

بررسی تأثیر میزان سبوس و رطوبت ورودی در فرآیند پخت اکستروژن بر برخی ویژگی‌های پودر فوری بر پایه آرد برنج

مهنوش افشار^۱، علیرضا بصیری^{۲*}، اکرم شریفی^۳

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دامغان.

^۲ استادیار گروه صنایع غذایی و تبدیلی، پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران.

^۳ استادیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین.

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۰۱

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۱۵

چکیده:

افزایش سطح آگاهی مصرف‌کنندگان، باعث افزایش چشم‌گیر سهم فرآورده‌های سلامت‌افزا در رژیم‌های غذایی، گردیده است. در این بین، غلات به دلیل ویژگی‌های تغذیه‌ای مناسب و عملگرا بودن، جایگاه مناسبی را به خود اختصاص می‌دهند. سبوس برنج منبع غنی از پروتئین، نشاسته، پلی‌ساکاریدها، ویتامین‌ها، کانی‌ها، فیبر رژیمی و ترکیبات فنولیک، می‌باشد. فرآورده‌های فوری به محصولاتی اطلاق می‌شوند که به سهولت و بدون نیاز به پخت، قابل مصرف باشند. در پژوهش حاضر، اثر متغیرهای نسبت سبوس / آرد برنج (۱۰-۳۰ درصد، وزنی/وزنی) و رطوبت ورودی (۱۳-۱۹ درصد، بر پایه تر) بر ویژگی‌های کیفی پودر فوری بر پایه برنج شامل شاخص‌های حلالیت و جذب آب، دانسیته توده، تخلخل، ضریب انبساط و شاخص بازسازی، در شرایط ثابت فرآیند اکستروژن با استفاده از طرح آماری رویه سطح پاسخ بررسی و شرایط بهینه با هدف بیشینه کردن شاخص‌های حلالیت و جذب آب، تخلخل، ضریب انبساط و شاخص بازسازی و کمیته‌سازی دانسیته توده تعیین گردید. نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که با افزایش میزان سبوس در فرمولاسیون، شاخص جذب آب، دانسیته توده، ضریب انبساط، افزایش و شاخص حلالیت در آب، میزان تخلخل و شاخص بازسازی، کاهش می‌یابند. از طرف دیگر با افزایش رطوبت ورودی، دانسیته توده، میزان تخلخل، ضریب انبساط و شاخص بازسازی، افزایش و شاخص حلالیت کاهش نشان داد. هم‌چنین رطوبت ورودی بر شاخص جذب آب، اثر معنی‌داری نداشت. در نهایت شرایط بهینه تولید پودر نوشیدنی فوری بر پایه برنج، نسبت سبوس به آرد برنج (۱۰ به ۹۰ درصد) و رطوبت اولیه (۱۳ درصد) گزارش گردید.

واژه‌های کلیدی: پودر فوری، آرد برنج، سبوس، اکستروژن، ویژگی‌های کیفی، بهینه‌سازی

۱- مقدمه

فرآیند پخت اکستروژن به دلیل مزایایی مانند هزینه پایین و زمان بری کم در تولید گستره وسیعی از محصولات غذایی به کار می‌رود (۱۶،۲۴). غلات به دلیل محتوی نشاسته بالا و به دنبال آن انبساط‌پذیری مناسب، قابلیت بکارگیری در فرآیند اکستروژن را دارند (۱۱). سبوس برنج، فرآورده جانبی آسیابانی، منبع سرشاری از پروتئین، نشاسته، پلی‌ساکاریدها، ویتامین‌ها، مواد معدنی، فیبر رژیمی و ترکیبات فنولیک است که با توجه به قیمت پایین، پتانسیل بالایی برای کاربرد در غنی‌سازی و تهیه فرآورده‌های سلامت‌زا، دارد (۲۶). نیاز روزافزون جامعه به فرآورده‌هایی با ارزش تغذیه‌ای بالا و هم‌چنین کمترین زمان آماده‌سازی، موجب گسترش تحقیق در خصوص فرآورده‌های فوری شده است. بکارگیری غلات مختلف در تولید پودرهای فوری با توجه به قیمت اولیه پایین و هم‌چنین قابلیت دسترسی بالا، در تحقیقات متعددی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از سوی دیگر نقش مثبت فیبر رژیمی در سلامت مصرف‌کننده که در تحقیقات متعددی مورد بررسی و اثبات قرار گرفته‌اند، موجب بکارگیری آن در طیف وسیعی از فرآورده‌های غذایی گردیده است (۱۹). چانلت^۱ و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی تأثیر نسبت آرد برنج قهوه‌ای (۰ تا ۶۳/۶ درصد)، محتوی رطوبت اولیه (۱۵/۶ تا ۲۲/۳ درصد) و شرایط فرآیند اکستروژن شامل سرعت چرخش مارپیچ (۲۶۴ تا ۴۳۴ دور در دقیقه) بر روی پاسخ‌های دانسیته، ضریب جذب آب، ضریب حلالیت آب، ضریب انبساط و ویژگی‌های بافت پرداختند. نتایج حاصل از آزمایشات نشان دادند که افزایش رطوبت ورودی باعث افزایش دانسیته، سختی بافت و ضریب جذب آب و کاهش ضریب انبساط، تردی و ضریب حلالیت آب می‌شود. هم‌چنین این محققان عنوان داشتند که افزایش سرعت چرخش ماردون نیز موجب، افزایش ضریب انبساط، تردی، ضریب جذب آب و ضریب حلالیت، کاهش دانسیته و سختی گردید. افزایش نسبت آرد برنج قهوه‌ای باعث افزایش ضریب انبساط،

تردی، ضریب حلالیت و کاهش دانسیته، سختی و ضریب جذب آب می‌شود (۶). گوها^۲ و همکاران (۱۹۹۷) به بررسی اثر متغیرهای دمای فرآیند اکستروژن (۸۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد) و سرعت چرخش ماردون (۲۰۰ تا ۴۰۰ دور در دقیقه) بر روی دانسیته اسنک برنج پرداختند. نتایج نشان دادند که افزایش سرعت چرخش ماردون باعث کاهش دانسیته فرآورده می‌گردد به گونه‌ای که بکارگیری هم‌زمان دماها و سرعت‌های چرخش ماردون بالا باعث کاهش دانسیته فرآورده به کمترین مقدار می‌گردد (۱۳). چارونوچ^۳ و همکاران (۲۰۰۳) به بررسی فرآیند تولید پودر نوشیدنی فوری بر پایه ذرت و سویا با استفاده از پخت اکستروژن پرداختند. متغیرهای تحت بررسی عبارت بودند از دانه‌بندی ذرات (مش‌های ۱۳، ۲۳ و ۳۳)، نسبت آرد ذرت / سویا (۱۰:۸۴، ۲۰:۷۴ و ۳۰:۶۴) بر روی ویژگی‌های (دانسیته توده، ضریب بازسازی، ضریب جذب آب، ضریب حلالیت و ویسکوزیته) بررسی و نشان دادند که دانه‌بندی ذرات فاقد اثرات معنی‌داری بر روی ویژگی‌های تحت بررسی داشته در حالی که نسبت‌های آرد ذرت / سویا بر ویژگی‌های تحت بررسی، اثرات معنی‌داری را بر جای می‌گذارند (۷). پاتانیا^۴ و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی فرآیند تولید پودر فوری بر پایه غلات، جهت استفاده به عنوان غذای کودک پرداختند. در این تحقیق اثرات رطوبت ورودی (۱۲/۶ تا ۱۹/۴ درصد)، دمای فرآیند (۱۸۴ تا ۱۱۶ درجه سانتی‌گراد) و سرعت چرخش ماردون (۶۰۱ تا ۳۴۹ دور در دقیقه) بر ویژگی‌های دانسیته، جذب آب، حلالیت آب و ضریب انبساط بررسی و نشان دادند که ضریب انبساط و دانسیته، وابسته به رطوبت ورودی بوده و افزایش رطوبت ورودی باعث کاهش جذب آب و حلالیت آب می‌گردد در حالی که افزایش سرعت چرخش ماردون و دمای فرآیند، باعث افزایش این دو ویژگی می‌گردد. شرایط بهینه تولید پودر فوری شامل دمای فرآیند ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت چرخش ماردون ۵۲۱ دور در دقیقه و رطوبت ورودی ۱۴/۸

ساعت بود و قطر روزنه خروجی، ۳ میلی‌متر بود. پس از دستیابی به شرایط پایداری حدود ۸۰۰ گرم از خروجی، جمع‌آوری و در خشک‌کن با جابجایی هوا (شرکت Binder، کشور آلمان) در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت هوای ۱ متر بر ثانیه تا رسیدن به رطوبت نهایی ۲-۳ درصد، خشک و توسط آسیاب برقی (شرکت IKA، مدل A11، کشور آلمان) خرد شده و با عبور از الک با مش ۱۸ (۱۰۰۰ میکرون) دانه‌بندی گردید. نمونه‌های پودر بدست آمده در پوشش‌های پلاستیکی و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا انجام سنجش‌ها، نگهداری شدند.

۲-۲-۳- ارزیابی خصوصیات پودر تولیدی

۲-۲-۳-۱ شاخص جذب آب:

جهت اندازه‌گیری ضریب جذب آب ۲/۵ گرم از نمونه را در ۳۰ میلی‌لیتر آب در یک فالكون ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و به خوبی تکان داده شد. سپس لوله‌های فالكون را به مدت ۱۰ دقیقه در ساتریفیوژ با دور ۳۰۰۰g قرار داده شد و قسمت رسوب کرده، توزین گردید. میزان جذب آب با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (۷).

وزن نمونه اولیه/وزن رسوب-وزن نمونه اولیه = شاخص جذب آب (۷)

۲-۲-۳-۲ شاخص حلالیت در آب:

میزان مواد جامد پس از تبخیر را ضریب حلالیت می‌نامند. جهت اندازه‌گیری ضریب حلالیت محلول حاصل از ساتریفیوژ در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۴۰ دقیقه خشک گردید تا به وزن ثابتی رسید. ضریب حلالیت طبق رابطه ۲ محاسبه گردید (۷).

محلول پس از خشک کردن - وزن محلول قبل از خشک کردن = شاخص حلالیت در آب (۷)

۲-۲-۳-۳ دانسیته توده و دانسیته جامد:

برای اندازه‌گیری دانسیته توده، ۵۰ گرم از نمونه در استوانه شیشه‌ای مدرج ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته و حجم آن اندازه‌گیری شد. برای تعیین دانسیته جامد، به استوانه مدرج به مدت دو دقیقه ضربه زده تا خلل و فرج لابه‌لای ذرات از بین رفته و سپس حجم آن، اندازه‌گیری شد و مقادیر آنان طبق رابطه ۳ محاسبه شد (۲).

حجم اشغال شده به وسیله این جرم/جرم نمونه = دانسیته توده / دانسیته جامد

درصد، بدست آمد (۲۱). بنابراین با توجه به نیاز روزافزون جامعه به فرآورده‌های سلامت‌افزا و هم‌چنین آماده مصرف، هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر متغیرهای نسبت سبوس / آرد برنج و رطوبت ورودی بر ویژگی‌های پودر فوری بر پایه آرد برنج شامل شاخص‌های حلالیت و جذب آب، دانسیته توده، تخلخل، ضریب انبساط و شاخص بازسازی و تعیین شرایط بهینه فرآیند، بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد:

آرد و سبوس برنج از کارخانه امانی (شهر بابلسر) تهیه گردید و سپس سبوس برنج توسط آسیاب برقی (شرکت IKA، مدل A11، کشور آلمان) خرد شد. آرد و سبوس خردشده با عبور از الک با مش ۱۲۰ (۱۲۵ میکرون) دانه‌بندی گردیدند.

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آرد برنج و سبوس

ویژگی‌های آرد و سبوس مورد استفاده در آزمایشات شامل رطوبت (Method 44-15AAACC)، خاکستر کل (Method 08-01AACC)، پروتئین (Method 46-Method 08Nx6.25AACC، فیبر (Method 32-10AACC)، و چربی (Method 963.15AOAC) با استفاده از حلال هگزان، سنجیده شدند و اختلاط آرد و سبوس و در ادامه افزودن آب به مخلوط، با توجه به سطوح تحت بررسی، انجام گردید (۱).

۲-۲-۲- فرآیند اکستروژن

فرآیند اکستروژن در اکسترودر دو ماردونه (مدل IIIDS56- شرکت MachineryJinanSaixin، کشور چین) دارای سه ناحیه حرارتی با قابلیت کنترل دمای مستقل انجام گردید. دماهای مورد استفاده در نواحی حرارتی اول، دوم و سوم به ترتیب ۵۰، ۱۳۰ و ۱۴۵ درجه سانتی‌گراد بود. مواد خروجی توسط کاردک‌هایی با سرعت چرخش ۵۵۰ دور در دقیقه، برش داده شدند. خوراک‌دهی دستگاه ۱۰ کیلوگرم در

جدول ۲ ترکیبات تشکیل دهنده آرد و سبوس برنج مورد

استفاده (درصد بر پایه خشک)

ترکیب(درصد)	آرد برنج	سبوس برنج
رطوبت	۸/۳۳	۷/۲۲
خاکستر کل	۰/۳۱	۷/۳
پروتئین	۸/۰۴	۱۲/۴
فیبر	۰/۲	۸/۵
چربی	۰/۳	۱۶/۳

۲-۳-۴ تخلخل:

میزان تخلخل نمونه‌ها، مطابق رابطه ۴ بدست آمد(۲).

(دانشیه جامد- دانشیه توده) = ۱- تخلخل

۲-۳-۵ ضریب انبساط

برای تعیین ضریب انبساط در هر یک از شرایط تحت بررسی، به‌طور تصادفی ۱۰ عدد از اسنک‌ها برداشته شده و قطر آن‌ها با کولیس (شرکت Mitutoyo، مدل CD-6CSX، ژاپن) اندازه‌گیری و سپس بین اعداد بدست‌آمده میانگین گرفته شد. ضریب انبساط طبق رابطه ۵ بدست آمد(۷).

قطر روزنه خروجی/ میانگین قطر اسنک‌ها = ضریب انبساط

۲-۳-۶ ضریب بازسازی

ضریب بازسازی از طریق مخلوط کردن ۷/۵ گرم پودر با ۵۰ میلی‌لیتر آب ولرم (۵۰ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۹۰ ثانیه و سنجش رسوب تشکیل شده در استوانه مدرج ۱۰ دقیقه پس از مخلوط کردن، تعیین شد (۱۷).

۲-۴-۲ روش آماری

طرح مرکب مرکزی برای بررسی اثرات متغیرهای مستقل رطوبت ورودی و نسبت سبوس / آرد برنج بر ویژگی‌های تحت بررسی شامل شاخص‌های جذب و حلالیت در آب، دانشیه توده، تخلخل، ضریب انبساط و شاخص بازسازی و بهینه‌سازی شرایط فرآوری با استفاده از نرم‌افزار Design Expert (نسخه 6.0.2، شرکت Stat-Ease Inc، آمریکا) بکار برده شد. نقشه آزمایشات به همراه یافته‌های بدست آمده در جدول ۱ آورده شده است.

۳- نتایج و بحث:

۳-۱ ویژگی‌های آرد و سبوس گندم

ویژگی‌های آرد و سبوس گندم مورد استفاده تعیین و نتایج در جدول ۲ آورده شد.

۳-۲ ارزیابی متغیرهای تحت بررسی بر شاخص‌های

جذب آب (WAI) و حلالیت در آب (WSI):^۵

نشاسته طبیعی قادر به جذب آب در دمای محیط نبوده و ویسکوزیته حاصل از قرارگیری آن در آب، نزدیک به صفر خواهد بود، در حالی که نشاسته اکستروژده شده به سرعت آب جذب کرده و تشکیل خمیر و یا ژل می‌دهد. شاخص جذب آب، نشان‌گر مناسبی برای تغییر ساختار گرانول‌های نشاسته می‌باشد زیرا که تنها گرانول‌های آسیب دیده نشاسته، قادر به جذب آب در دمای محیط می‌باشند. در این تحقیق، میزان سبوس بر روی شاخص جذب آب، اثر معنی‌داری داشت ($p < 0.01$) در حالی که رابطه معنی‌داری بین رطوبت ورودی و جذب آب مشاهده نشد ($p > 0.05$) (جدول ۳). این در حالی بود که شاخص جذب آب با افزایش میزان سبوس برنج، کاهش یافت (شکل ۱)، به گونه‌ای که بیشینه WSI در میزان سبوس ۱۰ درصد و کمینه آن در میزان سبوس ۳۰ درصد مشاهده گردید. افزایش میزان سبوس در فرمولاسیون، قابلیت دسترسی گرانول‌های نشاسته برای ژلاتیناسیون و به دنبال آن کاهش شاخص جذب آب را به دنبال دارد. در مقابل کاهش میزان سبوس در فرمولاسیون باعث ایجاد ساختار بازتری گردیده که اجازه نفوذ بیشتری به آب داده و موجب افزایش شاخص جذب آب می‌گردد.

^۵Water absorption index

^۶Water solubility index

جدول ۱ نقشه آزمایشات و یافته‌های حاصل

تیمار	متغیرها سبوس (درصد)	رطوبت (درصد)	پاسخ‌ها					
			حلالیت در آب(درصد)	جذب آب (درصد)	دانسیته توده (گرم)	تخلخل (درصد)		
شاخص بازسازی (درصد)	ضریب انبساط							
۱	۳۰	۱۹	۲۲	۳/۰۵	۰/۷۶	۲/۸	۳/۵۶	۵۵
۲	۲۰	۱۳	۲۷	۳/۴۷	۰/۵۹	۴/۳	۵/۴۶	۵۴
۳	۳۰	۱۳	۱۸	۳/۱۱	۰/۶۲	۴/۲	۵/۹۴	۵۳
۴	۱۰	۱۶	۳۰	۴/۳۵	۰/۴۴	۳/۸	۴/۹۶	۵۳
۵	۲۰	۱۶	۲۲	۳/۶	۰/۶۲	۳/۸	۴/۲۳	۵۱
۶	۳۰	۱۶	۲۳	۳/۳	۰/۶۸	۳/۷	۳/۹۳	۵۴
۷	۲۰	۱۹	۱۵	۳/۴	۰/۶۰	۲/۸	۳/۹۲	۵۱
۸	۱۰	۱۳	۲۵	۴/۲۵	۰/۴۰	۴/۲	۵/۷۴	۵۳
۹	۱۰	۱۳	۳۰	۳/۷۵	۰/۴۰	۴/۲	۵/۸۱	۵۳
۱۰	۱۵	۱۴/۵	۱۹	۳/۴۷	۰/۵۸	۳/۹	۴/۴۶	۵۲
۱۱	۳۰	۱۳	۱۵	۳/۵۲	۰/۶۰	۴/۰	۵/۶۹	۵۲
۱۲	۲۵	۱۷/۵	۱۴	۳/۱۸	۰/۷۲	۳/۲	۴/۹۳	۵۰
۱۳	۲۵	۱۴/۵	۲۳	۳/۲۲	۰/۷۰	۳/۹	۴/۴۳	۵۱
۱۴	۱۰	۱۹	۱۵	۴/۹۳	۰/۴۸	۲/۹	۳/۸۲	۵۳
۱۵	۱۰	۱۹	۲۰	۳/۸۶	۰/۴۸	۲/۷	۳/۸۶	۵۲
۱۶	۳۰	۱۹	۱۹	۳/۶	۰/۷۵	۲/۸	۳/۷۹	۵۴
۱۷	۱۵	۱۷/۵	۱۹	۳/۵۷	۰/۵۹	۳/۱	۴/۹۳	۵۳

نداشت (۸). آن‌ها در تحقیق خود نتیجه گرفته بودند که افزایش رطوبت ورودی به دلیل فشار بخار پایین‌تر، موجب کاهش انبساط در ساختار محصول و به دنبال آن کاهش WAI می‌گردد.

شاخص حلالیت در آب (WSI) نشان‌دهنده درصد ماده جامد حاصل از جداسازی آب موجود در رسوب بدست آمده در آزمون تعیین شاخص جذب آب، می‌باشد.

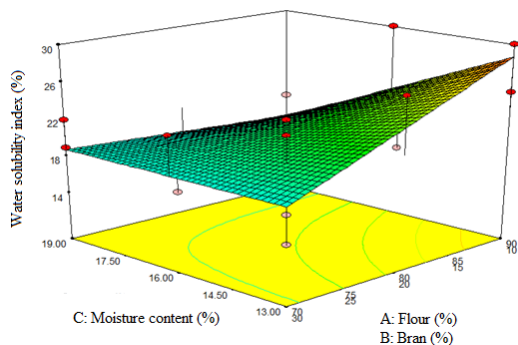
اثرات افزایش سبوس بر شاخص جذب آب توسط چارونوچ و همکاران (۲۰۱۴)، گرنوس و همکاران (۱۹۹۳) و هاشیموتو و گراسمن^۹ (۲۰۰۳) بررسی و نتایج مشابهی با این تحقیق گزارش گردید (۸، ۱۲، ۱۵). در این تحقیق، اثرات رطوبت ورودی در دامنه تحت بررسی بر روی شاخص جذب آب، اثر معنی‌داری نداشت ($p > 0.05$). نتیجه بدست آمده با تحقیق چارونوچ و همکاران (۲۰۱۴)، همخوانی

جدول ۳ نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها

شاخص	شاخص	دانسیتته توده	تخلخل	ضریب	شاخص	شاخص
جذب آب	حلالیت در آب		انبساط	بازسازی		
مدل	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۷۴**	۰/۰۰۲۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۳۱**	۰/۰۰۰۱**
درصد سبوس (A)	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۳۱۸*	۰/۰۲۹۹*	۰/۰۴۵۵*	۰/۰۲۲۷*	۰/۰۰۰۱**
رطوبت (C)	۰/۰۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۴۵۶*	۰/۰۲۶۵*	۰/۰۳۲۱*	۰/۰۴۲۱*	۰/۰۰۰۲ ^{NS}
عدم برازش	۰/۳۶۰۷ ^{NS}	۰/۳۷۶۲ ^{NS}	۰/۷۱۲۸ ^{NS}	۰/۵۴۹۸ ^{NS}	۰/۶۲۵۵ ^{NS}	۰/۳۶۰۷ ^{NS}

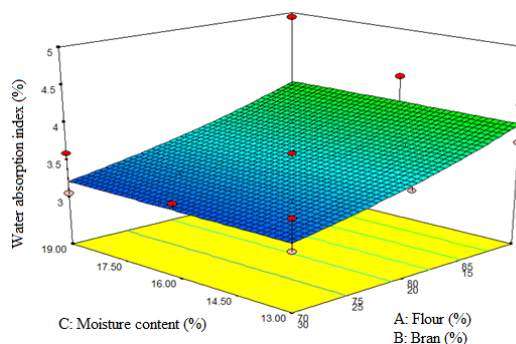
** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱، * معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ^{NS} عدم معنی‌داری

تخریب بیشتر نشاسته و به دنبال آن افزایش حلالیت می‌گردد. نتیجه بدست آمده در این بخش تحقیق با نتایج ارایه شده توسط چارونوچ و همکاران (۲۰۱۴)، برنان^۱ و همکاران (۲۰۰۸)، هاگنیمانا^{۱۱} و همکاران (۲۰۰۶) و سینگ^{۱۲} و همکاران (۲۰۰۷)، هم‌خوانی داشت (۴۸،۱۴،۲۳).



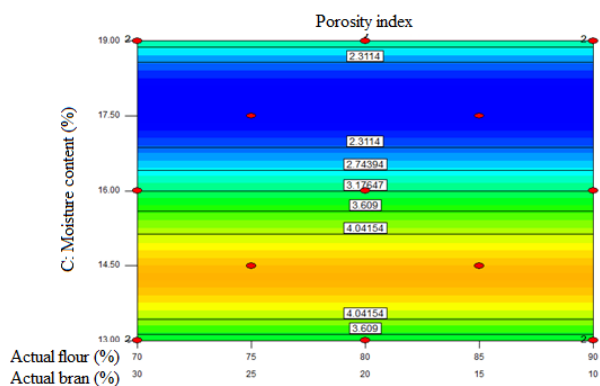
شکل ۲ تأثیر رطوبت ورودی و میزان سبوس بر شاخص حلالیت در آب

۳-۳ ارزیابی متغیرهای تحت بررسی بر دانسیته توده تجزیه واریانس یافته‌های بدست آمده (جدول ۳)، نشان دادند که رطوبت ورودی و میزان سبوس بر روی دانسیته توده اثر معنی‌داری ($p < 0.05$) بر جای می‌گذارند. افزایش رطوبت ورودی و میزان سبوس، افزایش دانسیته توده را به همراه داشت. فیبر موجود در ماده غذایی تأثیر مهمی بر روی



شکل ۱ تأثیر رطوبت ورودی و میزان سبوس بر شاخص جذب آب

به عبارت دیگر WSI، بخش‌های قابل حل در آب که در اثر دکسترینه شدن حاصل گردیده‌اند، را نشان داده و اغلب برای بیان میزان تغییرات ساختار مولکولی فرآورده بکار برده می‌شود. تجزیه واریانس یافته‌های بدست آمده (جدول ۳)، نشان دادند که رطوبت ورودی و میزان سبوس بر روی شاخص حلالیت در آب (WSI) اثر معنی‌داری ($p < 0.05$) بر جای می‌گذارند. کاهش میزان سبوس بکاررفته در فرمولاسیون موجب افزایش ساختار قابل انبساط می‌گردد که در نتیجه WSI افزایش می‌یابد به گونه‌ای که بیشینه WSI در میزان ۱۰ درصد و کمینه آن در ۳۰ درصد سبوس برنج بدست آمد (شکل ۲). از سوی دیگر کاهش رطوبت ورودی، موجب افزایش WSI، گردید به گونه‌ای که بالاترین WSI در رطوبت ورودی ۱۳ درصد و کمترین آن در رطوبت ورودی ۱۹ درصد بدست آمد. دلیل آنرا می‌توان اعمال هم‌زمان انرژی حرارتی و مکانیکی بالا در هنگام کاهش رطوبت ورودی جستجو نمود که باعث



شکل ۳ تاثیر رطوبت ورودی و میزان سبوس بر میزان

تخلخل

۳-۵ ارزیابی متغیرهای تحت بررسی بر ضریب انبساط تجزیه واریانس یافته‌های بدست آمده (جدول ۳)، نشان دادند که رطوبت ورودی و میزان سبوس بر ضریب انبساط اثر معنی‌داری ($p < 0.05$) بر جای می‌گذارند. افزایش رطوبت ورودی و میزان سبوس باعث کاهش ضریب انبساط می‌شود (شکل ۴). رطوبت ورودی بر ضریب انبساط تاثیرگذارتر است به گونه‌ای که بیش‌ترین ضریب انبساط در کمترین رطوبت ورودی بدست آمد. تأثیر عمده رطوبت بر ضریب انبساط به دلیل ویژگی‌های الاستیسیته مواد است. رطوبت بالا باعث کاهش الاستیسیته و افزایش ویژگی پلاستیکی توده مذاب می‌شود و در نتیجه باعث کاهش انرژی مکانیکی مخصوص و میزان ژلاتیناسیون می‌شود (۱۰). در نمونه‌هایی با میزان سبوس کم، ضریب انبساط افزایش نشان می‌دهد. بر طبق نظریه ریا^۴ (۲۰۰۲) ذرات سبوس باعث ازهم گسیختگی دیواره‌های سلولی مواد اکستروود شده می‌شود و در نتیجه ضریب انبساط کاهش می‌یابد (۲۲). چانگ^۵ و همکاران (۱۹۹۸) نیز نشان دادند که میزان ضریب انبساط با افزایش میزان فیبر طبق یک رابطه خطی کاهش می‌یابد. کمترین میزان ضریب انبساط در دماهایی بیش از ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و میزان سبوس بالاتر از ۲۰ درصد مشاهده شده است و ضریب انبساط با کاهش رطوبت و همچنین افزایش دما، افزایش یافت (۵).

ساختار و بافت محصولات داشته و مانند محافظی در برابر انبساط مواد نشاسته‌ای عمل کرده و کاهش انبساط آن‌ها را به دنبال دارد (۷). بر طبق نظریه اسمیت^۳ و همکاران (۱۹۹۶) ضریب انبساط و دانسیته توده، رابطه‌ای معکوس دارند. افزایش رطوبت ورودی باعث کاهش الاستیسیته خمیر، انرژی مکانیکی، ژلاتیناسیون، ضریب انبساط و تخلخل و در نتیجه افزایش دانسیته می‌شود (۲۴).

۳-۴ ارزیابی متغیرهای تحت بررسی بر تخلخل

تجزیه واریانس یافته‌های بدست آمده (جدول ۳)، نشان دادند که رطوبت ورودی و میزان سبوس بر میزان تخلخل اثر معنی‌داری ($p < 0.05$) بر جای می‌گذارند. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود با افزایش رطوبت ورودی، میزان تخلخل به صورت خطی کاهش یافت. به گونه‌ای که در ۱۳ درصد بیشترین تخلخل و در سطح ۱۹ درصد رطوبت، میزان تخلخل کمترین مقدار می‌باشد. افزایش رطوبت ورودی منجر به تغییر ساختار مولکولی آمیلوپکتین می‌شود که منجر به کاهش الاستیسیته خمیر مذاب و به دنبال آن کاهش میزان تخلخل می‌گردد. همچنین افزایش رطوبت ورودی باعث کاهش دمای خمیر می‌شود زیرا سایش بین خمیر و ماردون کاهش یافته و اثر منفی بر روی ژلاتینه شدن نشاسته داشته و تخلخل و ضریب انبساط را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر کاهش میزان سبوس، منجر به افزایش ضریب انبساط می‌گردد. به نظر می‌رسد، افزایش ضریب انبساط بواسطه کاهش میزان سبوس ناشی از ویسکوزیته بالا در اثر کاهش آب، قابل توجیه باشد. از سوی دیگر افزایش رطوبت ورودی منجر به کاهش ضریب انبساط می‌شود که به علت چروکیدگی و متلاشی شدن (فروپاشی) ماده اکستروود شده پس از حداکثر افزایش حجم ناشی از ویسکوزیته بیش از حد پایین خمیر است (۴).

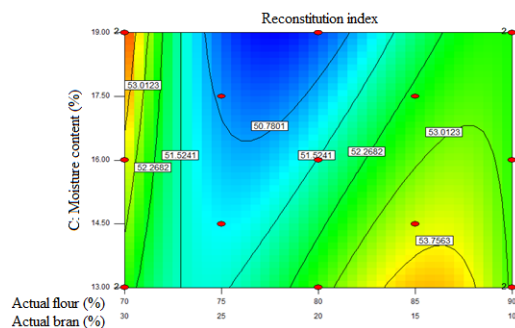
^۱Riaz

^۱Chang

^۱Smith

۳-۶ ارزیابی متغیرهای تحت بررسی بر شاخص بازسازی

تجزیه واریانس یافته‌های بدست آمده (جدول ۳)، نشان دادند که رطوبت ورودی و میزان سبوس بر شاخص بازسازی اثر معنی‌داری ($P < 0.05$) بر جای می‌گذارند. کاهش نسبت سبوس / آرد برنج و هم‌چنین افزایش میزان رطوبت ورودی، باعث افزایش شاخص بازسازی، گردیده‌اند (شکل ۵). به گونه‌ای که بیشترین شاخص بازسازی در سبوس ۱۰ درصد و کمترین آن در سبوس ۳۰ درصد مشاهده گردید، از سوی دیگر کمینه شاخص بازسازی در رطوبت ورودی ۱۳ درصد و بیشینه آن در رطوبت ۱۹ درصد، حاصل گردید.

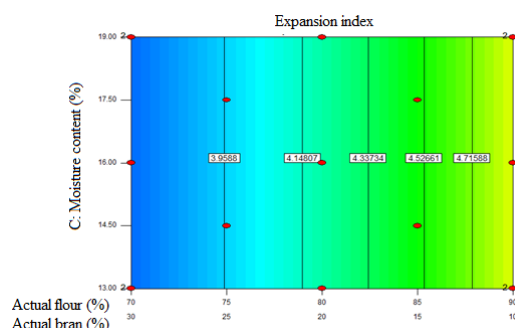


شکل ۵ تاثیر رطوبت ورودی و میزان سبوس بر شاخص بازسازی

۴- نتیجه‌گیری:

سالانه مقادیر قابل توجهی سبوس در طول فرآیند آسیابانی برنج به عنوان فرآورده جانبی بدست می‌آیند که بکارگیری آن در فرمولاسیون مواد غذایی، می‌تواند موجب بهبود ویژگی‌های عملکردی فرآورده‌های تولیدی گردد. پودرهای فوری با میزان سبوس بالا، پاسخی مناسب به نیازهای روزافزون جامعه به فرآورده‌های فوری با ارزش تغذیه‌ای مناسب که بدون آماده‌سازی طولانی در زمان کوتاهی قابل مصرف باشند، می‌باشد. نتایج این تحقیق حاکی از امکان افزایش میزان سبوس در فرمولاسیون پودر فوری بر پایه آرد برنج در فرآیند پخت اکستروژن با حفظ ویژگی‌های عملکردی موردنیاز، بود و در نهایت نمونه فرآیند شده با نسبت سبوس به آرد برنج (۱۰ به ۹۰ درصد) و

استوجسکا^۱ و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که افزایش رطوبت منجر به کاهش درجه ژلاتیناسیون و به دنبال آن کاهش ضریب انبساط می‌شود. هم‌چنین کاهش میزان پروتئین، باعث افزایش ضریب انبساط می‌شود. افزایش ضریب انبساط با کاهش رطوبت احتمالاً به دلیل افزایش ویسکوزیته در اثر کاهش آب، صورت می‌گیرد (۲۵). هم‌چنین پادمناهبان^۲ و همکاران (۱۹۸۹) بیان کردند دو عامل موثر بر افزایش حجم فرآورده‌های اکستروژ شده شامل نیروی‌های الاستیک و هم‌چنین نیروی رشد حباب به دلیل افزایش فشار بخار آب، می‌باشد (۲۰). ایلو^۳ و همکاران (۱۹۹۶) گزارش کردند که افزایش رطوبت ورودی بر میزان انبساط فرآورده اثر منفی دارد و دلیل این امر، متلاشی شدن ماتریس سلولی، تحت فشار بخاربالا می‌باشد (۱۸). دینگ^۴ و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که افزایش رطوبت ورودی منجر به کاهش ضریب انبساط می‌شود و دلیل آن‌را می‌توان به متلاشی شدن ساختار ماده اکستروژ شده ناشی از ویسکوزیته بیش از حد پایین خمیر مذاب نسبت داد. در رطوبت‌های بالای ورودی، فرآورده‌های اکستروژ شده پس از سرد شدن، سختی بافت بیشتری نسبت به نمونه‌هایی با رطوبت ورودی پایین‌تر، نشان می‌دهند (۹).



شکل ۴ تاثیر رطوبت ورودی و میزان سبوس بر ضریب انبساط

- effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 73(2), 142-148 .
10. Ferreira, R.E. Chang, Y.K. Steel, C. J. 2012. Influence of wheat bran addition and of thermoplastic extrusion process parameters on physical properties of corn-based expanded extruded snacks. *Alimentos e Nutrição Araraquara*, 22(4), 507-520.
 11. Frame, N. D. 1994. *The technology of extrusion cooking*. London: Blackie Academic and Professional.
 12. Grenus, K.M. Hsieh, F. Huff, H.E. 1993. Extrusion and extrudate properties of rice flour. *Journal of Food Engineering*, 18: 229-245.
 13. Guha, M. zakiuddin, A. suvendu, B. 1997. twin-screw extrusion of rice flour without a die. Effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. *Journal of food engineering*, 32(3), 251-267.
 14. Hagenimana, A. Ding, X. Fang, T. 2006. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43: 38-46.
 15. Hashimoto, J.M. Grossmann, M.V.E. 2003. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. *International Journal of Food Science and Technology*, 38: 511-517.
 16. Harper, J. M. 1981. Extrusion of starches and starches materials. In J. M. Harper (Ed.). *Extrusion of food*. Boca Raton: CRC Press, Vol. 2, pp. 41-60.
 17. Ihekoronye, A.I. Oladunjoye, M.G. 1988. Formulation and Physicochemical properties of high protein food beverage powders based on protein concentrate from the Nigerian red skin groundnut. *Trop, Sci.* 28:219-237.
 18. Ilo, S. Tomschik, U. Berghofer, E. Mundigler, N. 1996. The effect of extrusion operating conditions on the apparent viscosity and the properties of extrudates in twin-screw extrusion cooking of maize grits. *LWT-Food Science and Technology*, 29(7), 593-598 .
- رطوبت ورودی (۱۳ درصد)، دارای بهترین خصوصیات بافتی و عملکردی بود.
- ۵-منابع:**
1. AACC. 2000. *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*.
 2. Akpauimam, M.A. Markakis, P. 1981. Physicochemical and nutritional aspects of cowpea flour. *Journal of Food Science*, 46(3): 972-973.
 3. Ansah, j.o. Van de Voort, D.R. Stanly, D.W. 1984. Textural and Microstructural Changes in Corn Starch as a Function of Extrusion Variables. *Food Science Technology Journal*, 17(2): 65-70.
 4. Brennan, M. A. Merts, I. Monro, J. Woolnough, J. Brennan, C. S. 2008. Impact of guar gum and wheat bran on the physical and nutritional quality of extruded breakfast cereals. *Starch/Stärke*, 60(5): 248-256.
 5. Chang, Y.K. Silva, M.R. Gutkoski, L.C. Sebio, L. Da Silva, M. 1998. Development of extruded snacks using Jatoba (*Hymenaea stigonocarpa* Mart) flour and cassava starch blends. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 78(1), 59 - 66.
 6. Chanlat, N. Songsermpong, S. Charunuch, C. Naivikul. O. 2011. Twin-Screw Extrusion of Pre-Germinated Brown Rice: Physicochemical Properties and γ -Aminobutyric Acid Content (GABA) of Extruded Snacks. *International Journal of Food Engineering*, 7(14): 336-342.
 7. Charunuch, C. Pracha, B. Chowladda, T. 2003. Using of Extrusion Process for Preparation of Instant Cereal Beverage Powders based on Corn and Soybean. *Kasetsart Journal (Nat. Sci.)*, 37: 72-83
 8. Charunuch, C. Limsangouan, N. Prasert, W. Wongkrajang, K. 2014. Optimization of extrusion conditions for ready-to-eat breakfast cereal enhanced with defatted rice bran. *International Food Research Journal*, 21(2): 713-722.
 9. Ding, Q.B. Ainsworth, P. Plunkett, A. Tucker, G. Marson, H. 2006. The

19. Lawton, J.W. Davis, A.B. Behnke, K.C.1985. High-temperature, short-time extrusion of wheat gluten and a bran-like fraction. *Cereal chemistry*, 62:267-271.
20. Padmanabhan, A. Bhattacharya, M. 1989. Analysis of Pressure Drop in Extruder Dies. *Journal of Food Science*, 54(3), 709-713.
21. Pathania, S. Singh, B. Sharma, S. Sharma, A. Sing, S.2013. Optimization of extrusion processing conditions for preparation of an instant grain base for use in weaning foods. *Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 3(3).1040-1049.
22. Riaz, M.N. 2002. *Extruders in food applications*. 2nd ed. Boca Raton: CRC, 225 p.
23. Singh, B. Sekhon, K.S. Singh, N.2007. Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behaviour and product characteristics of rice. *Food Chemistry*, 100(1): 198-202.
24. Smith, A. C. Singh, N. 1996. New applications of extrusion technology. *Indian Food Industry*, 15, 14–23.
25. Stojceska, V. Ainsworth, P. Plunkett, A. Ibanoglu, E. Ibanoglu, S. 2008. Cauliflower by-products as a new source of dietary fibre, antioxidants and proteins in cereal based ready-to-eat expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 87, 554-563.
26. Wiboonsirikul, J. Yukitaka, K. Kadota, M. Morita, H. Tsuno, T. Adachi, S. 2007. Properties of extracts from defatted rice bran by its subcritical water treatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 8759-8765.