doi: 10.22124/cr.2021.19405.1660

(مقاله پژوهشی)

تحقیقات غلات

دوره دهم/ شماره چهارم/ زمستان ۱۳۹۹ (۳۲۲-۳۱۳)

غنی‌سازی آرد گندم با سبوس برنج هیدروترمال شده: بررسی ویژگی‌های رئولوژیک خمیر

ماندانا طایفه[1*]، سید احمد شهیدی[2]، جعفر محمدزاده میلانی[3] و سید مصطفی صادقی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۵

چکیده

سبوس برنج، منبع غذایی ارزشمند و اقتصادی، جهت غنی‌سازی طبیعی فرآورده‌های غلات محسوب می‌شود. از آنجایی که به‌کارگیری افزودنی‌های طبیعی جهت غنی‌سازی، خطر افت و تضعیف ویژگی‌های رئولوژیک و تکنولوژیک خمیر را به‌دنبال دارد، از این‌رو در این پژوهش اثر افزودن سبوس برنج هیدروترمال شده بر ویژگی‌های رئولوژیک خمیر با استفاده از آزمون‌های فارینوگرافی و اکستنسوگرافی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون‌های رئولوژیکی نشان داد که با افزایش غلظت سبوس هیدروترمال شده در خمیر، میزان جذب آب به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، ولی پایداری خمیر کاهش معنی‌داری را نشان داد. همچنین کاهش پایداری، افزایش زمان گسترش خمیر را به‌همراه داشت. تغییرات درجه سست‌شدن خمیر نیز با افزایش میزان سبوس به بیش از سه درصد، کاهش معنی‌داری را نشان داد. از طرف دیگر، افزایش غلظت سبوس در خمیر با افزایش مقاومت به کشش و انرژی خمیر و کاهش کشش خمیر همراه بود. به‌طورکلی، با توجه به نتایج این آزمایش، استفاده از سبوس برنج هیدروترمال شده به میزان سه درصد جهت غنی‌سازی نان گندم و افزایش ارزش تغذیه‌ای آن توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسیدفیتیک، سبوس برنج، ویژگی‌های فارینوگرافی، ویژگی‌های اکستنسوگرافی، هیدروترمال

۱- مربی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت‌الله آملی، آمل، ایران

۳- استاد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران

* نویسنده مسئول: m.tayefe@yahoo.com

مقدمه

سبوس برنج به‌عنوان ضایعات کارخانه برنج‌کوبی مقادیر زیادی از لایه‌های خارجی دانه برنج را شامل می‌شود که حاوی غلظت بالایی از مواد مغذی است که می‌تواند منبع مهم و اقتصادی برای صنعت غذا و مصارف انسانی به شمار آید (Momtaz *et al*., 2005; Naghizadeh-Raeisi et al., 2019). ترکیب شیمیایی دانه، ویژگی‌های ژنتیکی، ضخامت لایه‌ها، ویژگی‌های فیزیکی دانه (اندازه، شکل و مقاومت در برابر شکست)، شرایط آب‌وهوا، میزان و نوع مصرف کود، شرایط فرایند در کارخانه برنج‌کوبی درجه حرارت خشک‌کن‌ها، میزان رطوبت طی فرایند و درجه سفید کردن و زمان و شرایط ذخیره‌سازی بر نوع و میزان ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های تغذیه‌ای سبوس مؤثر است (Mosharraf *et al*., 2009; Ertas, 2016; Nasrollah Zadeh *et al*., 2020). سبوس برنج به لحاظ ویتامین‌های گروه B نیز غنی بوده و از خانواده مواد معدنی میزان پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن قابل‌ملاحظه‌ای دارد. مقدار پایین اسیدهای چرب اشباع و مقادیر بالای لینولئیک اسید، اسید چرب غیراشباع با چند باند دوگانه و همچنین توکوفرول ها، روغن سبوس برنج را یک غذای مفید و سالم می‌سازد. پروفیل اسیدآمینه سبوس برنج برتر از سایر دانه‌های غلات گزارش شده است (Michael *et al*., 2013). از این‌رو، سبوس برنج با توجه به دارا بودن مقادیر قابل‌توجه پروتئین، لیزین و فیبر رژیمی، می‌تواند پروفیل تغذیه‌ای محصولات غذایی آرد گندم بهبود بخشد (Ertas, 2016; Tajadoditalab *et al*., 2020).

سبوس برنج به سبب ترکیب شیمیایی خاص و نیز آلرژی‌زایی پایین، می‌تواند کاربرد بیش‌تری در رژیم‌های خاص با فیبر رژیمی بالا و چربی اشباع پایین داشته باشد (Michael *et al*., 2013). بعلاوه اینوزیتول ۶ فسفات (IP6) موجود در سبوس به‌واسطه ایجاد کمپلکس با آهن، کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در تشکیل رادیکال‌های هیدروکسیل در کولون را نیز باعث می‌شود که سبب تأثیر مثبت ضد سرطانی سبوس می‌شود. میزان توصیه‌شده جهت مصرف روزانه سبوس، ۳۵-۲۰ گرم است. این در حالی است که آمار، میزان مصرف سبوس را در بیش‌تر جوامع انسانی نصف میزان توصیه‌شده نشان می‌دهد (Abka *et al*., 2016). اسید فیتیک قادر است در شرایط اسیدی کمپلکس پروتئین – فیتات دوتایی نامحلول و در شرایط خنثی کمپلکس فیتات – پروتئین سه‌تایی نامحلول را از طریق یک پل کاتیونی تشکیل دهد که منجر به کاهش حلالیت، هیدراتاسیون و در برخی موارد کاهش فعالیت پروتئولیتیک پروتئین‌ها می‌شود. کمپلکس فیتات – پروتئین به‌وسیله پیوندهای الکتروستاتیک تشکیل می‌شود و در شرایط فیزیولوژیک نرمال بدن از نظر بیولوژیکی غیرقابل استفاده و غیرقابل‌دسترس و نسبت به پروتئین‌های آزاد کم‌تر مستعد تأثیر آنزیم‌های پروتئولیتیک هستند (Mosharraf, 2012). پس می‌توان اسیدفیتیک را به‌عنوان یک ترکیب ضد تغذیه‌ای طبیعی در نظر گرفت (Abka *et al*., 2016).

کاهش اندازه ذره سبوس، تخمیر، خیساندن، افزودن مالت جوانه‌زنی و فراوری هیدروترمال شلتوک، راه‌های مؤثر در کاهش میزان اسیدفیتیک و نمک‌های آن می‌باشند. در بین تیمارهای مذکور، فراوری هیدروترمال مؤثرترین و اقتصادی‌ترین روش می‌باشد (Vahabzade *et al*., 2015; Abka *et al*., 2016). در این روش، سبوس، تحت تیمار خیساندن، بخاردهی و خشک‌کردن قرار می‌گیرد که درنتیجه آن اسید فیتیک به میواینوزیتول و فسفر آزاد تبدیل می‌شود. تیمار هیدراتاسیون گرم فرآیندی است که در آن از بافر در دمای ۵۵ درجه سلسیوس و pH برابر با ۴/۸ به مدت ۲۴ ساعت استفاده می‌کند. این شرایط منجر به فعالیت حداکثر آنزیم فیتاز شده و تجزیه اسید فیتیک توسط آنزیم را باعث می‌شود. طی فراوری هیدروترمال، اسید فیتیک به اینوزیتول و بنیان‌های فسفات تبدیل شده و بنابراین املاح متصل به آن جدا و آزاد می‌شوند. در این روش کاهش میزان اسید فیتیک بیش‌تر از ۵۰ درصد گزارش شده است (Mosharraf, 2012). از طرف دیگر نمونه‌های حاوی سبوس گندم فرآوری‌شده به‌روش هیدروترمال در آزمون‌های فارینوگرافی عدد والوریمیتری بالاتر، زمان گسترش طولانی‌تر، پایداری بیش‌تر و درجه سست‌شدن کم‌تر را نسبت به نمونه‌های حاوی سبوس تیمار نشده نشان می‌دهند. افزایش سبوس گندم فراوری‌شده، جذب آب را در آرد افزایش می‌دهد. قدرت جذب آب بالا هم از دیدگاه اقتصادی مهم است و هم پدیده بیاتی را به تعویق می‌اندازد. واکنش بین ترکیبات فیبری و مولکول‌های نشاسته نیز موجب تأخیر در فرآیند رتروگراداسیون مولکول‌های نشاسته می‌شود (Milani *et al*., 2009; Mosharraf, 2012).

در این پژوهش، پس از فرآوری سبوس برنج با تیمار بهینه و به‌کارگیری آن همراه آرد گندم برای تولید نان، به بررسی رفتار رئولوژیک خمیر پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر، آرد گندم با میزان رطوبت ۱۳/۸۶ درصد، گلوتن ۲۶/۵ درصد، پروتئین ۱۰/۸ درصد، چربی ۲/۲۱ درصد و درجه استخراج ۸۲ درصد از شرکت خوشه (گیلان، شهر صنعتی رشت)، تهیه شد. جهت تهیه تیمارها در مقادیر صفر، سه، شش و نه درصد سبوس تیمارشده با نمونه‌های آرد گندم به‌طور یکنواخت مخلوط شدند. همچنین تمام مواد مورد استفاده در این پژوهش از شرکت مرک آلمان خریداری شد.

سبوس برنج رقم هاشمی به‌صورت خام و با متوسط اندازه ذرات حدود ۲۵۰ میکرومتر از کارخانه برنج‌کوبی گیلتاز واقع در منطقه چاف شهرستان لنگرود تهیه شد و در بسته‌های پلی‌اتیلنی مقاوم به هوا و رطوبت در فریزر (۱۸- درجه سلسیوس) نگهداری شدند (Abka *et al*., 2016).

شرایط بهینه فرایند هیدروترمال با کمک به‌کارگیری روش سطح پاسخ بر پایه طرح مرکب مرکزی و با استفاده از چهار متغیر مستقل شامل دمای ۴۳/۳۷ درجه سانتی‌گراد، زمان ۹۴/۳۸ دقیقه، pH برابر با هفت و نسبت حجمی بافر به سبوس برابر با هشت بود که تحت این شرایط غلظت اسیدفیتیک ppm ۷۸۸ و میزان تغییر رنگ ۲۲ ارزیابی شد (Tayefe *et al*., 2020). ۵۰ گرم از سبوس برنج با هشت برابر حجم خود بافر استات با pH برابر ۷ در دمای ۴۳/۳۷ درجه سلسیوس به‌مدت ۹۴/۳۸ دقیقه خیسانده و سپس نمونه‌ها در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۲۴ ساعت در آون نگهداری شدند. نمونه‌ها چندین بار با آب مقطر شستشو شدند (روی قیف و کاغذ صافی) تا pH نهایی به ۶/۲ ± ۰/۲ رسید و سپس برای رسیدن به رطوبت ۱۱-۱۰ درصد به مدت هشت ساعت در دمای ۵۰ درجه سلسیوس در آون خشک شد (Didar *et al*., 2008; Mosharraf *et al*., 2009; Majzoobi *et al*., 2013; Abka *et al*., 2016; Tayefe *et al*., 2021).

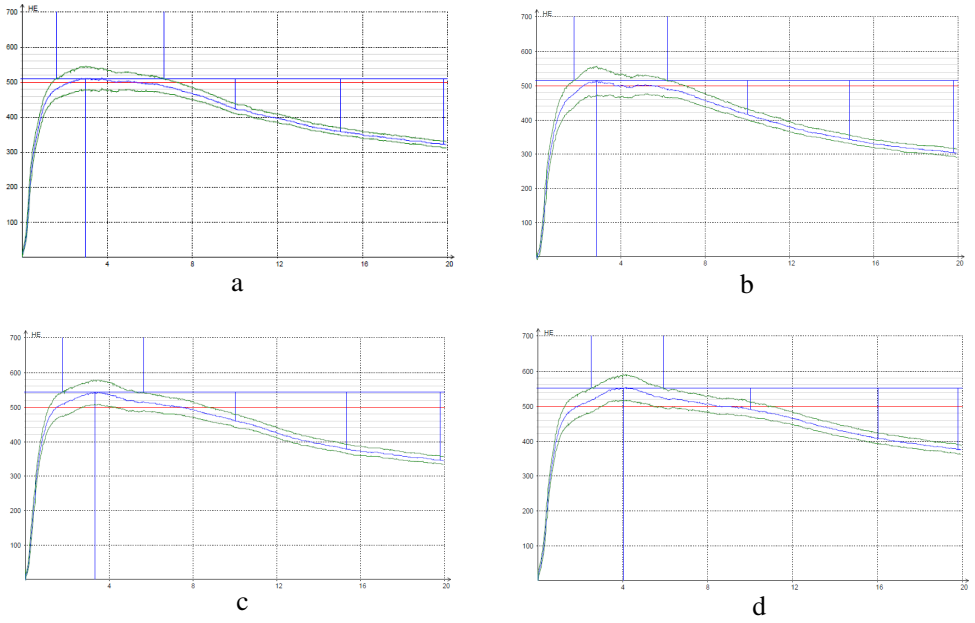
آزمون فارینوگراف بر اساس استاندارد بین‌المللی (AACCS4-21) و استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۳۲۴۶ توسط دستگاه فارینوگراف مدل برابندر انجام پذیرفت. آزمون فارینوگراف جهت بررسی ویژگی‌های رئولوژیک خمیر انجام می‌گیرد که با استفاده از آن پارامترهای مختلف کیفی آرد حاصل از گندم مانند جذب آب، مدت زمان بهینه مخلوط شدن خمیر (زمان توسعه)، میزان مقاومت خمیر در برابر مخلوط شدن و درجه نرم‌شدن (سست شدن) خمیر در برابر مخلوط کردن تعیین می‌شود. آزمون اکستنسوگراف نیز با روش AACC به شماره ۵۴-۱۰ و استاندارد ملی ایران به شماره ۲-۳۲۴۶ توسط دستگاه اکستنسوگراف الکترونیکی برابندر آلمان انجام شد (AACC, 2005).

تیمارهای صفر، سه، شش و نه درصد سبوس برنج هیدروترمال شده در نمونه‌های آرد گندم غنی‌شده، در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند و سپس داده‌های حاصل با روش آنالیز واریانس یک‌طرفه با استفاده از نرم‌افزار Minitab تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین‌ها نیز به روش توکی و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار EXCEL انجام شد.

نتایج و بحث

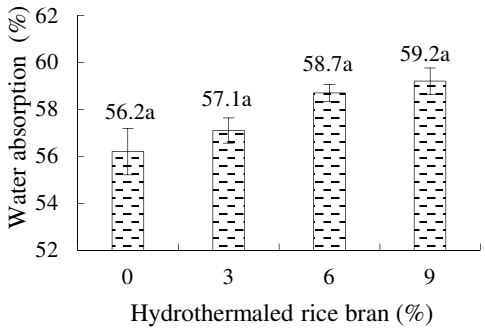
ویژگی‌های فارینوگرافی

تأثیر افزودن سبوس برنج هیدروترمال شده بر میزان جذب آب آرد بر اساس ارزیابی خواص رئولوژیک خمیر با استفاده از آزمون فارینوگرافی در شکل ۱ ارایه شده است. نتایج نشان داد که افزایش در میزان غلظت سبوس برنج هیدروترمال شده موجب افزایش معنی‌دار در جذب آب از ۵۶/۲ درصد به ۵۹/۲ درصد شد (شکل ۲). این تأثیر می‌تواند به مقادیر بالای فیبر به‌خصوص پنتوزان‌ها در سبوس برنج مربوط باشد که ظرفیت جذب آب بالایی را دارا هستند. گومز و همکاران (Gomez *et al*., 2011) نیز نتایج مشابهی را با افزودن فیبر گزارش نموده‌اند. دلیل این پدیده می‌تواند حضور گروه‌های هیدروکسیل به تعداد زیاد و افزایش ظرفیت جذب آب از طریق ایجاد پیوند هیدروژنی توسط آنها باشد. اختلاف بین نتایج حاصل از سبوس تیمار شده و خام نشان می‌دهد که چنانچه درصد نشاسته ژلاتینه شده موجود افزایش یابد، ظرفیت جذب آب نیز بیش‌تر می‌شود. در فرآیند هیدروترمال مانند فراوری اکستروژن، ژلاتینه شدن نشاسته باقیمانده در سبوس اتفاق می‌افتد. از طرف دیگر اندازه ذرات نیز به‌عنوان عامل مهم در جذب آب مطرح می‌شود. این پژوهش‌ها کاهش اندازه ذره را بیش‌تر از به‌کارگیری فرآیند اکستروژن در افزایش میزان جذب آب مؤثر می‌داند (Gomez *et al*., 2011). جاکوبس و همکاران (Jacobs *et al*., 2015) نیز معتقدند که ذرات سبوس با اندازه بزرگ‌تر از طریق هیدراسیون ناشی از توانایی بیش‌تر جذب آب در سوراخ‌های ریز، توانایی نگهداری آب بیش‌تری را دارند. سبوس به‌دلیل دارا بودن میزان پروتئین بالا در مقایسه با آرد و تمایل آن برای جذب آب، انتظار می‌رود که جذب آب آرد را افزایش دهد.



شکل ۱- نمودار فارینوگرام خمیر حاصل از آرد گندم و مقادیر مختلف سبوس برنج هیدروترمال شده: a) بدون سبوس، b) ۳ درصد، c) ۶ درصد، d) ۹ درصد.

Figure 1. Farinographs of wheat flour-based dough and different concentrations of hydrothermaled rice bran: a) without bran, b) 3%, c) 6%, d) 9%.



شکل ۲- تأثیر افزودن سبوس برنج هیدروترمال شده بر جذب آب آرد گندم

Figure 2. The effect of adding hydrothermaled rice bran on water absorption of wheat flour

ذرات درشت‌تر جذب آب بالاتری دارند و اثر آنها با افزایش میزان، افزایش می‌یابد (Jujula, 2017). میزان پایداری خمیر نیز روند نزولی داشت و از تیمار شاهد (فاقد سبوس) تا تیمار حاوی ۹ درصد سبوس کاهش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۱). در مقایسه شکل ظاهری نمودار حاصل از فارینوگراف، تغییر عرض نمودار از تیمار اول (فاقد سبوس) به تیمار چهارم (حاوی ۹٪ سبوس) افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد بین عرض نمودار و پایداری خمیر رابطه مستقیم وجود دارد. گومز و همکاران (Gomez *et al.*, 2011) افزایش درصد سبوس و میزان فیبر را عامل کاهش پایداری خمیر مطرح کردند. کاهش در پایداری خمیر به‌وسیله سبوس احتمالاً به رقت ایجادشده در حضور مقدار زیاد فیبر در سیستم خمیر مربوط باشد که پل‌های دی سولفیدی بین‌مولکولی مسئول پایداری را طی مخلوط کردن خمیر کاهش می‌دهد. احتمالاً پنتوزان‌ها که از اصلی‌ترین ترکیبات آرابینوکسیلان‌ها محسوب می‌شوند با پروتئین گلوتن وارد واکنش شده و افزایش معنی‌داری را در مقاومت به کشش و کاهش انعطاف‌پذیری ایجاد می‌کنند (Wang *et al.*, 2004; Khalid *et al.*, 2017). همچنین تغییر در ساختار دوم پروتئین و کاهش عملکرد گلوتن می‌تواند در کاهش پایداری مؤثر باشد (Bock *et al.*, 2013). بعلاوه حضور فیبر، موجب کاهش پیوند آلفا-هلیکس شده و دو کمپلکس

پروتئین آلفا-هلیکس ترکیب شده و ساختار صفحه بتا شکل می‌گیرد. از طرف دیگر حضور فنولیک اسیدها منجر به واکنش آنها با سیستئین باقیمانده شده و در نتیجه پیوندهای دی سولفیدی و شبکه گلوتنی تخریب گشته و پایداری خمیر تضعیف می‌شود (Khalid *et al*., 2017). از طرف دیگر فرایند هیدروترمال بر تورم و ژلاتینه‌شدن ترکیبات نشاسته سبوس مؤثر است. آب فراوان در مناطق بی‌شکل متورم نشاسته حرکت زنجیره پلیمری را تسهیل می‌کند و کریستالیزاسیون بعدی و رتروگراداسیون آسان‌تر اتفاق می‌افتد. توزیع آب بین مناطق گلوتن، نشاسته بی‌شکل و کریستالی نقش مهمی در سفتی نشاسته و گلوتن ایفا می‌کند. از آنجایی‌که طی فرآیند هیدروترمال، سبوس برنج در معرض آب برای یک دوره زمانی طولانی قرار می‌گیرد، این پدیده موجب تغییرات بافتی سبوس قبل از اضافه شدن به خمیر می‌شود (Mosharraf *et al*., 2009)، در صورتی که در خمیر حاوی سبوس تیمار نشده، نشاسته و پروتئین در مناطق جدا از هم مشاهده می‌شوند و بنابراین چسبندگی بین گلوتن و نشاسته کاهش می‌یابد. اختلاف در ساختار گرانول نشاسته و درجه چسبندگی آن به گلوتن، به مقدار آب خمیر و توزیع آب بین ترکیبات آن بستگی دارد (Salmenkallio- Martflla *et al*., 2001).

بررسی روند تغییرات حاکی از آن است که زمان گسترش خمیر از تیمار دوم (حاوی ۳٪ سبوس) تا تیمار چهارم (حاوی ۹٪ سبوس) روند افزایشی داشت و از ۲/۸ دقیقه به ۴ دقیقه افزایش یافت (جدول ۱). به نظر می‌رسد افزودن سبوس باعث افزایش زمان رسیدن به حداکثر قوام در خمیر می‌شود. تأثیر افزودن فیبر می‌تواند به واکنش فیبر- گلوتن مربوط باشد که از هیدراسیون و آبگیری پروتئین‌ها جلوگیری می‌کند. به‌علاوه رقابت برای جذب آب بین سبوس و دیگر اجزای آرد نیز می‌تواند موجب آبگیری از خمیر شده و بر تقویت خمیر مؤثر باشد. افزایش فیبر محلول و نشاسته پیش ژلاتینه شده که ظرفیت بیش‌تری در رقابت برای جذب آب نسبت به پروتئین دارد، در سبوس هیدروترمال شده نیز می‌تواند از عوامل افزایش زمان گسترش خمیر حاصل از آرد حاوی سبوس هیدروترمال شده باشد. مطالعات فارینوگرافی زمان گسترش خمیر طولانی‌تر را در میزان بالای سبوس جایگزین شده در آرد نشان می‌دهد. این امر می‌تواند به دلیل ورود و نفوذ ذرات سبوس به دیواره سلول‌های هوا و محدود کردن قدرت آنها در اتساع و در نتیجه فروپاشی و فروریختگی باشد که منجر به انعقاد شده و در انتها موجب نگهداری گاز کم‌تر در خمیر، حجم کم‌تر نان و بافت متراکم مغز نان در محصول نهایی می‌شود. همچنین افزودن سبوس برنج هیدروترمال شده باعث افزایش میزان درجه سست شدن خمیر در تیمارها نسبت به تیمار شاهد (فاقد سبوس) شد (جدول ۲). همواره کاهش مقدار پایداری با افزایش درجه سست شدن همراه است (Gomez *et al*., 2011).

ویژگی‌های اکستنسوگرافی

نتایج آزمون رئولوژیکی با دامنه تغییر شکل بزرگ با دستگاه اکستنسوگراف به همراه اطلاعاتی درباره رفتار ویسکوالاستیک خمیر و شبکه گلوتنی در شکل ۳ نشان داده شده است. مقایسه نتایج منحنی‌های اکستنسوگرام نشان داد که با افزایش میزان سبوس برنج هیدروترمال شده در خمیر، مقاومت به کشش در هر سه زمان مورد بررسی (۴۵ و ۹۰ و ۱۳۵ دقیقه) افزایش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان مقاومت به کشش در تیمار چهارم (حاوی ۹٪ سبوس) مشاهده شد که نسبت به میزان مقاومت به کشش در تیمار اول روند افزایشی معنی‌داری نشان داد. بعلاوه، بررسی داده‌ها در بین زمان‌های مخلوط کردن نیز بیانگر افزایش همه تیمارها نسبت به زمان مخلوط کردن ۴۵ دقیقه است (جدول ۲). بالاترین میزان مقاومت به کشش مربوط به تیمار چهارم (حاوی ۹٪ سبوس) در زمان مخلوط کردن ۱۳۵ دقیقه بود (۳۳۱ BU).

جدول ۱- ویژگی‌های فارینوگرافی خمیر آرد گندم- سبوس برنج هیدروترمال شده

Table 1. Farinographic characteristics of wheat flour- hydrothermaled rice bran dough

Treatment	Hydrothetrmal rice bran incorporation content (%)	Water absorption (%)	Dough development time (min)	Stability (min)	Dough softening degree (after 20 min)
1	0	56.2±2/000^{a}	3± 0.100^{bc}	5±0.250^{a}	188±6/000^{bc}
2	3	57.1±2/200^{a}	2.8±0.100^{c}	4.5±0.200^{b}	210±7/000^{a}
3	6	58.7±1.800^{a}	3.3±0.150^{b}	3.9±0.15^{c}	196±5/000^{ab}
4	9	59.2±2.600^{a}	4±0.200^{a}	3.3±0.100^{d}	176±4/000^{c}

Means followed by the same letters in each column are not significantly different at 5% probability level.

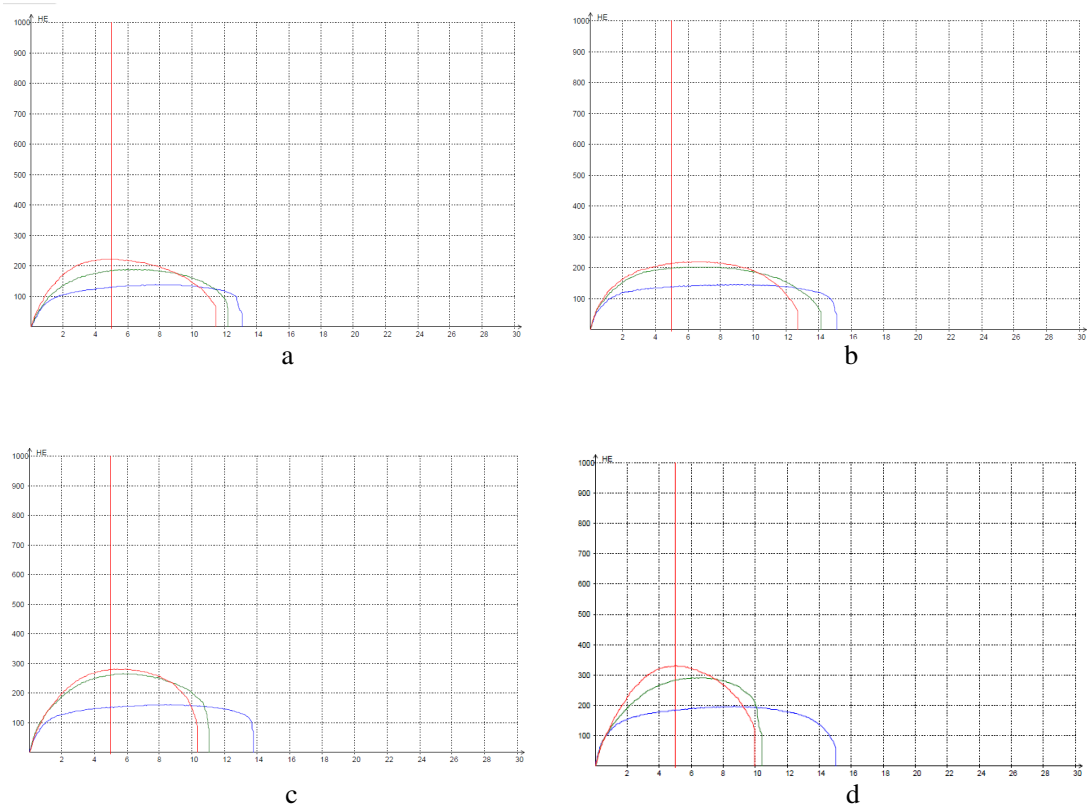
جدول ۲- ویژگی‌های اکستنسوگرافی نان حجیم گندم- سبوس برنج هیدروترمال شده

Table 2. Extensographic characteristics of wheat flour- hydrothermaled rice bran dough

Bran addition percentage (%)	Resistance of extension (BU)			Extensibility (mm)			Energy (cm^2)		
	45 min	90 min	135 min	45 Min	90 min	135 Min	45 min	90 min	135 Min
0%	139 ± 8^{cC}	189 ± 4^{cB}	223 ± 5^{cA}	131 ± 2^{bA}	123 ± 2^{bB}	115 ± 2^{bC}	29 ± 2^{cB}	35 ± 3^{bA}	37 ± 1^{cA}
3%	147 ± 5^{cC}	203 ± 9^{cB}	220 ± 4^{cA}	151 ± 3^{aA}	142 ± 6^{aA}	128 ± 2^{aB}	36 ± 1^{bB}	44 ± 1^{aA}	42 ± 1^{bA}
6%	162 ± 4^{bC}	266 ± 6^{bB}	281 ± 3^{bA}	129 ± 3^{bcA}	111 ± 3^{cB}	104 ± 3^{cB}	36 ± 1^{bB}	44 ± 1^{aA}	43 ± 2^{bA}
9%	197 ± 5^{aC}	291 ± 5^{aB}	331 ± 7^{aA}	122 ± 4^{cA}	104 ± 5^{cB}	100 ± 3^{cB}	47 ± 3^{aA}	45 ± 1^{aA}	47 ± 1^{aA}

Means followed by the same lowercase letters for each trait in each column are not significantly different at 5% probability level.

Means followed by the same uppercase letters for each trait in each row are not significantly different at 5% probability level.



شکل ۳- نمودار اکستنسوگرام خمیر حاصل از آرد گندم و مقادیر مختلف سبوس برنج هیدروترمال شده: a) بدون سبوس، b) ۳ درصد، c) ۶ درصد، d) ۹ درصد.

Figure 3. Extensographs of wheat flour-based dough and different concentrations of hydrothermaled rice bran: a) without and with 3 (b), 6 (c), and 9% (d) hydrothermaled rice bran.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که با افزایش مقدار سبوس برنج هیدروترمال شده میزان کشش خمیر کاهش یافت، اما در این روند از تیمار شاهد به تیمار دوم در هر سه زمان مورد بررسی، افزایش معنی‌داری مشاهده شد. اندازه‌گیری سطح زیر منحنی اکستنسوگراف با توجه به اثرات مختلف سبوس برنج هیدروترمال شده بر ترکیبات مؤثر در ویسکوزیته و الاستیسیته می‌تواند یک معیار مناسب برای رفتار رئولوژیکی خمیر باشد. بخش الاستیک (مقاومت به کشش خمیر) با افزایش زمان مخلوط کردن و افزایش درصد سبوس روند صعودی نشان می‌دهد. درصورتی‌که بخش ویسکوز خمیر (کشش خمیر) رفتاری متفاوت داشته و با افزایش مقدار سبوس برنج کاهش می‌یابد. این رفتار می‌تواند به افزایش ترکیبات فیبری هم‌زمان با افزایش میزان سبوس و همچنین تأثیر منفی آن بر قابلیت ارتجاع گلوتن مربوط باشد. ازآنجایی‌که توسعه‌پذیری پایین و الاستیسیته و کشسانی بالا به بخش پلیمری با وزن مولکولی بالای گلوتنین پروتئین گلوتن مربوط می‌باشد، به نظر می‌رسد تقویت این بخش می‌تواند مقاومت به اتساع خمیر را افزایش دهد. با افزایش درصد افزودن سبوس برنج به آرد گندم قابلیت کشش خمیر که نشان‌دهنده رفتار ویسکوز خمیر می‌باشد و به حضور گلیادین‌ها مربوط می‌شود، به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است که می‌تواند به تأثیر منفی اجزای سبوس بر ویژگی کشش‌پذیری خمیر مربوط باشد. علت این امر احتمالاً به حضور مواد فیبری نامحلول در سبوس بر می‌گردد که باعث پاره شدن زودهنگام گلوتن در حین کشش می‌گردد. علت دیگر آن نیز می‌تواند رقیق شدن پروتئین‌های گلیادین باشد که نسبت گلیادین به گلوتنین را تغییر داده و خواص الاستیک خمیر که مربوط به حضور گلوتنین‌ها است را تقویت و خواص ویسکوز خمیر را که مربوط به اثر گلیادین است تضعیف می‌نماید. به‌طورکلی با افزایش درصد سبوس برنج هیدروترمال شده در نمونه‌ها جزء الاستیک خمیر (مقاومت به کشش) تقویت‌شده و جزء ویسکوز منحنی (کشش‌پذیری) به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تضعیف می‌شود. افزایش مقاومت به کشش بیانگر سفت شدن گلوتن است. بنابراین افزودن سبوس به آرد گندم کشش‌پذیری و استحکام خمیر را کاهش داده و مقاومت به کشش را افزایش می‌دهد و این اثر با افزایش درصد افزودن سبوس بارزتر می‌شود (Naghavi *et al*., 2011; Khalid *et al*., 2017; Awolu *et al*., 2018). میزان انرژی خمیر نیز با افزایش میزان سبوس برنج هیدروترمال شده در هر سه زمان مخلوط کردن افزایش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۲).

نتیجه‌گیری کلی

به‌کارگیری فرآوری هیدروترمال تکنیکی مناسب و قابل قبول جهت کاهش اسید فیتیک سبوس برنج محسوب می‌شود. در مطالعه حاضر، تأثیر افزودن سبوس برنج فرآوری‌شده به روش هیدروترمال در آرد گندم بر ویژگی‌های رئولوژیک آن، با هدف استفاده از ویژگی‌های مفید ضایعات کارخانه‌های برنج‌کوبی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمون‌های بررسی ویژگی‌های رئولوژیک با استفاده از دستگاه فارینوگراف نشان داد که افزودن سبوس برنج هیدروترمال شده در شرایط بهینه، سبب افزایش جذب آب در خمیر، کاهش پایداری و افزایش زمان گسترش خمیر می‌شود. درجه سست‌شدن خمیر نیز با افزایش میزان سبوس برنج، کاهش یافت. نتایج آزمون‌های اکستنسوگرافی نیز نشان‌دهنده افزایش مقاومت به کشش با افزایش درصد افزودن سبوس به آرد بود. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش، به‌نظر می‌رسد که استفاده از سبوس برنج هیدروترمال شده به‌میزان سه درصد، به‌لحاظ دارا بودن مقادیر بالای ترکیبات زیست‌فعال و مغذی، می‌تواند به‌عنوان یک منبع مهم جهت غنی‌سازی محصولات نانوایی و تولید محصول غذایی با ارزش تغذیه‌ای بالا و عملگرا پیشنهاد شود. از طرف دیگر، با توجه به این‌که استان گیلان یکی از تولیدکنندگان اصلی سبوس برنج در ایران می‌باشد، در نتیجه تهیه سبوس برنج در این استان و اضافه کردن آن به آرد گندم از نظر اقتصادی نیز می‌تواند مقرون به‌صرفه و توجیه‌پذیر باشد.

References

AACC. 2005. Approved methods of analysis. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, USA.

Abka, R., Kadivar, M. and Shahedi, M. 2016. Phytic acid reduction in four brans through fermentation, hydration and hydrothermal treatment. **Journal of Food Technology Researches** 26 (4): 659-665.

Awolu, O. O., Sudha, L. M. and Manohar, B. 2018. Influence of defatted mange Kemal seed flour addition on the rheological characteristic and cookie making quality of wheat flour. **Food Science and Technology** 5 (2): 2363-2373.

Bock, J. E., Comely, R. K. and Damodarmn, S. 2013. Impact of bran addition on wheat flour dough's studied by attenuated total reflectance Fourier transform infrared spectroscopy. **Cereal Chemistry** 97: 377-386.

Didar, Z., Ardabili, S. M. S., Mizani, M., Khodaparast, M. H. H. and Ghaemi, A. 2008. Effect of different method of soaking, hydrothermal and fermentation on reduction of phytic acid content in wheat bran. **Food Technology and Nutrition** 5 (3): 88-99.

Ertas, N. 2016. The effect of microwave autoclave and hot air oven stabilized wheat bran substitution on nutritional and sensorial properties of flat breads. **Journal of Food and Health Science** 2 (4): 147-158**.**

Gomez, M., Jimenz, S., Ruiz, E. and oliete, B. 2011. Effect of extruded wheat bran on dough rheology and bread quality. **Lwt - Food Science and Technology** 44: 2231-2237.

Jacobs, P. J., Hemdane, S., Dornez, E., Delcour, J. A. and Courtin, C. M. 2015. Study of hydration properties of wheat bran as a function of particle size. **Food Chemistry** 179: 296-304.

Jujula, H. 2017. Effect of wheat bran of gluten network formation as studied through dough Development, dough rheology and bread microstructure, Ph. D. Dissertation. University of Kansas State, USA.

Khalid, K. H., Ohm, J. and Simsek, S. 2017. Whole wheat bread: Effect of bran factions on dough and end - product quality. **Journal of Cereal Science** 78: 48-56.

Majzoobi, M., Nematolahi, Z. and Farahnaky, A. 2013. Effect of hydrothermal treatment on decreasing the phytic acid content of wheat bran and on physical and sensory properties of biscuits. **Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology** 8 (3): 171-178.

Michael, O. A., Dick, I. G. and Bibiana, D. I. 2013. Physico-chemical and sensory evaluation of wheat bread supplemented with stabilized under fatted rice bran. **Food and Nutrition Sciences** 4: 43-48.

Milani, A., Poor-Azarang, H. and Mortazavi, S. 2009. Effect of rice flour on Barbari on rheological and textural properties. **Iranian Journal of Food Science and Technology** 6 (20): 23-31. (In Persian with English Abstract).

Momtaz, Sh., Anjum, F. M., Butt, M. S., Dittalcham, A., Zahoor, T. and Ahmed, A. 2005. Effect of rice bran supplementation on quality of bread. **Pakistan Journal of Food Scienc**es 15 (1-2): 1-6.

Mosharraf, L. 2012. Reduction of phytic acid of wheat bran by hydrothermal method. Technical paper, No. 41. Institute of Agricultural Engineering and Technology Researches, Karaj, Iran. (In Persian).

Mosharraf, L., Kadivar, M. and Shahedi, M. 2009. Effect of hydrothermaled bran on physicochemical rheological and microstructural characteristics of Sangak bread. **Journal of Cereal Science** 49: 398-404.

Naghavi, S., Mogaddam, M. J., Peighambardoust, S. H., Ghaffari, A. O. and Damirchi, S. A. 2011. Fortification of wheat flour with purslane seed powder: Studying flour characteristics and rheological properties. **Journal of Food Technology Research** 21 (3): 281-293.

Naghizadeh-Raeisi, Sh., Mohamadi Rami, A., Shahidi, S. A., Ghorbani Hasan-Saraei, A. 2019. Extraction of rice bran protein (Hashemi cultivar) and investigation of its functional characteristics. **Iranian Journal of Food Science and Technology** 15 (85): 457-468. (In Persian with English Abstract).

Nasrollah Zadeh, A., Ghorbani-Hasan-Saraei, A., Amiri, E. Habibi, F. 2020. The improved chemical, mechanical, rheological, and pasting characteristics of protein-rich brown rice by parboiling process integrated with nitrogen fertilization. **Bulletin of UASVM Food Science and Technology** 77 (2): 45-56.

Salmenkallio-Martflla, M., Katina, K. and Autio, K. 2001. Effects of bran fermentation on quality and microstructure of high-fibre wheat bread. **Cereal Chemistry** 79: 429-435.

Tajadoditalab, K., Alipanah, F. and Shahidi, S. A. 2020. Effect of steaming on bending strength and milling quality of Gohar high yield rice variety. **Food Engineering Research** 19 (69): 43-56. (In Persian with English Abstract).

Tayefe, M., Shahidi, S. A., Milani, J. M. and Sadeghi, S. M. 2020. Development, optimization, and critical quality characteristics of new wheat-flour dough formulations fortified with hydrothermally-treated rice bran. **Journal of Food Measurement and Characterization** 14 (5): 2878-2888.

Tayefe, M., Shahidi, S. A., Milani, J. M. and Sadeghi, S. M. 2021. Effect of hydrothermaled rice bran addition on bread physical, textural and sensory characteristics. **Journal of Iran Food Science and Technology** 18 (112): 43-52. (In Persian with English Abstract).

Vahabzadeh, M., Esfahani, M., Aalami, A., Shhadi-Koumleh, A., Fallah-Shamsi, S. A. and Hemmati, S. 2015. Effect of phosphorus fertilizer levels and parboiling of paddy on phytic acid and mineral content of three rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **Iranian Journal of Crop Sciences** 17 (4): 258-272. (In Persian with English Abstract).

Wang, M., vanvliet, T. and Hamer, R. J. 2004. How gluten properties are affected by Pentosans. **Journal of Cereal Science** 39: 395-402.

doi: 10.22124/cr.2021.19405.1660

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

(Research Article)

Cereal Research
Vol. 10, No. 4, Winter 2021 (313-322)

Fortification of wheat flour with hydrothermaled rice bran: Studying dough rheological properties

Mandana Tayefe[1*], Seyed Ahmad Shahidi[2], Jafar Mohammadzadeh Milani[3] and Seyyed Mostafa Sadeghi[4]

Received: September 20, 2020 Accepted: January 4, 2021

Abstract

Rice bran is a valuable and economic food source for natural fortification of bakery products. Since the use of natural additives for food fortification causes the risk of weakening and reducing the rheological and technological properties of dough, therefore in this study, the effect of adding hydrothermled rice bran on the rheological properties of dough using farinograph and extensograph tests was investigated. The results of rheological evaluations revealed that an increase in the rice bran concentration led to a significant increase in water absorption, but dough stability decreased significantly. Also, decreasing the dough stability increased dough developing time. Changes in the softening degree of dough also showed a significant decrease by increasing the rice bran concentration to more than 3%. On the other hand, increasing the bran concentration in the dough was was associated with increasing of resistance to extension and dough energy and decreasing the dough extensibility.

Keywords: Extensographic characteristics, Farinographic characteristics, Hydrothermal, Phytic acid, Rice bran

1. Lecturer, Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Lahijan Branch, Lahijan, Iran
2. Assoc. Prof., Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Branch, Amol, Iran
3. Prof., Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
4. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Lahijan Branch, Lahijan, Iran
* Corresponding author: m.tayefe@yahoo.com