تاثیر متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرآیند اکستروژن بر ویژگی های اسنک حجیم فراسودمند حاوی مکمل فیبری (کنجاله کنجد و سبوس گندم)

مژگان نجف زاده[۱]، مرضیه بلندی[۲]، الناز میلانی[۳*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی ،واحد دامغان
۲- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دامغان
۳- استادیار پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی
(تاریخ دریافت: ۹٤/٦/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹٤/۹/۱۲)

چکیده

یکی از مهمترین مشکلات تغذیه ای دنیای کنونی، سوء تغذیه ناشی از کمبود پروتئین و فیبر در رژیم غذایی می باشد. با غنی سازی اسنک ها توسط فیبر می توان به تولید محصولی با کالری، چربی و کلسترول کمتر دست یافت. کنجاله کنجد فراورده تولیدی حاصل از روغن کشی، منبع غنی از پروتئین، فیبر و اسیدهای چرب ضروری است. سبوس گندم نیز فراورده جنبی حاصل از فراوری آرد گندم بوده و حاوی فیبررژیمی، پروتئین و مواد معدنی است. در این پژوهش بر پایه طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر، اثر متغیرهای فرآیند اکستروژن شامل سرعت چرخش مارپیچ (۱۲۰-۲۲۰دور بر دقیقه)، افزودن مکمل فیبری (۵-۱۵ درصد) و رطوبت خوراک ورودی (۱۲-۱۸درصد) بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی، بافتی و میکروساختار فراورده حجیم مورد بررسی قرارگرفت. نتایج نشان داد تاثیر افزودن مکمل های فیبری به صورت مستقل سبب کاهش ضریب انبساط و تخلخل و افزایش دانسیته می شود با این حال اثر همزمان دو پارامتر سرعت چرخش و افزودن مکمل فیبری سبب بهبود خصوصیات گردید به نحوی که با افزایش سرعت چرخش مارپیچ و درنتیجه کاهش ویسکوزیته ضریب انبساط و تخلخل افزایش و دانسیته و سختی کاهش یافت. شرایط بهینه تولید اسنک، شامل میزان رطوبت خوراک ۱٤/۹۵ درصد، فیبر ۱۲/۵ درصد و سرعت مارپیچ ۱۸۳/۳۹ تعیین گردید.

کلید واژگان: اسنک حجیم فراسودمند، بافت، میکروساختار و مکمل فیبری

* مسئول مکاتبات: e.milani@jdm.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

صنایع غذایی از جمله صنایع مولد و استراتژیک به شمار می‌رود که نقش مهمی در خودکفایی کشور و ایجاد ارزش افزوده محصولات کشاورزی بر عهده دارد. سیرصعودی رشد جمعیت و آلودگی زیست محیطی ناشی از کارخانجات فرآوری محصولات کشاورزی، توجه محققین را به استفاده از پسماند یا فراورده های جنبی معطوف داشته است [۱]. براساس آمارهای بین‌المللی، سالانه حدود ۱۰ تا ۵۰ درصد از تولیدات بخش کشاورزی در قالب ضایعات از چرخه فناوری خارج می‌شود. تولید حجم بالای پسماندهای کارخانجات مختلف صنایع غذایی نظیر کارخانجات روغن کشی، تولید آبمیوه، رب گوجه فرنگی، صنایع آرد بر و پخت از جمله موضوعات مورد چالش صنعت غذا به شمار می رود [۱]. این قبیل پسماندها، علاوه بر ارزان بودن، منابعی سرشار از پروتئین، فیبر رژیمی، پلی فنول ها و انواع ریز مغذی ها می باشند. مصرف فیبر در نیم قرن اخیر به عنوان یکی از اجزای اصلی غذاهای عملگر مورد توجه قرار گرفته است. فیبرهای رژیمی به عملکرد بهتردستگاه گوارش و سیستم ایمنی بدن کمک نموده و درکنترل وزن و دیابت تاثیرمثبت دارند [۲و۳]. متاسفانه صنایع تبدیلی موجود در ایران قادر به استفاده مجدد از کلیه فراورده های جنبی نمی باشد؛ اهمیت این مسئله زمانی مشهود است که این قبیل محصولات در دیگر کشورها منبع اصلی تأمین مواد برای صادرات به ایران وکشورهای مشابه می باشند. دستیابی به تکنولوژی که ضمن کاهش اثرآلایندگی انواع پسماند، تولید موادی با ارزش افزوده را در بر داشته باشد، هدف متعالی خواهد بود. تاکنون پژوهش های زیادی در این خصوص در کشورهای توسعه یافته انجام شده است؛ بااین حال فراوری انواع پسماند توسط فناوری اکستروژن با رویکرد تولید اسنک حجیم سلامتی زا و با ارزش افزوده، از جمله موثرین روش ها با راندمان بالا به شمار می رود [٤]. اسنک ها قسمتی از عادت غذایی بخش کثیری از جمعیت جهان می باشند. مصرف بالا و افزایش تنوع اسنک های اکسترود در سال های اخیر مبین نیاز به توجه در باب افزایش کیفیت تغذیه ای این محصولات در عین حفظ میزان پذیرش محصولات از سوی بازار مصرف می باشد [۵]. بهبود ارزش تغذیه ای فرآورده های حجیم می تواند نقشی موثر در وضعیت تغذیه ای و سلامت جامعه ایفا نماید[٦ و ۷]. توسعه بازار مصرف فراورده های رژیمی عملگر و قابلیت مناسب فناوری اکستروژن در تولید این قبیل فراورده ها، متنوع بودن طیف فراورده های تولیدی، کیفیت مطلوب آن، پائین‌بودن هزینه‌های تولید، بالابودن راندمان، عدم دارا بودن فاضلاب و همچنین مصرف کم آب در طول پروسه، از جمله مزیت‌های این روش تولید می‌باشد[٦ و ۸]. با عنایت به مصرف بالای انواع اسنک حجیم و نگرانی‌های تغذیه‌ای در این خصوص؛ هدف اصلی پژوهش، فرمولاسیون و تولید میان وعده غذایی اکسترود شده کم کالری (حاوی پسماند صنایع تبدیلی) با ارزش غذایی افزوده به عنوان جایگزین مناسب اسنک های حجیم رایج موجود در بازار بوده تا در ارتقای سلامت جامعه موثر باشد. سبوس دانه غلات نظیر گندم، برنج و جو به عنوان پسماند کارخانجات فراوری آرد غنی از فیبر، پروتئین وآنتی اکسیدان می باشد. کنجاله دانه های روغنی نیز محصول جنبی فرایند روغن کشی، غنی از پروتئین، آهن، فیبر ، کلسیم و فسفر بوده که تاکنون استفاده از آن در فرمولاسیون فراورده های غذایی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در روند استخراج روغن از کنجد توسط پرس مکانیکی، کنجاله کنجد با حدود ۵۰ درصد پروتئین و بیش از ۱۵۰۰میلی گرم در ۱۰۰گرم کلسیم تولید می شود که در مقایسه با منابع سنتی کلسیم مانند شیر گاو مقدار قابل توجهی است. همچین منبع سرشار از فیبرخام است(۱۰،۸گرم/۱۰۰گرم)[۹ و۱۰]. فیبر رژیمی به عنوان جایگزین چربی درفراورده های پخت، گوشتی و لبنی استفاده می شود. از جمله مزایای مصرف فیبر رژیمی شامل کاهش چربی و فشار خون، تعدیل وزن بدن، کاهش خطر ابتلا به سرطان روده بزرگ، سینه،پروستات، کاهش خطر بیماری‌های قلبی، دیابت و یبوست می باشد[۲و٦]. از این رو در پژوهش حاضر، به کمک طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر، تاثیر متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرآیند اکستروژن شامل سطوح مختلف افزودن مکمل فیبری، رطوبت و سرعت چرخش

Archive of SID

www.SID.ir

مارپیچ، بر ویژگی ماکروساختار اسنک بر پایه (بلغور ذرت-آرد گندم ستاره) مورد بررسی قرارگرفت.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- ماده ی اولیه

ماده ی اولیه شامل بلغور ذرت از کارخانه ذرت طلایی، سبوس گندم از سازمان غله و خدمات بازرگانی، کنجاله کنجد از کارخانه روغن کشی صفایی و آرد گندم نول از بازار محلی تامین گردید.

۲-۲- تهیه فرمولاسیون مخلوط پایه برای اکستروژن

رطوبت مواد اولیه به وسیله دستگاه رطوبت سنج تعیین شد. سپس تمامی مواد به نسبت مشخص برای تهیه مخلوط پایه اکستروژن مخلوط گردید. برای تنظیم رطوبت از روش مربع پیرسون استفاده گردید و برای رساندن مخلوط به رطوبت مورد نظر از آب مقطر استفاده شد. سپس مخلوط درظروف پلاستیکی درب دار ٢٤ ساعت در دمای یخچال نگهداری شد. و نهایتا از دستگاه اکسترودر دومارپیچ برای تولید محصول نهایی استفاده شد[۱۱].

۲-۳- شرایط فرایند اکستروژن

به منظور فرمولاسیون و تهیه نمونه های اسنک از دستگاه اکسترودر دو ماردونه موجود در پایلوت اکستروژن پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاددانشگاهی مشهد (مدل DS56 شرکت Jinan Saxin) استفاده شد. پس از اعمال شرایط مناسب، به کمک طرح آماری مرکب مرکزی چرخش پذیر، مطابق جدول ۱- تاثیر سطوح افزودن مکمل فیبری (سبوس گندم: کنجاله کنجد ۵۰:۵۰) و متغیرهای فرایند اکستروژن به ترتیب شامل میزان رطوبت خوراک و سرعت چرخش هلیس بر مقادیر چگالی، ضریب انبساط شوندگی، تخلخل و سختی اسنک حجیم بررسی شد. میزان سرعت خوراکدهی ۳۰ کیلوگرم بر ساعت تعیین گردید. نمونه های اکسترود شده تولیدی بلافاصله به آون هوای داغ برای مدت ۲ ساعت در٤٠ درجه سانتیگراد منتقل شد و درون کیسه‌های پلاستیکی پلی اتیلنی ضخیم قرار گرفت. نمونه ها تا انجام آزمایشات تکمیلی دور از نور و در دمای اتاق نگهداری شد[۱۱ و ۱۲]. اندازه‌گیری ویژگی‌های مورد نظر، بلافاصله پس از تولید انجام گرفت.

۲-٤- آنالیز ترکیبات شیمیایی

ترکیب شیمیایی نمونه ها با به کارگیری روش‌های استاندارد آنالیز و ارزیابی شدند. شایان ذکر است، کلیه آزمون ها با سه تکرار انجام گرفتند. برای اندازه گیری رطوبت، ابتدا ۲ گرم از نمونه های آسیاب شده به یک پلیت خالی افزوده شد. سپس پلیت به آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد منتقل گردید. در فواصل زمانی ثابت پلیت از آون خارج و پیش از توزین برای مدتی در دسیکاتور گذاشته شد. این کار تا رسیدن به وزن ثابت تکرار شد[۱۳]. جهت اندازه گیری خاکستر ابتدا ۵ گرم از نمونه پودر شده به کروزه انتقال یافت. سپس به مدت تقریبا ۳ تا ۵ ساعت در کوره ۵۵۰درجه قرار داده شد تا محتویات بوته چینی سفید(خاکستری) گردید. بعد نمونه را در دسیکاتور گذاشته تا به دمای محیط برسد.نمونه ی سرد شده را وزن کرده و مقدار خاکستر محاسبه گردید[۱۳].

مقدار پروتئین و چربی نمونه ها به ترتیب توسط دستگاه کجلدال اتومات (مدل VAP20 ساخت شرکت Gerhardt)و سوکسله مستقر در پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی مشهد اندازه گیری شد[١٤].

اندازه گیری فیبر خام با استفاده از دستگاه آنالیزگر فیبر در دانشکده ی علوم دام دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. اساس اندازه گیری فیبر خام بر مبنای جزء باقیمانده از نمونه ی مورد آزمایش پس از هضم با محلول های استاندارد اسید سولفوریک و هیدروکسید سدیم تحت شرایط کنترل شده و نهایتا تبدیل آن به خاکستر به روش کوره می باشد[١٤].

۲-۵- تعیین ضریب انبساط‌شوندگی

به طور تصادفی از هر تیمار ۱۰ نمونه محصول اکسترود انتخاب شد و جهت اندازه گیری نسبت انبساط شوندگی قسمتی از دو انتهای آن را جدا کرده تا کاملا استوانه‌ای شکل

Archive of SID

www.SID.ir

گردد. حال با استفاده از کولیس قطر نمونه‌های اکسترود شده و قطر قالب دستگاه اکستروژن را اندازه گیری کرده و در نهایت توسط رابطه ۳-۲ نسبت انبساط شوندگی محاسبه شد [۱۱ و ۱٤].

$$\text{نسبت انبساط شوندگی} = \frac{\text{قطر نمونه اکسترود شده}}{\text{قطر دای}}$$

(رابطه۳-۲)

۲-٦- اندازه‌گیری دانسیته

۱۰ نمونه اسنک اکسترود به طور تصادفی از هر تیمار انتخاب شد و جهت اندازه گیری چگالی ظاهری، به منظور حصول اشکال کاملااستوانه‌ای، دو انتهای آن جداگردید؛ سپس توسط کولیس دیجیتال قطر و طول نمونه‌های اکسترود شده اندازه-گیری شده و با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰,۰۰۰۱ جرم هر نمونه توزین گردید. توسط معادله زیر چگالی ظاهری محاسبه شد [۱۲].

در این معادلهMجرم محصول برحسب گرم،D قطر محصول برحسب سانتیمتر و L طول محصول برحسب سانتیمتر می‌باشد.

$$\text{چگالی} = \frac{4 \times m}{\Pi \times D^2 \times L}$$

۲-۷- اندازه گیری تخلخل

بدین منظور نمونه های اسنک مشابه اندازه گیری دانسیته ی توده می باشد. همانند روش قبل حجم نمونه های اسنک سالم اندازه گیری گردید. سپس ۵ عدد نمونه اسنک مذکور آسیاب شدند. در مرحله بعد حجم نمونه های آسیاب شده اسنک با استفاده از مزور اندازه گیری شد. تخلخل نمونه های اسنک با توجه به حجم نمونه های اسنک در قبل و بعد از آسیاب محاسبه گردید[۱۳ و۱۵].

۲-۸- اندازه گیری ویژگی بافت سنجی

به منظور تعیین پارامتر سختی بافت نمونه ها ازدستگاه آنالیز بافت مدل TA plusساخت LLOYD انگلستان با مشخصات پروب استوانه ای به قطر۲ میلی متر استفاده شد؛ نیروی موردنیاز جهت نفوذ پروب به عمق مشخص ۸ میلی متر و تحت سرعت ثابت ۱mm/s بود [۱٦].

۲-۹- طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری

طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر شامل مجموعه ای از تکنیک های آماری بوده و در بهینه سازی فرایند هایی بکار می رود که پاسخ مورد نظر توسط تعدادی از متغیرها تحت تاثیر قرار می گیرد شمای گرافیکی مدل ریاضی سبب تعریف واژه ی متدولوژی رویه پاسخ شده است. با کمک این طرح آماری، تعداد آزمایش ها کاهش یافته و کلیه ضرایب مدل رگرسیون درجه دوم و اثر متقابل فاکتور ها، قابل برآورد هستند. مهمترین مسئله این تحقیق بررسی آثار اصلی و متقابل فاکتور ها بود، از این روطرح آماری سطح پاسخ انتخاب شد(۱۳). در این مطالعه اثر متغیرهای مستقل شامل X1 مکمل فیبری، X2 رطوبت خوراک و X3 سرعت ماردون، در جدول (۱) نشان داده شده است. شش تکرار نقطه مرکزی برای تخمین خطای آزمایش استفاده شد. در ضمن، متغیرها مطابق معادله‌ی زیر کدگذاری شدند:

$$x_i = (X_i - \overline{X}_i)/\Delta X_i$$

در مرحله دوم طرح آماری گزینش شده و رابطه مدل مورد استفاده برای پیش بینی، برازش شده و مورد ارزیابی قرار می گیرد. مرحله سوم شامل ارائه گرافیکی رابطه مدل و تعیین شرایط عملیاتی بهینه بود وتوسط نمودار رویه پاسخ و کنتور انجام پذیرفت. شرایط عملیاتی بهینه، با استفاده از تکنیک بهینه سازی عددی[1] جستجو شد [۱۱ و۱۵].

1. Numerical optimization

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱ سطوح افزودن متغیرهای مستقل

متغیرهای مستقل	نماد ریاضی	کد و سطح مربوطه		
		+۱	۰	−۱
سطوح افزودن مکمل فیبری(درصد)	X_1	۱۵	۱۰	۵
رطوبت خوراک(درصد)	X_2	۱۸	۱۵	۱۲
سرعت چرخش هلیس (rpm)	X_3	۲۲۰	۱۷۰	۱۲۰

۳-نتایج

۳-۱- ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیایی مواد اولیه بر حسب وزن مرطوب (درصد) در جدول شماره ۲ قابل مشاهده است.

بلغور ذرت	مقادیر(درصد)	آرد گندم نول	مقادیر(درصد)	سبوس گندم	مقادیر(درصد)	کنجاله کنجد	مقادیر(درصد)
پروتئین	۹/٦۲	پروتئین	۱۱/۵	فیبر کل	۳۱/۲٤	پروتئین	۳۹/۲٤
چربی	۰/۹	چربی	۱/۲۷	ADF	۱۵/۱۵	فیبر کل	٤/۷
خاکستر	۰/۹۲	خاکستر	۰/۵۱	NDF	٤۰/۲	چربی	۱۰/۵
فیبر	۱/۲	رطوبت	۱۱/۳۹			رطوبت	۸

۳-۲- تاثیر متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرآیند بر دانسیته اسنک حجیم فراسودمند

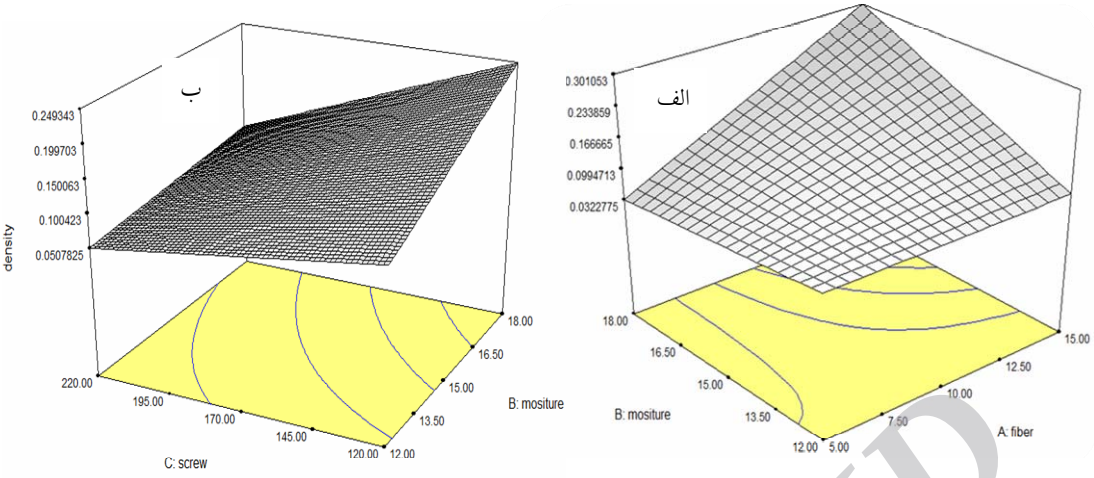
در شکل ۱-الف اثر همزمان مکمل فیبری- رطوبت در سرعت مارپیچ ثابت۱۷۰ دور بر دقیقه بر فاکتور دانسیته نشان داده شده است. بر این اساس، اثر مستقل هر یک از متغیرهای مکمل فیبری و رطوبت نشان داد که افزایش هر یک منجر به افزایش میزان دانسیته گردید؛ چنانکه با افزایش همزمان هردو میزان دانسیته افزایش یافت؛ اما میزان تاثیر رطوبت بیشتر بود.

در شکل ۱- ب اثر همزمان رطوبت- سرعت مارپیچ در غلظت مکمل فیبری۱۰ درصد بر میزان دانسیته مشاهده می شود. بر این اساس، با افزایش رطوبت میزان دانسیته افزایش یافت. چنانکه، با افزایش سرعت مارپیچ دانسیته کاهش یافت. با این حال با افزایش همزمان دو متغیر رطوبت و سرعت چرخش میزان شاخص دانسیته بواسطه تاثیر بیشتر سرعت مارپیچ، کاهش یافت.

چگالی از خصوصیات مهم اسنک اکسترود شده هست . چنانکه در توصیف درجه پف کنندگی نمونه اکسترود شده به کار می روند . وابستگی بالا چگالی و نسبت انبساط شوندگی به رطوبت منعکس کننده تاثیر آن بر الاستیسیته مواد نشاسته ای است[۱۳ و۱۵]. کاهش دانسیته در نتیجه‌ی افزایش سرعت چرخش مارپیچ با نتایج سایر پژوهش ها مطابقت داشت[۱۲، ۱٤ و ۱٦]. آنها گزارش کردند که دانسیته ی توده دارای رابطه‌ای معکوس با درجه انبساط گدازه در پوسته است و دانسیته ی پایین همراه با نسبت انبساط بالا از ویژگی‌های مطلوب و مورد انتظار در اسنک‌های اکسترود هستند. سرعت های بالای مارپیچ می تواند باعث کاهش ویسکوزیته‌ی گدازه ی در حال اختلاط و افزایش الاستیسیته ی خمیر گردد که نهایتا منجر به کاهش دانسیته‌ی فرآورده اکسترود می‌شود. افزایش سرعت چرخش مارپیچ بر درجه ی پُری و زمان ماند گدازه در پوسته، تجزیه شبکه‌ی آمیلوپکتین و تغییر ویژگی‌های رئولوژیکی گدازه تاثیرگذار است. از اینرو تاثیر شگرفی بر الاستیسیته و متعاقبا دانسیته و انبساط فرآورده دارد[۱۷]. از آنجاییکه افزایش رطوبت خوراک موجب افزایش دانسیته می شود لذا هر چقدر سرعت چرخش مارپیچ بیشتر شود توزیع رطوبت در خمیر افزایش می یابد که این امر به کاهش دانسیته- ی فرآورده‌ی نهایی می انجامد[۱۸]. با افزایش سرعت مارپیچ در سرعت های بالا انتظار می رود ویسکوزیته خمیر مذاب کاهش یافته و الاستیسیته خمیر افزیش یابد که منجر به کاهش چگالی می شود[۱٦،۱۳ و ۱۹].

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱ اثر متقابل مکمل فیبری و رطوبت (الف) و رطوبت و سرعت چرخش (ب) بر میزان دانسیته اسنک حجیم

۳-۳- تاثیر متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرآیند بر شاخص انبسط شوندگی اسنک حجیم فراسودمند

از نظر آماری مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم افزار برای شاخص انبساط شوندگی، مدل چند جمله ای بود. نتایج آنالیز واریانس، نشان داد؛ عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل مکمل فیبری، رطوبت و سرعت مارپیچ بودند ($p<۰/۰۵$). چنانچه مشاهده می‌شود آزمون عدم قطعیت برازش مدل بیانگر عدم معنی‌داری آن بود. در شکل۲-الف، اثر همزمان مکمل فیبری- رطوبت در سرعت مارپیچ ثابت ۱۷۰ دور بر دقیقه بر ضریب انبساط‌شوندگی نشان داده شده است. بر این اساس، دو پارامتر اثر محسوسی بر فاکتور نسبت انبساط‌شوندگی داشته‌اند؛ چنانکه، با افزایش همزمان، میزان انبساط‌شوندگی فراورده کاهش یافت. بااین حال درغلظت بیشینه مکمل فیبری، افزایش رطوبت تاثیری بر رفتار انبساط شوندگی نمونه ها نداشت.

اثر همزمان مکمل فیبری و سرعت مارپیچ در نمونه های با ۱۰ درصد مکمل فیبری بر فاکتور نسبت انبساط‌شوندگی در شکل۲-ب نشان داده شده است. بر این اساس، افزایش سرعت مارپیچ در شرایط غلظت کم مکمل فیبری، نسبت انبساط شوندگی را افزایش داد؛ اما همزمان با افزایش هر دو پارامتر کاهش معنی‌داری در نسبت انبساط شوندگی مشاهده گردید.

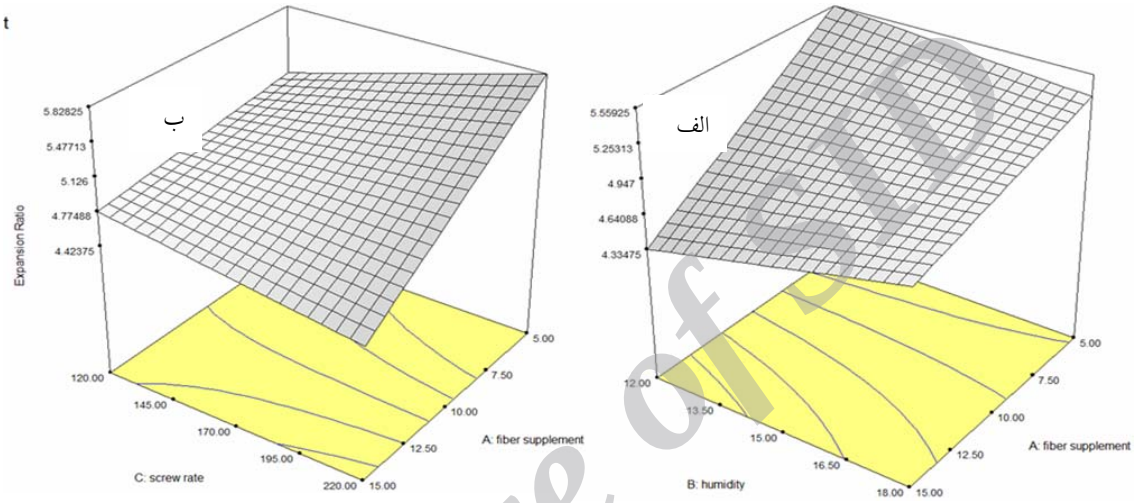
چگالی و ضریب انبساط شوندگی از ویژگی های مهم فراورده اکسترود شده در توصیف میزان پف کنندگی می باشند. مطابق نتایج پژوهش، رطوبت مهم‌ترین فاکتور تاثیر گذار بر چگالی و نسبت انبساط شوندگی بود. رطوبت برای انبساط محصول نامناسب است زیرا اجازه می‌دهد ماتریس سلولی تحت فشار بخار بالا متلاشی گردد[۱۱،۱٤، ۱۵]. وابستگی بالا چگالی و نسبت انبساط شوندگی به رطوبت منعکس کننده تاثیر آن بر الاستیسیته مواد نشاسته‌ای است[۱۸]. مطابق پژوهش پادمانبهان، نیروی الاستیک و نیروی رشد حباب به دلیل فشار بخار آب از عوامل موثربر انبساط فراورده اکسترود شده می باشند[۱۹]. افزایش رطوبت منجر به تغییر ساختمان مولکولی آمیلوپکتین می‌شود و بنابراین الاستیسیته خمیر مذاب را کاهش داده و موجب کاهش نسبت انبساط شوندگی می‌گردد. افزایش رطوبت باعث کاهش دمای خمیر می‌شود زیرا اصطکاک بین خمیر و مارپیچ کاهش یافته و اثر منفی بر روی ژلاتینه شدن نشاسته داشته و تخلخل و انبساط شوندگی را کاهش می‌دهد [۱۲، ۱۳، ۱٦، ۱۸ و ۲۰].. افزایش رطوبت منجر به کاهش انبساط شوندگی می‌شود که به علت چروکیدگی و متلاشی شدن (فروپاشی) ماده اکسترود شده پس از حداکثر انبساط شوندگی ناشی از ویسکوزیته بیش از حد پایین خمیر مذاب است [۱۳].

افزایش رطوبت منجر به تغییر ساختمان مولکولی آمیلوپکتین می شود و بنابراین الاستیسیته خمیر مذاب را کاهش داده و

Archive of SID
www.SID.ir

موجب کاهش نسبت انبساط شوندگی می گردد. همچنین، باعث کاهش دمای خمیر می شود زیرا اصطکاک بین خمیر و مارپیچ کاهش یافته و اثر منفی بر روی ژلاتینه شدن نشاسته داشته و تخلخل و انبساط شوندگی را کاهش می دهد[۱۹ و ۲۲].

افزایش سرعت مارپیچ بواسطه افزایش نیروهای برشی و اصطکاک میان خمیر و دیوار داخلی قالب منجر به افزایش درجه حرارت می گردد. افزایش دما، باعث کاهش ویسکوزته خمیر شده و این کاهش، به نفع رشد حباب در طول اکستروژن عمل می کند .علاوه براین درجه سوپرهیتینگ، آب داخل اکسترودر را بالا برده که منجر به کاهش چگالی می شود [۱۸]. مطابق گزارشی، کاهش ویسکوزیته خمیر اکسترود جهت تولید حباب و افزایش انبساط شوندگی و کاهش چگالی مفید است [۱٦].



شکل۲ اثر مکمل فیبری و رطوبت (الف) مکمل فیبری و سرعت چرخش (ب) بر شاخص انبساط شوندگی اسنک حجیم

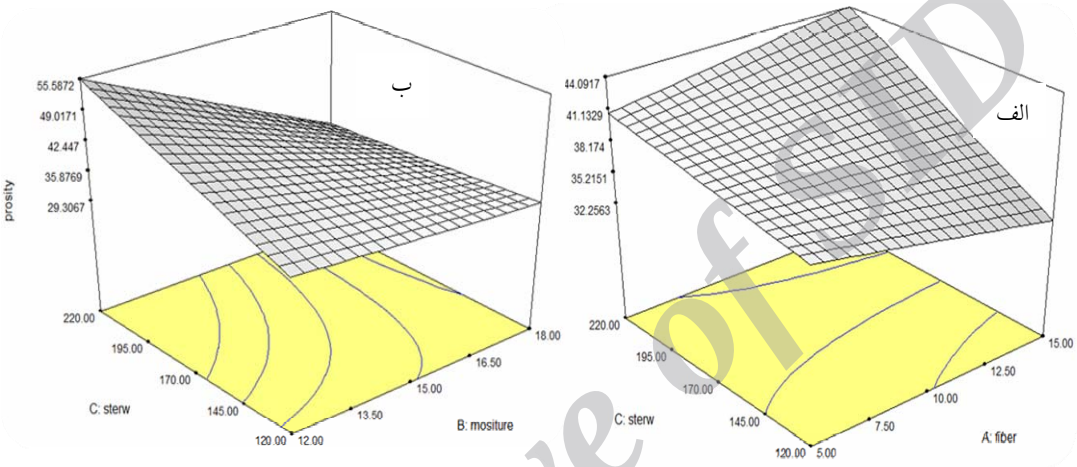
۳-٤- تاثیر متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرآیند بر میزان تخلخل اسنک حجیم فراسودمند

سلول های هوایی تشکیل شده در طی فرآیند اکستروژن باعث تولید خلل و فرج هایی با اندازه و تعداد گوناگون در فرآورده های حجیم می گردد. تشکیل ساختاری متخلخل، حجیم و اسفنجی در فرآورده های اکسترود به علت تولید تعداد زیاد حباب های کوچک بخار طی کاهش ناگهانی فشار در هنگام خروج از قالب می باشد[١٤ و ١٧]. از تخلخل می توان جهت توصیف ویژگی های انبساطی فرآورده ی اکسترود استفاده نمود.

اثر همزمان مکمل فیبری- سرعت چرخش در رطوبت ثابت ۱۵ درصد بر شاخص تخلخل در شکل ۳-الف نشان داده است. بر این اساس، افزایش سرعت چرخش مارپیچ سبب افزایش معنی دار شاخص تخلخل گردید؛ اثر مستقل مکمل فیبری سبب کاهش شاخص تخلخل گردید؛ اما همزمان با افزایش دو متغیر مکمل فیبری و سرعت چرخش شاخص تخلخل افزایش یافت. در شکل ۳-ب- اثر همزمان رطوبت و سرعت چرخش در غلظت ثابت مکمل فیبری۱۰درصد بر شاخص تخلخل قابل مشاهده است. بر این اساس، افزایش سرعت مارپیچ منجر افزایش شاخص تخلخل شد؛ اما افزایش رطوبت به صورت مستقل شاخص تخلخل را به مقدار کمی کاهش داد. در بررسی همزمان با افزایش دو متغیر رطوبت و سرعت چرخش میزان شاخص تخلخل کاهش یافت، این پدیده ناشی از تاثیر بیشتر فاکتور رطوبت بر میزان تخلخل فراورده بود.

Archive of SID
www.SID.ir

تاثیر سرعت چرخش بر تخلخل می تواند مربوط به توانایی کنترل آن در تنش بُرشی اعمال شده بر گدازه‌ی در حال اکسترود باشد؛ اعمال بیش از حد تنش بُرشی باعث تجزیه ی مفرط نشاسته و متعاقبا کاهش توانایی آن در تورم و ژلاتیناسیون گردد [۱۳]. مرکز نشاسته، از مکان های اولیه تشکیل هسته جهت آغاز تشکیل حباب هوایی است، کاهش ویسکوزیته باعث رشد حباب ها شده و با افزایش حباب ها، محصول نرم تر می شود؛ در صورتی که نشاسته آسیب ببیند، دیگر قادر به جذب آب نیست و در نتیجه توانایی آن جهت حمل بخار و آغاز هسته سازی، که عامل ایجاد کننده ساختار متخلخل اسنک است کاهش می یابد[۱۹، ۲۲ و۲۳]. توانایی دکسترینه شدن نشاسته می‌تواند باعث کاهش تخلخل شود؛ همچنین، تعداد سلولها برواحد سطح با افزایش غلظت سبوس کاهش می یابد، که خود دلیلی بر کاهش تخلل فراورده خواهد بود [۱۱و۱٤].



شکل۳ اثر مکمل فیبری و سرعت چرخش (الف) رطوبت و سرعت چرخش (ب) بر میزان تخلل اسنک حجیم

۳-۵- تاثیر متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرآیند بر میزان سختی اسنک حجیم فراسودمند

مدل پیشنهادی نرم افزار برای شاخص سختی، مدل چند جمله ای بود ($p<۰/۰۵$) و آزمون ضعف برازش آن معنی دار نبود ($p>۰/۰۵$) که نشانگر تناسب مدل برازش یافته می باشد.عبارت های معنی دار مدل شامل اثر خطی مکمل فیبری، رطوبت، سرعت چرخش و اثر متقابل مکمل فیبری-رطوبت و مکمل فیبری-سرعت چرخش بودند($p<۰/۰۵$).

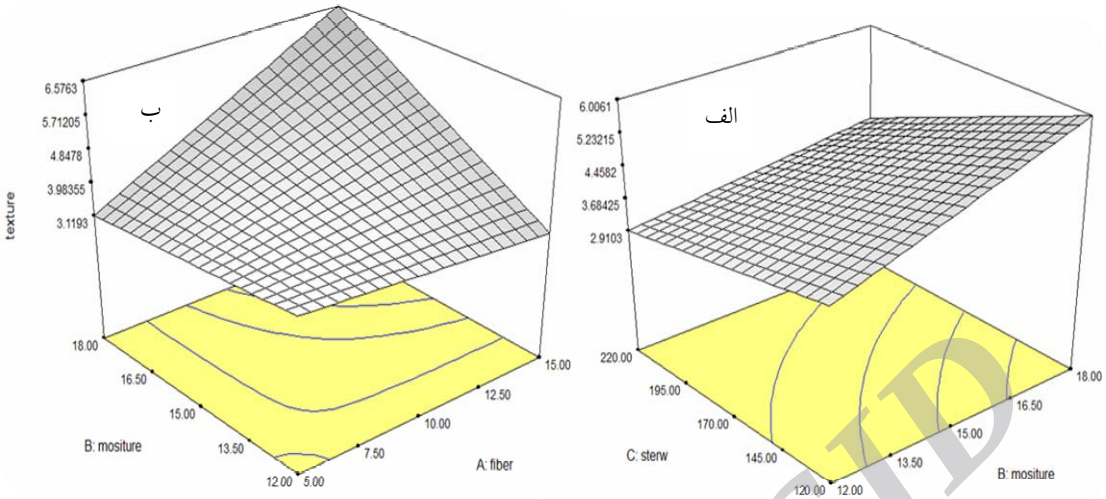
اثر همزمان مکمل فیبری- سرعت مارپیچ در رطوبت ثابت ۱۵ درصد بر میزان سختی در شکل ٤- الف نشان داده شده است. بر این اساس، اثر مستقل سرعت مارپیچ اثر محسوسی بر میزان سختی داشته است؛ چنانکه، با افزایش سرعت مارپیچ میزان سختی کاهش می یابد. همانطور که در شکل مشخص است همراه با افزایش مکمل فیبری شاهد بیشترین میزان سختی بودیم. در ادامه همزمان با افزایش دو پارامتر مکمل فیبری و سرعت مارپیچ کاهش معنی داری در میزان سختی مشاهده گردید.

با افزایش سرعت چرخش مارپیچ ویسکوزیته کاهش می یابد و در نتیجه با افزایش رشد حباب ها محصول نرم تر می شود [۱۹،۲٤ و۲۵]. افزایش سرعت چرخش مارپیچ به خصوص در دماهای بالای اکسترودر سبب کاهش مقدار دانسیته و متعاقبا کاهش سختی در نمونه های اسنک تولید شده بر پایه گندم گردید[۲۰]. در دمای بالا، ژلاتیناسیون نشاسته افزایش یافته و سبب کاهش سختی محصول می شود. پدیده اخیر به افزایش حجم و کاهش دانسیته‌ی فرآورده اکسترود کمک می نماید[۱۸].

در شکل ٤-ب اثر همزمان مکمل فیبری- رطوبت در سرعت مارپیچ ثابت۱۷۰ دور بر دقیقه بر میزان سختی نشان داده شده است. بر این اساس، اثر مستقل هر یک از متغیرهای مکمل

Archive of SID
www.SID.ir

فیبری و رطوبت نشان داد که افزایش هر یک از این پارامتر منجر به افزایش میزان سختی گردید؛ چنانکه با افزایش همزمان مکمل فیبری و رطوبت میزان شاخص سختی افزایش یافت.



شکل٤ اثر رطوبت و سرعت چرخش (الف) مکمل فیبری و رطوبت (ب) بر میزان سختی اسنک حجیم فراسودمند

۳-٦- بهگزینی فرمولاسیون و شرایط فرآیند اکستروژن جهت تولید اسنک فراسودمند

در این پژوهش، هدف از بهینه سازی به حداکثر رساندن خصوصیات اسنک غنی شده با آرد گندم، کنجاله کنجد و سبوس گندم بود. نتایج حاصل از بهینه یابی فرمولاسیون اسنک، جهت دستیابی به شرایط بهینه، شامل میزان رطوبت خوراک ١٤/٩٥ درصد، فیبر ١٢/٥ درصد و سرعت مارپیچ ١٨٣/٣٩، شاخص دانسیته ٢٩/٩٦، شاخص سختی ٤/٧٨ و تخلخل ٤١/٣٤ درصد تعیین گردید.

٤- نتیجه گیری

اسنک ها قسمتی از عادت غذایی بخش کثیری از جمعیت جهان می باشند. مصرف بالا و افزایش تنوع اسنک های اکسترود در سال های اخیر مبین ضرورت توجه در باب افزایش کیفیت تغذیه ای آنها در کنار میزان پذیرش از سوی بازار مصرف می باشد. با توجه به برخی آثار سوء تغذیه‌ای بعضی از اسنک‌های موجود در بازار، حساسیت زیادی در خصوص مصرف آنها وجود دارد. این موضوع خود اهمیت پژوهش در زمینه تولید فرآورده‌های جایگزین و سالم را در این زمینه نشان می‌دهد. بهبود ارزش تغذیه ای فرآورده های حجیم می تواند نقشی موثر در وضعیت تغذیه ای و سلامت جامعه ایفا نماید. از جمله فرصت های ایجاد شده در راستای توسعه فناوری تولید اسنک های حجیم فراسودمند، گسترش آگاهی و گرایش مصرف کنندگان نسبت به استفاده از فراورده های غذایی رژیمی و عملگر، بازار داخلی بسیار وسیع در صنعت تولید غذا و همجواری با بازارهای در حال توسعه منطقه و امکان صادرات فراورده خواهد بود. نتایج پژوهش بیانگر کارایی مناسب فراورده های جنبی صنایع تبدیلی در فرمولاسیون انواع اسنک حجیم سلامتی زا بود.

٥-منابع

[1] Vasso O, Winfried R. 2007. Utilization of By-Products and Treatment of Waste in the Food Industry. Springer Science. link.springer.com

[2] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2002). The definition of dietary fiber. Cereal Food World, 46, 112-126.

[3] Kołodziejczyk,k. Markowski,j. (2007).Apple Pomace as a potential source of nutraceutical products journal of polish food and nutrition sciences. 57: 4(B. 291-295.

[4] Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., and İbanoğlu, Ş. (2009). The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. *Food Chemistry*, 114(1): p. 226-232. 21

Archive of SID
www.SID.ir

barley-tomato pomace blends by extrusion processing. Journal of Food Engineering, 89: 231–242.

[16] Duarte, G., Carvalho, C. W. P., & Ascheri, J. L. R. (2009). Effect of soybean hull, screw speed and temperature on expanded maize extrudates. Brazilian Journal of Food Technology, 12: 205–212.

[17] Altan, A., McCarthy, K. L., & Maskan, M. (2008). Evaluation of snack foods from barley–tomato pomace blends by extrusion processing. Journal of Food Engineering, 89: 231–242.

[18] O'Shea N, Arendt E, Gallagher E. 2014. Enhancing an Extruded Puffed Snack by Optimizing Die Head Temperature, Screw Speed and Apple Pomace Inclusion. Food and Bioprocess Technology. 7(6): 1767-1782

[19] Robin F., Théoduloz C., Gianfrancesco A., Pineau N., Schuchmann H.P., Palzer S., Starch transformation in bran-enriched extruded wheat flour. Carbohydr. Polym., 2011, 85, 65–74.

[20] Qing-Bo D, A. P., Tucker G, Marson H. (2005). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. Journal of Food Engineering, 66(3): 283-289.

[21] Ferreira, R.E., Chang, Y.K. and Steel, C.J. 2011, Influence of wheat bran addition and of thermoplastic extrusion process parameters on physical properties of corn-based expanded extruded snacks. Brazilian Journal of Food & Nutrition, 22(4): 507-520.

[22] Yanniotis, S., Petraki, A., & Soumpasi, E. (2007). Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch. Journal of Food Engineering, 80: 594-599.

[23] Brennan, M. A., Derbyshire, E., Tiwari, B. K., & Brennan, C. S. (2013). Ready-to-eat snack products: The role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. International Journal of Food Science & Technology, 48(5), 893–902.

[24] 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.

[25] Ktenioudaki, A. O'Shea, N. Gallagher, E. (2013). Rheological properties of wheat dough supplemented with functional by-products of food processing: Brewer's spent grain and apple pomace. Journal of Food Engineering 116: 362–368.

[5] Bawa, A.S. and Sishu, J.S., (2003). Snack foods Range on the market, In: Benjamin Caballero, Editor(s)-in-Chief. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*: p. 5322-5332.

[6] Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. Food Chemistry, 124, 411–421.

[7] Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, P., 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.

[8] Majzoobi M, Farahnaki A. (2011). Extrusion cooking: technologies and applications. Iranian agricultyre science press.

[9] Mohdaly, A. A. A., Smetanskaa, I., Ramadanc, M. F., Sarhanb, M. A., & Mahmoudb, A. (2011). Antioxidant potential of sesame (Sesamum indicum) cake extract in stabilization of sunflower and soybean oils. Industrial Crops and Products, doi:10.1016/j.indcrop. 2011.02.018.

[10] Nascimento a, Carvalho C, Takeiti C. 2012. Use of sesame oil cake (Sesamum indicum L.) on corn expanded extrudates. Food Research International 45 (2012) 434–443

[11] Selan,M. M. Brazaca, s. (2014).Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement Food Chemistry. 163: 23–30.

[12] Potter, R., Stojceska, V., Plunkett, A., The use of fruit powders in extruded snacks suitable for children's diets, LWT-Food science and technology, 2013, 51, 537-544.

[13] Lobato, L.P. Anibal, D. Lazaretti, M.M. Grossmann, M.V.E. 2011. Extruded puffed functional ingredient with oat bran and soy flour. LWT - Food Science and Technology. 44(4): 933–939

[14] Yagci, S. and Gogus, F. 2007. Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products. Journal of Food Engineering,86(1): 122-132

[15] Altan, A., McCarthy, K. L., & Maskan, M. (2008). Evaluation of snack foods from

Archive of SID

www.SID.ir

Effect of formulation and extrusion conditions on the physicochemical properties of functional puffed snack based on fiber supplement (sesame oil cake- wheat bran)

Najafzadeh, M. [1], Bolandi, M. [1], Milani, E. [2*]

1. Department of Food Science and Technology, Azad University, Damghan Branch, Iran
Food Science and Technology Research Institute, Iranian Academic
2. Center for Education Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran
(Received: 94/6/17 Accepted: 94/9/12)

Nowadays, one of the most important nutritional problems in different societies is the fiber and protein malnutrition. Fortification of snacks by fiber supplements leads to preparation of low fat, low calorie and low cholesterol products. In the extraction of oil from sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds, a coproduct is obtained which is a suitable source of protein, fiber and essential fatty acid. Wheat bran is the most important wheat flour by-product contains amounts of mineral, protein and fiber. In this project, central composite statistical design was used to study the effect of feed moisture (12-18%), fiber supplement addition (sesame oil cake- wheat bran) (5-15%) and screw speed (120-220 rpm) on physical, microstructure and texture properties of the extrudate. to improve the nutritional value of expanded extrudates. Chemical composition of raw and extruded materials was performed. Results showed that the addition of fiber supplement reduced the porosity and expansion of the extrudates and increased puncture force, but as screw speed increased, the mechanical shearing may caused a decrease of the starch viscosity and then lead to extrudates with higher expansion, porosity and lower density and hardness. Optimum condition for puffed snack production was found to be 14.95% feed moisure content, 12.5 % fiber supplement, 183.39% screw speed.

Keywords: Functional Puffed snack, Texture, Microstructure, fiber supplement

Archive of SID

* Corresponding Author E-Mail Address: e.milani@jdm.ac.ir

www.SID.ir