



مقاله پژوهشی

اثر فرایند تخمیر و امواج مایکروویو بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سبوس گندم

زینب ایزدی^۱، مصطفی مظاهری تهرانی^{۲*}، فخری شهیدی^۲

۱. دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۰/۰۶/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۴)

چکیده

سبوس گندم منبعی غنی از فیبر رژیمی است و به این دلیل، به کارگیری آن در صنعت غذا افزایش یافته است. میزان اسید فیتیک و فیبر رژیمی نامحلول آن بالا است و می‌تواند به طور معنی‌داری کیفیت تغذیه‌ای و تکنولوژیکی فرآورده‌های غذایی را کاهش دهد. هدف از این مطالعه بررسی اثر فرایند تخمیر و امواج مایکروویو بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سبوس گندم است. نتایج نشان داد میزان اسید فیتیک طی فرایندهای تخمیر و مایکروویو به ترتیب از $48.05/67 \text{ mg}/100\text{g}$ به $27.56/67 \text{ mg}/100\text{g}$ و $30.23/33 \text{ mg}/100\text{g}$ کاهش یافت، اما در نتیجه استفاده ترکیبی این دو فرایند، کاهش بیشتری در میزان اسیدفیتیک مشاهده شد ($22.05/94 \text{ mg}/100\text{g}$). میزان فیبر محلول نمونه شاهد ($3/63\%$) طی فرایند مایکروویو کاهش ($1/06\%$)، اما در طی فرایند تخمیر ($9/30\%$) و همچنین در نتیجه فرایند ترکیبی تخمیر و مایکروویو افزایش ($6/46\%$) یافت. نتایج اندازه‌گیری فاکتورهای L^* ، a^* و b^* نشان داد میزان L^* طی فرایند مایکروویو، تخمیر و فرایند ترکیبی از $56/71$ به ترتیب به $50/41$ ، $48/74$ و $46/69$ کاهش یافت. فاکتور a^* از $4/69$ طی فرایند مایکروویو به $5/90$ و طی فرایند ترکیبی به $5/46$ افزایش یافت، اما طی فرایند تخمیر تغییر معنی‌داری نشان نداد. فاکتور b^* از $26/73$ به $31/92$ طی تخمیر و $32/63$ طی فرایند ترکیبی افزایش، اما طی فرایند مایکروویو به $25/16$ کاهش یافت. تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی، ایجاد سطوحی با لبه‌های هموار در فرایند تخمیر و ایجاد تخلخل در سطح ذرات سبوس طی فرایند مایکروویو نشان داد. براساس نتایج فرایند مایکروویو پتانسیل کاهش میزان اسید فیتیک را دارد و علاوه بر این موجب خشک شدن سبوس تخمیر شده نیز می‌شود، و زمان نگهداری آن را افزایش می‌دهد. از این رو، استفاده همزمان این دو فرایند، جهت بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سبوس، توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سبوس گندم، تخمیر، مایکروویو، اسید فیتیک، فیبر رژیمی.

۱. مقدمه

فراورده‌های غذایی بر پایه‌ی غلات، به ویژه نان، در بسیاری از کشورها غذای اصلی به شمار می‌آیند و بخش زیادی از کالری و پروتئین رژیم غذایی انسان را تأمین می‌کنند. بنابراین طی چند سال اخیر، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه بهبود کیفیت تغذیه‌ای و تکنولوژیکی آنها انجام شده است. اهمیت تغذیه‌ای فیبر رژیمی^۱ در مطالعات زیادی به اثبات رسیده است. در رژیم‌های غذایی متداول، کمتر از ۲۰ g/day فیبر رژیمی دریافت می‌شود، در حالی که مقدار توصیه شده ۲۵-۳۰ g/day است [۱].

با توجه به اثرات سلامتی بخش فیبر رژیمی بر کاهش بیماری‌های قلبی عروقی، کلسترول خون، بیماری‌های گوارشی و جلوگیری از سرطان و تفاوت در مقدار مورد نیاز و مقدار دریافت روزانه فیبرهای رژیمی، غنی کردن فراورده‌های غذایی با فیبر مورد توجه قرار گرفته است [۲].

سبوس گندم لایه‌ی خارجی دانه‌ی گندم است و بعد از جداسازی آندوسپرم نشاسته‌ای (شامل پریکارپ، تستا، هیالین و آلرون) در فرایند آسیاب به دست می‌آید [۳]. سبوس گندم منبع غنی از فیبر رژیمی شامل فیبر رژیمی محلول و نامحلول است [۴]. میزان بالای فیبر رژیمی نامحلول به طور قابل توجهی قابلیت فراوری و کیفیت خوراکی فراورده‌های آردی را کاهش می‌دهد. میزان فیبر رژیمی سبوس گندم، ۵۰-۳۵٪ است. اما تنها ۳-۲٪ آن را، فیبر رژیمی محلول تشکیل می‌دهد. فیبر رژیمی به طور عمده شامل سلولز، لیگنین و آرابینوگزیران و بتاگلوکان است [۵]. همچنین شامل ترکیباتی نظیر نشاسته، پروتئین، چربی، مواد معدنی (مانند آهن، کلسیم و روی) و ویتامین‌ها است [۶] و به همین دلیل جایگاه ویژه‌ای در صنعت غذا پیدا کرده است که می‌تواند از طریق مواد غذایی بر پایه‌ی غلات نظیر نودل‌ها، نان‌ها و کوکی‌ها مقادیر زیادی فیبر رژیمی را وارد رژیم غذایی انسان کند [۷]. اما به دلیل وجود ساختار فیبری، افزودن سبوس گندم می‌تواند کیفیت حسی فراورده‌ها را کاهش دهد [۸] و منجر به ایجاد تغییرات نامطلوبی در کیفیت مواد غذایی حامل آن به ویژه نان شود.

در واقع فیبر رژیمی نامحلول در زمان آماده‌سازی فراورده‌های آردی، به سلول‌های گاز آسیب می‌رساند و در نتیجه کیفیت محصول را کاهش می‌دهد [۴]. این تغییرات شامل ضعیف‌شدن ساختار نان، کاهش کیفیت پخت، کاهش حجم نان و نیز کاهش الاستیسیته پسته نان می‌باشد [۹] علاوه بر این، سبوس گندم حاوی درصد بالایی از اسید فیتیک است. این ترکیب از یک حلقه اینوزیتول و شش گروه فسفات تشکیل شده است که می‌تواند با مواد معدنی و پروتئین‌ها کمپلکس تشکیل دهد و دسترسی زیستی آنها را کاهش دهد. در نتیجه استفاده از سبوس فراوری نشده در تهیه فراورده‌های غذایی، مشکلات قابل توجهی از جمله کم‌خونی ناشی از فقر آهن، پوکی استخوان و کاهش رشد و نمو بدن را به دنبال خواهد داشت [۲].

به منظور بهبود کیفیت خوراکی و تغذیه‌ای سبوس، تعدادی از محققان بر اصلاح ویژگی‌های سبوس گندم تمرکز کرده‌اند [۱۰-۱۴]. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه کاهش اثرات منفی سبوس انجام شده است، این مطالعات شامل بررسی تأثیر کاهش اندازه ذرات، خیساندن سبوس، فرایند هیدروترمال، تخمیر و تیمار آنزیمی می‌باشد که موجب کاهش اسید فیتیک و بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سبوس گندم می‌شوند. همی سلولز و لیگنین حدود ۹۰٪ فیبر رژیمی نامحلول سبوس را تشکیل می‌دهند [۱۵]. لیگنین و همی سلولز در سبوس با هم پیوند برقرار می‌کنند و همراه با سلولز ساختار محکم و متراکمی را تشکیل می‌دهند [۱۶]. وجود این ساختار از اصلاح کافی سبوس گندم توسط روش‌های رایج جلوگیری می‌کند و به مقدار قابل توجهی کیفیت خوراکی و ارزش تغذیه‌ای سبوس گندم و محصولات غذایی سبوس‌دار را کاهش می‌دهد [۱۱]. یکی از روش‌های اصلاح سبوس، استفاده از تخمیر قبل از افزودن آن به آرد است. کاتینا و همکاران در سال ۲۰۱۲، گزارش کردند که نان حاوی سبوس تخمیر شده (به مدت ۲۰ h)، حجم مخصوص بالاتر و مغز نان نرم‌تر از نان‌های حاوی سبوس تخمیر نشده داشت. محققان پیشنهاد کردند که دلیل این بهبود، به طور عمده می‌تواند به افزایش حلالیت آرابینوگزیران در اثر تخمیر و اصلاح ساختار دیواره سلولی سبوس، نسبت داده شده شود. بر اساس نتایج این مطالعه، زمانی که مخمر در زمان افزودن

1. Dietary Fibre (DF)

تکنولوژیکی نان، از ترکیب تیمارها استفاده نمود تا شدت و میزان هر تیمار کاهش یابد. با توجه به اینکه معمولاً از فرایند تخمیر جهت کاهش اسید فیتیک سبوس استفاده می‌شود و این فرایند زمان‌بر است، لازم است از فرایندهای دیگر جهت کاهش زمان و هزینه‌ی فراوری سبوس استفاده شود. تاکنون اثر ترکیبی فرایند تخمیر و مایکروویو بررسی نشده است، هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر فرایندهای تخمیر و مایکروویو به تنهایی و در ترکیب با یکدیگر، بر کاهش میزان اسید فیتیک سبوس گندم و بهبود ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی سبوس بوده است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. مواد

آرد گندم ۷۷٪ (۱۰/۷۶٪ رطوبت، ۰/۴۹٪ خاکستر و ۱۴/۶۱٪ پروتئین) از شرکت آرد آستان قدس رضوی تهیه گردید. سبوس گندم تهیه شده از کارخانه آرد توسط آسیاب چکشی آسیاب و با الک با مش ۵۰ (۳۰۰ μ) الک گردید. پودر فوری مخمر از شرکت خمیرمایه رضوی تهیه گردید. کیت آنزیمی اندازه‌گیری فیبر رژیمی از شرکت مگازیم ایرلند خریداری شد. اسید سولفوریک ۹۸٪، اسید نیتریک ۶۵٪، پتاسیم دی هیدروژن فسفات، منوآناتاد آمونیوم، هپتامولبیدات آمونیوم، اسیدپرکلریک، اسیدکلریدریک ۳۵٪ از شرکت مرک و اتانول ۹۵٪ از شرکت سینا طب تهیه شدند. بررسی ریز ساختار با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی^۳ (فیلیپس، هلند، مدل XL30) و دستگاه لایه نشانی طلا (Bal-Tec، سوئیس) انجام شد.

۲.۲. روش‌ها

۱.۲.۲. فراوری سبوس با روش تخمیر، مایکروویو و

فرایند ترکیبی تخمیر - مایکروویو

- تخمیر: در فراوری به روش تخمیر، ۱۰۰ g سبوس گندم با ۳۵۰ g آب و ۱/۲۵ g مخمر در ظرفی مخلوط شد و با فویل آلومینیومی پوشانده شد، سپس در انکوباتور با دمای ۲۵ °C به مدت ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ h قرار داده شد [۱].

سبوس تخمیر شده، در خمیر وجود دارد، موجب بهبود ویژگی‌های نان می‌شود [۱۲].

کودا و همکاران در سال ۲۰۱۴، سبوس گندم را به مدت ۸ h توسط باکتری‌های اسیدلاکتیک و سویه‌های مخمر در ترکیب با آنزیم‌های هیدرولیتیک، تخمیر کردند و گزارش کردند که فعالیت لاکتوباسیلوس برویس^۱ جهت بهبود حجم نان ضروری است. در واقع تغییرات قابل توجهی در زمان تخمیر ایجاد می‌شود که می‌تواند به دلیل اصلاح سبوس یا حضور میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌ها در خمیر باشد [۱۳].

در پژوهش انجام شده در سال ۱۹۹۵، گوپتی و همکاران گزارش کردند که باکتری‌های اسیدلاکتیک هتروفرمنتاتیو فعالیت متابولیکی مخمر را افزایش می‌دهند، در نتیجه حجم خمیر تهیه شده با سبوس تخمیر شده، به دلیل افزایش تولید دی‌اکسید کربن، بهبود می‌یابد، همچنین اسیدی‌شدن، قابلیت نگهداری گاز را در گلوتن افزایش می‌دهد. بنابراین فرایند تخمیر می‌تواند موجب بهبود شبکه گلوتهنی جهت نگهداری گاز دی‌اکسید کربن شود [۱۴].

استفاده از امواج مایکروویو، روش جدید حرارت‌دهی است که امروزه استفاده از آن در صنعت غذا به دلیل اقتصادی بودن و مؤثر بودن در زمان کوتاه، گسترش یافته است. در مطالعه‌ی انجام شده در سال ۲۰۱۲، کاور و همکاران کاهش ترکیبات ضدتغذیه‌ای سبوس غلات را توسط فرایندهای مختلف (مایکروویو، حرارت‌دهی خشک و حرارت‌دهی مرطوب) مورد بررسی قرار دادند. حرارت‌دهی مایکروویو در ۲۴۵۰ Hz به مدت ۲/۵ min میزان اسید فیتیک را به میزان ۵۳/۸۵٪ کاهش داد. بر اساس این مطالعه، فرایند مایکروویو مؤثرترین فرایند در کاهش ترکیبات ضدتغذیه‌ای سبوس بوده و می‌تواند جهت تهیه سبوس فراوری شده جهت کاربرد در فرمولاسیون مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد [۱۷].

با توجه به نتایج مطالعات انجام شده، تنها به کارگیری یک تیمار موجب بهبود ویژگی‌های کیفی مورد نظر نخواهد شد، در نتیجه با توجه به اهمیت غنی‌نمودن رژیم‌های غذایی با فیبر، به ویژه غنی‌سازی نان، لازم است جهت افزایش کارایی فرایندها و کاهش اثرات منفی افزودن سبوس بر ویژگی‌های

2. Megazyme International Ireland

3. Scanning Electron Microscopy (SEM)

1. *Lactobacillus brevis*

برود. محلول به بالن ۱۰۰ ml منتقل و با آب مقطر به حجم رسانده شد. در مرحله‌ی بعد ۵ ml از محلول حاصل به بالن حجمی ۱۰۰ ml منتقل، ۵۰ ml آب مقطر و ۲۵ ml محلول کمپلکس رنگی اضافه گردید. سپس محلول با آب مقطر به حجم رسانده و همگن شد. بعد از ۱۵ min استراحت دادن به محلول‌ها جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۲۰ nm قرائت گردید.

۴.۲.۲. فیبر رژیمی محلول، فیبر رژیمی نامحلول و

فیبر رژیمی کل

اندازه‌گیری فیبر رژیمی با استفاده از روش پروسکی و همکاران (۱۹۸۸)، انجام شد. مراحل این روش جهت اندازه‌گیری فیبر رژیمی نامحلول، به ترتیب ذیل انجام پذیرفت: نمونه سبوس در دمای 70°C به مدت ۸-۹ h خشک شد، کراسیبل به مدت ۵ h در آون با دمای 105°C قرار گرفت و توزین گردید. ۱ g نمونه سبوس با ۵۰ ml بافر فسفات با $\text{pH} = 6$ در داخل بشر ریخته شد و $100\ \mu\text{L}$ آنزیم آلفاآمیلاز به آن اضافه و به مدت ۱۵ min در بن ماری با دمای 100°C قرار گرفت و سپس در دمای محیط خنک شد و با استفاده از سود 0.275 نرمال pH به $7/5$ رسید. $100\ \mu\text{L}$ آنزیم پروتئاز اضافه گردید و به مدت ۳۰ min در بن ماری شیکردار با دمای 60°C قرار گرفت و با استفاده از اسیدکلریدریک 0.325 نرمال pH به $4/5$ رسید.

$200\ \mu\text{L}$ آنزیم آمیلوگلوکوزیداز اضافه و مدت ۳۰ min در بن ماری شیکردار با دمای 60°C قرار گرفت و سپس در دمای محیط سرد شد. فیلتراسیون مخلوط با کراسیبل انجام پذیرفت، فیبر باقیمانده روی کراسیبل دو مرتبه با ۱۰ mL آب دیونیزه، دو مرتبه با ۱۰ mL اتانول 95% و دو مرتبه با ۱۰ mL استون شستشو گردید، کراسیبل به مدت ۵ h در آون با دمای 105°C قرار گرفت و سپس توزین شد. تمام این فرایندها برای دو کراسیبل انجام پذیرفت. محتویات یک ظرف برای اندازه‌گیری پروتئین و محتویات کراسیبل دیگر برای اندازه‌گیری خاکستر مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر به دست آمده، جهت تصحیح میزان فیبر رژیمی نامحلول به کار گرفته شد [۲۰].

- مایکروویو: در فراوری به روش مایکروویو، ۱۰ g سبوس در پلیت‌های شیشه‌ای تحت امواج مایکروویو با توان‌های ۶۰۰، ۷۵۰ و ۹۰۰ W و زمان‌های ۱، ۳، ۵ و ۷ min قرار گرفت.
- فرایند ترکیبی تخمیر و مایکروویو: ابتدا نمونه‌ها در زمان‌های کمتر (۴ و ۸ h) تخمیر شدند و سپس فرایند مایکروویو در توان‌های ۶۰۰، ۷۵۰ و ۹۰۰ W و زمان‌های ۱، ۳، ۵ و ۷ min بر روی نمونه‌های سبوس تخمیر شده انجام شد. در نهایت نمونه‌ها در دمای اتاق خنک و در بسته‌های پلی اتیلنی بسته‌بندی شدند.

۲.۲.۲. اندازه‌گیری ترکیبات سبوس

میزان رطوبت، چربی، پروتئین، خاکستر و نمونه سبوس بر اساس روش‌های AACC به ترتیب با شماره‌های (۱۹-۴۴)، (۲۵-۳۰)، (۱۰-۴۶)، (۰۸-۰۱)، اندازه‌گیری شد [۱۸].

۳.۲.۲. اسید فیتیک

اندازه‌گیری اسید فیتیک بر اساس روش اسپکتروسکوپی مطابق استاندارد شماره ۱۷۰۲۸ استاندارد ملی ایران انجام شد [۱۹]. در این روش، جهت انجام آزمون ۵ g از نمونه را وزن کرده، ۱۰۰ ml محلول اسیدکلریدریک $1/2\%$ حاوی 10% سولفات سدیم به آن اضافه شد و به مدت ۲۴ h در دمای اتاق بر روی شیکر قرار گرفت. سپس به مدت ۴۰ min در سانتریفوژ $5000\ \text{rpm}$ قرار داده، ۱۰ ml از محلول رویی را که شامل اسید فیتیک استخراج شده است را برداشته و ۵ ml محلول حاوی اسید کلریدریک 0.6% ، 5% سولفات سدیم و 0.4% کلرید آهن III به آن اضافه گردید. محلول را به مدت ۴۰ min در حمام آب جوش قرار داده شد تا رسوب تشکیل شود. رسوب فیتات آهن با استفاده از سانتریفوژ $5000\ \text{rpm}$ در مدت ۳۰ min از محلول جدا گردید. به رسوب حاصل، ۶ ml محلول ۱:۱ حجمی اسیدسولفوریک و اسید نیتریک غلیظ اضافه و محلول به بالن هضم کدال منتقل شد و تا زمانی که بخارات سفید بالای مایع ظاهر گردید، هضم ادامه یافت. به محلول هضم شده، به آرامی ml ۱۰ آب مقطر اضافه و مخلوط به مدت ۳۰ min در حمام آب جوش حرارت داده شد تا پیروفسفات به طور کامل از بین

۶.۲.۲. رنگ

رنگ سبوس خام و نمونه‌های سبوس فراوری شده توسط دستگاه رنگ سنج هانتربل (color slex, American, 45.0) اندازه گیری شد. شدت رنگ برحسب روش‌های (L*)، قرمزی - سبزی (a*) و زردی - آبی (b*)، بیان گردید. این آزمون با چهار تکرار انجام شد.

۷.۲.۲. آنالیز آماری

جهت بررسی اثر فرایند تخمیر و امواج مایکروویو بر ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی سبوس گندم، آنالیز واریانس (ANOVA) در سطح $P < 0.05$ مورد استفاده قرار گرفت و مقایسه بین میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و از نرم‌افزار آماری Minitab 17 صورت گرفت. آزمون‌ها به طور عمده در سه تکرار انجام شد و سپس میانگین و انحراف معیار به دست آمد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. ترکیبات سبوس

درصد ترکیبات سبوس گندم مورد استفاده در این مطالعه، در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱) درصد ترکیبات سبوس گندم

Table 1. Composition percentage of wheat bran

درصد ترکیبات (گرم در ۱۰۰ گرم) Composition percentage	ترکیبات Composition
11.67±0.23	رطوبت (بر اساس وزن مرطوب) (Based on wet weight) Moisture
14.79± 0.31	پروتئین Protein
48.32±0.98	فیبر رژیمی کل Total dietary fiber
44.69±0.93	فیبر رژیمی نامحلول Insoluble Dietary Fiber
3.63±0.21	فیبر رژیمی محلول Soluble dietary fiber
4.68±0.06	چربی Fat
6.85±0.12	خاکستر Ash
4.805±0.15	اسید فیتیک Phytic acid

اندازه‌گیری میزان فیبر محلول بر اساس مراحل زیر انجام پذیرفت:

جمع‌آوری فاز عبوری از کراسیبل، افزودن اتانول ۹۵٪ به مایع جمع‌آوری شده (مقدار اتانول ۴ برابر حجم مایع است)، فیلتراسیون مخلوط با کراسیبل (یک ساعت بعد از افزودن الکل)، قرار دادن کراسیبل در آون با دمای 105°C به مدت ۵ h و توزین آن، شستشوی فیبر روی کراسیبل سه مرتبه با ۲۰ ml اتانول ۷۸٪، دو مرتبه با اتانول ۹۵٪ و دو مرتبه با استون، قرار دادن کراسیبل در آون با دمای 105°C به مدت ۵ h و توزین آن. مانند فیبر رژیمی نامحلول، تمام این فرایندها برای دو ظرف، یکی برای اندازه‌گیری پروتئین و دیگری جهت تعیین میزان خاکستر، انجام شد. فیبر رژیمی کل از مجموع فیبر رژیمی محلول و نامحلول به دست آمد.

۵.۲.۲. تصویربرداری با SEM

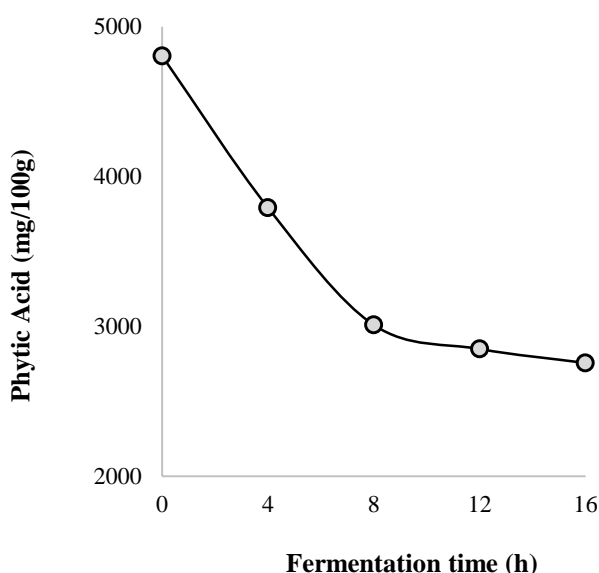
مقداری از نمونه خشک با استفاده از چسب روی یک پایه فلزی قرار داده شد. سپس نمونه‌ها در خلاء قرار گرفتند تا کاملاً خشک شوند. در مرحله بعدی، نمونه‌ها با طلا پوشش داده شد و توسط میکروسکوپ با بزرگنمایی $2500\times - 1000\times$ تصویربرداری انجام شد. این آزمون جهت بررسی اثر فرایند تخمیر و مایکروویو بر سطح ریزساختار سبوس گندم، مورد استفاده قرار گرفت.

۲.۲.۳. آزمون اسید فیتیک

۱.۲.۳. اثر فرایند تخمیر بر کاهش میزان اسید فیتیک

فرایند تخمیر، یکی از فرایندهای مؤثر بر کاهش اسید فیتیک است، در نتیجه می‌تواند در افزایش دسترسی زیستی ترکیبات معدنی مؤثر باشد. همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است، با افزایش زمان تخمیر از ۰ تا ۸ h (در دمای 30°C)، میزان اسید فیتیک با سرعت قابل توجهی کاهش یافته است، اما از ۸-۱۲ و ۱۲-۱۶ h، میزان اسید فیتیک کاهش معنی‌داری را نشان نداد. علت این روند تغییر را می‌توان بدین صورت بیان کرد که در زمان تخمیر سبوس گندم، به دلیل تولید دی‌اکسید کربن و اسیدهای آلی توسط

مخمر و کاهش pH، حلالیت اسید فیتیک افزایش می‌یابد، در نتیجه قابلیت دسترسی آنزیم فیتاز به اسید فیتیک افزایش یافته، همچنین به دلیل مناسب بودن شرایط فعالیت آنزیم فیتاز ($\text{pH} = 5/5$)، میزان اسید فیتیک کاهش می‌یابد [۲۱]. اما با افزایش زمان تخمیر (از ۸-۱۲ و ۱۲-۱۶ h)، از یک سو به دلیل تشکیل کمپلکس‌های اسیدی نامحلول اسید فیتیک و غیر فعال شدن آنزیم فیتاز در اثر تجمع با کلسیم و فسفات معدنی آزاد شده از سوی دیگر، میزان اسید فیتیک تقریباً ثابت می‌ماند [۲۲].



شکل (۱) میزان اسید فیتیک نمونه شاهد و نمونه‌های تخمیر شده در زمان‌های ۰، ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ h.
Fig 1. Phytic acid content of control sample and fermented samples in times of 4, 8, 12 and 16 h.

مخمر در دمای 30°C ، به مدت ۸ h، بر میزان اسید فیتیک و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سبوس گندم در سال ۲۰۱۴، توسط مجذوبی و همکاران، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در اندازه ذرات 280μ ، میزان اسید فیتیک نمونه شاهد ($5010 \text{ mg}/100\text{g}$)، با استفاده از فرایند تخمیر ۳۵/۹٪ کاهش یافت و به ($3210 \text{ mg}/100\text{g}$) رسید [۲۳].

در سال ۲۰۰۸، دِفیتینیزاسیون^۱ سبوس گندم به وسیله تخمیر در زمان‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ h، مورد مطالعه قرار گرفت. براساس نتایج این مطالعه، با افزایش زمان تخمیر کاهش قابل توجهی در مقدار اسید فیتیک سبوس گندم مشاهده شد [۲۱].

اثر اندازه ذرات، فرایند هیدروترمال و تخمیر (استفاده از

می‌شود. اندازه‌گیری اسید فیتیک نمونه‌های فراوری‌شده نشان داد، بیشترین کاهش در میزان اسید فیتیک در زمان به کارگیری فرایندهای اتوکلاو و مایکروویو مشاهده می‌شود. در واقع به دلیل اینکه اسید فیتیک نسبت به حرارت، ترکیب نسبتاً پایداری است و فرایندهای حرارتی نظیر مایکروویو و اتوکلاو به طور مؤثری موجب تخریب آن می‌شوند. مقدار اسید فیتیک نمونه‌های نان، توسط این فرایندها از $566/5 \text{ mg}/100\text{g}$ به ترتیب به $454/8 \text{ mg}/100\text{g}$ و $461 \text{ mg}/100\text{g}$ کاهش یافت که به ترتیب موجب $19/71$ و $11/6$ ٪ کاهش در میزان اسید فیتیک نمونه‌های نان شدند. این تغییر نشان‌دهنده‌ی نقش قابل توجه این فرایندها در کاهش میزان اسید فیتیک است [۲۵].

در سال ۲۰۱۲، میزان اسید فیتیک، سیانید هیدروژن و اگزالات دانه‌های خام و خیس‌انده شده *Mucuna pruriens* اندازه‌گیری شد. نتایج این مطالعه کاهش وابسته به زمان این ترکیبات را تحت فرایند مایکروویو نشان داد. با افزایش زمان، میزان این فاکتورها به طور معنی‌داری کاهش یافت [۲۶].

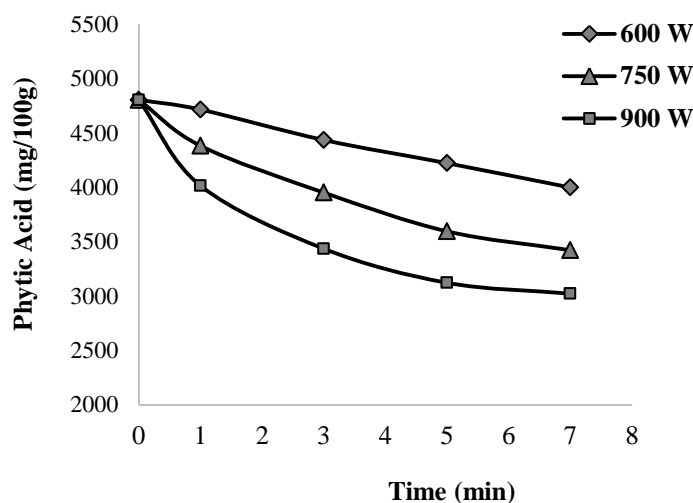
همچنین مطالعات نشان داده‌است که فرایند مایکروویو در کاهش سطح اسید فیتیک مؤثر است، در واقع رادیکال‌های آزاد موجب می‌شوند تا اسید فیتیک به عنوان آنتی‌اکسیدان در حضور رادیکال‌های آزاد تخریب شود و مانع اکسیدشدن سایر ترکیبات گردد، زیرا این ترکیب، فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی دارد [۲۷].

ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و حسی سبوس برنج برشته شده با مایکروویو در سال ۲۰۱۲، توسط گارسیا و همکاران، مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس این مطالعه مشخص گردید فاکتورهای ضدتغذیه‌ای موجود در سبوس برنج نظیر بازدارنده تریپسین و اسید فیتیک به وسیله حرارت غیرفعال می‌شوند و کمپلکس‌های نامحلول تشکیل می‌دهند، این امر موجب محتوای اسید فیتیک کمتر در سبوس برشته شده نسبت به سبوس خام می‌شود [۲۸].

۲.۲.۳. اثر امواج مایکروویو بر کاهش میزان اسید فیتیک

در این پژوهش، اثر فرایند مایکروویو بر میزان اسید فیتیک، در توان‌های مختلف ۶۰۰، ۷۵۰ و ۹۰۰ W و در زمان‌های ۱، ۳، ۵ و ۷ min مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج اندازه‌گیری اسید فیتیک، مشخص گردید این فرایند تأثیر قابل توجهی بر کاهش میزان اسید فیتیک دارد. با توجه به اینکه اسید فیتیک ترکیبی نسبتاً پایدار به حرارت است، جهت تجزیه‌ی آن به دمای بالا نیاز است. همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود در زمان ثابت با افزایش توان از ۶۰۰ به ۷۵۰ و ۹۰۰ W، به دلیل زیاد شدن سرعت افزایش دما، میزان اسید فیتیک به میزان بیشتری کاهش یافته‌است. همچنین در توان ثابت با افزایش زمان به دلیل افزایش دما، میزان اسید فیتیک کاهش می‌یابد و بیشترین کاهش معنی‌دار در توان ۹۰۰ W و زمان ۵ min مشاهده شد. علت این کاهش، بیشتر بودن حرارت در این شرایط است، اما به نظر می‌رسد دلیل مهم‌تر اثر مایکروویو در کاهش سطح اسید فیتیک، وجود خاصیت آنتی‌اکسیدانی در اسید فیتیک است. در زمان استفاده از مایکروویو، اسید فیتیک به دلیل داشتن خاصیت آنتی‌اکسیدانی، رادیکال‌های آزاد را کاهش می‌دهد، در نتیجه ساختار آن شکسته شده و تجزیه می‌گردد. بنابراین در زمان به کارگیری فرایند مایکروویو، دو عامل حرارت و اثر آنتی‌اکسیدانی اسید فیتیک، موجب کاهش میزان این ترکیب می‌شوند. مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۶، کاهش میزان اسید فیتیک دانه‌های *Cicer arietinum* را تحت تأثیر فرایند مایکروویو نشان داد [۲۴].

دیمیر و الگان، در سال ۲۰۱۴، اثر چهار فرایند اتوکلاو، مایکروویو، اشعه مادون قرمز و اشعه فرابنفش را بر سبوس آرد کامل گندم جهت بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای نان کامل گندم مورد بررسی قرار دادند. براساس نتایج این مطالعه مشخص گردید کاهش معنی‌داری در میزان اسید فیتیک نان‌های تهیه شده با آرد حاوی سبوس فراوری‌شده، ایجاد



شکل (۲) میزان اسید فیتیک نمونه‌های فراوری شده با مایکروویو.
Fig 2. Phytic acid content of processed by microwave samples.

تجزیه تمام محتوای اسید فیتیک موجود در سبوس نیستند و جهت تجزیه اسید فیتیک محبوس در ساختار کمپلکس‌ها، نیاز به فرایندهایی است که بتوانند از طریقی دیگر اسید فیتیک را تجزیه کنند و مقدار آن را کاهش دهند. فرایند مایکروویو می‌تواند مکمل مناسبی جهت تجزیه بیشتر اسید فیتیک نمونه‌های سبوس تخمیر شده باشد و به بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای سبوس کمک کند. در این فرایند ترکیبی، به دلیل وجود آب و مکانیسم چرخش دو قطبی، انتقال حرارت با استفاده از امواج مایکروویو بهتر صورت گرفته و در زمان کمتر نسبت به فرایند تخمیر به تنهایی، میزان بیشتری از اسید فیتیک تجزیه خواهد شد. علاوه بر این به دلیل کاهش رطوبت سبوس تخمیر شده، این فرایند می‌تواند موجب خشک شدن نمونه‌های تخمیر شده سبوس شود و شرایط نگهداری نمونه‌های سبوس را بهبود دهد. همانطور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود در زمان تخمیر (۴ h) بین میزان اسید فیتیک نمونه‌های مایکروویو شده در زمان ۱، ۳ و ۵ min اختلاف معنی‌دار وجود دارد اما بین میزان اسید فیتیک این نمونه‌ها در زمان‌های ۵ و ۷ min مایکروویو اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد، زیرا بعد از تخمیر ۴ h هنوز مقداری اسید فیتیک تجزیه نشده وجود دارد که با

۳.۲.۳. اثر فرایند ترکیبی تخمیر (۸ و ۴ h) و

مایکروویو (توان ۹۰۰ W) بر کاهش اسید فیتیک

در این مطالعه مشخص گردید، فرایند تخمیر بعد از ۸ h، بیشترین کاهش مؤثر را در میزان اسید فیتیک ایجاد می‌کند و استفاده از توان‌های مختلف مایکروویو در زمان‌های مختلف نشان داد بیشترین کاهش در میزان اسید فیتیک در توان ۹۰۰ W و زمان ۷ min ایجاد می‌شود. جهت بررسی اثر ترکیب فرایندهای تخمیر و مایکروویو در کاهش اسید فیتیک، شرایط مناسب جهت کاهش اسید فیتیک به وسیله این دو فرایند با یکدیگر تلفیق شد و به منظور بررسی دقیق‌تر، علاوه بر زمان ۸ h تخمیر، زمان ۴ h و در مورد فرایند مایکروویو، زمان‌های ۱ و ۳ و ۵ min علاوه بر زمان ۷ min، مورد بررسی قرار گرفتند. همانطور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، استفاده از فرایند ترکیبی تخمیر و مایکروویو می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کاهش اسید فیتیک داشته باشد و همچنین زمان فرایند تخمیر را کاهش دهد. علت این کاهش، می‌تواند به دلیل کاهش اسید فیتیک در فرایند تخمیر و ادامه روند کاهش آن توسط فرایند مایکروویو به عنوان فرایند تکمیلی باشد. در واقع آنزیم فیتاز مخمر و آنزیم‌های فیتاز موجود در سبوس به تنهایی قادر به

فرایند تکمیلی مایکروویو تجزیه می‌شوند اما در زمان تخمیر ۸ h به دلیل کاهش قابل توجه اسید فیتیک، مایکروویو تا زمان ۳ min اثر معنی‌داری بر میزان اسید فیتیک ندارد، اما بعد از ۳ min میزان اسید فیتیک را کاهش می‌دهد، هرچند این اثر کاهشی به میزان اثر آن بر نمونه‌های تخمیر شده به مدت ۴ h نیست، زیرا قسمت اعظم اسید فیتیک در مدت ۸ h تخمیر تجزیه شده است. همچنین همانطور که در جدول (۲) قابل مشاهده است در زمان به کارگیری توان W ۹۰۰ مایکروویو و زمان تخمیر ۴ و ۸ h، با افزایش زمان

فرایند تکمیلی مایکروویو تجزیه می‌شوند اما در زمان تخمیر ۸ h به دلیل کاهش قابل توجه اسید فیتیک، مایکروویو تا زمان ۳ min اثر معنی‌داری بر میزان اسید فیتیک ندارد، اما بعد از ۳ min میزان اسید فیتیک را کاهش می‌دهد، هرچند این اثر کاهشی به میزان اثر آن بر نمونه‌های تخمیر شده به مدت ۴ h نیست، زیرا قسمت اعظم اسید فیتیک در مدت ۸ h تخمیر تجزیه شده است. همچنین همانطور که در جدول (۲) قابل مشاهده است در زمان به کارگیری توان W ۹۰۰ مایکروویو و زمان تخمیر ۴ و ۸ h، با افزایش زمان

جدول (۲) محتوای اسید فیتیک سبوس فراوری شده با فرایند ترکیبی تخمیر و مایکروویو

Table 2. Phytic acid content of processed bran with combined process of fermentation and microwave

میزان اسید فیتیک (گرم / ۱۰۰ میلی گرم)				نمونه
Phytic acid content (g/ 100mg)				Sample
4805.67±82.05				شاهد
				Control
توان (۹۰۰ وات)				زمان تخمیر (ساعت)
Power (900 W)				
زمان مایکروویو (دقیقه)				
Microwave time (min)				تخمیر Fermentation
۷	۵	۳	۱	
2391.18±98.77 ^C	2502.47±13.62 ^C	2837.63±12.54 ^b	3214.31±36.34 ^a	۴
2205.94±52.75 ^C	2237.90±57.47 ^b	2461.64±25.89 ^a	2583.24±43.71 ^a	۸

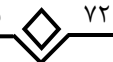
افزایش زمان تخمیر، اثر معنی‌داری بر افزایش میزان فیبر کل ندارد ($P > 0.05$)، به دلیل اینکه میزان فیبر کل، از مجموع فیبرهای محلول و نامحلول به دست می‌آید و در طی فرایند تخمیر فیبرهای نامحلول به محلول تبدیل می‌شوند و در نتیجه فیبر کل ثابت خواهد ماند. اما میزان فیبر محلول نمونه‌های تخمیر شده افزایش و فیبر نامحلول کاهش یافت. در واقع طی فرایند تخمیر به دلیل تولید اسید و افزایش حلالیت فیبرها، میزان فیبرهای محلول افزایش می‌یابد. نتایج این مطالعه با نتایج گزارش شده توسط مجذوبی و همکاران (۲۰۱۴)، که اثر فرایند تخمیر را بر میزان فیبرهای محلول و نامحلول سبوس گندم مورد مطالعه قرار دادند، مطابقت دارد [۲۳].

۳.۳. محتوای فیبر رژیمی محلول و نامحلول

در این مطالعه میزان فیبر رژیمی محلول و نامحلول در سبوس، با استفاده از فرایندهای تخمیر، مایکروویو و فرایند ترکیبی تخمیر - مایکروویو جهت بررسی اثر این فرایندها بر فیبرهای رژیمی مورد بررسی قرار گرفت.

۱.۳.۳. میزان تغییر محتوای فیبر رژیمی محلول و نامحلول با استفاده از فرایند تخمیر

سبوس گندم به عنوان یک منبع ارزان قیمت و غنی از فیبر (۵۲ - ۳۶٪) شناخته شده است [۲۹]. در این مطالعه اثر زمان تخمیر بر میزان فیبر محلول، فیبر نامحلول و فیبر کل مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس داده‌های مندرج در جدول (۳)



نتایج نشان داد که میزان فیبرهای محلول نمونه‌های تخمیر شده بیش از ۱۰٪ است که می‌تواند اثر مفید بر سلامتی داشته باشد، اما این نسبت در نمونه شاهد کمتر از ۱۰٪ است. [۳۰]. بر اساس مطالعه لی و همکاران (۲۰۱۸)، لازم است محتوای فیبر رژیمی محلول سیوس بیش از ۱۰٪ باشد، در غیر اینصورت تنها به عنوان ترکیب کننده کاربرد خواهد داشت.

جدول (۳) میزان فیبر کل، فیبر محلول و فیبر نامحلول نمونه‌های شاهد و تخمیر شده

Table 3. Total fiber, soluble fiber and insoluble fiber content of control and fermented samples

فیبر نامحلول (%) Insoluble fiber	فیبر محلول (%) Soluble fiber	فیبر کل (%) Total fiber	نمونه Samples
44.69±0.93 ^a	3.63±0.21 ^a	48.32±0.98 ^a	شاهد Control
43.18±0.05 ^a	6.45±0.09 ^b	49.63±0.24 ^a	4 تخمیر در زمان‌های مختلف
40.21±0.73 ^b	8.83±0.34 ^b	49.04±0.97 ^a	8 (ساعت)
39.63±0.54 ^b	9.30±0.33 ^{cd}	48.93±0.84 ^a	12 Fermentation in different times (h)

مایکروویو و نامحلول شدن بخشی از فیبرهای محلول است. نتایج حاصل با نتایج مطالعه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی سیوس برنج برشته شده در مایکروویو مطابقت دارد. براساس این مطالعه نیز با افزایش زمان فرایند مایکروویو میزان فیبر محلول کاهش و فیبر نامحلول افزایش یافت.

۲.۳.۳. میزان فیبر رژیمی محلول و نامحلول تحت امواج مایکروویو

همانطور که در جدول (۴) نشان داده شده است، با اعمال مایکروویو میزان فیبرهای نامحلول افزایش یافته، به طوری که در زمان ۷ min بیشترین میزان فیبر نامحلول به دست آمده است، علت این اثر کاهش میزان آب در اثر حرارت

جدول (۴) میزان فیبر کل، فیبر محلول و فیبر نامحلول نمونه‌های شاهد و فراوری شده با مایکروویو

Table 4. Total fiber, soluble fiber and insoluble fiber content of control and processed by microwave samples

فیبر نامحلول (%) Insoluble fiber (%)	فیبر محلول (%) Soluble fiber	فیبر کل (%) Total fiber	نمونه Samples
44.69±0.93 ^a	3.63±0.21 ^a	48.32±0.98 ^a	شاهد Control
45.73±0.68 ^a	2.64±0.24 ^b	48.37±0.44 ^a	1 مایکروویو در زمان‌های مختلف
47.49 ± 0.33 ^b	2.08 ± 0.11 ^c	49.57 ± 0.19 ^a	3 (دقیقه) - توان ۹۰۰ وات
47.54 ± 0.08 ^b	1.59 ± 0.16 ^c	49.13 ± 0.34 ^a	5
47.66 ± 0.10 ^b	1.06 ± 0.23 ^d	48.72 ± 0.77 ^a	7 Microwave in different times (min) Power 900 W

فرایند حرارتی نسبت داده شد [۲۸].

در مطالعه انجام شده در سال ۲۰۱۲ توسط گارسیا و همکاران نیز مشاهده شد میزان فیبر رژیمی نامحلول سیوس برنج برشته شده بیشتر از سیوس خام است. علت افزایش فیبر نامحلول در فرایند برشته کردن به تشکیل کمپلکس‌های نامحلول در اثر کاهش آب ایجاد شده در اثر

۳.۳.۳. میزان فیبر رژیمی محلول و نامحلول تحت فرایند ترکیبی تخمیر - مایکروویو

همانطور که در جدول (۵) نشان داده شده است، در زمان

محلول بیشتری تولید شده است، فرایند مایکروویو اثر کمتری بر میزان فیبر محلول می‌گذارد. بطور کلی در هر دو زمان تخمیر ۴ و ۸ h، اثر مایکروویو در افزایش فیبر نامحلول چندان قابل توجه نیست که موجب عدم استفاده از این فرایند به عنوان مکمل فرایند تخمیر شود، زیرا این فرایند اثر قابل توجهی در کاهش میزان اسید فیتیک و کاهش زمان تخمیر دارد که موجب پوشاندن اثر نامطلوب آن خواهد شد.

استفاده از دو فرایند تخمیر و مایکروویو، میزان فیبر کل تغییری نمی‌کند. اما تغییر میزان فیبر محلول بیشتر تحت تأثیر فرایند تخمیر است، به گونه‌ای که در زمان تخمیر ۴ h، به دلیل اینکه هنوز مقدار فیبر محلول افزایش زیادی نیافته، فرایند مایکروویو می‌تواند به دلیل تبخیر سریع آب سبوس تخمیر شده، موجب کاهش میزان فیبر محلول و افزایش فیبر نامحلول شود، اما در زمان تخمیر ۸ h، میزان فیبر محلول به میزان کمتری کاهش می‌یابد و به دلیل اینکه میزان فیبر

جدول (۵) میزان فیبر کل، فیبر محلول و فیبر نامحلول نمونه‌های شاهد و فرآوری شده با فرایند ترکیبی تخمیر و مایکروویو

Table 5. Total fiber, soluble fiber and insoluble fiber content of control and processed with a combined process of fermentation and microwave

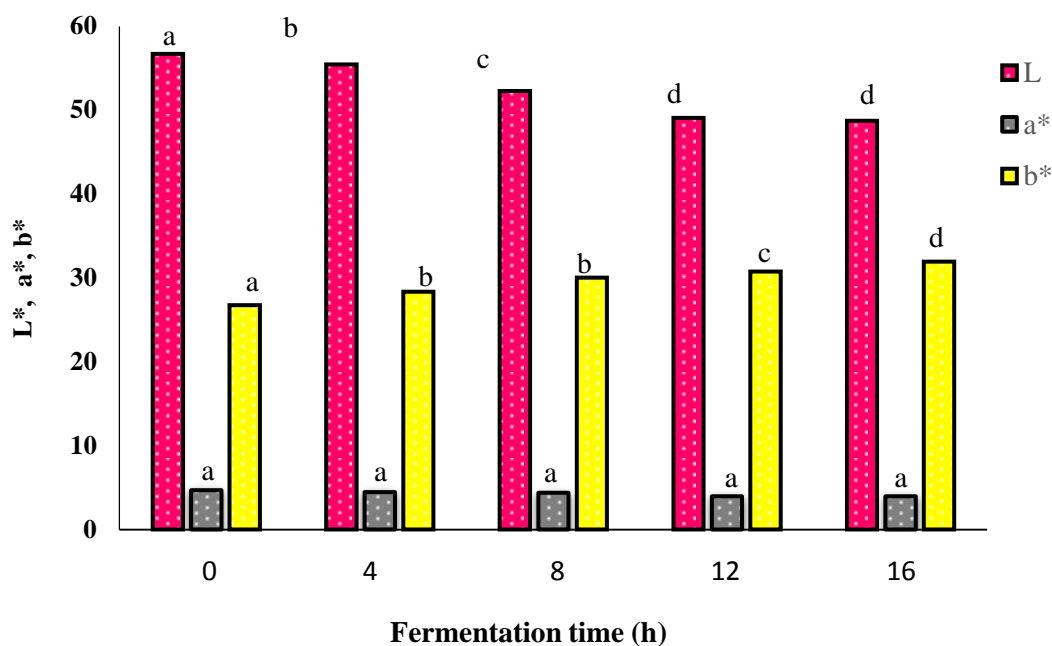
نمونه Sample					محتوای فیبر Content fiber
تخمیر ۸ ساعت مایکروویو (توان ۹۰۰ وات، زمان ۱ تا ۷ دقیقه)		تخمیر ۴ ساعت مایکروویو (توان ۹۰۰ وات، زمان ۱ تا ۷ دقیقه)		شاهد Control	
48.93 ± 0.26 ^a	1	48.73 ± 0.05 ^a	1	48.32 ± 0.98 ^a	فیبر کل (%) Total fiber
49.14 ± 0.22 ^a	3	48.39 ± 0.40 ^a	3		
48.47 ± 0.42 ^a	5	49.12 ± 0.35 ^a	5		
49.16 ± 0.08 ^a	7	48.96 ± 0.16 ^a	7		
7.91 ± 0.15 ^b	1	5.59 ± 0.06 ^b	1	3.63 ± 0.21 ^a	فیبر محلول (%) Soluble fiber
7.68 ± 0.10 ^b	3	4.98 ± 0.25 ^c	3		
6.68 ± 0.08 ^c	5	3.87 ± 0.13 ^a	5		
6.46 ± 0.33 ^c	7	3.75 ± 0.23 ^a	7		
41.01 ± 0.22 ^b	1	43.13 ± 0.12 ^b	1	44.69 ± 0.93 ^a	فیبر نامحلول (%) Insoluble fiber
41.45 ± 0.32 ^{bc}	3	43.41 ± 0.21 ^c	3		
41.46 ± 0.50 ^{bc}	5	45.03 ± 0.07 ^a	5		
42.70 ± 0.41 ^c	7	45.21 ± 0.14 ^a	7		

تغییر معنی‌داری نشان نداد، اما میزان فاکتور زردی - آبی (^{*}b)، افزایش یافت. نتایج بدست آمده با مطالعه مجذوبی و همکاران در سال ۲۰۱۴، که اثر فرایندهای هیدروترومال و تخمیر بر رنگ نمونه‌های سبوس را مورد ارزیابی قرار دادند، مطابقت دارد [۲۳].

۴.۳. رنگ

۴.۳.۱. تغییرات رنگ در نمونه‌های تخمیر شده

همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، در نمونه‌های تخمیر شده، روشنایی (^{*}L)، نسبت به نمونه خام سبوس، کاهش یافت و نمونه‌ها تیره‌تر از نمونه شاهد بودند، همچنین در نمونه‌های تخمیر شده فاکتور قرمزی - سبزی (^{*}a)،



شکل (۳) پارامترهای رنگ (L*, a* و b*) در نمونه‌های شاهد و تخمیرشده.
 Fig 3. Color parameters (L*, a* and b*) in control and fermented samples.

فرایند، به دلیل از دست دادن آب، میزان روشنایی (L*)، به طور قابل توجهی کاهش یافت، همچنین فاکتور زردی - آبی (b*)، کاهش اما فاکتور قرمزی - سبزی (a*)، افزایش یافت.

۲.۴.۳. رنگ نمونه‌های سیوس تحت امواج مایکروویو همانطور که در جدول (۶) مشاهده می‌شود در هر یک از توان‌های به کار گرفته شده‌ی مایکروویو، با افزایش زمان

جدول (۶) پارامترهای رنگ (L*, a* و b*) در نمونه‌های شاهد و فراوری شده با مایکروویو

Table 6. Color parameters (L*, a* and b) in control and processed by microwave samples

مایکروویو (۹۰۰ وات) Microwave (900 W)	مایکروویو (۷۵۰ وات) Microwave (750 W)	مایکروویو (۶۰۰ وات) Microwave (600 W)	زمان (دقیقه) Time (min)	نمونه شاهد Control sample	فاکتور Factor
55.24 ± 0.60 ^{Bb}	55.64 ± 0.30 ^{Bb}	56.61 ± 0.25 ^{*Aab}	1	56.71 ± 0.22 ^{Aa}	L*
54.37 ± 0.18 ^{Cc}	54.54 ± 0.14 ^{Cc}	55.58 ± 0.12 ^{Bb}	3		
52.93 ± 0.23 ^{Dc}	53.26 ± 0.15 ^{Dbc}	53.93 ± 0.68 ^{cb}	5		
50.41 ± 0.29 ^{Ed}	51.54 ± 0.27 ^{Ec}	52.67 ± 0.17 ^{Db}	7		
5.07 ± 0.03 ^{ABc}	4.88 ± 0.05 ^{Ab}	4.78 ± 0.05 ^{Aab}	1	4.69 ± 0.11 ^{Aa}	a*
5.33 ± 0.10 ^{Bcb}	5.23 ± 0.13 ^{Bb}	5.03 ± 0.14 ^{Bb}	3		
5.60 ± 0.19 ^{cb}	5.54 ± 0.14 ^{cb}	5.30 ± 0.07 ^{Cb}	5		
5.90 ± 0.07 ^{Dc}	5.67 ± 0.04 ^{Cbc}	5.46 ± 0.11 ^{cb}	7		
26.21 ± 0.11 ^{Bb}	26.34 ± 0.13 ^{Aab}	26.51 ± 0.24 ^{Aab}	1	26.73 ± 0.21 ^{Aa}	b*
25.95 ± 0.06 ^{B^{cd}}	26.12 ± 0.06 ^{Abc}	26.32 ± 0.06 ^{Ab}	3		
25.77 ± 0.17 ^{cd}	25.80 ± 0.04 ^{Abc}	26.14 ± 0.04 ^{Ab}	5		
25.16 ± 0.06 ^{Db}	25.37 ± 0.22 ^{Ab}	25.82 ± 0.56 ^{Aab}	7		

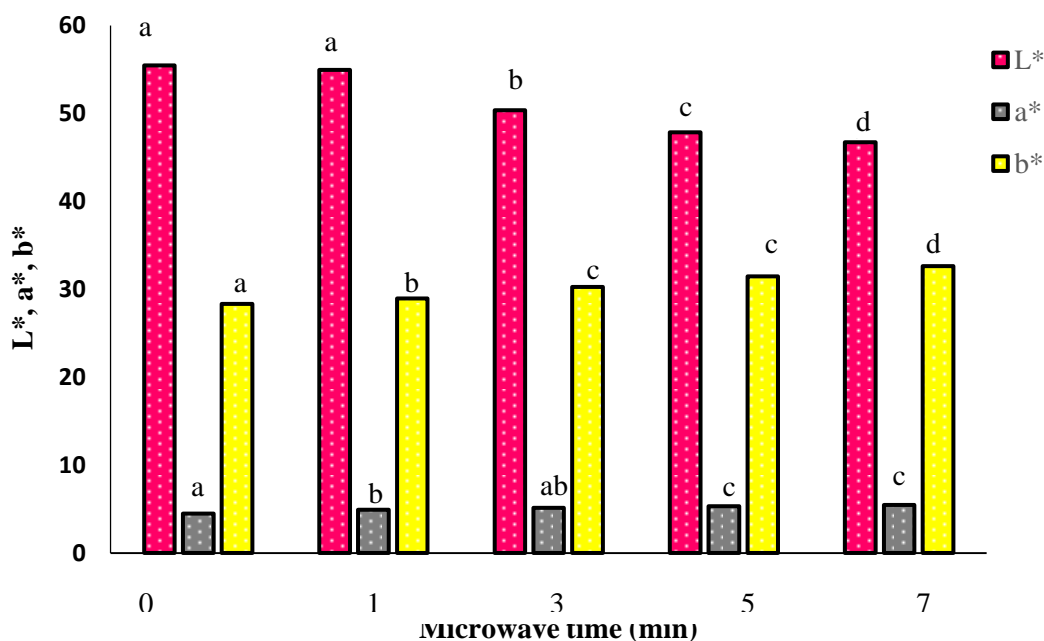
* حروف بزرگ متفاوت در هر ستون و حروف کوچک متفاوت در هر سطر، تفاوت معنی دار بین نمونه‌ها را نشان می‌دهد (p < 0.05)

* Different capital letters in each column and small letters in each row indicate the significant difference between the samples (p < 0.05)

در این آزمون، رنگ نمونه‌هایی که ابتدا به مدت ۴ h تخمیر شده و سپس تحت فرایند مایکروویو با توان ۹۰۰ W (زمان‌های ۱، ۳، ۵ و ۷ min)، قرار گرفتند، اندازه‌گیری شد. براساس نتایج این آزمون مشخص گردید که در این نمونه‌ها نیز با افزایش زمان فرایند مایکروویو به دلیل از دست دادن آب، میزان روشنایی (L^*)، به طور قابل توجهی کاهش یافت، اما فاکتور زردی - آبی (b^*)، و فاکتور قرمزی - سبزی (a^*) روند افزایشی نشان دادند.

در زمان به کارگیری این فرایند، در زمان‌های یکسان نیز با افزایش توان این تغییرات قابل مشاهده هستند، اما به نظر می‌رسد اثر زمان نسبت به توان بیشتر است. نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه انجام شده توسط کائور و همکاران در سال ۲۰۱۲، که کاهش ترکیبات ضدتغذیه‌ای را با استفاده از فرایند مایکروویو مورد بررسی قرار دادند، مطابقت داشت [۱۷].

۳.۴.۳. رنگ نمونه‌های سبوس تحت فرایند ترکیبی تخمیر (۴ h) و مایکروویو (توان ۹۰۰ W)



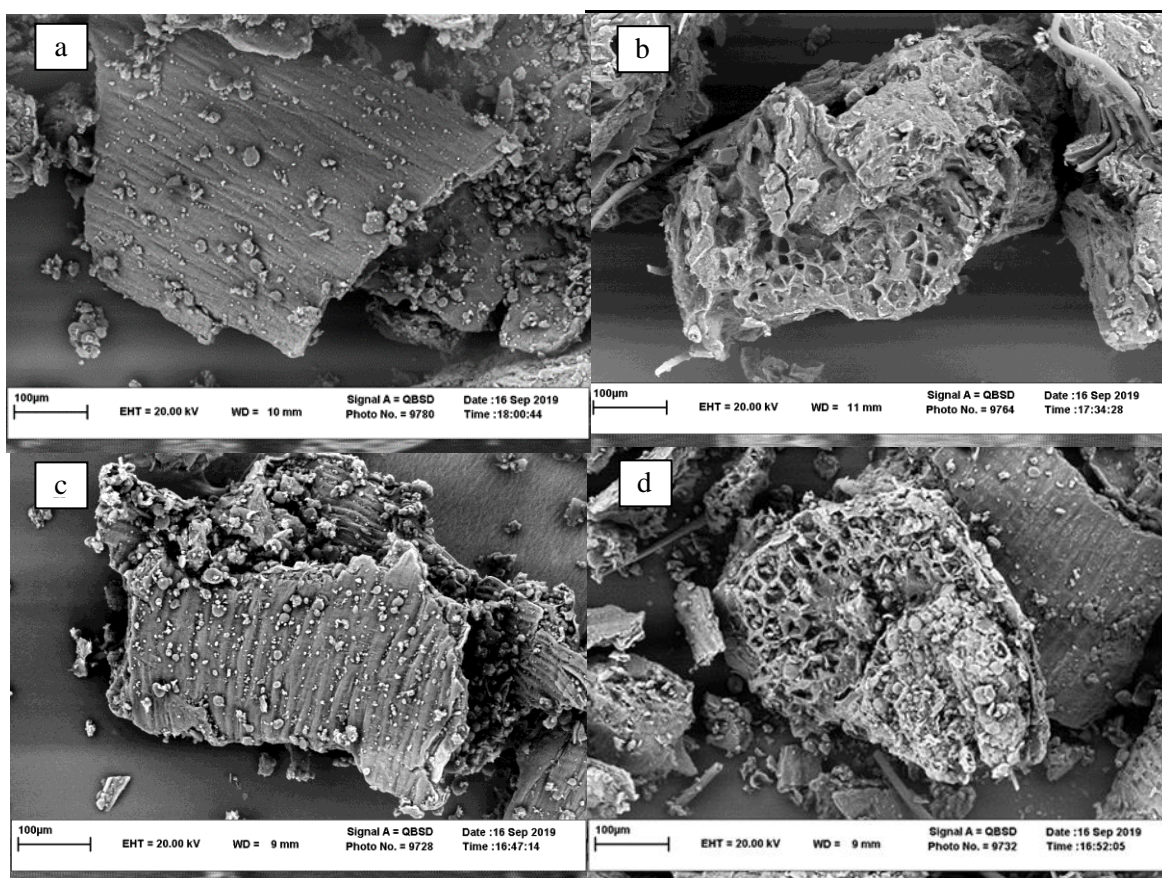
شکل (۴) پارامترهای رنگ (L^* ، a^* و b^*) در نمونه‌های تحت فرایند ترکیبی تخمیر (۴ h) و مایکروویو (توان ۹۰۰ W).
Fig 4. Color parameters (L^* , a^* and b^*) in the samples under the combined process of fermentation (4 h) and microwave (power 900 W).

۵.۳. بررسی ریزساختار سبوس گندم با استفاده از SEM
 در این مطالعه، جهت بررسی اثر فرایندهای تخمیر، مایکروویو و فرایند ترکیبی تخمیر - مایکروویو بر ویژگی‌های سطحی سبوس، از تصویربرداری با SEM استفاده شد. بر اساس تصاویر به دست آمده مشخص گردید سبوس خام دارای ساختار فشرده و متراکم و سطح صاف با لبه‌های تیز است (شکل ۵-ا). در نتیجه این ساختار، موجب آسیب دیدن

ساختار خمیر در زمان استفاده از آن خواهد شد و ظرفیت نگهداری گاز خمیر را کاهش خواهد داد. اما سبوس تخمیر شده به دلیل تجزیه مؤثر فیبرهای سبوس توسط فرایند تخمیر، سطح متخلخل و ناهموار نشان داد (شکل ۵-ب). در نتیجه به دلیل تخلخل ایجاد شده در سطح سبوس، ویژگی‌های هیدراتاسیون و جذب آب مخلوط‌های حاوی سبوس تخمیر شده بهبود خواهد یافت. علاوه بر این، عدم وجود لبه‌های تیز، اثرات منفی افزودن سبوس (آسیب دیدن ساختار

می‌گیرد، موجب می‌شود منافذ ایجاد شده در زمان فرایند تخمیر بزرگتر و گسترده تر گردند (شکل ۵-d). افزایش تخلخل در فرایند ترکیبی می‌تواند به دلیل تبخیر ناگهانی آب موجود در منافذ ایجاد شده در زمان تخمیر باشد. از تصاویر به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت استفاده ترکیبی فرایندهای تخمیر و مایکروویو می‌تواند ظرفیت جذب آب و نگهداری گاز را در فرآورده‌های حاوی سبوس، بهبود بخشد و مانع از اثرات نامطلوب سبوس خام بر ساختار خمیر شود.

خمیر و کاهش ظرفیت نگهداری گاز) را کاهش خواهد داد. نتایج تصویربرداری سبوس تخمیر شده، با نتایج مطالعه انجام شده در سال ۲۰۱۸، توسط لی و همکاران مطابقت داشت [۳۰]. با استفاده از فرایند مایکروویو، ساختار سبوس فشرده-تر شده و حالت چروکیده پیدا می‌کند (شکل ۵-c)، زیرا حرارت ایجاد شده در زمان فرایند موجب می‌شود پروتئین‌ها دناتوره شوند و ساختار سبوس حالت جمع‌شده پیدا کند، اما زمانی که سبوس تخمیر شده تحت تیمار مایکروویو قرار



شکل (۵) تصویر SEM نمونه‌های (a) سبوس خام (b) سبوس تخمیر شده (c) سبوس مایکروویو شده

(d) سبوس فراوری شده با فرایند ترکیبی تخمیر - مایکروویو.

Fig 5. SEM image of samples a) raw bran b) fermented bran c) microwaved bran d) Bran processed with a combined fermentation and microwave process.

نتایج آزمایش‌های اسید فیتیک، فیبر رژیمی محلول و نامحلول، تصویربرداری با SEM و رنگ و همچنین مقایسه فرایندهای مختلف از جمله تخمیر، مایکروویو و فرایند ترکیبی تخمیر و مایکروویو مشخص گردید که دو فرایند تخمیر و مایکروویو، می‌توانند به طور معنی‌داری موجب

۴. نتیجه‌گیری

این پژوهش، امکان استفاده از سبوس فراوری شده با هدف بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای و عملکردی را در فرآورده‌های نانوائی و سایر فرآورده‌های غذایی نشان می‌دهد. براساس

فرایندهای تخمیر و مایکروویو می‌توان میزان فیبرهای نامحلول را کاهش داد و از این طریق اثرات نامطلوب افزودن سبوس به فراورده‌های نانوائی کاهش می‌یابد. در استفاده ترکیبی این دو فرایند به دلیل اثرات سینرژیستی می‌توان علاوه بر اهداف اصلی، به هدف جانبی افزایش قابلیت نگهداری سبوس نیز دست یافت که به دلیل اثر فرایند مایکروویو در خشک کردن نمونه تخمیرشده است. بنابراین استفاده از روش فراوری سبوس با استفاده از فرایند تخمیر و مایکروویو، کاربرد این ترکیب سلامتی‌بخش را در صنعت غذا افزایش می‌دهد و امکان استفاده از آن را در فرمولاسیون مواد غذایی فراسودمند فراهم می‌نماید.

بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای و عملکردی سبوس گندم شوند. در صورت ترکیب این دو فرایند می‌توان به نتایج مطلوب‌تری دست یافت. به طوری که، میزان اسید فیتیک در هریک از فرایندهای تخمیر و مایکروویو به تنهایی به ترتیب ۳۷/۵ و ۳۱/۱٪ کاهش یافت، اما در زمان استفاده ترکیب این دو فرایند میزان اسید فیتیک به میزان ۴۷٪ کاهش نشان داد. همچنین با استفاده همزمان از این دو فرایند می‌توان زمان فرایند را جهت دستیابی به نتیجه یکسان به میزان ۵۰٪ کاهش داد. با توجه به اینکه فیبرهای نامحلول سبوس موجب آسیب به شبکه گلوتنی می‌شوند و قابلیت نگهداری گاز را در خمیر کاهش می‌دهند، با استفاده از

منابع

- [1] Katina, K., Salmenkallio-Marttila, M., Partanen, R., Forsell, P., & Autio, K. (2006). Effects of sour-dough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread. *LWT - Food Sci. Technol.*, 39, 479-491.
- [2] Mosharraf, L., Kadivar, M. & Shahedi, M. (2009). Effect of hydrothermally treated bran on physicochemical, rheological and microstructural characteristics of Sangak bread. *J. Cereal Sci.*, 49, 398-404.
- [3] Hemery, Y., Rouau X., Lullien-Pellerin V., Barron C. & Abecassis, J. (2007). Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. *J. Cereal Sci.*, 46, 327-347.
- [4] Arya, S.S. & Sonawane, S.K. (2016). Impact of fiber mixture on dough and chapatti quality using D-optimal response surface methodology. *J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci.*, 5(5), 424-433.
- [5] Nordlund, E., Katina, K., Aura, A.M. & Poutanen, K. (2013). Changes in bran structure by bioprocessing with enzymes and yeast modifies the in vitro digestibility and fermentability of bran protein and dietary fibre complex. *J. Cereal Sci.*, 58, 200-208.
- [6] Mosharraf, L. (2015). Effect of processing on the decrease in phytic acid and pesticide residue in wheat bran. *J. Agric. Eng. Res.*, 16(2), 71-82.
- [7] Sobota, A., Rzedzicki, Z., Zarzycki, P., & Kuzawińska, E. (2015). Application of common wheat bran for the industrial production of high-fibre pasta. *Int. J. Food Sci.*, 50(1), 111-119.
- [8] Lehtinen, O.P. (2012). Modifying Wheat Bran for Food Applications- Effect of Wet Milling and Enzymatic Treatment, Metropolia University of Applied Sciences. Helsinki, Finland. 1-54.
- [9] Salmenkallio-Marttila, M., Katina, K., & Autio, K. (2001). Effects of bran fermentation on quality and microstructure of high-fiber wheat bread. *Cereal Chem.*, 78, 429-435.
- [10] Messia, M. C., Reale, A., Maiuro, L., Candigliotta, T., Sorrentino, E., & Marconi, E. (2016). Effects of pre-fermented wheat bran on dough and bread characteristics. *J. Cereal Sci.*, 69, 138 - 144.
- [11] Banu, I., Stoenescu, G., Ionescu, V.S., & Aprodu, I. (2012). Effect of the addition of wheat bran stream on dough rheology and bread quality. *Ann. Univ. Dunarea Jos Galati Fascicle VI: Food Technol.*, 36(1), 39-52 .
- [12] Katina, K., Juvonen, R., Laitila, A., Flander, L., Nordlund, E., Kariluoto, S., Piironen, V., and Poutanen, K. (2012). Fermented wheat bran as a functional ingredient in baking. *Cereal Chem.*, 89, 126-134.
- [13] Coda, R., Kärki, I., Nordlund, E., Heiniö R.L, Poutanen, K., & Katina, K. (2014). Influence of particle size on bioprocess-induced changes on technological functionality of wheat bran. *Food Microbiol.*, 37, 69-77.
- [14] Gobbetti, M., Corsetti, A., & Rossi J. (1995). Interaction between lactic acid bacteria and yeasts in sour-dough using a Rheofermentometer. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 11, 625-30.
- [15] Schwarz, P.B., Kunerth, W.H., & Youngs, V. L. (1988). The distribution of lignin and other fiber components within hard red spring wheat bran. *Cereal Chem.*, 65(1), 59-64.
- [16] Anderson, N.E., & Ydesdale, F.M.C. (1980). An analysis of the dietary fiber, content of a standard wheat bran. *J. Food Sci.*, 45(2), 336- 340.
- [17] Kaur, S., Sharma, S., Dar B.N., & Singh, B. (2012). Optimization of process for reduction of an-

- tinutritional factors in edible cereal brans. *Food Sci. Technol. Int.*, 18(5), 445-454.
- [18] AACC International approved methods, (2000).
- [19] National Standard of Iran. (2013). Wheat - Wheat bran consumed for humans - Features and test methods, No. 17028. [In Persian]
- [20] Prosky, L., Asp, N.G., Scheweizer, T.F., DeVries, J.W., & Furda, I. (1988). Determination of insoluble and soluble, and total dietary fibre in foods and food products, Interlaboratory study. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 71, 1017-1023.
- [21] Servi, S., Ozkaya, H., & Colakoglu, A.S. (2008). Dephytinization of Wheat Bran by Fermentation with Bakers' Yeast, Incubation with Barley Malt Flour and Autoclaving at Different pH Levels. *J. Cereal Sci.*, 48, 471-476.
- [22] Plaami, S. (1997). Myoinositol phosphates, analysis, content in foods and effects in nutrition. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie.*, 30, 633-647.
- [23] Majzoobi, M., Pashangeh, S., Farahnaky, A., Eskandari M.H., & Jamalian, J. (2014). Effect of particle size reduction, hydrothermal and fermentation treatments on phytic acid content and some physicochemical properties of wheat bran. *J. Food Sci. Technol.*, 51(10), 2755-2761.
- [24] Alajaji, S.A., & El-Adawy, T.A. (2006). Nutritional composition of chick pea (*Cicer arietinum*) as affected by microwave cooking and other traditional cooking methods. *J Food Compost Anal.*, 19, 806-812.
- [25] Demir, M.K., & Elgün, A. (2014). Comparison of autoclave, microwave, IR and UV-C stabilization of whole wheat flour branny fractions upon the nutritional properties of whole wheat bread. *J. Food Sci. Technol.*, 51(1), 59- 66.
- [26] Kala, B., & Mohan, V. (2012). Effect of microwave treatment on the antinutritional factors of two accessions of velvet bean, *Mucuna pruriens* (L.) DC. var. utilis (Wall. ex Wight) Bak. Ex Burck. *Int. Food Res. J.*, 19(3), 961-969.
- [27] De Boland, A.R., Garner, G.B., & O'Bell, B.L. (1975). Identification and properties of phytate in cereal grains and oil seed product. *J. Agric. Food Chem.*, 23, 1186-1189.
- [28] Garcia, M.C., Benassi M.D.T., & Soares Junior, M. S. (2012). Physicochemical and sensory profile of rice bran roasted in microwave. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, 32(4), 754-761.
- [29] Zhu, K, Haung, S, Peng, W., Qian, H., & Zhou, H. (2010). Effect of ultrafine grinding on hydration and antioxidant properties of wheat bran dietary fiber. *Int. Food Res. J.*, 43, 943-948.
- [30] Li, L., Wang, Z., Li, L.M., Zheng, X.L., Ma, S., & Wang X.X. (2018). Effects of Fermented Wheat Bran on Flour, Dough, and Steamed Bread Characteristics. *J. Chem.*, 1597308.

Research Article
Effect of fermentation and microwave radiation processes on physicochemical properties of wheat bran

Zeinab Izadi¹, Mostafa Mazaheri Tehrani^{2*}, Fakhri Shahidi²

1. Ph.D. Student in Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2. Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

Wheat bran is a rich source of dietary fiber and for this reason, its application in the food industry has increased. However, the amount of phytic acid and its insoluble dietary fiber is high and can significantly reduce the nutritional and technological quality of food products. The aim of this study is to investigate the effect of fermentation process and microwave radiation on physicochemical properties of bran. The results showed that the amount of phytic acid decreased from 4805.67mg/100g to 2756.67mg/100g and 3023.33 mg/100g, respectively, but while combining these two processes, there was a significant decrease in the amount of phytic acid (2205.94 mg/100g). Amount of soluble in the control sample (3.63%) decreased during the microwave process (1.06%), while increased during the fermentation process (9.30%) as well as the combined fermentation and microwave process (6.46%). The results of measurement of L^* , a^* and b^* factors showed that the amount of L^* decreased from 56.71 to 50.41, 48.74 and 46.69 during microwave, fermentation and combined process, respectively. Factor a^* increased from 4.69 during the microwave process to 5.90 and to 5.46 during the combined process, but there was no significant change during the fermentation process. Factor b^* increased from 26.73 to 31.92 during fermentation and 32.63 during the combined process, but decreased to 25.16 during the microwave process. The images obtained from scanning microscopy showed the creation of surfaces with smooth edges in the fermentation process and also revealed the porosity on the surface of bran particles during the microwave process. Based on the results, microwave process has a potential to reduce the amount of phytic acid and furthermore, it causes the drying of fermented bran and increases its storage time accordingly. Therefore, simultaneous use of fermentation and microwave processes is recommended for bran processing and improving its physicochemical properties.

Keywords: Wheat bran; Phytic acid; Dietary fiber; Fermentation; Microwave

* Corresponding Author: mmtehrani@um.ac.ir