

## کاهش ترکیبات ضدتغذیه‌ای و اسیدهای چرب آزاد سبوس جو، جوی دو سر و برنج تیمار شده با امواج مایکروویو

مریم عزیزخانی<sup>۱\*</sup>، رمضان ابراهیم خاصی<sup>۱</sup>

۱- گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه تخصصی فناوری‌های نوین آمل، آمل، ایران  
\* نویسنده مسئول (m.azizkhani@ausmt.ac.ir)

### چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۷

### واژه‌های کلیدی

پایداری  
ذخیره سازی  
سبوس  
غلات  
مایکروویو

در حال حاضر سبوس غلات در کشور ما بدون فرآوری لازم جهت حذف ترکیبات ضدتغذیه‌ای عرضه می‌شود که می‌تواند بر سلامت مصرف کنندگان تأثیرات سوء داشته باشد. در این پژوهش، اثرات شرایط مختلف (قدرت و مدت زمان) تیمار با مایکروویو بر میزان رطوبت، ترکیبات ضدتغذیه‌ای (اسید فیتیک و اسید اگزالیک) و میزان اسیدهای چرب سبوس جو، جوی دو سر و برنج مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمار نمونه‌ها با مایکروویو با توان ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ کیلووات برای مدت زمان ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه انجام شد. مطلوب ترین تیمار جهت کاهش رطوبت برای سبوس جو، جوی دو سر و برنج ایرانی ۸ کیلووات برای ۱۲۰ ثانیه بوده است. طی تیمار در قدرت‌های ۸ و ۱۰ کیلووات مایکروویو در ۱۲۰ ثانیه، افت حدود ۵۰ درصد در محتوای فیتات و اگزالات مشاهده شد. تیمار در ۸ کیلووات به مدت ۱۲۰ ثانیه جهت کاهش فیتات و اگزالات در نمونه‌های سبوس به عنوان تیمار بهینه شناسایی گردید. در دوره نگهداری ۲۸ روزه در شرایط تسریع شده اختلاف آماری قابل ملاحظه‌ای بین میزان رطوبت و درصد اسیدهای چرب آزاد نمونه‌های تیمار شده با قدرت ۸ و ۱۰ کیلووات مشاهده نگردید. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تیمار با قدرت مایکروویو ۸ کیلووات به مدت ۱۲۰ ثانیه در سبوس جو و برنج و ۱۰ کیلووات به مدت ۱۲۰ ثانیه در سبوس جوی دوسر، مقدار رطوبت، فاکتورهای ضدتغذیه‌ای اسید فیتیک و اسید اگزالیک را به میزان قابل توجهی کاهش داد و نیز موجب کاهش میزان رطوبت، کاهش فعالیت لیپاز و تولید اسید چرب آزاد طی دوره نگهداری ۲۸ روزه در شرایط تسریع شده گردید.

### مقدمه

تأمین سلامتی و ایمنی بدن را برعهده دارند و سبوس غلات غنی از فیبرهای مفید رژیمی و ریز مغذی‌هاست. مصرف منظم غلات کامل می‌تواند به محافظت در برابر شماری از بیماری‌ها مانند بیماری‌های عروق کرونر قلبی، دیابت و چاقی کمک کرده و همچنین ریسک ابتلا به برخی سرطان‌ها را کاهش دهد. (Reynolds et al., 2019;

غلات، منابع مهم مواد مغذی مفید همانند پروتئین، فیبر، کربوهیدرات‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی هستند. فواید سلامتی بخش استفاده از غلات کامل، اساساً به فیبر نسبت داده شده است. تحقیقات جدید نشان می‌دهند که مجموعه کامل ویتامین‌ها، مواد معدنی و فیبر، مسئولیت

پاستوریزاسیون، آنزیم‌بری، انجمادزدایی، تعدیل بافت و پخت مواد غذایی استفاده شده است (B. Xu et al., 2013). در مقایسه با سایر روش‌های حرارتی، حرارت‌دهی با مایکروویو دارای کارایی بالاتر و اقتصادی‌تری بوده و زمان فرایند کوتاه‌تری دارد (Chandrasekaran, Ramanathan, & Basak, 2013). از حرارت‌دهی با مایکروویو برای غیرفعال‌سازی ترکیبات ضد تغذیه‌ای مانند فیتات واگرالات در سبوس (Garcia, Benassi, & Soares, 2021; Suhag et al., 2021), لیپاز و لیپوکسیژناز در بسیاری از محصولات غلات، مانند جوانه غلات (Boukid, Folloni, Ranieri, & Vittadini, 2018), دانه های ارزن (Yadav, Anand, Kaur, & Singh, 2012) و انواع سبوس (Liu, Zhang, Wang, & Hou, 2021; Patil, Kar, & Mohapatra, 2016; Ramezanzadeh, Rao, Prinyawiwatkul, Marshall, & Windhauser, 2000) استفاده شده است. اگرچه جداسازی، آنالیز ترکیبات، جنبه های ایمنی و استفاده بالقوه از مواد غذایی غنی از آلورون سبوس در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است، اطلاعات اندکی در خصوص روش‌های پایدارسازی سبوس غلات وجود دارد.

در این مطالعه، اثرات شرایط مختلف (قدرت و مدت زمان) تیمار با مایکروویو بر میزان رطوبت، ترکیبات ضدتغذیه‌ای (اسید فیتیک و اسید اگزالیک که مانع جذب عناصر ضروری چون کلسیم و آهن در بدن می گردند) و میزان ماندگاری سبوس جو، جوی دو سر و برنج که امروزه به عنوان اجزای غذایی فراسودمند و عملکردی معرفی شده‌اند مورد ارزیابی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### تهیه دانه‌های غلات مورد مطالعه

در این مطالعه دانه‌های جو (*Hordeum vulgare* L) واریته ایرانی نصرت، جوی دوسر (*Avena sativa*) و برنج (*Oryza sativa*) واریته ایرانی خزر (تحت اصلاح ژنتیکی قرار گرفته است) از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج، ایران) تهیه شد.

### تهیه سبوس

دانه‌های جو، جوی دو سر و برنج تمیز شده، برس زنی گردیده و سپس با استفاده از آسیاب آزمایشگاهی برای به

محصولات غلات سبوس‌دار نه تنها سالم هستند بلکه تاثیر قابل توجهی بر میزان سیری دارند و به فرد احساس سیری سریع و طولانی می‌دهند. محصولات غلات سبوس‌دار به دلیل داشتن مقادیر زیاد فیبر رژیمی برای این منظور بسیار مناسب هستند. این اجزا در جوانه و سبوس گندم، جو، جوی دو سر و برنج به وفور یافت می‌شوند (Wang, Hou, Kweon, & Lee, 2016). جایگزینی آرد سفید با درصدی از سبوس غلات روشی رایج برای افزایش محتوای فیتوشیمیایی محصولات برپایه غله است. با این وجود، ترکیب کردن سبوس فرایند نشده به آرد سفید منجر به کاهش کارایی فرایند و کیفیت محصول نهایی، به عنوان مثال حجم کمتر، پوسته تیره و بافت فشرده و چگال می‌گردد (Bagdi et al., 2016). نگرانی دیگر در مورد جایگزینی آرد سفید با سبوس فرایند نشده احتمال اکسیداسیون در اثر فعالیت لیپازی است (L. Liu et al., 2018). یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در تولید محصولات برپایه غله به حداقل رساندن این تأثیرات منفی و نیز بهبود ویژگی‌های حسی است.

لایه‌های داخلی سبوس مانند به ویژه آلورون غنی از اجزای فراسودمند و عملکردی بوده و عملکرد بهتری نسبت به سبوس کامل دارند. بنابراین، از سبوسی که حاوی بخش‌های غنی از آلورون باشد می توان برای تولید مواد غذایی ایمن و سالم و واجد مواد مغذی مشابه غلات کامل که رنگ، طعم و مزه بهتری نیز دارند استفاده کرد (Bagdi et al., 2016; Brouns, Hemery, Price, & Anson, 2012). با این حال، اجزای غنی از آلورون به دلیل هیدرولیز، تخریب و اکسیداسیون لیپیدهای آلورون و فساد میکروبی به سرعت دچار فساد می‌شوند (B. Xu et al., 2013; Y. Xu et al., 2019). از این رو، لازم است برای افزایش پایداری اجزای ارزشمند سبوس از طریق روش‌های مناسب جهت طولانی نمودن ماندگاری آنها بدون آسیب به ویژگی‌های تغذیه‌ای اقدام نمود.

در حرارت‌دهی با مایکروویو، که یک روش حرارت‌دهی دی الکتریک است، اجزای مواد غذایی انرژی مایکروویو را جذب و آن را تبدیل به حرارت می کنند، که عمدتاً از طریق مکانیسم‌های دو قطبی-دوقطبی و یونی رخ می‌دهد. در چند دهه گذشته، تیمار با مایکروویو به طور گسترده‌ای در فرایند مواد غذایی، به عنوان مثال در خشک کردن،

شد. در مرحله بعد، ۲۵ میلی لیتر از صاف شده در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد گرم و با پرمنگنات پتاسیم ۰/۰۵ مولار تیترا تا حصول رنگ صورتی کم‌رنگ با پایداری حدود ۱۰ ثانیه تیترا شد. مقدار اگزالات طبق معادله زیر محاسبه و بر اساس وزن خشک بیان شد:

اگزالات (میلی گرم در ۱۰۰ گرم) = حجم مصرفی پرمنگنات پتاسیم × ۱/۳۳

### اندازگیری فیتات

میزان فیتات مطابق روش ایراکلی و همکاران مورد ارزیابی قرار گرفت (Irakli, Lazaridou, & Biliaderis, 2021). ابتدا، ۱ گرم نمونه سبوس با ۵۰ میلی لیتر تری کلرواستیک اسید (TCA) ۳ درصد مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه روی شیکر تکان داده شد. سپس، سانتریفیوژ شده و ۱۰ میلی لیتر از مایع رویی با ۴ میلی لیتر  $FeCl_3$  (۲ میلی گرم یون فریک در یک میلی لیتر TCA) مخلوط و به مدت ۴۵ دقیقه جوشانده شد. پس از سانتریفیوژ مخلوط، رسوب آن با ۲۵-۲۰ میلی لیتر TCA (۳ درصد) شسته و ۱۰ دقیقه دیگر جوشانده شد. مرحله شستشو بار دیگر تکرار و رسوب با چند میلی لیتر آب و ۳ میلی لیتر  $NaOH$  (۱/۵ نرمال) مخلوط و سپس تا رسیدن به حجم ۳۰ میلی لیتر، آب اضافه شد. سوسپانسیون به مدت ۳۰ دقیقه جوشانده و صاف شد. رسوب حاصل با آب گرم شستشو و در ۴۰ میلی لیتر  $HNO_3$  داغ حل و به یک بالن ژوژه ۱۰۰ میلی لیتری منتقل و با آب مقطر به حجم رسانده شد. مقدار ۵ میلی لیتر از محلول به دست آمده به یک بالن ژوژه ۱۰۰ میلی لیتری حاوی ۷۰ میلی لیتر آب منتقل شد و ۲۰ میلی لیتر  $KSCN$  (۱/۵ نرمال) به آن اضافه و با آب مقطر به حجم رسانده شد. میزان جذب محلول نهایی در ۴۸۰ نانومتر قرائت شد. میزان آهن در فرم  $Fe(NO_3)_3$  از طریق منحنی استاندارد اندازه‌گیری شد و میزان فسفر فیتات از نتایج آهن با فرض نسبت مولکولی ۴ به ۶ آهن به فسفر محاسبه و نتایج بر اساس میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک بیان شد.

### آزمون پایداری در شرایط نگهداری تسریع شده

این آزمون مطابق روش Patil و همکاران (۲۰۰۰) در دمای ثابت ۴۵ درجه سانتیگراد در یک آون به مدت ۴ هفته انجام شد. ۵۰ گرم از سبوس تیمارشده و سبوس

دست آوردن آرد سفید، ذرات ریز سبوس و ذرات درشت سبوس آسیاب شد. سپس، این سه جزء با استفاده از مجموعه الک‌ها با مش‌های مختلف به ذرات درشت سبوس، ذرات ریز سبوس و آرد سفید تفکیک شد. ذرات درشت سبوس برای تیمار با مایکروویو و انجام آزمایشات مورد استفاده قرار گرفت.

### تیمار با مایکروویو

دستگاه مایکروویو (EMS 820 model, Electron Microscopy Sciences Co., UK) برای تیمار نمونه‌های سبوس به کار رفت. هر نمونه سبوس بر روی سینی دستگاه قرار گرفته و ضخامت لایه سبوس در حدود ۰/۳ سانتیمتر و به طور یکنواخت تنظیم گردید. تیمار نمونه‌ها با توان ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ کیلووات برای مدت زمان ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه انجام و بلافاصله پس از تیمار و خنک‌سازی، نمونه‌ها آسیاب شده و از الک با مش ۸۰ (قطر منافذ ۱۸۰ میکرومتر) عبور داده شد. همه نمونه‌ها در فریزر در دمای ۱۸- درجه سانتیگراد نگهداری شده و نمونه تیمار نشده به عنوان شاهد استفاده شد (J. Liu, Zhang, Wang, & Hou, 2021).

### اندازه‌گیری میزان رطوبت

میزان رطوبت نمونه‌های تیمار شده و نمونه‌های شاهد به روش ارائه شده توسط Bai و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از روش آون گذاری و مطابق رابطه زیر تعیین شد (Bai et al., 2021):

$$\text{میزان رطوبت} (\%) = [(W1 - W2) / W1] \times 100$$

که  $W1$  وزن اولیه نمونه (قبل از آون گذاری) و  $W2$  وزن نمونه بعد از آون گذاری است.

### ترکیبات ضدتغذیه‌ای

#### اندازگیری اگزالات

میزان اگزالات با استفاده از روش تیتراسیون به کار رفته توسط اوپینکا و همکاران تعیین شد (Oyeyinka & Afolayan, 2019). ابتدا ۱ گرم نمونه سبوس به ۷۵ میلی لیتر اسید سولفوریک ۳ مولار افزوده شده و به مدت ۱ ساعت روی دستگاه شیکر با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه قرار گرفت و سپس با اسفاده از کاغذ صافی معمولی صاف

۱۲۰ ثانیه) بر میزان رطوبت سبوس گندم بررسی و نشان داده شد که موثرترین تیمار برای کاهش رطوبت، توان مایکروویو ۱۰ کیلو وات به مدت ۱۲۰ ثانیه بود (L. Liu et al., 2018). نتایج مشابهی توسط پاتیل و همکاران (۲۰۱۶) اعلام شد که تمام تیمارهای مایکروویو تأثیر قابل توجهی بر میزان رطوبت نمونه های سبوس برنج داشتند. میزان رطوبت نهایی نمونه های سبوس بلافاصله پس از تیمار با مایکروویو کاهش می یابد و تیمار در ۶ کیلووات برای ۳۰۰ ثانیه کمترین میزان رطوبت (۱/۵۶ درصد) را به همراه داشت (Patil et al., 2016). از آنجا که مولکول های آب مولکول های قطبی هستند، انرژی مایکروویو را جذب کرده و با افزایش انرژی جنبشی از نمونه تبخیر می شوند (Abbaspour-Gilandeh, Kaveh, Fatemi, & Aziz, 2021). در مجموع، تیمارهای ۸ و ۱۰ کیلووات به مدت ۱۲۰ ثانیه، میزان رطوبت نمونه های سبوس را به ۲-۳ درصد کاهش می دهد که پائین تر از رطوبت لازم برای رشد میکروبی و فعالیت آنزیمی است.

کنترل در کیسه های فویل آلومینیومی بسته بندی شده و در آن قرار می گیرد. میزان رطوبت و محتوای اسیدهای چرب آزاد در فواصل زمانی ۱ هفته ای مورد سنجش قرار گرفت (Patil et al., 2016).

### آنالیز آماری

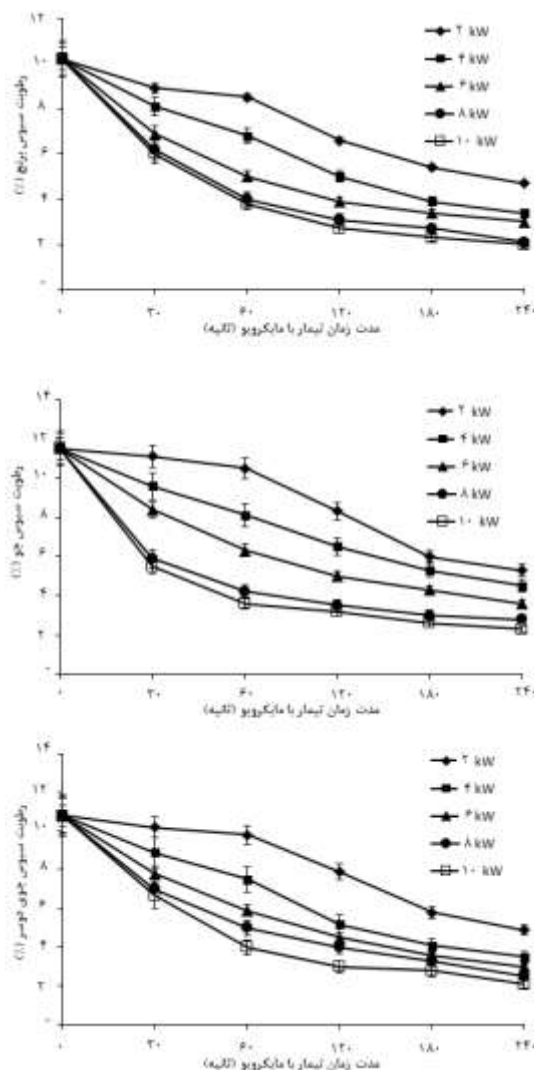
کلیه آزمون ها در سه تکرار انجام و داده های به دست آمده در مطالعه به صورت میانگین  $\pm$  انحراف استاندارد ارائه خواهد شد تجزیه و تحلیل آماری داده ها با استفاده از آزمون آنالیز واریانس دو طرفه (two-way ANOVA) در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد و ارزش p معادل، به ترتیب، ۰/۰۵ و ۰/۰۱ با استفاده از نرم افزار SPSS 22.0 انجام شد.

### نتایج و بحث

#### محتوای رطوبت

با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۱، افزایش توان مایکروویو و زمان تیمار باعث کاهش رطوبت تمام نمونه های سبوس شد. در توان مایکروویو ۲ کیلووات، تفاوت معنی داری بین میزان رطوبت نمونه های سبوس در ۰، ۳۰ و ۶۰ ثانیه وجود نداشت ( $p < 0/05$ ) اما در ۱۲۰ ثانیه به میزان قابل توجهی (حدود ۳ درصد) کاهش یافت و این روند همچنان تا پایان تیمار ۲۴۰ ثانیه ادامه داشت ( $p < 0/05$ ). در مورد سبوس برنج و سبوس جو، اثر مایکروویو در ۸ کیلو وات بر میزان رطوبت مشابه ۱۰ کیلو وات از ۰ تا ۲۴۰ ثانیه بود ( $p < 0/05$ ). در حالی که برای نمونه های سبوس جو دو سر، قدرت مایکروویو برای کاهش رطوبت محتوای ۶ و ۸ کیلووات مشابه بود ( $p < 0/05$ ). کاهش قابل توجه رطوبت زمانی مشاهده شد که نمونه ها در توان مایکروویو ۸ و ۱۰ کیلووات به مدت ۱۲۰ ثانیه با رطوبت نهایی حدود ۲ درصد تحت تیمار قرار گرفتند و تفاوت معنی داری بین میزان رطوبت در ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه وجود نداشت ( $p < 0/05$ ). به نظر می رسد مطلوب ترین تیمار برای سبوس جو، جوی دو سر و برنج ایرانی ۸ کیلووات برای ۱۲۰ ثانیه بوده است. نتایج نشان داد که در عین حال افزایش قدرت مایکروویو و زمان تیمار تأثیر قابل توجهی بر میزان رطوبت دارد. در مطالعه ای اثرات توان مایکروویو (۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ کیلو وات) و زمان های مختلف تیمار (۱۵، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و

۹۰/۱۵ به ۳۲۴ میلی گرم در ۱۰۰ گرم کاهش یافت که بیانگر کاهش حدود ۶۴ درصدی در میزان اسید فیتیک می‌باشد. بین میزان اسید فیتیک نمونه سبوس جوی دوسر (حدود ۶۲ درصد کاهش در میزان اولیه اسید فیتیک) در تیمار با قدرت مایکروویو ۸ و ۱۰ کیلووات در زمان‌های ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه تفاوت معناداری مشاهده نگردید ( $p > 0.05$ ). با توجه به اینکه تیمار در ۱۰ کیلووات به مدت ۱۲۰ ثانیه محتوای اسید فیتیک را به میزان بیش از ۵۰ درصد کاهش داد، لذا می‌توان آن را به عنوان تیمار بهینه برای کاهش میزان اسید فیتیک در سبوس جوی دو سر معرفی نمود. در نمونه‌های سبوس جو، بیشترین افت مقدار اسید فیتیک طی تیمار در قدرت ۱۰ کیلو وات پس از ۲۴۰ ثانیه رخ داد ( $p < 0.05$ ) که میزان آن را به ۲۷/۳ درصد کاهش داد. تیمار در قدرت‌های مختلف مایکروویو در ۳۰ و ۶۰ ثانیه میزان اسید فیتیک را بین ۴ الی ۳۰ درصد کاهش داد، درحالی‌که در ۱۲۰ ثانیه، ۵۳ درصد افت در میزان فیتات مشاهده شد. کاهش قابل ملاحظه‌ای در محتوای اسید فیتیک نمونه‌های سبوس برنج در قدرت‌های ۸ و ۱۰ کیلووات طی ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه اشعه دهی یافت شد ( $p < 0.05$ ). تفاوت آماری معناداری بین نتایج به دست آمده برای قدرت اشعه دهی ۸ و ۱۰ کیلووات وجود نداشت ( $p < 0.05$ ). لذا، تیمار در ۸ کیلووات به مدت ۱۲۰ ثانیه جهت کاهش فیتات در سبوس برنج به عنوان تیمار بهینه شناسایی گردید. مطابق داده‌های مطالعه حاضر، حرارت دادن و تیمار با مایکروویو موجب کاهش اسید فیتیک در سبوس غلات می‌گردد. Irakli و همکاران (۲۰۲۱) گزارش نمودند که تیمار با مایکروویو در ۵/۵ کیلووات (۱۲۰ ثانیه) میزان اسید فیتیک نمونه سبوس برنج را ۲۵ درصد کاهش داده است (Kaur, Sharma, Dar, & Singh, 2012). Irakli et al., 2021) و همکاران (۲۰۱۲) کاهش ۶۲-۷۰ درصدی را در محتوای اسید فیتیک سبوس انواع غلات، جو و جوی دو سر) طی تیمار با مایکروویو مقیاس خانگی در بیشینه قدرت در مدت زمان ۱۲۰ و ۱۵۰ ثانیه گزارش نمودند (Kaur, Sharma, Dar, & Singh, 2012) که مشابه نتایج این مطالعه می‌باشد. در تحقیقات ایشان، همچنین در پژوهش Khan و همکاران (۲۰۰۹) کاهش قابل ملاحظه‌ای (۸۵ درصدی) در سبوس برنج تیمار شده با مایکروویو به دلیل ماهیت ناپایدار و حساس به حرارت اسید فیتیک مشاهده شد. یکی از



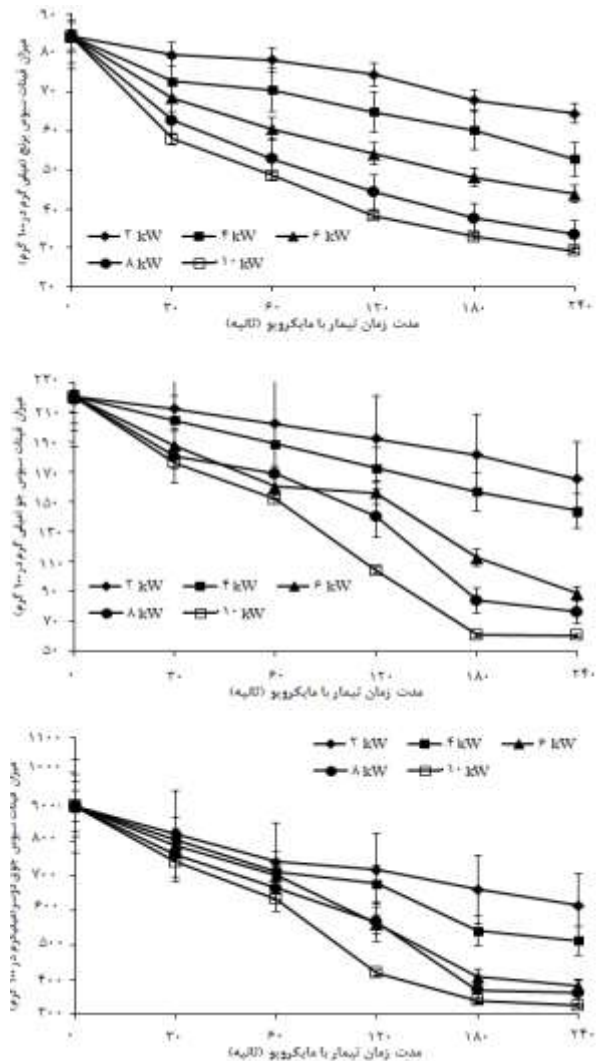
شکل ۱. تغییرات محتوای رطوبت در نمونه‌های سبوس طی تیمار با مایکروویو. تیرک‌های ترسیم‌شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است.

## ترکیبات ضد تغذیه‌ای فیتات

تغییرات در میزان فیتات طی تیمار در قدرت‌های مختلف مایکروویو در زمان‌های متفاوت در شکل ۲ آورده شده است. تیمار با حرارت مایکروویو میزان اسید فیتیک هر سه نمونه سبوس را به میزان قابل توجهی کاهش داد ( $p < 0.05$ ). تیمار در قدرت ۲ کیلووات تأثیر ناچیزی بر محتوای اسید فیتیک نمونه‌ها داشت. اسید فیتیک در سبوس جوی دو سر در قدرت ۱۰ کیلووات به مدت ۱۲۰ ثانیه به میزان حدود ۵۰ درصد کاهش یافت. بیشترین میزان کاهش اسید فیتیک در نمونه جوی دو سر پس از ۲۴۰ ثانیه تیمار در قدرت ۱۰ کیلو وات مشاهده شد که میزان آن از

است باعث تبلور اگزالات کلسیم و تشکیل سنگ کلیه (نفرولیتازیس) در مجاری ادراری شود (Morozumi & Ogawa, 2000). تغییرات در میزان اگزالات پس از تیمار با استفاده از قدرت‌های مختلف مایکروویو در مدت زمان‌های متفاوت در شکل ۳ ارائه شده است. مواجهه با امواج مایکروویو موجب کاهش قابل ملاحظه میزان اسید اگزالیک در هر سه گروه سبوس گردید ( $p < 0.05$ ). محتوای اسید اگزالیک در سبوس جوی دو سر طی تیمار با قدرت ۱۰ کیلووات به مدت ۱۲۰ ثانیه حدود ۵۶ درصد کاهش یافت و تداوم تیمار در همین قدرت تا ۲۴۰ ثانیه میزان اسید اگزالیک را ۷۰ درصد کاهش داد. البته لازم به ذکر است که تفاوت آماری معناداری بین نتایج تیمارهای ۸ کیلووات به مدت ۲۴۰ ثانیه، ۱۰ کیلووات ۱۲۰ ثانیه، ۱۰ کیلووات ۱۸۰ ثانیه و ۱۰ کیلووات ۲۴۰ ثانیه وجود نداشت ( $p > 0.05$ ). بنابراین می‌توان تیمار در ۱۰ کیلووات به مدت ۱۲۰ ثانیه را به عنوان تیمار بهینه برای کاهش میزان اسید اگزالیک در سبوس جوی دو سر معرفی نمود و مطابق نتایج بخش ۳-۲-۱ این تیمار برای کاهش اسید فیتیک نیز مناسب‌ترین تیمار اعلام گردید، زیرا در این تیمار سبوس در مدت زمان کوتاه‌تری تحت اشعه‌دهی قرار می‌گیرد. در نمونه‌های سبوس جوی، بیشترین افت مقدار اسید اگزالیک طی تیمار در قدرت ۱۰ کیلووات پس از ۲۴۰ ثانیه رخ داد که میزان آن را ۳۲ درصد کاهش داد. تیمار در قدرت‌های مختلف مایکروویو (۸، ۶، ۴، ۲ و ۱۰ کیلووات) در ۳۰ و ۶۰ ثانیه نیز میزان اسید اگزالیک را بین ۳ الی ۳۴ درصد کاهش داد. درحالی‌که در ۱۲۰ ثانیه افت ۵۰ درصدی اگزالات مشاهده شد. کاهش قابل ملاحظه‌ای در محتوای اسید اگزالیک نمونه‌های سبوس برنج در قدرت‌های ۸ و ۱۰ کیلووات در مدت زمان ۱۲۰، ۱۸۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ ثانیه مواجهه با امواج به وجود آمد ( $p < 0.05$ ). تفاوت آماری معناداری بین داده‌های به دست آمده برای قدرت اشعه دهی ۸ و ۱۰ کیلووات وجود نداشت ( $p < 0.05$ ). لذا، تیمار در ۸ کیلووات به مدت ۱۲۰ ثانیه جهت کاهش اگزالات در سبوس برنج به عنوان تیمار بهینه معرفی می‌گردد. Irakli و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از اشعه دهی با مایکروویو در قدرت ۶/۵ کیلووات به مدت ۱۲۰ ثانیه میزان اسید اگزالیک موجود در سبوس برنج را بین ۳۵-۳۰ درصد کاهش دادند. در میان روش‌های مختلف حرارتی در مطالعه ایشان، تیمار با

مهمترین دلایل کاهش محتوای اسید فیتیک طی حرارت دادن و تیمار با مایکروویو تأثیر گرمایش مرطوب (بخار) بر ساختار اسید فیتیک به علت افزایش انرژی جنبشی مولکول‌های قطبی آب طی جذب انرژی امواج مایکروویو می‌باشد (Khan, Butt, Anjum, & Jamil, 2009).



شکل ۲. تغییرات محتوای اسید فیتیک در نمونه‌های سبوس طی تیمار با مایکروویو. تیرک‌های ترسیم‌شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است.

## اگزالات

اگزالات به عنوان یک ترکیب ضد تغذیه‌ای می‌تواند موجب تشکیل نمک‌های غیر قابل جذب با یون‌های سدیم، کلسیم و آمونیوم گردد و دسترسی بدن به این مواد معدنی را کاهش دهد. مصرف زیاد اگزالات محلول ممکن

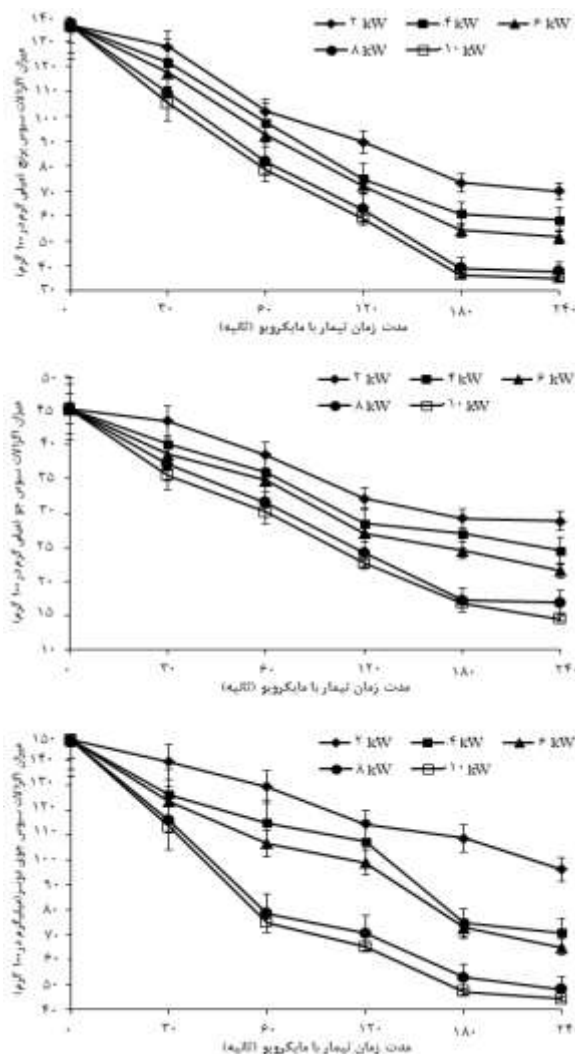
می‌شود می‌تواند موجب کاهش اگزالات گردد ( Onipe, Ramashia, & Jideani, 2021).

### تغییرات نمونه‌های سبوس طی دوره نگهداری

#### تسریع شده

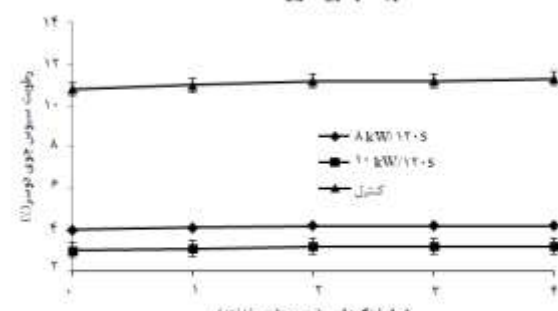
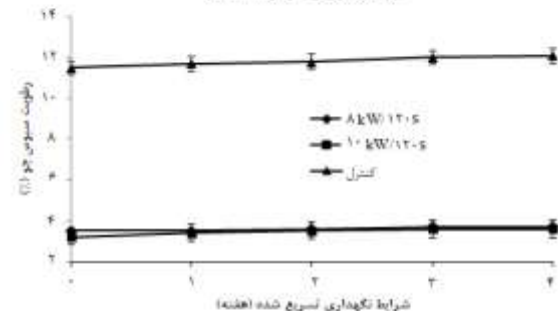
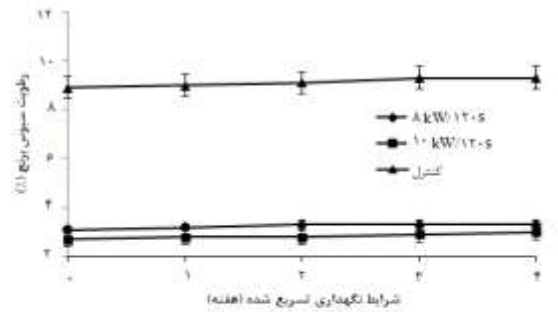
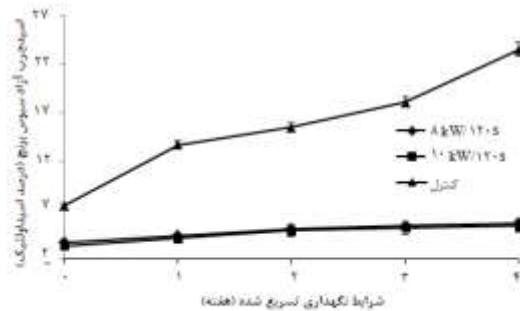
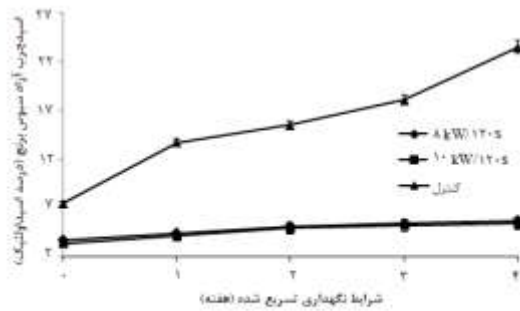
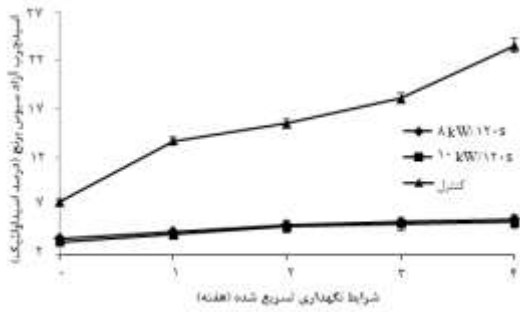
بر اساس نتایج ارائه شده در شکل‌های ۴ و ۵، به نظر می‌رسد قدرت مایکروویو ۸ کیلووات برای مدت ۱۲۰ ثانیه شرایط بهینه تیمار با مایکروویو جهت آماده سازی نمونه‌های سبوس قبل از آزمون ذخیره سازی در شرایط شتاب یافته باشد زیرا تغییرات مطلوب مورد نظر در نمونه‌ها طی مدت زمان کوتاه‌تر اشعه‌دهی حاصل می‌شود. میزان رطوبت و محتوای اسید چرب آزاد نمونه‌های سبوس تیمارشده و کنترل در طول ذخیره سازی در شکل زیر نشان داده شده است. میزان هر دو معیار با افزایش زمان ذخیره سازی افزایش یافت و تفاوت معناداری بین مقادیر به دست آمده برای نمونه کنترل و تیمار شده با مایکروویو وجود داشت ( $p < 0.05$ ). میزان رطوبت نمونه‌های کنترل و تیمارشده سبوس برنج، جو و جوی دوسر در محدوده قابل قبول و کمتر از ۱۲ درصد بود. محتوای اسیدهای چرب آزاد که به طور مداوم با افزایش زمان ذخیره سازی افزایش یافت در نمونه کنترل بالاتر از نمونه های تیمار شده بود (شکل ۵). با این حال، فعالیت لیپاز در نمونه‌های تیمارشده با مایکروویو بسیار پائین بود ( $p < 0.05$ ) و میزان اسید چرب آزاد تولید شده ۲۷-۲ درصد برای همه انواع سبوس در پایان دوره نگهداری در شرایط تسریع شده به دست آمد. علت این تفاوت محتوای رطوبت کمتر و فعالیت لیپاز بسیار کمتر در نمونه‌های گروه تیمار در مقایسه با کنترل می‌باشد. نتایج مشابهی توسط Liu و همکاران (۲۰۲۱) در خصوص میزان رطوبت و محتوای اسیدهای چرب آزاد در نمونه‌های سبوس گندم تیمار شده در قدرت ۷/۵ کیلووات مایکروویو گزارش شد (J. Liu et al., 2021). همچنین، این نتایج با یافته‌های گزارش شده توسط Rose و همکاران (۲۰۰۸) و Patil و همکاران (۲۰۱۶) در خصوص سبوس گندم و برنج مطابقت دارد (Patil et al., 2016; Rose et al., 2008).

مایکروویو در کاهش میزان اگزالات موجود در سبوس برنج بیشتر از سایر روش‌ها موثر بود (Irakli et al., 2021).



شکل ۳. تغییرات محتوای اسید اگزالیک در نمونه‌های سبوس طی تیمار با مایکروویو. تیرک‌های ترسیم‌شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است.

تاثیرگذاری قابل ملاحظه امواج مایکروویو در کاهش اسید اگزالیک و اسید فیتیک توسط Onipe و همکاران (۲۰۲۱) نیز تأیید شده است. حرارت دهی خشک موجب تخریب ساختار اسید اگزالیک می‌گردد، لذا روش‌هایی مانند تیمار مایکروویو که موجب خروج مولکول‌های آب از سبوس



شکل ۴. تغییرات در محتوای رطوبت در نمونه‌های سبوس کنترل و تیمار شده با مایکروویو طی دوره نگهداری ۲۸ روزه در شرایط تسریع شده. تیرک‌های ترسیم‌شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است.

شکل ۵. تغییرات در محتوای اسید چرب آزاد در نمونه‌های سبوس کنترل و تیمار شده با مایکروویو طی دوره نگهداری ۲۸ روزه در شرایط تسریع شده. تیرک‌های ترسیم‌شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است.

### نتیجه‌گیری

اثرات تیمار با مایکروویو بر کاهش ترکیبات ضد تغذیه‌ای و پایداری طی دوره نگهداری مورد بررسی قرار گرفت. تیمار با قدرت مایکروویو ۸ کیلووات به مدت ۱۲۰ ثانیه مقدار رطوبت، فاکتورهای ضدتغذیه‌ای اسید فیتیک و اسید اگزالیک را به میزان قابل توجهی در نمونه‌های سبوس جو و برنج و تیمار با ۱۰ توان کیلووات در ۱۲۰ ثانیه این فاکتورها را در سبوس جوی دو سر کاهش داد و نیز موجب کاهش میزان رطوبت، کاهش فعالیت لیپاز و تولید اسید چرب آزاد طی دوره نگهداری ۲۸ روزه در شرایط تسریع شده گردید. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تیمار با قدرت مایکروویو می‌تواند باعث افزایش میزان

Accepted Article



پایداری طی ذخیره سازی و بهبود کیفیت تغذیه‌ای سبوس برنج، جو و جوی دوسر گردد.

## منابع

- Abbaspour-Gilandeh, Y., Kaveh, M., Fatemi, H., & Aziz, M. (2021). Combined Hot Air, Microwave, and Infrared Drying of Hawthorn Fruit: Effects of Ultrasonic Pretreatment on Drying Time, Energy, Qualitative, and Bioactive Compounds' Properties. *Foods*, 10(5), 1006.
- Bagdi, A., Tóth, B., Lőrincz, R., Szendi, S., Gere, A., Kókai, Z., . . . Tömösközi, S. (2016). Effect of aleurone-rich flour on composition, baking, textural, and sensory properties of bread. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 762-769 .
- Bai, X., Zhang, M.-L., Zhang, Y., Zhang, J., Zhang, Y., Wang, C., & Liu, R. (2021). Effects of Steaming, Microwaving, and Hot-Air Drying on the Physicochemical Properties and Storage Stability of Oat Bran. *Journal of Food Quality*, 2021 .
- Boukid, F., Folloni, S., Ranieri, R., & Vittadini, E. (2018). A compendium of wheat germ: Separation, stabilization and food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 120-133 .
- Brouns, F., Hemery, Y., Price, R., & Anson, N. M. (2012). Wheat aleurone: separation, composition, health aspects, and potential food use. *Critical reviews in food science and nutrition*, 52(6), 553-568 .
- Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., & Basak, T. (2013). Microwave food processing—A review. *Food Research International*, 52(1), 243-261 .
- Irakli, M., Lazaridou, A., & Biliaderis, C. G. (2021). Comparative evaluation of the nutritional, antinutritional, functional, and bioactivity attributes of rice bran stabilized by different heat treatments. *Foods*, 10(1), 57 .
- Kaur, S., Sharma, S., Dar, B & Singh, B. (2012). Optimization of process for reduction of antinutritional factors in edible cereal brans. *Food science and technology international*, 18(5), 445-454 .
- Khan, S. H., Butt, M. S., Anjum, F. M., & Jamil, A. (2009). Antinutritional appraisal and protein extraction from differently stabilized rice bran. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(8), 1281-1286 .
- Liu, J., Zhang, J., Wang, W., & Hou, H. (2021). Effects of microwave treatment on the stability and antioxidant capacity of a functional wheat bran. *Food Science & Nutrition*, 9(5), 2713-2721 .
- Liu, L., Li, J., Yue, F., Yan, X., Wang, F., Bloszies, S., & Wang, Y. (2018). Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and biochar amendment on maize growth, cadmium uptake and soil cadmium speciation in Cd-contaminated soil. *Chemosphere*, 194, 495-503 .
- Morozumi, M., & Ogawa, Y. (2000). Impact of dietary calcium and oxalate ratio on urinary stone formation in rats. *Molecular urology*, 4(4), 313-320 .
- Onipe, O. O., Ramashia, S. E., & Jideani, A. I. (2021). Wheat Bran Modifications for Enhanced Nutrition and Functionality in Selected Food Products. *Molecules*, 26(13), 3918 .
- Oyeyinka, B. O., & Afolayan, A. J. (2019). Comparative evaluation of the nutritive, mineral, and antinutritive composition of Musa sinensis L.(Banana) and Musa paradisiaca L.(Plantain) fruit compartments. *Plants*, 8(12), 598 .
- Patil, S. S., Kar, A., & Mohapatra, D. (2016). Stabilization of rice bran using microwave: Process optimization and storage studies. *Food and Bioproducts Processing*, 99, 204-211 .
- Reynolds, A., Mann, J., Cummings, J., Winter, N., Mete, E., & Te Morenga, L. (2019). Carbohydrate quality and human health: a series of systematic reviews and meta-analyses. *The Lancet*, 393(10170), 434-445 .
- Rose, D. J., Ogden, L. V., Dunn, M. L., & Pike, O. A. (2008). Enhanced lipid stability in whole wheat flour by lipase inactivation and antioxidant retention. *Cereal chemistry*, 85(2), 218-223 .
- Wang, N., Hou, G. G., Kweon, M., & Lee, B. (2016). Effects of particle size on the properties of whole-grain soft wheat flour and its cracker baking performance. *Journal of Cereal Science*, 69, 187-193 .

- Xu, B., Zhou, S.-L., Miao, W.-J., Gao, C., Cai, M.-J., & Dong, Y. (2013). Study on the stabilization effect of continuous microwave on wheat germ. *Journal of Food Engineering*, 117(1), 1-7 .
- Xu, Y., Yang, J., Du, L., Li, K., & Zhou, Y. (2019). Association of whole grain, refined grain, and cereal consumption with gastric cancer risk: A meta- analysis of observational studies. *Food science & nutrition*, 7(1), 256-265 .
- Yadav, D. N., Anand, T., Kaur, J., & Singh, A. K. (2012). Improved storage stability of pearl millet flour through microwave treatment. *Agricultural Research*, 1(4), 399-404 .

## Reduction of Anti-nutritional Compounds and Free Fatty Acids of Barley, Oats and Rice Bran Treated by Microwaves

Maryam Azizkhani<sup>1\*</sup>, Ramazan Ebrahim Khasi<sup>1</sup>

1- Department of Food Hygiene, Faculty of Veterinary Medicine, Amol University of Special Modern Technologies, Amol, Iran

Corresponding author ([azizkhani.maryam@gmail.com](mailto:azizkhani.maryam@gmail.com))

### Abstract

At present, cereal bran is offered in our country without any processing to remove anti-nutritional compounds which can have adverse effects on consumers health. In this study, the effects of different conditions (power and time) of microwave treatment on the moisture content, anti-nutritional compounds (phytic acid and oxalic acid) and shelf life of barley, oat, and rice bran were evaluated. The samples were treated with microwave power of 2, 4, 6, 8 and 10 kW for 15, 30, 60, 90 and 120 seconds. The most optimum treatment to reduce moisture for barley, oat, and Iranian rice bran was 8 kW for 120 seconds. During the treatment at 8 and 10 kW microwave power for 120 seconds, around 50% loss in phytate and oxalate content was observed. There was no statistically significant difference between the results obtained for 8 and 10 kW radiation power. Therefore, treatment at 8 kW for 120 seconds to reduce phytate and oxalate in brans was identified as the optimal treatment. During the 28-day storage period under accelerated conditions, no statistically significant difference was observed between the moisture content and the percentage of free fatty acids in the treated samples with power of 8 and 10 kW. The results of the present study showed that treatment with 8 kW microwave power for 120 seconds for barley and rice brans and 10 kW for oat bran significantly reduced the amount of moisture, anti-nutritional factors of phytic acid and oxalic acid in all three bran samples and also reduced the amount of moisture, reduced lipase activity and production of free fatty acid during the 28-day accelerated storage period.

**Keywords:** Bran, Cereal, Microwave, Stability, Storage