دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشهای تولیدات دامی

تأثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری فیزیکی و بیولوژیکی بر ترکیب شیمیایی، فراسنجه‌های تولید گاز و قابلیت هضم برون‌تنی دانه جو

حسین اصغر حسین زاده[1]، جواد بیات کوهسار[2]، فرزاد قنبری[3] و فریبا فریور[3]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس
2- استادیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس (نویسنده مسوول: javad_bayat@yahoo.com)
3- استادیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس

تاریخ دریافت: 98/05/29 تاریخ پذیرش: 98/08/01
صفحه: 46 تا 56

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری فیزیکی و بیولوژیکی بر ترکیب شیمیایی، فراسنجه‌های تولید گاز و قابلیت هضم برون‌تنی دانه جو در قالب طرح کاملاً تصادفی (6 تیمار و 3 تکرار) انجام شد. تیمارها شامل دانه جو عمل‌آوری نشده (شاهد)، غلطک زده‌شده با بخار (به‌مدت 3 تا 5 دقیقه)، غلطک زده شده با بخار و مخمر (*ساکارومایسس سرویزیه*) (4 درصد به نسبت 1:2)، مایکروویو شده (باقدرت850 وات و به‌مدت 3 دقیقه)، غلطک‌زده‌شده با بخار و مایکروویو شده و غلطک زده‌شده با بخار+ مخمر+ مایکروویو بودند. ترکیب شیمیایی نمونه‌ها مطابق روش‌های استاندارد تعیین شد. به‌منظور برآورد فرآسنجه‌های تولید گاز نمونه‌ها، از آزمون تولید گاز استفاده شد. قابلیت هضم برون‌تنی نمونه‌ها با استفاده از روش کشت بسته انجام شد. عمل‌آوری بر ترکیب شیمیایی تیمارها دارای تأثیر معنی‌داری بود. عمل‌آوری مقدار پروتئین خام تیمارهای مختلف را افزایش داد که بیشترین مقدار آن در تیمار ترکیبی (غلطک زده شده با بخار+ مخمر + مایکروویو) مشاهده شد (14 درصد). عمل‌آوری تأثیری بر الیاف نامحلول در شوینده خنثی دانه جو نداشت. عمل‌آوری پتانسیل تولید گاز دانه جو را کاهش داد که کمترین مقدار آن در تیمار ترکیبی (غلطک زده شده با بخار + مخمر + مایکروویو) به‌دست آمد (91/36 میلی‌لیتر به ازای 200 میلی‌گرم ماده خشک). همچنین عمل‌آوری تأثیر معنی‌داری بر مقدار قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی نداشت. تمام تیمارها به‌جز مایکروویو، باعث افزایش توده میکروبی و بازده آن شدند، که از این نظر بیشترین افزایش در تیمار غلطک‌زده‌شده با بخار + مخمر مشاهده شد (به‌ترتیب 183/11 و 0/42 میلی‌گرم بر ماده‌خشک). به‌طورکلی نتایج نشان داد که روش‌های مختلف عمل‌آوری می‌توانند ارزش تغذیه‌ای دانه جو را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دهند.

واژه‌های کلیدی: ارزش تغذیه‌ای، دانه جو، عمل‌آوری، مخمر ساکارومایسس سرویزیه، مایکروویو

مقدمه

جو از مهم‌ترین محصولات زراعی در تأمین احتیاجات غذایی دام می‌باشد. دانه جو عمدتاً به‌عنوان منبع انرژی و کربوهیدرات با هضم سریع در جیره نشخوارکنندگان و به‌ویژه گاو شیری مورد استفاده قرار می‌گیرد (25). دانه جو با پریکارپ سالم به‌میزان اندکی در شکمبه هضم می‌شود؛ زیرا دانه کامل نسبت به اتصالات میکروبی در شکمبه مقاوم است. دانه جو به‌وسیله یک پوسته الیافی احاطه‌شده که قابلیت هضم پایینی دارد و بر خلاف دانه ذرت که به‌خوبی تحت تأثیر جویدن خرد می‌شود، نسبت به جویده‌شدن مقاوم است (3)؛ بنابراین عمل‌آوری دانه جو به‌منظور دسترسی جمعیت میکروبی شکمبه به آندوسپرم احاطه‌شده توسط پریکارپ و پوسته غیر قابل‌هضم ضروری است (52). جو دارای تعادل مناسبی از مواد مغذی بوده و نسبت به دانه ذرت دارای مقدار پروتئین بیشتری است. جو با تأمین انرژی و پروتئین کافی می‌تواند نقش عمده‌ای در ساخت پروتئین میکروبی جهت رشد و تولید دام داشته باشد (21).

در تغذیه نشخوارکنندگان، قابلیت تخمیر دانه‌های غلات شاخص مهمی در شناخت ارزش خوراکی آن‌ها به شمار می‌رود، به‌طوری‌که می‌تواند بر مکان هضم نشاسته در دستگاه گوارش و تأمین پروتئین میکروبی اثر گذاشته و تأثیر مهمی بر محیط داشته باشد. این اثرات از طریق pH، تولید اسید چرب فرار و فرآیند تجزیه سلولز در شکمبه می‌توانند بر مصرف خوراک و تولید دام تأثیری بسزایی داشته باشند (20). قابلیت هضم دانه‌های غلات جیره نشخوارکنندگان در شکمبه و روده، متغیر است. بااینکه نشاسته موجود در غلات، در دستگاه گوارش نشخوارکنندگان از قابلیت هضم کاملی برخوردار نیست، ولی مهم‌ترین کربوهیدراتی است که به‌عنوان منبع انرژی برای نشخوارکنندگان شناخته شده است (8).

در مقایسه با دانه ذرت، دانه جو نرخ تجزیه‌پذیری بالاتری در شکمبه دارد (33). رینولس و همکاران (36) گزارش کردند که افزایش عبور نشاسته به روده باریک باعث بهبود عملکرد گاو می‌شود. در سال‌های اخیر، عمل‌آوری‌های مختلفی به‌منظور تعدیل نرخ تجزیه‌پذیری نشاسته جو در شکمبه پیشنهاد شده است. هدف از عمل‌آوری غلات افزایش میزان هضم نشاسته در کل دستگاه گوارش در کنار بهینه نمودن فرآیند تخمیر، تجزیه‌پذیری و هضم نشاسته در بخش‌های مختلف دستگاه گوارش، کاهش خطر ابتلا به اسیدوز شکمبه‌ای و کاهش میزان ورود غلات قابل تخمیر هضم نشده به بخش‌های انتهایی دستگاه گوارش است (27). برای عمل‌آوری دانه غلات روش‌های مختلفی وجود دارد که ازجمله می‌توان روش‌های فیزیکی مانند پلت‌کردن، برشته کردن، غلطک‌زدن با بخار، روش‌های شیمیایی مانند عمل‌آوری با هیدروکسید سدیم، فرمالدئید، آمونیاک، اوره و روش‌های بیولوژیکی مانند استفاده از آنزیم‌های فیبرولایتیک اشاره کرد. ترکیبات شیمیایی که برای عمل‌آوری غلات

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/rap.11.27.46]

استفاده می‌شوند، عموماً برای انسان و حیوان سمی بـوده و در بسیاری از کشورها استفاده از آن‌ها ممنوع شده است (11).

یکی از بهترین روش‌های عمل‌آوری دانه غلات در تغذیه دام روش عمل‌آوری غلطک‌زده‌شده با بخار می‌باشد. در برخی از مطالعات نشان داده شده است که غلطک زدن با بخار باعث کاهش مقدار پروتئین خام (15) و افزایش در غلظت الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (12) می‌شود. عمل‌آوری بیولوژیکی با استفاده از قارچ‌ها و یا آنزیم‌های آن‌ها انجام می‌شود. بوچمین و همکاران (33) گزارش کردند که آنزیم‌های فیبرولیتیک هضم ماده غذایی در شکمبه و تولید شیر در گاوهای شیری را افزایش می‌دهند. این آنزیم‌ها همچنین ممکن است هضم دانه جو را افزایش دهند. پرتوتـابی مایکروویو می‌تواند در عمل‌آوری غلات، نقش بسـزایی ایفا نماید (27)، چون از یک‌سو فرآوری یکنواخت و قابل کنترلی را ارائه می‌دهد و از سـویی دیگـر در مقایسـه بـا روش‌های متـداول عمل‌آوری غلات، موجب صرفه‌جویی در وقت نیز می‌شود (13).

تابه‌حال، مطالعات اندکی در خصوص مقایسه روش‌های مختلف عمل‌آوری فیزیکی و بیولوژیکی بر ارزش تغذیه‌ای دانه جو انجام شده است. لذا، هدف از انجام این مطالعه بررسی تأثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری فیزیکی، بیولوژیکی و ترکیبی بر ترکیب شیمیایی و فراسنجه‌های تولید گاز و قابلیت هضم دانه جو بود.

مواد و روش‌ها

تهیه و عمل‌آوری دانه ذرت

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با 6 تیمار و 3 تکرار انجام شد. تیمارها شامل دانه جو عمل‌آوری‌نشده (شاهد) و عمل‌آوری شده با غلطک زده شده با بخار، غلطک‌زده شده با بخار و مخمر، مایکروویو شده، غلطک‌زده‌شده با بخار + مایکروویو شده و غلطک‌زده‌شده با بخار + مخمر + مایکروویو بودند. دانه‌ی جو اصلاح شده رقم صحرا (شاهد) از شرکت شادزی پاسارگاد شیراز تهیه شد و فلیک کردن (در روش‌های معمول فلیک تحت فشار بالا از سیستم پخت تحت فشار همراه با بخار مرطوب استفاده می‌شود. فشار وارده به دانه غلات در حدود 3 تا 4 کیلو گرم در هر سانتی‌مترمربع و به‌مدت 3 دقیقه می‌باشد) نمونه‌ها نیز توسط همین شرکت انجام گرفت. به‌منظور آماده‌سازی شرایط بهینه رشد مخمر ساکارومایسس سرویزیه، تیمارهای آزمایشی به‌مدت 24 ساعت و به نسبت 1 (نمونه) به 2 (آب) با هم مخلوط شدند تا رطوبت نسبی معادل 85 درصد برای رشد مخمر فراهم شود. در نهایت نمونه‌ها در دمای 35 درجه سلسیوس به‌مدت 24 ساعت در انکوباتور قرار داده شدند تا مخمر رشد کند. همچنین نمونه‌های عمل‌آوری‌شده با مایکروویو به‌مدت 3 دقیقه و با قدرت 850 وات انجام گرفت. بعد از عمل‌آوری، ترکیب شیمیایی، فراسنجه‌های تولید گاز و قابلیت هضم برون‌تنی نمونه‌ها تعیین شد.

تعیین ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیایی نمونه‌ها مطابق روش استاندارد AOAC (1) تعیین شد. ماده خشک به‌وسیله قرار دادن نمونه‌ها در آون با دمای 65 درجه سلسیوس و به‌مدت 48 ساعت تعیین شد. خاکستر با استفاده از کوره الکتریکی به‌مدت 4 ساعت در دمای 550 درجه سیلیسیوس برآورد شد. مقدار چربی خام با استفاده از دستگاه سوکسله اندازه‌گیری شد. مقدار پروتئین خام نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اتوکلدال تعیین شد (نیتروژن×6/25). اندازه‌گیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی با روش ون‌سوست و همکاران (48) انجام شد. مقادیر کل مواد مغذی قابل‌هضم، انرژی خالص شیردهی، انرژی خالص رشد، کربوهیدرات‌های غیرفیبری و بخش محلول در شوینده خنثی به‌ترتیب با استفاده از معادلات 1، 2، 3، 4 و 5 برآورد شدند (32).

رابطه (1) $TDN= (81/38+CP\times(0/36-ADF)\times0/77)$

رابطه (2) $NE_L= 0/0024+TDN-0/12$

رابطه (3) $NEg= 0/0029+TDN-1/01$

رابطه (4) $NFC=100-(CP+EE+NDF+Ash)$

رابطه (5) $NDS=100-NDF$

TDN (MJ/Kg): کل مواد مغذی قابل‌هضم، CP (%): پروتئین خام، ADF (%): الیاف نامحلول در شوینده‌ی اسیدی، NE_L(MJ/Kg): انرژی خالص شیردهی، NEg (MJ/Kg): انرژی خالص رشد، NFC (%): کربوهیدرات‌های غیرالیافی، EE(%): چربی خام، NDF (%): الیاف نامحلول در شوینده‌ی خنثی، Ash (%): خاکستر و NDS (%): بخش محلول در شوینده‌ی خنثی.

آزمون تولید گاز

تولید گاز تیمارهای آزمایشی بر اساس روش استاندارد اندازه‌گیری شد (30). مایع شکمبه از 3 رأس گوسفند نر نژاد دالاق (2/5±45 کیلوگرم) دارای فیستولای شکمبه‌ای قبل از خوراک‌دهی صبح جمع‌آوری شد. حیوانات در سطح نگهداری با جیره حاوی 70 درصد علوفه (یونجه و سیلاژ ذرت به نسبت مساوی) و 30 درصد کنسانتره (جو، کنجاله تخم پنبه، سبوس و مکمل) تغذیه شدند و به آب آزادانه دسترسی داشتند. مایع شکمبه بلافاصله به آزمایشگاه انتقال یافت. بزاق مصنوعی و مایع شکمبه تهیه شده به‌نسبت 2 به 1 (2 حجم بزاق مصنوعی و 1 حجم مایع شکمبه) به داخل بالن مخصوص ریخته شدند. سپس گاز دی اکسید کربن به‌داخل مخلوط تزریق‌شده و در آب گرم با دمای 39 درجه سلسیوس نگهداری شد. در نهایت 30 میلی‌لیتر از این محلول به‌داخل ویال‌های شیشه‌ای حاوی 200میلی‌گرم نمونه ریخته شد. سر این ویال‌های شیشه‌ای به‌کمک درپوش لاستیکی و پوشش آلومینیومی به‌طور کامل بسته شد. ویال‌ها درون حمام آب گرم

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/rap.11.27.46]

دارای دمای 39 درجه سلسیوس قرار داده شدند. در طی این مدت، ویال‌های شیشه‌ای در فواصل زمانی معین تکان داده می‌شدند. حجم گاز تولیدشده در فواصل زمانی 2، 4، 6، 8، 12، 24، 36، 48، 72 و 96 ساعت بعد از انکوباسیون، به‌صورت تجمعی محاسبه شد. برآورد فراسنجه‌های مختلف تولید گاز توسط نرم‌افزار SAS و بر اساس رابطه 6 انجام شد (34، 40):

$$y= b (1 - e^{-ct})$$ (رابطه 6)

در این رابطه، y گاز تولیدشده در زمان t، b تولید گاز از بخش نامحلول قابل تخمیر، e عدد نپر، c ثابت نرخ تولید گاز برای بخش b و t زمان کشت هستند.

مقادیر انرژی قابل متابولیسم و قابلیت هضم ماده آلی نمونه‌ها با استفاده از معادلات منک و استینگاس (29) و نیز مقدار اسیدهای چرب کوتاه زنجیر براساس رابطه گتاچو و همکاران(17) به‌ترتیب با استفاده از رابطه‌های 7، 8 و 9 برآورد شدند:

$$ME= 2/20 + 0/136\ GP + 0/057CP+ 0/0029CF$$ (رابطه 7)

$$OMD= 14/88 + 0/889\ GP + 0/45\ CP + 0/0651XA$$ (رابطه 8)

$$0/00425GP + 0/0222 = SCFA$$ (رابطه 9)

در این روابط ME: انرژی قابل متابولیسم (مگاژول در کیلوگرم ماده خشک)، GP: میزان تولید گاز خالص بعد از 24 ساعت (میلی‌لیتر به ازا 200 میلی‌گرم ماده خشک)، CP: پروتئین خام (درصد از ماده خشک)، CF: الیاف خام (درصد)، OMD: قابلیت هضم ماده آلی، SCFA: اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (میلی‌مول) و XA: میزان خاکستر (درصد از ماده خشک)، می‌باشند.

برآورد قابلیت هضم برون‌تنی

اندازه‌گیری قابلیت هضم تیمارهای مختلف بر اساس روش کشت بسته انجام شد (46). بدین‌منظور، ابتدا نمونه‌ها به اندازه یک میلی‌متر آسیاب و سپس خشک شدند. روش تهیه بزاق مصنوعی و جمع‌آوری مایع شکمبه مطابق آنچه در آزمون تولید گاز شرح داده شد، صورت گرفت. با این تفاوت که در آزمایش تعیین قابلیت هضم، داخل هر یک از ویال‌های شیشه‌ای 500 میلی‌گرم از هر نمونه ریخته شده و 50 میلی‌لیتر از مخلوط بزاق مصنوعی و مایع شکمبه به‌نسبت 2 به 1 به‌داخل هر ویال اضافه شد. سپس به‌مدت 10 ثانیه به‌داخل هر ویال شیشه‌ای گاز دی‌اکسیدکربن وارد شده و درب آن به کمک درپوش لاستیکی و پوشش آلومینیومی به‌طور کامل بسته شد. سپس ویال‌ها درون حمام آب گرم در دمای 39 درجه سلسیوس قرار داده شدند. بعد از گذشت 24 ساعت، تمامی ویال‌ها از حمام آب گرم خارج شده و به ظرف حاوی یخ منتقل شدند. نمونه‌های موجود در هر ویال، با استفاده از پارچه مخصوص صاف شده و محتویات هضم نشده از فاز مایع جدا شدند. سپس pH فاز مایع نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. پس از صاف کردن محتویات کشت 24 ساعته، نمونه‌های حاصل به‌مدت 48 ساعت در آون 60 درجه سلسیوس خشک شدند. سپس قابلیت هضم ظاهری نمونه‌ها محاسبه شد.

فراسنجه‌های تخمیری شکمبه با روش برون‌تنی

میزان نیتروژن آمونیاکی نمونه‌ها با استفاده از روش فنل-هیپوکلریت تعیین گردید (6). برای این‌منظور از دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج 630 نانومتر جهت قرائت جذب نوری استفاده شد. محاسبه توده میکروبی تولید شده با استفاده از رابطه 10 انجام شد.

$$MB = GP\times(PF - 2/2)$$ (رابطه 10)

در این رابطه MB: تولید توده میکروبی، GP: میزان تولید گاز خالص بعد از 24 ساعت انکوباسیون (میلی‌لیتر) و P عامل تفکیک (میلی‌گرم در میلی‌لیتر) هستند. عامل تفکیک[1] برابر با نسبت میلی‌گرم ماده آلی حقیقی هضم شده بر میلی‌لیتر حجم گاز خالص تولیدی می‌باشد. مقدار بازده توده میکروبی با تقسیم توده میکروبی تولیدشده بر مقدار ماده آلی حقیقی قابل تخمیر در پایان زمان انکوباسیون (24 ساعت) محاسبه شد.

تجزیه آماری داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. مدل آماری طرح به‌صورت رابطه 11 بود:

$$Y_{ij}= \mu+ T_i + e_{ij}$$ (رابطه 11)

در این رابطه، Y_{ij}: مقدار هر مشاهده، μ: میانگین کل، T_i: اثر تیمار و e_{ij}: خطای آزمایش هستند.

پردازش داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (40) و رویه GLM انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار[2] استفاده شد.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی

نتایج مربوطه به تأثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری بر ترکیب شیمیایی دانه جو در جدول 1 نشان داده شده است. نتایج نشان داد که روش‌های مختلف عمل‌آوری تأثیر معنی‌داری بر مقدار ماده خشک و ماده آلی داشتند ($P<0/05$). مقدار ماده خشک دانه جو عمل‌آوری‌نشده (شاهد) 92/11 درصد بود. تیمارهای غلطک‌زده‌شده با بخار + مخمر، مایکروویو، غلطک‌زده‌شده با بخار + مایکروویو و غلطک زده شده با بخار + مخمر + مایکروویو باعث افزایش درصد ماده خشک (به‌ترتیب: 95/11، 95/48، 97/54، 98/04 درصد) شدند. در مقابل مقدار ماده خشک دانه جو غلطک زده شده با بخار (91/19 درصد)، به‌دلیل ماهیت رطوبت بخش آن کاهش یافت. همسو با نتایج این مطالعه کادلک و همکاران (24) افزایش میزان ماده خشک در اثر پرتوتابی را به‌علت خشک‌شدن اولیه نمونه آزمایشی دانسته‌اند. تیمارهای غلطک زده شده با بخار + مخمر و مایکروویو، نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش درصد ماده آلی شدند (به‌ترتیب 97/49 و 97/57 در مقابل با 97/42 درصد). در تیمارهای غلطک‌زده‌شده با بخار و غلطک زده شده با بخار + مایکروویو ماده آلی

1- Partishning Factor (PF)

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/rap.11.27.46]

(به‌ترتیب 97/27 و 96/96 درصد) کاهش یافت. تأثیر حرارت دادن در میزان پروتئین خام بستگی به‌میزان رطوبت دانه و دمای مورد استفاده و مدت زمان عمل‌آوری دارد. تیمار حرارتی باعث تشکیل کمپلکس پروتئینی با سایر ترکیبات دانه می‌شود (6). مقدار پروتئین خام تیمارهای عمل‌آوری شده به‌خصوص تیمارهای عمل‌آوری‌شده با مایکروویو در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P<0/05$). بیشترین مقدار پروتئین خام (14 درصد) مربوط به تیمار ترکیبی (غلطک‌زده‌شده با بخار + مخمر + مایکروویو) بود. بیان‌شده است که احتمالاً حرارت با دناتوره‌کردن و تغییر در ساختمان پروتئین باعث ایجاد اتصالات عرضی بین اسیدهای آمینه و قندها می‌شود. به این ترتیب محتوی پروتئین خام نمونه افزایش پیدا می‌کند (14). گرانول‌های نشاسته در آندوسپرم شاخی و محیطی پروتئینی محصور شده‌اند. به‌همین علت، عمل‌آوری حرارتی در دمای بالا باعث افزایش پروتئین می‌شود، چراکه باعث گسستن آندوسپرم می‌شود (37). سپهری و همکاران (43) بیان کردند که عمل‌آوری حرارتی دانه سویای خام، باعث افزایش درصد پروتئین خام آن شد. دی و موراویچی (10) نشان دادند که میزان پروتئین دانه سورگوم عمل‌آوری‌شده با مخمر ساکارومایسس سرویزیه از 9 درصد به 27 درصد افزایش پیدا کرد. علت این افزایش را می‌توان رشد و تکثیر مخمر دانست که باعث افزایش بار پروتئینی دانه‌ها شده است (43). همچنین افزایش در پروتئین ممکن است به‌دلیل ساخت پروتئین میکروبی، ترشح آنزیم‌ها و سایر محصولات بیولوژیکی و همچنین فعالیت پروتئولیتیکی میکروارگانیسم‌ها بر دانه جو باشد (52). چربی خام در تیمارهای عمل‌آوری به‌طور معنی‌داری ($P<0/05$) کاهش یافت.

براساس نتایج به‌دست‌آمده در تمام تیمارهای عمل‌آوری شده به غیر از تیمار غلطک زده شده با بخار مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی نسبت به شاهد کاهش یافت و این می‌تواند به‌علت استفاده مخمر از کربوهیدرات‌های موجود در دیواره سلولی باشد. کاهش دیواره سلولی به‌دلیل وجود همی‌سلولز در ترکیب دیواره سلولی می‌باشد که همی‌سلولز به‌خوبی توسط قارچ نوروسپورا سیتوفیلا استفاده‌شده و قارچ آن را تجزیه می‌کند (42). عمل‌آوری در تمام تیمارها به‌غیراز تیمار غلطک زده شده با بخار و غلطک زده شده با بخار + مخمر سبب کاهش الیاف نامحلول در شوینده اسیدی شد. غلطک زدن با بخار باعث افزایش نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی دانه می‌شود که نشان دهنده تشکیل محصولات مایلارد است (12). مخمر ساکارومایسس سرویزیه می‌تواند کلونیزاسیون قارچی دیواره سلول‌های گیاهی را افزایش داده و منجر به افزایش هضم ماده خشک و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی شود و همچنین باعث افزایش میزان اولیه هضم فیبر، بهبود در وضعیت پروتئین خام و تجزیه الیاف نامحلول در شوینده خنثی می‌شود (51). همچنین در تیمارهای عمل‌آوری شده با مایکروویو میزان کل مواد مغذی قابل‌هضم، انرژی خالص شیردهی، انرژی خالص برای نگهداری، کربوهیدرات‌های غیرالیافی و کربوهیدرات‌های غیرساختمانی افزایش یافت.

جدول 1- تأثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری فیزیکی و بیولوژیکی بر ترکیب شیمیایی دانه جو (درصد ماده خشک)

Table 1. Effect of different physical and biological processing on chemical composition of barley grain (DM %)

تیمارها	DM	OM	Ash	CP	EE	NDF	ADF	TDN	NE_L	NE_g	NFC	NSC
شاهد	92/11^{c}	97/42^{b}	2/58^{c}	11/78^{e}	2/57^{a}	17/4	7/40^{cab}	79/92^{b}	1/84^{b}	1/31^{b}	65/65	82/6
غلطک‌زده‌شده با بخار	91/19^{d}	97/27^{c}	2/73^{b}	12/15^{d}	2/3^{cb}	18/06	7/8^{ab}	79/78^{b}	1/83^{b}	1/30^{b}	64/65	81/93
غلطک‌زده‌شده با بخار+ مخمر	95/11^{b}	97/49^{ab}	2/51^{cd}	12/95^{c}	2/2^{c}	16/6	8/13^{a}	79/78^{b}	1/83^{b}	1/30^{b}	65/73	83/4
مایکروویو	95/48^{b}	97/57^{a}	2/43^{d}	13/83^{a}	2/33^{cb}	12/66	6/40^{d}	81/43^{a}	1/87^{a}	1/35^{a}	68/73	87/33
غلطک‌زده‌شده با بخار+ مایکروویو	97/54^{a}	96/96^{d}	3/04^{a}	13/30^{b}	2/2^{c}	15/6	6/86^{cdb}	80/88^{a}	1/86^{a}	1/33^{a}	65/85	84/4
غلطک‌زده‌شده با بخار+ مخمر+ مایکروویو	98/04^{a}	97/42^{b}	2/58^{c}	14/00^{a}	2/43^{ab}	14/8	6/73^{cd}	81/23^{a}	1/87^{a}	1/34^{a}	66/18	85/2
اشتباه معیار میانگین	0/239	0/043	0/043	0/111	0/333	0/919	0/032	0/245	0/010	0/012	0/916	0/919
احتمال معنی‌داری	<0/0001	<0/0001	<0/0001	<0/0001	0/0049	0/2577	0/0181	0/0007	0/0007	0/0007	0/6024	0/2577

DM: ماده خشک (درصد)، OM: ماده آلی (درصد ماده خشک)، Ash: خاکستر (درصد ماده خشک)، CP: پروتئین خام (درصد ماده خشک)، EE: چربی خام (درصد ماده خشک)، NDF: الیاف نامحلول در شوینده خنثی (درصد ماده خشک)، ADF: الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (درصد ماده خشک)، TDN: کل مواد مغذی قابل‌هضم، NE_L: انرژی خالص شیردهی (مگاژول در کیلوگرم)، NEg: انرژی خالص رشد (مگاژول در کیلوگرم)، NFC: کربوهیدرات‌های غیر الیافی، NSC: بخش محلول در شوینده خنثی.

در هر ستون اعداد با حروف غیرمشابه ازلحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند ($p<0/05$).

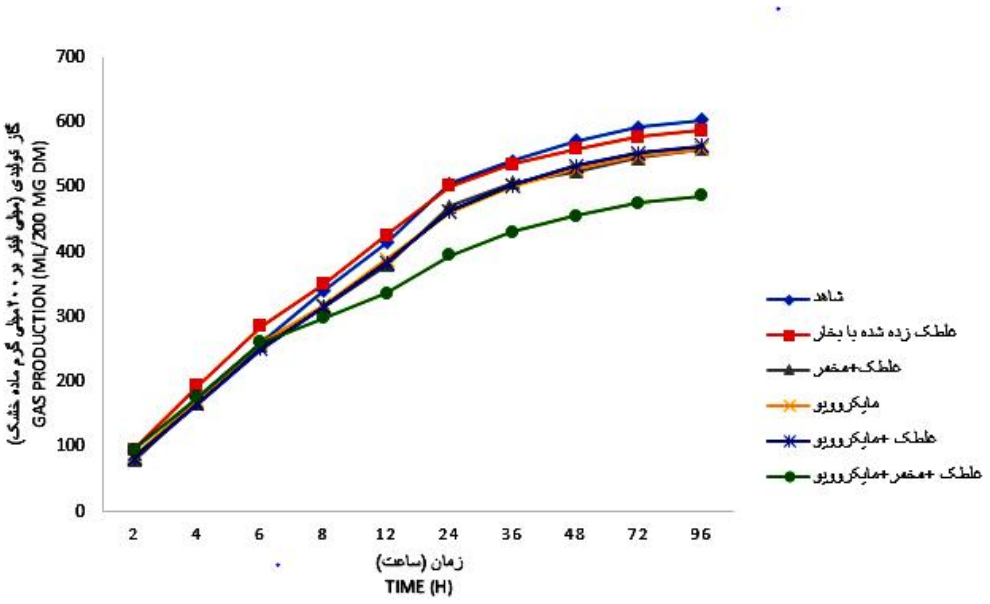
تولید گاز و کینتیک تولید گاز

نتایج مربوط به روند تولید گاز در ساعات مختلف انکوباسیون در شکل 1 نشان داده شد. در 2 ساعت اول انکوباسیون، تیمار ترکیبی با 96 میلی‌لیتر گاز به ازای هر گرم ماده خشک بیشترین و دانه جو بدون عمل‌آوری (شاهد) و غلطک زده شده با بخار + مخمر با تولید 80 میلی‌لیتر گاز به ازای هر گرم ماده خشک کمترین میزان تولید گاز حاصله از تخمیر را دارا بودند که این می‌تواند به‌دلیل دیر تخمیر بودن نشاسته دانه جو باشد که برای تخمیر به زمان بیشتری نیاز دارد به‌طوری‌که در ساعات انتهایی انکوباسیون گاز بیشتری

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/rap.11.27.46]

تولید کرده است. میزان گاز تولیدی در ساعات 4، 6، 8 و 12 پس از انکوباسیون در تیمار غلطک زده شده با بخار به‌تنهایی بیشترین گاز تولیدی را به خود اختصاص داد (193، 285، 350 و 450 میلی‌لیتر). در ساعت 24 انکوباسیون تیمار شاهد با 505 میلی‌لیتر گاز به ازای هر گرم ماده خشک بیشترین گاز تولیدی را دارا بود. تیمار ترکیبی کمترین میزان گاز تولید را بین تیمارهای مورد آزمایش به خود اختصاص داد. از ساعت 24 انکوباسیون به بعد میزان گاز تولیدی تیمار شاهد نسبت به دیگر تیمارها به‌طور قابل‌قبولی بیشتر بود و توانایی تولید گاز بیشتر در ساعات آخر انکوباسیون را داشت. لانزاس و همکاران (26) روند تولید گاز در دانه‌های غلات را مورد بررسی قرار داده و میزان گاز تولیدی در 48 ساعت انکوباسیون در شرایط آزمایشگاهی را برای دانه ذرت 330 میلی‌لیتر گاز به‌ازای هر گرم ماده خشک گزارش کردند که کمتر از مقدار مشاهده‌شده در دانه جو در این آزمایش بود (571 میلی‌لیتر بر 200 میلی‌گرم ماده خشک). گتاچو و همکاران (17) میزان گاز تولیدی دانه ذرت را 373/5 میلی‌لیتر گاز در هر گرم ماده خشک بعد از 24 ساعت انکوباسیون گزارش کردند. درحالی‌که در تحقیق حاضر میزان گاز تولیدی در 24 ساعت انکوباسیون برای دانه جو 505 میلی‌لیتر بر 200 میلی‌گرم ماده خشک می‌باشد. همچنین حسین‌زاده و همکاران (22) میزان گاز تولیدی در 24 ساعت انکوباسیون برای دانه ذرت را 378/33 میلی‌لیتر بر 200 میلی‌گرم ماده خشک گزارش کردند. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تولید گاز، قابلیت‌هضم ماده خشک و قابلیت هضم ماده آلی وجود دارد؛ بنابراین تفاوت در بین میانگین‌های تولید گاز می‌تواند مربوط به ماهیت مواد غذایی باشد (9). گاز تولیدی تحت تأثیر هیچ عامل دیگری به‌جز ترکیبات شیمیایی و خصوصیات فیزیکی مواد غذایی قرار نمی‌گیرد اما تغییر در فعالیت میکروبی مایع شکمبه ممکن است بر نرخ تخمیر اثر بگذارد (30). ازجمله عوامل تأثیرگذار در نتایج تولید گاز می‌توان زمان برداشت، میزان کربوهیدرات‌های محلول و غیر محلول در آب، میزان الیاف نامحلول در شوینده خنثی، منشأ مایع میکروبی، گونه دامی دهنده مایع شکمبه، زمان جمع‌آوری مایع شکمبه و جیره غذایی دام دهنده مایع شکمبه را نام برد. افزایش سطح در دسترس ماده خوراکی باعث افزایش اتصالات میکروبی و در نتیجه افزایش میزان تخمیر ماده خوراکی می‌شود. عمل‌آوری همراه با بخار منجر به کاهش تولید ذرات بسیار ریز مواد خوراکی در طی عمل‌آوری می‌شود (12)، که می‌تواند باعث تولید میزان گاز کمتری شود، به‌طور مثال تصور می‌شود که تولید ذرات درشت‌تر در حین عمل‌آوری غلطک‌زدن همراه با بخار، می‌تواند باعث کاهش نرخ تجزیه نشاسته و نیتروژن شکمبه گردد. به‌هرحال به‌نظر می‌رسد که این پدیده دلیل اصلی تفاوت در این آزمایش نباشد زیرا تمام نمونه‌ها قبل از انکوباسیون به اندازه 2 میلی‌متر آسیاب شده بودند. تغییرات شیمیایی که در حین عمل‌آوری‌های مختلف ایجاد می‌شوند نیز باعث تغییر در پیوندهای شیمیایی شده و قابلیت هضم مواد را تحت تأثیر قرار می‌دهد، از این دیدگاه کاهش تولید گاز در عمل‌آوری با بخار را می‌توان در ارتباط با تشکیل دکستران و یا سردشدن نشاسته ژلاتینه شده و تشکیل یک ساختار ثانویه مقاوم به هضم دانست. علاوه بر این قرار گرفتن دانه به مدت طولانی در معرض بخار می‌تواند باعث تقویت پیوندهای بین پروتئین، چربی و نشاسته در آندوسپرم دانه جو شود و سبب افزایش مقاومت نشاسته به تخمیر میکروبی می‌شود (34). محققان گزارش کردند که کشت مخمر ساکارومایسس سرویزیه سرعت اولیه تجزیه‌پذیری سلولز را افزایش می‌دهد. همچنین، کشت مخمر می‌تواند فاز تأخیر تولید گاز را کاهش دهد (45).



شکل 1- روند تولید گاز در زمان‌های مختلف انکوباسیون (میلی‌لیتر)
Figure 1. Gas production trend in different incubation times (ml)

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: 10.29252/rap.11.27.46]

نتایج مربوط به تأثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری بر فراسنجه‌های تولید گاز، انرژی قابل متابولیسم، ماده آلی قابل‌هضم و اسیدهای چرب فرار دانه جو در جدول 2 نشان داده شده است. نتایج نشان داد که روش‌های مختلف عمل‌آوری بر پتانسیل تولید گاز تأثیر داشتند ($P<0/05$). بالاترین مقدار این صفت در تیمار شاهد (116/4 میلی‌لیتر) و پایین‌ترین مقدار مربوط به تیمار ترکیبی (غلطک‌زده‌شده با بخار+ مخمر+ مایکروویو) (91/36 میلی‌لیتر) بود. عمل‌آوری با مایکروویو منجر به کاهش پتانسیل تولید گاز شد. زمانی که مواد خوراکی با مایع شکمبه در شرایط آزمایشگاهی انکوبه می‌شوند، کربوهیدرات‌ها به اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (اسید استیک، اسید پروپیونیک، اسید بوتیریک، اسید والریک، لاکتیک اسید و...) و گازها (به‌طور عمده CO_2 و CH_4) تخمیر و به سلول‌های میکروبی تبدیل می‌شوند. به‌طورکلی تولید گاز درنتیجه تخمیر کربوهیدرات به استات، پروپیونات و بوتیرات می‌باشد (4). تولید گاز ناشی از تخمیر پروتئین در مقایسه با تخمیر کربوهیدرات نسبتاً کم می‌باشد. با توجه به اینکه میزان نشاسته در دانه جو 59/2 درصد (39) می‌باشد، می‌توان گفت بخش اعظم تولید گاز از تخمیر کربوهیدرات به‌ویژه نشاسته می‌باشد. صادقی و شورنگ (38) گزارش کردند که پرتوتابی مایکروویو منجر به افزایش بخش محلول و کاهش بخش نامحلول ماده خشک و نشاسته شده و از طرفی دیگر این عمل‌آوری نرخ تجزیه بخش نامحلول ماده خشک و نشاسته را می‌کاهد. در تحقیق حاضر، کاهش نرخ تولید گاز هم به‌نظر می‌رسد مربوط به کاهش نرخ تخمیر بخش نامحلول دانه عمل‌آوری شده با مایکروویو باشد. با توجه به اینکه کربوهیدرات نقش مهمی در افزایش حجم گاز تولیدی دارد، عمل‌آوری به‌صورت ترکیبی یعنی بهره‌گیری از روش‌های غلطک‌زده‌شده با بخار و استفاده از مخمر و مایکروویو بالاترین تأثیر را در بالابودن نرخ تولید گاز داشت. نتایج این مطالعه نشان داد روش‌های مختلف عمل‌آوری تأثیر معنی‌داری بر پتانسیل تولید گاز در مقایسه با تیمار شاهد نداشت. در مقابل در روش ترکیبی (غلطک‌زده‌شده با بخار+ مخمر+ مایکروویو) پتانسیل تولید گاز کمترین میزان را (91/36 میلی‌لیتر) به خود اختصاص داد. انرژی قابل متابولیسم در تیمار غلطک‌زده‌شده با بخار+ مخمر باعث افزایش (4/65 درصد) شد. با توجه به این موضوع که میزان انرژی قابل متابولیسم وابسته به ترکیبات شیمیایی آن ماده خوراکی می‌باشد پس می‌توان نتیجه گرفت عواملی ازجمله گونه گیاه، زمان برداشت، بلوغ گیاه، روش‌های عمل‌آوری و دیگر عواملی که ترکیب شیمیایی ماده خوراکی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، وجود اختلاف در میزان انرژی قابل متابولیسم در آزمایش‌های مختلف دور از انتظار نیست. در دانه‌های غلات (دانه جو) به‌دلیل بالابودن میزان کربوهیدرات‌های قابل تخمیر، انرژی بیشتری را برای رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌های فعال در تخمیر تأمین کرده و تولید گاز بیشتر شده است. دات و سینگ (9) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین سطح پروتئین خام، تولید گاز، قابلیت هضم ماده خشک و قابلیت هضم ماده آلی را گزارش نمودند؛ بنابراین تفاوت بین میانگین‌های تولید گاز مواد خوراکی مورداستفاده در پژوهش حاضر می‌تواند مربوط به عمل‌آوری مواد خوراکی مورد آزمایش باشد. لازم به ذکر است بالابودن انرژی قابل متابولیسم و همچنین نیتروژن قابل‌تخمیر و سایر مواد مغذی برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها لازم می‌باشد (9). همچنین در تیمار غلطک‌زده‌شده با بخار+ مخمر در مقایسه با دیگر تیمارها قابلیت هضم ماده آلی افزایش یافت؛ اما در تیمار ترکیبی (غلطک‌زده‌شده با بخار+ مخمر+ مایکروویو) که مخمر در آن وجود داشت بیشترین کاهش نسبت به دیگر تیمارها مشاهده شد (25/43 درصد). استفاده مخمر از کربوهیدرات‌های سهل‌الهضم باعث کاهش ماده آلی و سوبسترای میکروب‌های شکمبه خواهد شد که به‌دنبال آن، میزان تخمیر کاسته شده و هضم کاهش می‌یابد (31). این اختلاف می‌تواند به اختلاف در نوع عمل‌آوری در دانه جو و همچنین دقت معادلات مورد استفاده در تخمین پارامترهای مذکور مربوط باشد. همچنین انگستروم و همکاران (12) کاهش قابلیت هضم ماده آلی دانه جو در اثر عمل‌آوری همراه با بخار را ناشی از افزایش میزان نیتروژن نامحلول در شوینده خنثی از طریق واکنش مایلارد دانسته‌اند. میزان اسیدهای چرب فرار در تمام تیمارها نسبت به تیمار شاهد به‌غیراز تیمار غلطک زده شده با بخار + مخمر (0/40 میلی‌مول در 200 میلی‌گرم ماده خشک) باعث کاهش شد که بیشترین کاهش مربوط به تیمار ترکیبی (غلطک زده شده با بخار + مخمر+ مایکروویو) (0/26 میلی‌مول در 200 میلی‌گرم ماده خشک) بود. افزایش تولید اسیدهای چرب فرار در نتیجه تیمار حرارتی دانه‌های غلات، منجر به تأمین انرژی قابل‌دسترس برای نشخوارکنندگان می شود (17). حرارت ناشی از امواج مایکروویو روی پیوندهای هیدروژنی که ساختمان دوم پروتئین‌ها را پایدار می‌کنند تأثیر گذاشته و باعث شکستن این پیوندها می‌شود. با شکستن این پیوندها، آب با نیتروژن آمیدی و اکسیژن کربوکسیل اسیدهای آمینه پیوند هیدروژنی جدید تشکیل می‌دهد. وجود آب در محیط سبب ضعیف‌شدن پیوندهای هیدروژنی پایدارکننده ساختمان پروتئینی می‌شود. با ازبین‌رفتن ساختمان دوم پروتئین‌ها، گروه‌های جانبی اسیدآمینه آب‌گریز در معرض حلال قرار می‌گیرند (47).

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/rap.11.27.46]

جدول 2- تأثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری فیزیکی و بیولوژیکی بر فراسنجه‌های تولید گاز دانه جو

Table 2. Effect of physical and biological different processing on gas production parameters of barley grain

تیمارها	پتانسیل تولید گاز (میلی‌لیتر به ازاء 200 میلی‌گرم)	ثابت نرخ تولید گاز (میلی‌لیتر در ساعت)	قابلیت هضم ماده آلی (درصد)	انرژی قابل متابولیسم (مگاژول در کیلوگرم)	اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (میلی‌مول در 200 میلی‌گرم ماده خشک)
شاهد	116/4±1/62	0/0975±0/0045	31/11[a]	4/65[a]	0/40[a]
غلطک‌زده‌شده با بخار	113±1/61	0/1115±0/0054	28/72[ab]	4/29[ab]	0/34[ab]
غلطک‌زده‌شده با بخار+ مخمر	107/3±1/62	0/1011±0/0051	31/12[a]	4/65[a]	0/40[a]
مایکروویو	106/9±1/52	0/1040±0/0050	28/12[bc]	4/20[cb]	0/33[cb]
غلطک‌زده‌شده با بخار+ مایکروویو	108/1±1/51	0/0989±0/0046	29/32[ab]	4/38[ab]	0/36[ab]
غلطک‌زده‌شده با بخار+ مخمر+ مایکروویو	91/36±1/27	0/1225±0/0059	25/43[c]	3/79[c]	0/26[c]
اشتباه معیار میانگین	-	-	0/947	0/143	0/023
اختلاف معنی‌داری	-	-	0/010	0/010	0/010

در هر ستون اعداد با حروف غیرمشابه ازلحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند ($P<0/05$).

قابلیت هضم و فراسنجه‌های تخمیری آزمایشگاهی

نتایج مربوطه به تأثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری بر قابلیت هضم ماده خشک، تولید پروتئین میکروبی و فراسنجه‌های تخمیری در جدول 3 نشان داده شد. قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند که احتمالاً به‌دلیل تشکیل اتصالات عرضی و پیوندهای دی‌سولفیدی است که باعث کاهش نرخ تجزیه پروتئین خام و درنتیجه کاهش قابلیت هضم ماده خشک شده است. عدم‌تغییر در قابلیت هضم ماده خشک و ماده‌آلی می‌تواند به‌دلیل افزایش مواد محلول، از جمله پروتئین خام باشد. امواج مایکروویو انرژی غیر یونیزه‌ای می‌باشند که به‌واسطه نفوذ در مواد و تغییرات سریع در زمینه الکترومغناطیسی در فرکانس بالا وارد مواد می شوند (23). حرارت ناشی از عمل‌آوری مایکروویو با ایجاد تغییرات ساختمانی در پروتئین‌ها و افزایش آب‌گریزی سطح پروتئین به‌دلیل جدا شدن پیوندهای هیدروژنی و سایر پیوندهای ضعیف غیر کووالانسی و تغییر موقعیت اسیدهای آمینه و درنتیجه افزایش آب‌گریزی سطح مولکول پروتئین سبب تشکیل ژل پروتئینی می‌شود که به کاهش در دسترس بودن گروه‌های فعال شیمیایی مولکول‌های پروتئین و کاهش محلولیت و درنتیجه کاهش تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین در شکمبه منجر می‌شود (16).

غلظت نیتروژن آمونیاکی یکی از مؤلفه‌های مهم در تخمین مصرف ماده خشک و قابلیت هضم می‌باشد. در این پژوهش، نیتروژن آمونیاکی شکمبه در دانه جو به‌ترتیب در تیمارهای ترکیبی (غلطک زده شده با بخار + مخمر+ مایکروویو) و غلطک‌زده‌شده با بخار + مایکروویو نسبت به بقیه تیمارها دارای کمترین میزان بودند. باکتری‌های تجزیه‌کننده نیاز ویژه‌ای به اسیدهای چرب شاخه‌دار دارند. افزایش سطح اسیدهای چرب فرار معمولاً ناشی از بالارفتن میزان تخمیر در شکمبه است (2). از طرفی بالارفتن میزان هضم و انرژی قابل‌دسترس در شکمبه موجب تحریک باکتری‌ها به رشد بیشتر شده، درنتیجه آمونیاک بیشتری مصرف می‌شود (7).

میزان pH در تیمارهای غلطک زده شده با بخار و غلطک زده شده با بخار + مایکروویو به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ولی در دیگر تیمارها با تیمار شاهد اختلافی دیده نشد. تکنیک‌هایی مانند تولید گاز به‌طور غیرمستقیم وضعیت کلی تخمیر را نشان می‌دهند. میزان گاز تولیدی وابسته به ترکیبات شیمیایی آن ماده خوراکی می‌باشد. محققان گزارش کردند که بین الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی و نرخ و حجم گاز تولیدی همبستگی منفی وجود دارد (20). منابع خوراکی با الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی بالا، دارای پتانسیل تولید گاز کمتری هستند. با افزایش الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی، نسبت کربوهیدرات‌های محلول کاهش یافته، در نتیجه هضم‌پذیری، تخمیر و تولید گاز نیز کاهش می‌یابد (28). بیشترین مقدار تولید گاز مربوط به تیمار مایکروویو (324/80 میلی‌لیتر بر گرم ماده خشک) بود که همسو با نتایج صادقی و شورنگ (37) بود. در آزمایش مذکور دانه جو برای مدت زمان‌های 3، 5 و 7 دقیقه در معرض اشعه مایکروویو قرار گرفتند و افزایش زمان عمل‌آوری باعث کاهش قابلیت تخمیر دانه جو گردید. والدو (49) در تحقیقی با بررسی خصوصیات نشاسته دانه غلات نتیجه گرفت که اعمال حرارت ملایم همراه با رطوبت و در مدت زمان‌های کوتاه باعث پف کردن گرانول‌های نشاسته و ژلاتینه‌شدن نشاسته در دانه می‌گردد که باعث افزایش قابلیت تخمیر آن در شکمبه خواهد شد و می‌توان افزایش میزان تجزیه‌پذیری در نشاسته دانه‌های عمل‌آوری شده با اشعه مایکروویو را عمدتاً به‌دلیل ژلاتینه شدن دانست. عمل‌آوری با قارچ باعث کاهش پتانسیل تولید گاز در مطالعه سلطانی و همکاران (44) شد. در مطالعه قربانی و همکاران (18) عمل‌آوری دانه جو با پرتو یون‌ساز گاما باعث افزایش بخش کند تجزیه و سریع تجزیه ماده خشک جو گردید.

در پژوهش حاضر عامل تفکیک دانه جو در محدوده‌ی 3/14 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به‌دست آمد. بیشترین میزان عامل تفکیک مربوط به تیمار غلطک‌زده‌شده با بخار + مخمر (3/81 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) و کمترین آن در تیمار مایکروویو (3/08 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) بود. بلومل و همکاران (5) مقدار عامل تفکیک را در خوراک‌های متعارف در محدوده 2/75-4/41 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر گزارش کردند. میزان توده میکروبی تولیدشده در 24 ساعت انکوباسیون در دانه جو 122/74 میلی‌گرم به ازای گرم ماده خشک به‌دست آمد؛ که تیمار

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/rap.11.27.46]

غلطک‌زده‌شده با بخار + مخمر بیشترین میزان این صفت را دارا بود (183/11 میلی‌گرم به ازای گرم ماده خشک). پروتئین میکروبی تولیدشده به‌عنوان منبع پروتئین و بازده پروتئین میکروبی تولیدشده در تغذیه نشخوارکنندگان اهمیت زیادی دارد. عواملی ازجمله پروتئین خام و محتویات کربوهیدرات‌های خوراک، مقدار پروتئین میکروبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (4).

جدول 3- تأثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری فیزیکی و بیولوژیکی بر قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی، عامل تفکیک، نیتروژن آمونیاکی، pH و فراسنجه‌های تخمیری دانه جو

Table 3. Effect of different physical and biological processing on dry matter organic matter digestibility, ammoniac nitrogen, pH and estimated parameters of barley grain

تیمارها	ماده خشک قابل‌هضم (درصد)	قابلیت هضم ماده آلی (درصد)	عامل تفکیک (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)	تولید توده میکروبی (میلی‌گرم بر گرم ماده خشک)	بازده تولید پروتئین میکروبی	pH	بازده تولید گاز (میلی‌لیتر بر گرم ماده خشک)	نیتروژن آمونیاکی (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)
شاهد	82	85	3/14^{c}	122/74^{c}	0/29^{c}	6/29^{cb}	315/67^{a}	1/38^{a}
غلطک‌زده‌شده با بخار	81	82	3/30^{cb}	133/16^{cb}	0/33^{cb}	6/38^{a}	299/80^{ab}	1/47^{a}
غلطک‌زده‌شده با بخار+ مخمر	88	89	3/81^{a}	183/11^{a}	0/42^{a}	6/33^{ab}	257/22^{c}	1/00^{cb}
مایکروویو	88	82	3/08^{c}	114/90^{c}	0/28^{c}	6/36^{ab}	324/80^{a}	1/27^{ab}
غلطک‌زده‌شده با بخار+ مایکروویو	86	87	3/55^{ab}	161/27^{ab}	0/37^{ab}	6/37^{a}	275/49^{cb}	0/79^{c}
غلطک‌زده‌شده با بخار+ مخمر+ مایکروویو	84	85	3/77^{a}	173/11^{a}	0/41^{a}	6/25^{c}	262/15^{c}	0/78^{c}
اشتباه معیار میانگین	0/025	0/019	0/091	10/516	0/017	0/025	0/274	0/117
اختلاف معنی‌داری	0/1695	0/1718	0/00003	0/0025	0/0005	0/0262	0/0008	0/0038

در هر ستون اعداد با حروف غیرمشابه ازلحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند ($p<0/05$)

به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان داد نوع عمل‌آوری می‌تواند بر ترکیب شیمیایی، فراسنجه‌های تولید گاز و قابلیت هضم برون‌تنی تأثیر داشته باشد. نتایج نشان داد که عمل‌آوری ترکیبی استفاده از غلطک + مخمر+ مایکروویو به‌طور معنی‌داری ماده خشک، پروتئین خام، مواد مغذی قابل هضم را افزایش و چربی خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی را کاهش می‌دهد. از نظر فراسنجه‌های تولید گاز نیز در دانه جو عمل‌آوری شده به‌صورت ترکیبی باعث افزایش نرخ تولید گاز و کاهش پتانسیل تولید گاز، ماده‌آلی قابل‌هضم، انرژی قابل متابولیسم و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر شده است. در مجموع تیمارهای اعمال شده تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر بهبود فراسنجه‌ای تخمیری شکمبه‌ای دانه جو نداشتند هرچند که در مقایسه با تیمار شاهد، تیمارهای عمل‌آوری شده به‌صورت ترکیبی باعث افزایش تولید پروتئین میکروبی، قابلیت‌هضم و بازده تولید پروتئین میکروبی شدند.

منابع

1. AOAC. 2005. Official methods of analysis. Association of official analytical chemists. Washington, DC. USA.
2. Basiri, S. 2007. The processing and residue of fruit and vegetables. Azad University Press Shabestar. 159 pp.
3. Beauchemin, K.A., B.I. Farr, L.M. Rode and G.B. Schaalje. 1994. Effects of alfalfa silage chop length and supplementary long hay on chewing and milk production of dairy cows. Journal of Dairy Science, 77: 1326-1339.
4. Blummel, M. and E.R. Orskov. 1993. Composition of *In vitro* gas production and nylon bag degradability of roughages is predicting food intake in cattle. Animal Feed Science and Technology, 40: 109-119.
5. Blummel, M., H.P.S. Makkar and K. Becker. 1997. *In vitro* gas production: technique revisited. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 77: 24-34.
6. Broderick, G.A. and W. Michael Craig. 1980. Effect of heat treatment on ruminal degradation and escape, and Intestinal digestibility of cottonseed meal protein. Journal of Nutrition, 110: 2381-2389.
7. Chaudhary, A.S. 1998. Nutrient composition, digestion and rumen fermentation in sheep of wheat straw treated with calcium oxide, sodium hydroxide and alkaline hydrogen peroxide. Animal Feed Science and Technology, 74: 315-328.
8. Cooke, K.M., J.K. Bernard and J.W. West. 2009. Performance of lactating dairy cows fed ryegrass silage and corn silage with ground corn, steam-flaked corn, or hominy feed. Journal of Dairy Science, 92: 1117-1123.
9. Datt, C. and G. Singh. 1995. Effect of protein supplementation on *In vitro* digestibility and gas production of wheat straw. Indian Journal Dairy Science, 48: 357-361.
10. Day, C.N. and R.O. Moravicki. 2018. Effects of fermentation by yeast and amylolytic lactic acid bacteria on grain sorghum protein content and digestibility. Journal of Food Quality, 141: 8-17.
11. Dehghan-Banadaky, M., R. Corbett and M. Oba. 2007. Effects of berley grain processing on productivity of cattle. Animal Feed Science and Technology, 137:1-24.

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/rap.11.27.46]

12. Engstrom, D.F., G.W. Mathison and L.A. Goonewardene. 1992. Effect of -glucan, starch, and fiber content and steam vs. dry rolling of barley grain on its degradability and utilization by steers. Animal Feed Science Technology, 37: 33-46.
13. Fakhouri, M.O. and H.S. Ramaswamy. 1993. Temperature uniformity of microwave heated foods as influenced byproduct type and composition. Food Research International Journal, 26: 89-95.
14. Fathi Nasri, M.H., M. Danesh Mesgaran, R. Valizadeh, A. Nikkhah, M.R. Emami and A.R. Heravi Mousavi. 2006. Effect of heating (roasting) on chemical composition, nitrogen fractions, degradability coefficients and ruminal – intestinal disappearance of dry matter and crude protein of two varieties (Sahar and Williams) of whole soybean grain. Agricultural Science and Technology, 20: 22-35 (In Persian).
15. Fiems, L.O., B.G. Cottyn, C.V. Boucque, J.M. Vanacker and F.X. Buysee. 1990. Effect of grain processing on *in Sacco* digestibility and degradability in the rumen. Archives of Animal Nutrition, 40: 713-721.
16. Folawiyo, Y.L. and R.K.O. Apenten. 1997. The effect of heat and acid-treatment on the structure rapeseed albumin (napin). Food Chemistry, 58: 237-243.
17. Getachew, G., H.P.S. Makkar and K. Becker. 2002. Tropical browses: content of phenolic compounds, *In vitro* gas production and stoichiometric relationship between short chain fatty acids and *In vitro* gas production. The Journal of Agricultural Science, 139: 341-352.
18. Ghorbani, B., T. Ghoorchi, P. Shawrang and S. Zerehdaran. 2017. Effects of Different Level of Gamma Irradiation on Barley and Soybean Seeds on Rumen Degradation Rate and Performance of Lambs. Research on Animal Production, 8: 58-67 (In Persian).
19. Haddi, M.L., S. Filacorda, K. Meniai, F. Rollin and P. Susmel. 2003. *In vitro* fermentation kinetics of some halophyte shrubs sampled at three stage maturity. Animal Feed Science and Technology, 104: 215-225.
20. Herrera-Saldana, R.E., J.T. Huber and M.H. Poore. 1990. Dry matter, crude protein and starch degradability of five cereal grains. Journal of Dairy Science, 73: 2386-2393.
21. Holopainen U.R., A. Wilhelmson, M. Salmenkallio-Marttila, P. Peltonen-Sainio, A. Rajala, P. Reinikainen, E. Kotaviita, H. Simolin and S. Home. 2005. Endosperm structure affects the malting quality of barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Agriculture and Food Chemistry, 53: 7279-7287.
22. Hossein Zadeh, H.A. 2019. The Effect of different processing methods physical and biological chemical composition, ruminal degradability, gas production parameters and digestibility of corn grain. Thesis masters. Gonbad Kavoos University, 78 pp (In Persian).
23. Kaasova, J., B. Hubackova, P. Kadlec, J. Prihoda and Z. Bubnik. 2002. Chemical and biochemical changes during microwave treatment of wheat. Czech Journal Food Science, 20: 74-78.
24. Kadlec, P., J. Kaasova, J. Dostalova, M. Zatopkova, V. Hosnedl and J. Hrachovinova. 2002. Microwave treatment on drying of germinated pea. Czech Journal of Feed Science, 20: 23-30.
25. Kellems, R.O. and D.C. Church. 2002. Livestock feeds and feeding. 5th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, p. 654.
26. Lanzas, C., D.G. Fox and A.N. Pell. 2006. Digestion kinetics of dried cereal grain. Animal Feed Science and Technology.
27. Lewandowicz, G., T. Jankowsk and J. Fornal. 2000. Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of cereal starches. Carbohydrate Polymers, 42: 193-199.
28. Makkar, H.P. 2005. *In vitro* gas methods for evaluation of feeds containing phytochemical. Animal Feed Science and Technology, 123: 291-302.
29. Menke, K.H and H. Steingass. 1988. Estimation of energetic feed value obtained from chemical analysis and *In vitro* gas production using rumen fluid. Animal Research and Development, 28: 7-55.
30. Menke, K.H., L. Raab, A. Salewski, H. Steingass, D. Fritz and W. Schneider. 1979. The estimation of digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuff from the gass production when they incubated with rumen liquor *in vitro*. Journal Agriculture Science, 92: 183-189.
31. Moo-Young, M., Y. Chisti and D. Vlach. 1993. Fermentation of cellulosic materials to mycoprotein foods. Biotechnology Advances, 11: 469-479.
32. National Research Council (NRC). 2001. Nutrient Requirement of Dairy Cattle, 7th revised ed. National Academy of Science, Washington DC.
33. Offner, A., A. Bach and D. Savant. 2003. Quantitative review of in situ starch degradation in the rumen. Animal Feed Science and Technology, 106: 81-93.
34. Ørskov, E.R. and L. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to the rate of passage. Journal of Agricaltural Science Cambridg, 92(1): 499-503.
35. Parand, E. and A. Taghizadeh. 2010. Examination of Digestibility of Processed Barley Grain with Different Methods, Using Gas Production Technique with two Sources of Inocola. Journal of Animal Science Research, 4: 2-20 (In Persian).
36. Reynolds, C.K., J.D. Sutton and D.E. Beever. 1997. Effects of feeding starch to dairy cattle on nutrient availability and production. Recent Advances in Animal Nutrition. Nottingham University Press. UK, pp: 105-134.
37. Rooney, L.W. and R.L. Pflugfelder. 1986 Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghumand corn. Journal Animal Science, 63:1607-1623.
38. Sadeghi, A.A. and P. Shawrang. 2006. Effects of microwave irradiation on ruminal protein and starch degradation of corn grain. Animal Feed Science Technology, 127: 113-123.
39. Sadeghi, A.A. and P. Shawrang. 2008. Effects of microwave irradiation on ruminal dry matter, protein and starch degradation characteristics of barley grain. Animal Feed Science and Technology, 141: 184-194.

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/rap.11.27.46]

40. SAS Institute. 2000. SAS/STAT user's guide. SAS Institute Inc, Cary.
41. Scerra, V., P. Caparr, F. Foti, M. Lanza and A. Priolo. 2001. Citrus pulp and wheat straw silage as an ingrident in lamb diets: effect on growth and carcass and meat quality. Small Ruminant Research, 51: 51-56.
42. Sepehri Moghaddam, H., H. Nasiri Moghaddam and M. Danesh Mesgran. 2008. Use of different levels of soybean seedsheat on the performance of broiler chicks, 61 pp (In Persian).
43. Shojaosadati, S.A., R. Faraidouni, A. Madadi-Nouei and I. Mohamadpour. 1999. Protein enrichment of lignocellulosic substrates by solid state fermentation using *Neurospora sitophila*. Resource. Conservation and Recycl, 27: 73-87.
44. Soltani Naseri, K., F. Ghanbari, J. Bayat Kouhsar and F. Talei. 2019. Effect of Chemical and Biological Processing Methods on Chemical Composition, Gas Production Parameters and In VitroDigestibility of CicerArietinumWaste. Research on Animal Production, 9: 72-82 (In Persian).
45. Tang, S.X., G.O. Tayo, Z.H. Tan, L.X. Sun, C.S. Shen, W.J. Zhou, G.P. Xiao, X.F. Ren and S.B. Shen. 2008. Effects of yeast culture and fibro lytic enzyme supplementation on *in vitro* fermentation characteristics of low-quality cereal straws. Journal of Animal Science, 86: 1164-1172.
46. Theodorou, M.K., B.A. Williams, M.S. Dhanoa, A.B. McAllan and J. France. 1994. A simple gas prodaction method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. Animal Feed Science and Technology, 48: 185-97.
47. Theurer, C.B., J.T. Huber, A. DelgadoElorduy and R. Wanderley. 1999. Invited review: Summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. Journal Dairy Science, 82: 1950-1959.
48. Van Soest, P.J., J.B. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science, 74: 3583-3598.
49. Waldo, D.R. 1973. Extent and partition of cereal grain starch digestion in ruminants. Journal Animal Science, 37: 1062-1074.
50. Wang, Y. and T. McAllister. 2000. Grain processing for ruminants: Latest technologies, Proc. 21st West. Nutr. Conf., Winnipeg, MB, Canada, pp: 39-55.
51. Williams, P.E.V., C.A.G. Tait, G.M. Innes and C.J. Newbeld. 1991. Effects of the inclusion of yeast culture (*Sacharomyces cervisiac* plus growth medium) in the diet of dairy cows on milk yield and forage degradation and fermentation patterns in the rumen of steers. Journal Animal Science, 69: 3015-3026.
52. Zhong, R.Z., J.G. Li, Y.X. Gao, Z.L. Tan and G.P. Ren. 2008. Effects of substitution of different levels of steam-flaked corn for finely ground corn on lactation and digestion in early lactation dairy cows. Journal of Dairy Science, 91: 3931-3937.

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/rap.11.27.46]

Effect of Physical and Biological Processing Methods on Chemical Composition, Gas Production Parameters and *in vitro* Digestibility of Barley Grain

Hossein Asghar Hossein Zadeh[1], Javad Bayat Kouhsar[2], Farzad Ganbari[3] and Fariba Farivar[3]

1- M.Sc. Student Gonbad Kavous University
2- Assistant Professors Gonbad Kavous University, (Corresponding author: javad_bayat@yahoo.com)
3- Assistant Professors Gonbad Kavous University
Received: August 20, 2019 Accepted: October 23, 2019

Abstract

This research was conducted in order to investigate the effect of different physical and biological processing methods on the chemical composition, gas production parameters and *in vitro* digestibility of barley grain in a completely randomized design (6 treatment and 3 replicates). Treatment were: un processing barley grain (control), Steam-flaked (for 3-5 minutes), yeast treated (*Saccharomyces cerevisiae*) and steam-flaked, microwaved (850 W for 3 minutes), yeast treated and then microwaved and yeast treated, steam-flaked and then microwaved. The chemical composition of the samples was determined using the standard methods. Gas production test was used to estimate the parameters of gas production of samples. In vitro digestibility of the samples was determined by the batch culture method. Processing methods were effective on chemical composition of treatment. Crude protein was increased by different treatments. The highest amount was observed in yeast treated, steam-flaked and then microwaved (14 percent). Treatments have no effect on neutral detergent fiber of barley grain. Processing decreased gas production of barley grain and lowest amount of these trait was observed in yeast treated, steam-flaked and then microwaved (91.36 ml/200 DM). Treatment has no effect on dry matter and organic matter digestibility. Microbial mass production and its efficiency were increased by all treatments except the microwave treatment and the highest increase was seen in steam-flaked + yeast treatment (183.11 mg/g DM and 0.42 respectively). In general, the results showed that different processing methods can significantly affect the nutritional value of barley grain.

Keywords: Barley Grain, Microwave, Nutritional Value, Processing, *Saccharomyces Cerevisiae*

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/rap.11.27.46]