulgare*, C) Malic acid vs Lactic acid

## نتیجه‌گیری کلی

در این آزمایش از اسانس چوبک (غنی از ساپونین) و رازیانه (غنی از ترکیبات فنولی) همراه با اسید لاکتیک یا اسید مالیک استفاده شد. متعاقب عمل‌آوری شیمیایی، فرآوری فیزیکی با روش بخارپز-پولکی و یا بخارپز-تشعشی مادون قرمز-پولکی انجام شد. استفاده از روش بخارپز-پولکی در تمام دانه‌های عمل‌آوری شده منجر به کاهش جرم توده‌ای گردید. همچنین استفاده از روش بخارپز-پولکی می‌تواند به عنوان یک گزینه مناسب برای بهبود ظرفیت نگهداری آب در دانه جو باشد. در این آزمایش به طور کلی غلظت مواد مغذی تحت تأثیر روش‌های عمل‌آوری شیمیایی همراه با فرآوری فیزیکی قرار گرفت. مهم‌ترین تغییر در غلظت مواد مغذی در پروتئین خام و NDF مشاهده شد. از سویی دیگر نتایج بخش‌بندی پروتئین نشان داد که فرآوری دانه جو با چوبک و فرآوری بخارپز-تشعشی مادون قرمز-پولکی موجب افزایش غلظت بخش پروتئین حقیقی محلول در دانه جو می‌شود. اما عمل‌آوری دانه‌ها با اسید لاکتیک همراه با فرآوری بخارپز-تشعشی مادون قرمز-پولکی غلظت کربوهیدرات‌های غیر الیافی و الیاف محلول را افزایش داد. به نظر می‌رسد که تأثیر روش‌های عمل‌آوری دانه جو انجام شده در این آزمایش نیاز به بررسی تغییرات ساختار مولکولی پروتئین و کربوهیدرات‌ها را نیز داشته باشد.



1. Abdi, G. E., Danesh Mesgaran, M., & Nassiri Moghadam, H. (2012). Effect of climate on the In vitro first order ruminal disappearance kinetics of dry matter in grain of semi-arid native barley cultivars. *African Journal of Agricultural Research*, 7, 1468–1474.
2. Aghajani, N., Ansaripour, E., & Kashaninejad, M. (2012). Effect of moisture content on physical properties of barley seeds. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14(1), 161-172.
3. Ahmad Khan, N., Booker, H., & Yu, P. (2015). Effect of heating method on alteration of protein molecular structure in flaxseed: relationship with changes in protein subfraction profile and digestion in dairy cows. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(4), 1057-1066.
4. AOAC, 2012. Official Methods of Analysis, 19th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, 121-130.
5. Barros, F., Awika, J. M., & Rooney, L. W. (2012). Interaction of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and effects on in vitro starch digestibility. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(46), 11609-11617.
6. Benchaar, C., Calsamiglia, S., Chaves, A. V., Fraser, G. R., Colombatto, D., McAllister, T. A., & Beauchemin, K. A. (2008). A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Animal Feed Science and Technology*, 145(1-4), 209-228.
7. Brun-Lafleur, L., Delaby, L., Husson, F., & Faverdin, P. (2010). Predicting energy× protein interaction on milk yield and milk composition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93(9), 4128-4143.
8. Castro, S. B., Phillip, L. E., Lapierre, H., Jardon, P. W., & Berthiaume, R. (2007). Ruminal degradability and intestinal digestibility of protein and amino acids in treated soybean meal products. *Journal of Dairy Science*, 90(2), 810-822.
9. Chrenkova, M., Formelova, Z., Ceresnakova, Z., Dragomir, C., Rajskey, M., Cismileanu, A., & Weisbjerg, M. R. (2018). Rumen undegradable protein (RUP) and its intestinal digestibility after steam flaking of cereal grains. *Czech Journal of Animal Science*, 63(4), 160-166.
10. Corbett, R. (2000). Processing barley grain and high moisture barley—how much is enough. *Advances in Dairy Technology*, 12, 279-291.
11. Deckardt, K., Khiaosa-ard, R., Grausgruber, H., & Zebeli, Q. (2014). Evaluation of various chemical and thermal feed processing methods for their potential to enhance resistant starch content in barley grain. *Starch-Stärke*, 66(5-6), 558-565.
12. Deepa, C., & Hebbar, H. U. (2016). Effect of high-temperature short-time ‘micronization’ of grains on product quality and cooking characteristics. *Food engineering reviews*, 8, 201-213.
13. Dehghan-Banadaky, M., Corbett, R., & Oba, M. (2007). Effects of barley grain processing on productivity of cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 137(1-2), 1-24.
14. Domby, E. M., Anele, U. Y., Gautam, K. K., Hergenreder, J. E., Pepper-Yowell, A. R., & Galyean, M. L. (2014). Interactive effects of bulk density of steam-flaked corn and concentration of Sweet Bran on feedlot cattle performance, carcass characteristics, and apparent total tract nutrient digestibility. *Journal of animal science*, 92(3), 1133-1143.
15. Driscoll, M., Stipanovic, A., Winter, W., Cheng, K., Manning, M., Spiese, J., ... & Cleland, M. R. (2009). Electron beam irradiation of cellulose. *Radiation Physics and Chemistry*, 78(7-8), 539-542.
16. Duval, S. M., McEwan, N. R., Graham, R. C., Wallace, R. J., & Newbold, C. J. (2007). Effect of a blend of essential oil compounds on the colonization of starch-rich substrates by bacteria in the rumen. *Journal of applied microbiology*, 103(6), 2132-2141.

17. Fasina, O. O., Tyler, R. T., Pickard, M. D., & Zheng, G. H. (1999). Infrared heating of hullless and pearled barley. *Journal of food processing and preservation*, 23(2), 135-151.
18. Feng, X., Prates, L. L., Rodríguez Espinosa, M. E., Peng, Q., Zhang, H., Zhang, W., & Yu, P. (2023). Dry heating, moist heating, and microwave irradiation of cold-climate-adapted barley grain—Effects on ruminant-relevant carbohydrate and molecular structural spectral profiles. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 107(1), 113-120.
19. Feng, X., Sun, B., & Yu, P. (2020). Using vibrational molecular spectroscopy to detect moist heating induced carbohydrates structure changes in cool-climate adapted barley grain. *Journal of Cereal Science*, 95, 103007.
20. Fernando, S. C., H. T. Purvis, F. Z. Najar, L. O. Sukharnikov, C. R. Krehbiel, and T. G. Nagaraja. 2010. Rumen microbial population dynamics during adaptation to a high grain diet. *Applied and Environmental Microbiology*. 76: 7482–7490.
21. Folawiyo, Y. L., & Apenten, R. O. (1997). The effect of heat-and acid-treatment on the structure of rapeseed albumin (napin). *Food chemistry*, 58(3), 237-243.
22. Giger-Reverdin, S. (2000). Characterisation of feedstuffs for ruminants using some physical parameters. *Animal Feed Science and Technology*, 86(1-2), 53-69.
23. González, L. A., Manteca, X., Calsamiglia, S., Schwartkopf-Genswein, K. S., & Ferret, A. (2012). Ruminant acidosis in feedlot cattle: Interplay between feed ingredients, rumen function and feeding behavior (a review). *Animal feed science and technology*, 172(1-2), 66-79.
24. Harder, H., Khol-Parisini, A., & Zebeli, Q. (2015). Modulation of resistant starch and nutrient composition of barley grain using organic acids and thermal cycling treatments. *Starch-Stärke*, 67(7-8), 654-662.
25. Hebbar, H. U., Vishwanathan, K. H., & Ramesh, M. N. (2004). Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of food engineering*, 65(4), 557-563.
26. Hirashima, M., Takahashi, R., & Nishinari, K. (2005). Effects of adding acids before and after gelatinization on the viscoelasticity of cornstarch pastes. *Food hydrocolloids*, 19(5), 909-914.
27. Hristov, A. N., Zaman, S., VanderPol, M., Szasz, P., Huber, K., & Greer, D. (2007). Effect of a saponin-based surfactant and aging time on ruminal degradability of flaked corn grain dry matter and starch. *Journal of animal science*, 85(6), 1459-1466.
28. Hu, G., Burton, C., & Yang, C. (2010). Efficient measurement of amylose content in cereal grains. *Journal of cereal science*, 51(1), 35-40.
29. Huang, X., Christensen, C., & Yu, P. (2015). Effects of conditioning temperature and time during the pelleting process on feed molecular structure, pellet durability index, and metabolic features of co-products from bio-oil processing in dairy cows. *Journal of dairy science*, 98(7), 4869-4881.
30. Humer, E., & Zebeli, Q. (2017). Grains in ruminant feeding and potentials to enhance their nutritive and health value by chemical processing. *Animal feed science and technology*, 226, 133-151.
31. Janmohammadi, H., Taghizadeh, A., & Pirany, N. (2009). Chemical composition and metabolizable energy content of some barley varieties of East Azarbyjan using adult leghorn roosters. *Animal Science Researches*, 19, 105-115. (In Persian).
32. Khampa, S., Wanapat, M., 2007. Manipulation of rumen fermentation with organic acids supplementation in ruminants raised in the tropics. *Pak. J. Nutr.* 6, 20–27. McKinnon, J. J., Olubobokun, J. A., Mustafa, A., Cohen, R. D. H., & Christensen, D. A. (1995). Influence of dry heat treatment of canola meal on site and extent of nutrient disappearance in ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 56(3-4), 243-252.

33. Khattab, R. Y., & Arntfield, S. D. (2009). Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments 2. Antinutritional factors. *LWT-Food Science and Technology*, 42(6), 1113-1118.
34. Knowlton, K. 2001. High grain diets for dairy cattle. *Rec. Adv. Anim. Nutr. Aust.* 13: 19-28
35. Koenig, K. M., Beauchemin, K. A., & Yang, W. Z. (2013). Processing feed grains: factors affecting the effectiveness of grain processing for beef and dairy cattle production. In *Proceedings of the 34th Western Nutrition Conference-processing, performance and profit, Saskatoon, Saskatchewan, Canada, 24-26 September, 2013* (pp. 62-73). Western Nutrition Conference Planning Committee.
36. Kokić, B., Lević, J., Chrenková, M., Formelová, Z., Poláčiková, M., Rajský, M., & Jovanović, R. (2013). Influence of thermal treatments on starch gelatinization and in vitro organic matter digestibility of corn. *Food and Feed research*, 40(2), 93-99.
37. Malcolm, K. J., & Kiesling, H. E. (1993). Dry matter disappearance and gelatinization of grains as influenced by processing and conditioning. *Animal feed science and technology*, 40(4), 321-330.
38. Martínez, T. F., Moyano, F. J., Díaz, M., Barroso, F. G., & Alarcon, F. J. (2005). Use of tannic acid to protect barley meal against ruminal degradation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(8), 1371-1378.
39. McKinnon, J. J., Olubobokun, J. A., Mustafa, A., Cohen, R. D. H., & Christensen, D. A. (1995). Influence of dry heat treatment of canola meal on site and extent of nutrient disappearance in ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 56(3-4), 243-252.
40. Metzler-Zebeli, B. U., Deckardt, K., Schollenberger, M., Rodehutschord, M., & Zebeli, Q. (2014). Lactic acid and thermal treatments trigger the hydrolysis of myo-inositol hexakisphosphate and modify the abundance of lower myo-inositol phosphates in barley (*Hordeum vulgare* L.). *PLoS One*, 9(6), e101166.
41. Mjoun, K., Kalscheur, K. F., Hippen, A. R., & Schingoethe, D. J. (2010). Ruminal degradability and intestinal digestibility of protein and amino acids in soybean and corn distillers grains products. *Journal of Dairy Science*, 93(9), 4144-4154.
42. Nasehi, M., Torbatinejad, N. M., Rezaie, M., & Ghoorchi, T. (2018). The effect of green tea waste extract on ruminal degradability and intestinal digestibility of barley grain. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 42(6), 624-632.
43. Naseroleslami, R., Mesgaran, M. D., Tahmasbi, A., Vakili, S. A., & Ebrahimi, S. H. (2018). Influence of barley grain treated with alkaline compounds or organic extracts on ex vivo site and extent of digestion of starch. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(2), 230.
44. Opielak, M., Andrejko, D., & Komsta, H. (2004). The influence of thermal processing with infrared rays on the elementary energy consumption in grinding wheat grains. *TEKA Komisji Motoryzacji I Energetyki Rolnictwa. IV*.
45. Patra, A. K., & Saxena, J. (2011). Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(1), 24-37.
46. Paun, G., Neagu, E., Albu, C., Moroeanu, V., & Radu, G. L. (2016). Antioxidant activity and inhibitory effect of polyphenolic-rich extract from *Betonica officinalis* and *Impatiens noli-tangere* herbs on key enzyme linked to type 2 diabetes. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 60, 1-7.
47. Pen, B., Takaura, K., Yamaguchi, S., Asa, R., & Takahashi, J. (2007). Effects of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* with or without  $\beta$  1-4 galacto-oligosaccharides on ruminal fermentation, methane production and nitrogen utilization in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 138(1), 75-88.

48. Peng, Q., Khan, N. A., Wang, Z., & Yu, P. (2014). Relationship of feeds protein structural makeup in common Prairie feeds with protein solubility, in situ ruminal degradation and intestinal digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 194, 58-70.
49. Ponce, C. H., Dobby, E. M., Anele, U. Y., Schutz, J. S., Gautam, K. K., & Galyean, M. L. (2013). Effects of bulk density of steam-flaked corn in diets containing wet corn gluten feed on feedlot cattle performance, carcass characteristics, apparent total tract digestibility, and ruminal fermentation. *Journal of animal science*, 91(7), 3400-3407.
50. Rani, A., Sood, S., & Bhat, F. M. (2020). Physico-chemical and Functional Properties of Three Hull-less Barley (*Hordeum vulgare*) Varieties Grown in the High Altitude Region. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 9(9), 2069-2077.
51. Reynolds, W. K., Hunt, C. W., Eckert, J. W., & Hall, M. H. (1992). Evaluation of the feeding value of barley as affected by variety and location using near infrared reflectance spectroscopy. In *Proc. West. Sec. Amer. Soc. Anim. Sci* (Vol. 43, pp. 498-501).
52. Richards, C. J., & Hicks, B. (2007). Processing of corn and sorghum for feedlot cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 23(2), 207-221.
53. Robertson, J. A., & Eastwood, M. A. (1981). An investigation of the experimental conditions which could affect water-holding capacity of dietary fibre. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 32(8), 819-825.
54. Rose, R., Rose, C. L., Omi, S. K., Forry, K. R., Durall, D. M., & Bigg, W. L. (1991). Starch determination by perchloric acid vs enzymes: evaluating the accuracy and precision of six colorimetric methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39(1), 2-11.
55. Safaei, K., Ghorbani, G. R., Alikhani, M., Sadeghi-Sefidmazgi, A., & Yang, W. Z. (2017). Response of lactating dairy cows to degree of steam-flaked barley grain in low-forage diets. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 101(5), e87-e97.
56. Sajjadi, H., Ebrahimi, S. H., Vakili, S. A., Rohani, A., Golzarian, M. R., & Miri, V. H. (2022). Operational conditions and potential benefits of grains micronization for ruminant: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 287, 115285.
57. Salem, A. Z. M., Szumacher-Strabel, M., López, S., Khalil, M. S., Mendoza, G. D., & Ammar, H. (2012). In situ degradability of soyabean meal treated with *Acacia saligna* and *Atriplex halimus* extracts in sheep. *J Anim Feed Sci*, 21(3), 447-457.
58. Schwandt, E. F., Hubbert, M. E., Thomson, D. U., Vahl, C., Bartle, S. J., & Reinhardt, C. D. (2017). Flake density, roll diameter, and flake moisture all influence starch availability of steam-flaked corn. *Kans Agric Exp Stn Res Reports*, 31, 22.
59. Sindt, J. J., Drouillard, J. S., Titgemeyer, E. C., Montgomery, S. P., Loe, E. R., Depenbusch, B. E., & Walz, P. H. (2006). Influence of steam-flaked corn moisture level and density on the site and extent of digestibility and feeding value for finishing cattle. *Journal of animal science*, 84(2), 424-432.
60. Singh, B., & Narang, M. P. (1991). Some physico-chemical characteristics of forages and their relationships to digestibility. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 8(3), 179-186.
61. Sun, B., Rahman, M. M., Tar'an, B., & Yu, P. (2018). Determine effect of pressure heating on carbohydrate related molecular structures in association with carbohydrate metabolic profiles of cool-climate chickpeas using Global spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 201, 8-18.
62. Tosta, M. R., Prates, L. L., Christensen, D. A., & Yu, P. (2019). Effects of processing methods (rolling vs. pelleting vs. steam-flaking) of cool-season adapted oats on dairy cattle production performance and metabolic characteristics compared with barley. *Journal of dairy science*, 102(12), 10916-10924.
63. Trotta, R. J., Kreikemeier, K. K., Royle, R. F., Milton, T., & Harmon, D. L. (2021). Flake density and starch retrogradation influence in situ ruminal degradability characteristics of

- steam-flaked corn and predicted starch digestibility and energetic efficiency. *Journal of Animal Science*, 99(11), skab298.
64. Van Amburgh, M. E., Collao-Saenz, E. A., Higgs, R. J., Ross, D. A., Recktenwald, E. B., Raffrenato, E., ... & Foskolos, A. (2015). The Cornell Net Carbohydrate and Protein System: Updates to the model and evaluation of version 6.5. *Journal of Dairy Science*, 98(9), 6361-6380.
  65. Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74(10), 3583-3597.
  66. Yacoub, O.M., Embarek, A., Abderahim, K., Abdelmoula, E.O., Bouchra, B., Ali, O., ELHessni, A., Akhouayri, O., and Mesfioui, A. 2015. Chemical Composition and Zootecnical Effects of Essential Oil of Fennel (*Foeniculum Vulgare* Mill.) and Anise (*Pimpinella Anisum* L.) on Turkey. *J. World's Poult. Res.* 5: 90-97.
  67. Yang, L., Christensen, D. A., McKinnon, J. J., Beattie, A. D., & Yu, P. (2013). Effect of altered carbohydrate traits in hulless barley (*Hordeum vulgare* L.) on nutrient profiles and availability and nitrogen to energy synchronization. *Journal of Cereal Science*, 58(1), 182-190.
  68. Yang, W. Z., Beauchemin, K. A., & Rode, L. M. (2000). Effects of barley grain processing on extent of digestion and milk production of lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 83(3), 554-568.
  69. Yu, P. (2011). Dry and moist heating-induced changes in protein molecular structure, protein subfraction, and nutrient profiles in soybeans. *Journal of dairy science*, 94(12), 6092-6102.
  70. Zhao, Y. L., Yan, S. M., He, Z. X., Anele, U. Y., Swift, M. L., McAllister, T. A., & Yang, W. Z. (2015). Effects of volume weight, processing method and processing index of barley grain on in situ digestibility of dry matter and starch in beef heifers. *Animal Feed Science and Technology*, 199, 93-103.
  71. Zhu, F. (2015). Interactions between starch and phenolic compound. *Trends in Food Science & Technology*, 43(2), 129-143.
  72. Zinn, R. A., Montano, M., & Shen, Y. (1996). Comparative feeding value of hulless vs covered barley for feedlot cattle. *Journal of animal science*, 74(6), 1187-1193.
  73. Zinn, R. A., Owens, F. N., & Ware, R. A. (2002). Flaking corn: processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 80(5), 1145-115.

نسخه پیش انتشار