

امکان سنجی تولید کف جامد فیبری بر پایه فراورده‌های جنبی صنعت غذا (تفاله قهوه-سبوس گندم)

الناز میلانی^{۱*}، ندا هاشمی^۲، غلامعلی گلی موحد^۳، مجید هاشمی^۴

۱- دانشیار، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی

۲- دانش آموخته دکتری علوم و صنایع غذایی

۳- مربی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی

۴- استادیار، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی

(تاریخ دریافت: ۹۸/۰۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۰)

چکیده

در این پژوهش امکان استفاده مجدد از فراورده‌های جانبی صنایع تبدیلی (تفاله قهوه و سبوس گندم) به منظور تولید کف جامد فیبری با استفاده از فناوری پخت اکستروژن بررسی گردید. به منظور ارزیابی متغیرهای فرایند اکستروژن، از روش سطح پاسخ استفاده گردید. متغیرهای مستقل شامل نسبت تفاله قهوه: سبوس گندم (۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵)، میزان رطوبت خوراک اولیه (۱۴، ۱۷ و ۲۰ درصد) و سرعت چرخش مارپیچ (۱۲۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ دور بر دقیقه) و متغیرهای وابسته شامل میزان رطوبت نهایی، میزان فعالیت آب، ضریب انبساط، سختی فراورده و بررسی ریز ساختار بودند. نتایج نشان داد که روند تغییرات رطوبت نهایی و فعالیت آب مشابه یکدیگر بود، طوریکه رطوبت نهایی محصول و فعالیت آب کف جامد فیبری با افزایش متقابل سطوح افزودن نسبت تفاله قهوه: سبوس گندم و رطوبت خوراک اولیه افزایش معنی‌داری یافت ($P < ۰/۰۵$). لازم به ذکر است که میزان چرخش مارپیچ بر رطوبت نهایی محصول و فعالیت آب کف جامد فیبری اثری معنی‌دار نداشت. با افزایش سطوح افزودن تفاله قهوه به سبوس گندم به علت زیاد شدن فیبر نامحلول در فرمولاسیون، سختی بافت افزایش و ضریب انبساط کف جامد فیبری کاهش معنی‌داری یافت ($P < ۰/۰۵$). همچنین با کاهش همزمان متغیرهای میزان رطوبت خوراک اولیه و افزایش سرعت چرخش مارپیچ، کاهش سختی بافت و افزایش ضریب انبساط کف به طور معنی‌دار حاصل گردید ($P < ۰/۰۵$). بررسی ریزساختار نمونه‌های محتوی بیشینه و کمینه نسبت تفاله قهوه: سبوس گندم نشان داد افزایش این نسبت منجر به کاهش تخلخل، افزایش اندازه دیواره سلول‌های هوایی و کاهش قطر سلول‌های هوایی گردید. بر اساس نتایج بهینه‌یابی به منظور تولید کف جامد فیبری با ویژگی مطلوب (کمینه سختی بافت، رطوبت نهایی و فعالیت آب، بیشینه میزان ضریب انبساط) میزان رطوبت نهایی ۴/۷۳ درصد، فعالیت آب ۰/۲۹، ضریب انبساط ۱/۲۳ و سختی بافت ۶۸/۵۱ شرایط فرایند شامل نسبت تفاله قهوه: سبوس گندم ۶۹:۳۱، سرعت چرخش مارپیچ ۱۹۰ دور بر دقیقه و میزان رطوبت خوراک اولیه ۱۴٪ محاسبه گردید.

کلید واژگان: کف جامد فیبری، تفاله قهوه، ضریب انبساط، فراورده جنبی

* مسئول مکاتبات: e.milani@jdm.ac.ir

۱- مقدمه

کف سامانه‌ای است که از پراکندن حباب‌های هوا در فاز پیوسته مایع، نیمه جامد و یا جامد تشکیل می‌شود. پایداری سیستم‌های کف متأثر از اندازه حباب، ضخامت دیواره آنها و سرعت جداسازی فازها می‌باشد، لذا سیستم‌های کف مایع و نیمه جامد غالباً به خاطر تفاوت زیاد دانسیته فازها و قطر زیاد حبابهای گاز انتشار یافته در فاز پیوسته ثابت، بسیار پایینی دارند. بر خلاف آنها سیستم کف جامد پایداری بسیار بالایی داشته و ساختار آن بدون تغییر تا مدت بسیار زیادی ثابت باقی می‌ماند. این سیستم فقط تحت تاثیر جذب رطوبت و یا تغییرات فیزیکی (فشار و ضربه) دستخوش تغییر ساختار قرار می‌گیرد. یکی از روش‌های تولید کف جامد در صنایع غذایی استفاده از فناوری اکستروژن می‌باشد [۱]. فرایند پخت اکستروژن در فراوری مواد غذایی با فیبر بالا مانند انواع سبوس غلات و تفاله میوه‌ها و سبزیجات بکار می‌رود. در این فرایند به دلیل اعمال همزمان حرارت و فشار بالا (انرژی حاصل از سرعت چرخش مارپیچ) در زمان کوتاه، زنجیره‌های سلولز و همی سلولز شکسته و قندهای ساده‌تر تشکیل می‌گردد [۲]. بکارگیری فرایند پخت اکستروژن نه تنها موجب افزایش فاکتورهای تغذیه‌ای از طریق ژلاتینه شدن و افزایش قابلیت هضم نشاسته، افزایش میزان فیبر رژیمی محلول و افزایش قابلیت در دسترسی زیستی از طریق افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی شده، بلکه سبب دناتوره و غیرفعال کردن ترکیبات نامطلوب نظیر آنزیم‌ها، میکروب‌ها و ترکیبات ضد تغذیه‌ای مانند اسید فیتیک نیز می‌گردد [۳، ۴]. براساس آمار بین المللی منتشر شده، سالانه حدود ۱۰ تا ۵۰ درصد از تولیدات بخش کشاورزی به صورت پسماند از چرخه تولید خارج می‌شود که این مقدار در بخش کشاورزی ایران ۳۰ تا ۳۵٪ تخمین زده شده است. هر گونه تغییر در کیفیت، که منجر به غیرقابل مصرف شدن و غیرقابل دسترس شدن محصول کشاورزی برای انسان گردد ضایعات تلقی می‌کند. ضایعات را می‌توان به صورت تلفات و پسماندها و محصولات جانبی و یا ضایعات مستقیم و غیر مستقیم طبقه بندی کرد [۲، ۵].

سبوس گندم، محصول جانبی حاصل از فرایند آرد کردن گندم است که شامل پوشش دانه، لایه آلورون، قسمتی از لایه زیرین

آلورون می‌شود. سبوس دارای ۴۰ تا ۵۰ درصد فیبر رژیمی است و حدود ۱۵ درصد از وزن دانه گندم را تشکیل می‌دهد هرچند سبوس گندم به عنوان منبع فیبر رژیمی، کربوهیدرات، ویتامین‌های گروه B, E پروتئین‌ها و املاح آنتی اکسیدان مورد توجه است، ولیکن داشتن مقادیر قابل توجه اسید فیتیک در سبوس به عنوان یک ترکیب ضد تغذیه ای نگرانی‌هایی را به دنبال دارد. اسید فیتیک به دلیل واکنش با آهن، روی، کلسیم و منیزیم و ایجاد کمپلکس مقاوم، مانع جذب این املاح در سیستم گوارش انسان شده مشکلاتی مانند کم خونی را ایجاد می‌نماید. اعمال انواع روشهای حرارتی پخت علی‌الخصوص پخت در فشار بالا با هدف حذف یا کاهش میزان اسیدفیتیک در سبوس گندم پیشنهاد شده است [۶، ۷]. قهوه یکی پرمصرفترین نوشیدنی‌ها و طعم دهنده‌ها است که تولید، فراوری و مصرف محصولات مرتبط به آن در سالهای اخیر افزایش چشمگیری یافته است. با عنایت به تنوع محصولات تولید شده از دانه قهوه، پسماندهای این محصول قابل توجه و متنوع می‌باشد. یکی از مهمترین پسماندهایی که در طی فراوری پودر قهوه فوری بجای می‌ماند، تفاله قهوه (SCG۱) می‌باشد. مقدار روغن باقیمانده در تفاله قهوه بین ۱۰ تا ۱۸ درصد می‌باشد. از ضایعات قهوه در کشورهای غربی به عنوان بیودیزل و کودهای زیستی استفاده می‌کنند. این فراورده جانبی دارای ویژگی‌های سلامت بخشی، مانند آنتی اکسیدانی و فیبر آنها می‌باشد اما به دلیل اثرات منفی این ماده روی ظاهر و بافت فراورده، استفاده آن در صنایع غذایی بسیار محدود شده است [۸، ۹]. فیبرهای حاصل از پسماندهای میوه‌ها و سبزیجات به دلیل دارا بودن میزان فیبر محلول و فیبر کل بیشتر و هم چنین میزان اسید فیتیک کمتر نسبت به فیبرها با منشاء غلات به لحاظ تغذیه ای کیفیت بالاتری دارند لذا به کارگیری مجدد پسماندهای غذایی با هدف تولید محصولات فراسودمند جدید در توسعه و پویایی صنعت غذایی نقش ارزنده ای دارد [۲، ۱۰]. در صورت عدم استفاده صحیح و به موقع از پسماندهای بخش صنعت غذا و کشاورزی مشکلات زیست محیطی، آلودگی آب و خاک و صدمات غیر قابل جبران حاصل می‌گردد. این ضایعات معمولاً به مصرف خوراک دام، تولید

بیوگاز، کودهای زیستی و مصارف بیوتکنولوژی می‌رسند [۵]. ولی متأسفانه در ایران ضایعات محصولات کشاورزی با داشتن ارزش غذایی مناسب و پتانسیل ایجاد ارزش افزوده به دلیل کافی نبودن تجهیزات مورد نیاز صنایع تبدیلی و تکمیلی در جوار مراکز تولید به هدر می‌روند یا فقط به مصرف دام محدود می‌شوند.

غلات اکستروده شده بویژه انواع غنی از نشاسته و فیبر بدلیل افزایش حجم و خلل و فرج فراوان به منظور تولید کف جامد و با هدف افزایش جذب آب در فرمولاسیون‌هایی با جذب فوری آب به خوبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. کف جامد غذایی با ساختار مناسب و ویژگی‌هاژ مکانیکی مطلوب امروز از توجه زیادی به منظور افزایش تنوع کاربرد در فرمولاسیون‌های غذایی برخوردار است. فیبر از طریق کاربرد سبوس جوی دوسر و سبوس گندم می‌تواند تا ۳۲ درصد به فرمولاسیون اکستروده افزوده گردد. فیبر و پروتئین به عنوان ذرات پراکنده در فاز نشاسته ای نقش ایفا می‌نمایند. رفتار مکانیکی این قبیل محصولات مطابق ویژگی‌های کف جامد کامپوزیت قابل توصیف است [۱۱].

کامبریزینسکی و همکاران (۲۰۱۹)، تولید کف توسعه یافته بر پایه نشاسته ذرت و سیب زمینی را تحت تاثیر اکستروژن بررسی نمودند. مطابق نتایج سرعت چرخش ماردون دارای تاثیر ویژه ای بر نیروی برش و فشردگی نمونه های کف داشت. با افزایش غلظت نشاسته سیب زمینی در فرمول، سختی نمونه ها افزایش یافت. همچنین کف تولیدی از نشاسته ذرت دارای ویژگی الاستیک بیشتر در آزمون فشردگی بود [۱۲].

در پژوهش بیرقی طوسی و همکاران (۱۳۹۷)، اثر متغیرهای متغیرهای دما ۱۲۰، ۱۴۵ و ۱۷۰ درجه سانتی گراد، سرعت چرخش ماردون ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دور بر دقیقه، قطر منفذ قالب در دو سطح ۵/۲ و ۴ میلی متر و دانه کنجد با نسبت های صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد تحت فرایند اکستروژن بر ویژگی های کف های تولید شده بر پایه نشاسته ذرت مورد بررسی قرار گرفت. مطابق نتایج افزودن ۱۰ درصد دانه کنجد باعث بیشینه انبساط و تخلخل و کمینه چگالی ذره‌ای نمونه ها شد. افزایش دمای فرایند و سرعت چرخش ماردون و کاهش قطر منفذ قالب با افزایش انرژی اعمال شده بر مواد درون اکسترودر سبب افزایش شاخص

انحلال در آب و انبساط کف‌ها گردید [۱۳].

در سطح بین المللی اخیراً، در زمینه بررسی فرایند اکستروژن بر فراوری پسماندهای فیبری مانند تفاله انبه به آرد تارو [۱۱]، تفاله سیب و آرد سویای چربی گیری شده به بلغور ذرت [۱۴]، تفاله نوعی مرکبات به بلغور ذرت [۱۵] و تفاله انبه، کنجاله سویا، جوانه برنج قهوه‌ای به بلغور ذرت [۱۶] با هدف جایگزینی نسبی نشاسته و آرد غلات با منابع فیبری، ارتقاء ارزش تغذیه‌ای و تولید میان وعده حجیم شده فراسودمند انجام شده است. در تمامی بررسی‌های به اثر مثبت فرایند اکستروژن بر افزایش میزان فیبر محلول و کاهش فیبر نامحلول اشاره شده است. ولیکن در پژوهش حاضر هدف بکارگیری پسماندها (تفاله قهوه و سبوس گندم) بدون اضافه نمودن منابع نشاسته‌ای و یا آرد غلات، با هدف تولید اولین کف جامد فیبری است. بدین ترتیب با استفاده از فناوری پخت اکستروژن، دانش فنی تولید کف جامد فیبری بر پایه تفاله قهوه-سبوس گندم در مقیاس نیمه صنعتی پیاده سازی گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد اولیه

تفاله قهوه از شرکت مولتی کافه (مشهد، ایران) و سبوس گندم، از کارخانه آرد رضا (مشهد، ایران) تهیه شد. به منظور جلوگیری از اثرات منفی احتمالی ناشی از انبارش نامناسب بر ویژگی‌های کیفی تفاله قهوه و سبوس گندم، نمونه‌برداری از محصول تازه فراوری شده انجام گردید.

۲-۲- خشک کردن و آماده سازی مواد اولیه

تفاله قهوه توسط آون (مدل Stal-Astra، ساخت آمریکا) با دمای 3 ± 55 درجه سانتیگراد با سرعت عبورهای ۵ متر بر ثانیه به مدت ۲۴ ساعت تا رسیدن به رطوبت ثابت 5 ± 0.5 خشک گردید. تفاله قهوه خشک شده و سبوس گندم به وسیله آسیاب چکشی Polymix (مدل PX-MFC 90 D) آسیاب شده و جهت یکنواختی اندازه ذرات از الک با مش ۳۰ عبور داده شد. پودر تفاله قهوه و سبوس گندم در کیسه‌های پلی اتیلنی مقاوم به نفوذ رطوبت بسته‌بندی و تا انجام آزمایش‌ها در دمای ۱۸- درجه سانتی گراد نگهداری گردید.

۲-۳- پخت اکستروژن

جهت تولید کف جامد فیبری از اکسترودر دو ماریچ با چرخش هم جهت Jinan Saxin (مدل DS56، ساخت چین) استفاده شد. نسبت طول به قطر (L/D) این دستگاه ۱۵ و قطر روزنه خروجی ۳ میلی‌متر بود. بر اساس پیش تیمارهای انجام شده شرایط ثابت بهینه فرایند اکستروژن شامل دمای اکسترودر ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و دبی خوراک ورودی ۱۴/۵ کیلوگرم بر ساعت در نظر گرفته شد. کف جامد تولیدی شده بعد از اکسترو شدن، جهت خشک شدن بلافاصله به آن هوای داغ با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت منتقل شد، پس از خنک شدن (رطوبت نهایی ۵-۴ درصد) درون کیسه‌های پلاستیکی پلی اتیلنی ضخیم قرار گرفته و دربندی و تمامی نمونه‌های تولیدی تا انجام آزمایشات تکمیلی دور از نور، حرارت و رطوبت در دمای اتاق نگهداری گردیدند.

۲-۴- اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی، فیبر میزان

رطوبت و فعالیت آب

میزان رطوبت از روش استاندارد (AACC) به شماره ۱۵-۱۴، به دست آمد. جهت اندازه‌گیری فعالیت آب از دستگاه NOVASINA (مدل Lab Master، ساخت سوئیس) در دمای ۲۵°C استفاده گردید. برای اندازه‌گیری چربی از روش سوکسله طبق روش استاندارد AACC به شماره ۲۵-۳۰ و اندازه‌گیری میزان خاکستر (طبق روش استاندارد ۰۱-۰۸، ۲۰۰۰، AACC) با استفاده از روش کوره الکتریکی انجام شد. میزان پروتئین با استفاده از دستگاه کلدالاتومات Gerhardt (مدل VAP20، ساخت آلمان) اندازه‌گیری شد [۱۷]. اندازه‌گیری میزان فیبر رژیمی محلول، نامحلول و کل به روش آنزیمی بر اساس استاندارد (AOAC) انجام گرفت [۱۸].

۲-۵- ضریب انبساط شوندگی

از هر تیمار ۱۰ نمونه از محصول اکسترودر به طور تصادفی انتخاب شده و جهت اندازه‌گیری نسبت انبساط شوندگی قسمتی از دو انتهای آن را جدا کرده تا کاملاً استوانه‌ای شکل گردد. سپس با استفاده از کولیس قطر نمونه‌های اکسترودر شده اندازه‌گیری شده و در نهایت توسط رابطه (۱) نسبت انبساط شوندگی محاسبه شد [۱۹].

$$\text{Expansion rate} = \frac{D_s}{D_0} \quad (۱) \text{ رابطه}$$

قطر نمونه کف جامد اکسترودر شده $D_s = (Cm)$

قطر دای $D_0 = (Cm)$

۲-۶- سختی بافت

جهت اندازه‌گیری سختی بافت کف جامد از تنظیمات دستگاه تکسچرآنالایزر^۲ Lloyd (مدل TA-Plus، ساخت آمریکا) استفاده گردید. از هر تیمار ۱۰ عدد نمونه به طور کاملاً تصادفی انتخاب شده و روی محل مربوطه قرار گرفتند. پس از فرو رفتن پروب استوانه‌ای دستگاه به قطر ۲ میلی‌متر و عمق نفوذ ۸ و لود سل ۵۰ نیوتن، ماکزیمم نیروی وارد شده بر حسب نیوتن به عنوان میزان سختی بافت اعلام شد [۲۰].

۲-۷- بررسی ریزساختار

جهت تصویر برداری از سطح مقطع کف جامد از میکروسکوپ الکترون روبشی^۳ SEM لئو (مدل 1450 VP، ساخت انگلستان) استفاده گردید. جهت آماده سازی نمونه‌ها، ابتدا برشهایی از سطح مقطع آنها با کاتر انجام شده و هر نمونه بر روی پایه آلومینیومی ثابت گردید. سپس لایه نازکی از طلا-پالادیوم توسط دستگاه پوشش دهنده/پاشنده روی سطح نمونه‌ها پوشش دهی گردید. تصاویر سطح مقطع در شرایط اعمال فشار ۳۰ پاسکال و ولتاژ ۲۰ کیلو ولت در بزرگنمایی‌های مختلف انجام گرفت [۲۰].

۲-۸- طرح آزمایشات و تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش به جهت بررسی اثر سه متغیر مستقل آزمایش (نسبت تقاله قهوه: سبوس گندم، رطوبت خوراک اولیه و سرعت چرخش ماریچ) از روش سطح پاسخ (RSM) و طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر با ۶ تکرار در نقطه مرکزی و ۲۰ تیمار استفاده گردید دامنه حقیقی و کد شده هر یک از متغیرهای مستقل طبق آزمایشات مقدماتی تعیین گردید (جدول ۱). پس از انجام آنالیز رگرسیون مدل‌ها و بر اساس شاخص p-value مدل‌ها و عبارات معادله مورد بررسی قرار گرفت. همچنین جهت بررسی کفایت مدل پیشنهادی، شاخص‌های عدم تناسب Lack-of-fit، ضریب تعیین R²، ضریب تعیین تعدیل شده adj-R² و شاخص دقت کفایت Adequate precision به محاسبه شدند. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار Design Expert 6.0.2 انجام شد.

2. Texture analyzer

3. Scanning electron microscope

Table 1 Design for extrusion experiments with coded and real variable levels.

Formulation Variable	Symbol	Code level		
		-1	0	+1
Ratio of SCG:BW (%)	A	25	50	75
Feed Moisture (%)	B	14	17	20
Screw Rate (rpm)	C	120	160	200

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ترکیبات شیمیایی مواد اولیه

Table 2 Proximate compositions (g/100g) of Spent Coffee Ground (SCG) and Wheat Bran (WB)

Component	Spent Coffee Ground (SCG)	Wheat Bran (WB)
Fat	11.31±0.189	3.14±0.25
Protein	9.355±0.149	14.78±0.509
Ash	1.799±0.366	5.635±0.51
Moisture	7±0.4	10.76±0.24
Total Fiber	58.31±0.709	48.94±0.424
Soluble Fiber	6.72±1.22	3.35±0.99
Insoluble Fiber	43.93±0.709	58.31±0.709

Table 3 Coefficient of Variables in the Suggested Model for Formulation Variables

Parameter	Final Humidity	aW	ER	Hardness (N)
Ratio of SCG:BW (%)	0.0001***	0.0001***	0.0001***	0.0001***
Feed Moisture (%)	0.0152*	0.0078**	0.0023**	0.002**
Screw Rate (rpm)	0.0526	0.1825	0.0015**	0.0001***
Ratio of SCG:BW × Feed Moisture	0.0031**	0.0067**	0.1404	0.8739
Ratio of SCG:BW × Screw Rate	0.9443	0.1017	0.0084**	0.03*
Feed Moisture × Screw Rate	0.0646	0.6973	0.0466*	0.0342*
F Value	0.0001**	0.0005***	0.0001***	0.0002***
Lack of fit	0.6077	0.121	0.8643	0.3267
R ²	0.945	0.93	0.91	0.872
Adjust R ²	0.897	0.906	0.877	0.843

*Significant at $P < 0.05$; ** significant at $P < 0.01$; *** significant at $P < 0.001$

معنی‌دار مدل شامل نسبت تفاله قهوه : سبوس گندم و رطوبت خوراک اولیه و اثر متقابل این دو متغیر بود ($p < 0.05$). جهت ویژگی‌های رطوبت نهایی محصول و فعالیت آب آزمون عدم قطعیت برازش مدل بیانگر عدم معنی‌داری آنها بود. همچنین مقادیر بالای ضریب تبیین و ضریب تبیین تصحیح شده به ترتیب ۰/۹۴۵ و ۰/۸۹۷ جهت رطوبت نهایی و هم‌منطور به ترتیب ۰/۹۳۰ و ۰/۹۰۶ برای فعالیت آب، بیانگر تناسب بالای مدل برای

۳-۲- اثر متغیرهای فرمولاسیون و فرایند

بر میزان رطوبت نهایی و فعالیت آب کف

جامد فیبری

بر اساس نتایج آنالیز واریانس و همچنین مدل پیشنهادی جهت رطوبت نهایی و فعالیت آبی مندرج در جدول (۳)، عبارات

برازش داده‌ها است (جدول 3).

میزان رطوبت نهایی حاصله از این نمونه کف جامد فیبری بین مقادیر ۴/۱۱ و ۷/۳۴ درصد بود. ثبات بافت، پایداری و مدت ماندگاری بالای کف جامد اکستروود شده متأثر از میزان رطوبت باقیمانده پایین در آنها می باشد [۴، ۱]. نتایج مشابه توسط محققین دیگر در مورد فراورده‌های حجیم شده فیبری بر پایه تفاله آناناس (۳/۷۱-۴/۷۱ درصد) [۱۰]، سویا و پروتئین تغلیظ شده سویا (۳/۲۶-۵/۲۰ درصد) [۳] گزارش شده است. میزان فعالیت آب حاصله از این نمونه‌ها بین مقادیر ۰/۲۱ و ۰/۶۴ بود. محدوده فعالیت آب پایش شده مشابه نتایج نمونه‌های اکستروود شده بر پایه برنج- پروتئین سویا (۰/۴۵-۰/۶۳) [۳] و (۰/۲۰۳-۰/۳۶) [۲۱] بود. مواد غذایی که فعالیت آب کم‌تر از ۰/۷ دارند در مقابل رشد میکروب‌ها و گروهی که فعالیت آب کم‌تر از ۰/۶ دارند در مقابل رشد کپک‌ها مقاوم و مصون می‌باشند [۲۱ و ۲۲]. بر اساس شکل‌های ۱ (اثر متقابل میزان رطوبت خوراک اولیه و نسبت تفاله قهوه : سبوس گندم بر رطوبت فراورده نهایی) و ۲ (اثر متقابل میزان رطوبت خوراک اولیه و نسبت تفاله قهوه : سبوس گندم بر میزان فعالیت آب) همان‌گونه که انتظار می‌رود نمونه‌های محتوی میزان رطوبت خوراک اولیه بالاتر دارای، میزان فعالیت آب بالاتری نیز هستند. این نتایج منطبق بر گزارشات سایر محققین می‌باشد [۲۲]. بر اساس شکل (۲ و ۱) میزان تفاله قهوه اثر کاهنده و میزان رطوبت خوراک اولیه اثر افزایشده بر رطوبت نهایی محصول و میزان فعالیت آب محصول نهایی داشت، طوریکه کمترین میزان رطوبت نهایی محصول (۴/۱۱ درصد) در نمونه حاوی بالاترین مقدار نسبت تفاله قهوه : سبوس گندم (۷۵:۲۵) و پایین ترین میزان رطوبت خوراک اولیه (۱۴ درصد) مشاهده گردید. تغییرات میزان رطوبت نهایی محصول و فعالیت آب در ماده غذایی متأثر از تغییرات ساختار میکروسکوپی و ماکروسکوپی ماده غذایی است که توانایی باند شدن آب با ذرات ماده غذایی و واکنش‌های رخ داده در ماده غذایی را مشخص می‌نماید. محققان علت این پدیده را وجود پروتئین و فیبر نامحلول بالا در نمونه‌ها بیان نمودند. در همین راستا گزارشاتی مبنی بر اثر مستقیم میزان فیبر و پروتئین بر میزان رطوبت نهایی

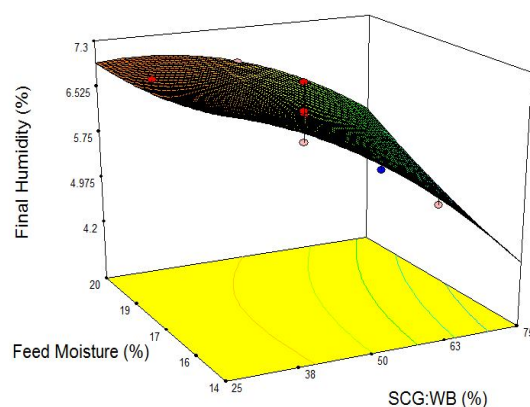


Fig 1 Response surface plot showing the effects of the Ratio of SCG:WB and Feed Moisture on Final Humidity.

در شکل (۳)، اثر متقابل دو متغیر نسبت تفاله قهوه : سبوس گندم و سرعت چرخش مارپیچ بر ضریب انبساط نشان داده شده است. براین اساس، با افزایش سرعت چرخش مارپیچ در نسبت تفاله قهوه : سبوس گندم (۷۵:۲۵٪) از ضریب انبساط افزایش یافت. همچنین افزایش سطوح تفاله قهوه: سبوس گندم در تمامی مقادیر سرعت چرخش مارپیچ اثر افزایشده بر ضریب انبساط داشت. طوریکه بیشترین میزان ضریب انبساط (۱/۵۴۲) به نمونه حاوی پایین ترین مقدار نسبت تفاله قهوه : سبوس گندم (۷۵:۲۵٪)، بیشترین میزان سرعت چرخش مارپیچ (۲۰۰ دور بر دقیقه) و پایین ترین میزان رطوبت خوراک اولیه (۱۴ درصد) تعلق داشت. دلیل این پدیده را می توان به حضور اندک نشاسته، چربی بالا و فیبر بالا در ساختار تفاله قهوه نسبت به سبوس گندم مرتبط دانست. از آنجاییکه ویژگی های فیزیکی فراورده حجیم شده متأثر از میزان نشاسته و درجه ژلاتینه شدن نشاسته می باشد لذا با افزایش میزان فیبر نامحلول و کم شدن مقدار نشاسته در فرمولاسیون، ظرفیت نگهداری هوا و تخلخل در فراورده کاهش یافته در نتیجه ضریب انبساط نیز کاهش می یابد و همچنین چربی موجود در تفاله قهوه کمپلکس هایی با پروتئین و نشاسته تشکیل می دهد که کمپلکس های مذکور مانع از انبساط و تخلخل مناسب فراورده می شوند [۲۰، ۲۱ و ۲۷]. در همین راستا کاهش ضریب انبساط توسط سیلوا و همکاران (۲۰۱۳) در جایگزینی ۱۰-۲۰٪ پودر قهوه با برنج [۲۷]، پارامان و همکاران (۲۰۱۵) در جایگزینی ۲۲٪ تفاله سیب با نشاسته [۲۸] و هوگلوند و همکاران (۲۰۱۸) در جایگزینی ۲۵٪ تفاله زغال اخته با چاودار [۲۹] در فرمولاسیون محصول حجیم شده به علت افزایش فیبر نامحلول و کاهش میزان نشاسته گزارش شده است. با افزایش سرعت چرخش مارپیچ، ضریب انبساط افزایش یافت. افزایش سرعت چرخش مارپیچ باعث افزایش تنش برشی شده و کاهش ویسکوزیته و الاستیسیته خمیر را به دنبال دارد در نتیجه خمیر یکنواختی در دای تشکیل شده و توسعه می یابد که موجب رشد بیشتر حباب های هوا شده که نهایتاً به افزایش انبساط فراورده می انجامد [۱۴ و ۲۰].

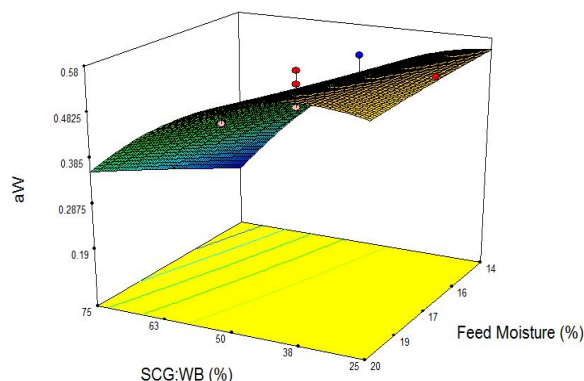


Fig 2 Response surface plot showing the effects of the Ratio of SCG:WB and Feed Moisture on a_w .

۳-۳- تاثیر متغیرهای فرمولاسیون و فرایند بر

ضریب انبساط کف جامد فیری

ضریب انبساط کف جامد بیان کننده نسبت قطر فراورده حجیم به قطر دای خروجی اکسترودر می باشد. این ویژگی نه تنها با میزان پف کردن و تخلخل کف جامد رابطه مستقیمی دارد، بلکه با فاکتورهای دیگر مانند سختی و دانسیته نیز مرتبط است [۲۵]. بر اساس نتایج آنالیز واریانس و همچنین مدل پیشنهادی، مندرج در جدول (۳)، عبارات معنی دار مدل شامل اثر متغیر نسبت تفاله قهوه: سبوس گندم، میزان رطوبت خوراک اولیه و سرعت چرخش مارپیچ و همچنین اثر متقابل نسبت تفاله قهوه : سبوس گندم و سرعت چرخش مارپیچ و سرعت چرخش مارپیچ و میزان رطوبت خوراک اولیه بود ($p < 0.05$).

چنانچه مشاهده می شود آزمون عدم قطعیت برازش مدل بیانگر عدم معنی داری آن و مقادیر بالای ضریب تبیین (۰/۹۱۰) و ضریب تبیین تصحیح شده (۰/۸۷۷)، بیانگر تناسب بالای مدل برای برازش داده ها است. میزان ضریب انبساط حاصله از این نمونه ها بین مقادیر ۱/۱۱ و ۱/۵۴۲ بود. ضرایب انبساط مشابه نیز توسط محققین دیگر در مورد فراورده های اکسترودر شده فیری بر پایه تفاله سیب-آرد سویا چربی گیری شده (۱/۲۸-۱/۹) [۱۲]، آرد تارو-پالپ انبه (۱/۶۵-۰/۹۲) [۱۱]، تارو- ذرت (۱/۷۵-۱/۲۹) [۲۵] و تفاله انگور- جو (۱/۷۴۷-۰/۹۴۹) [۲۶] گزارش شده است.

دنبال دارد [۱۴، ۳۰ و ۳۱]. وابستگی بالا ضریب انبساط به میزان رطوبت خوراک اولیه که نشان دهنده تاثیر آن بر الاستیسیته مواد نشاسته‌ای است در محصول حجیم شده بر پایه فیبر تفاله انبه-کنجاله سویا- جوانه برنج قهوه‌ای [۱۶] و تفاله نوعی مرکبات و بلغور ذرت [۱۵] توسط سایر محققین دیگر نیز گزارش شده است.

۳-۴- تاثیر متغیرهای فرمولاسیون و فرایند

اکستروژن بر سختی کف جامد فیبری

سختی فراورده های بافت داده شده به میزان انبساط و ساختار سلول های هوایی تشکیل شده در محصول بستگی دارد. در واقع بیشترین نیروی مورد نیاز جهت نفوذ یا سوراخ کردن بافت ماده غذایی توسط پروپ، بیان کننده سختی بافت می باشد. هر چه میزان بیشینه نیرو بیشتر باشد، میزان سختی نیز بیشتر است [۲۱]. سختی و تردی بافت کف های جامد اکستروژ شده نتیجه ادراک انسان از بافت فراورده می باشد و با ویژگی هایی چون دانسیته، ضریب انبساط و تخلخل در ارتباط است [۲۶ و ۳۱].

بر اساس نتایج آنالیز واریانس و همچنین مدل پیشنهادی، مندرج در جدول (۳)، عبارات معنی دار مدل شامل نسبت تفاله قهوه:سبوس گندم، میزان رطوبت خوراک اولیه و سرعت چرخش مارپیچ و همچنین اثر متقابل نسبت تفاله قهوه : سبوس گندم و سرعت چرخش مارپیچ و سرعت چرخش مارپیچ و میزان رطوبت خوراک اولیه بود ($p < 0.05$).

چنانچه مشاهده می شود آزمون عدم قطعیت برازش مدل بیانگر عدم معنی داری آن و مقادیر بالای ضریب تبیین (0.872) و ضریب تبیین تصحیح شده (0.843)، بیانگر تناسب بالای مدل برای برازش داده ها است. میزان سختی حاصله از اندازه گیری بافت این نمونه ها بین مقادیر $24/15$ و $118/6$ نیوتن بود. پژوهشگران دیگری نیز نتایج مشابه در مورد فراورده های اکستروژ شده مکمل فیبری بر پایه تفاله هویج ($59/89$ - $194/31$ نیوتن) [۱۹]، مکمل فیبری بر پایه تفاله گوجه فرنگی و سبوس برنج (44 - 151 نیوتن) [۳۲] و نخود- آرد سویا چربی گیری شده ($128/8$ - $132/2$ نیوتن) گزارش شده است [۲۱].

در شکل (3.B)، اثر متقابل میزان رطوبت خوراک اولیه و سرعت چرخش مارپیچ بر میزان ضریب انبساط نشان داده شده است.

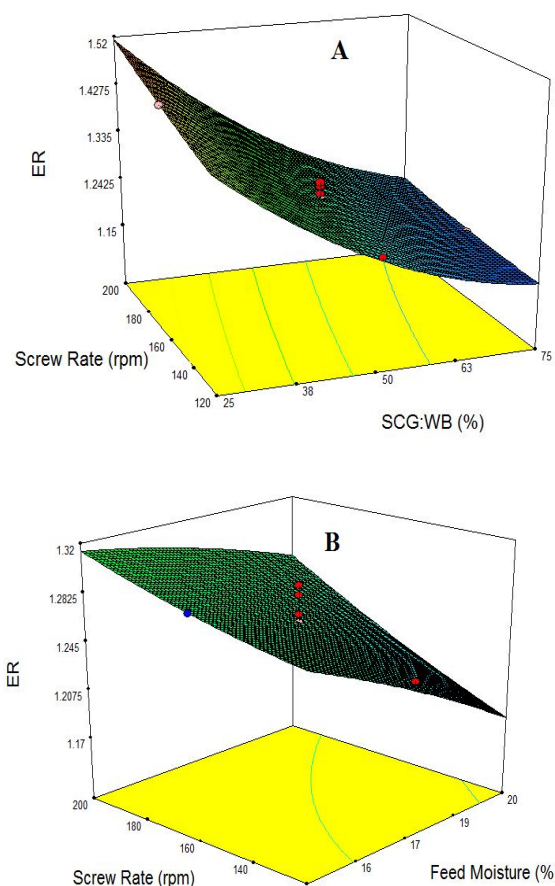


Fig 3 Response surface plot showing the effects of A) the Ratio of SCG:WB and Screw Rare, B) Feed Moisture and Screw Rare on ER.

براین اساس، کاهش میزان رطوبت خوراک اولیه سبب افزایش میزان ضریب انبساط گردید. علل مختلفی برای اثرات منفی افزایش میزان رطوبت خوراک اولیه بر میزان ضریب انبساط ذکر شده است که عبارتند از کاهش انرژی مکانیکی ویژه ورودی، تغییر ساختمان مولکولی آمیلوپکتین، کاهش الاستیسیته خمیر مذاب و کاهش ویسکوزیته خمیر، کاهش اصطکاک بین خمیر و مارپیچ و کاهش دمای خمیر. مجموعه این عوامل منجر به کاهش درجه ژلاتینه شدن نشاسته شده و کاهش ضریب انبساط را به

مانند محصول بافت داده شده بر پایه کنجاله بادام [۱۸] و مکمل فیبر رژیمی بر پایه تفاله گوجه فرنگی- سبوس گندم [۳۲] نیز گزارش شده است. اثر متقابل و همزمان سرعت چرخش مارپیچ و میزان رطوبت خوراک اولیه در شکل (۴-ب) نمایش داده شده است. بر این اساس با افزایش سرعت چرخش مارپیچ در رطوبت خوراک اولیه بالا (۲۰٪) میزان سختی بافت کاهش معنی داری پیدا می کند. به طور کلی سختی فرآورده های اکستروژده شده مانند سایر ویژگی های فیزیکی (ضریب انبساط، دانسیته و تخلخل) به ویژگی الاستیسیته خمیر و ویسکوزیته آن وابسته است. با افزایش سرعت چرخش مارپیچ و افزایش تنش برشی در رطوبت زیاد، ویسکوزیته گدازه کاهش یافته، ژلاتینه شدن نشاسته کامل تر صورت می گیرد و حباب های رشد یافته تری حاصل می شوند، با افزایش رشد حباب ها محصول نرم تر با ضریب انبساط بالاتر و دانسیته پایین تر حاصل می شود [۴]. بر اساس داده های حاصل از آزمون های ضریب انبساط و ارتباط آن با سختی بافت محصول انتظار چنین روندی می رفت که محصولی با انبساط شونده کمی، بافت سخت تری تولید کند [۴].

در شکل (4.A)، اثر متقابل نسبت تفاله قهوه : سبوس گندم و میزان رطوبت خوراک اولیه بر میزان سختی بافت فرآورده نشان داده شده است. بر این اساس، با افزایش هرکدام از متغیرهای فوق میزان سختی بافت فرآورده افزایش معنی داری یافت. بیشترین میزان سختی بافت به بالاترین میزان نسبت تفاله قهوه : سبوس گندم (۲۵:۷۵٪) در بیشترین میزان رطوبت خوراک اولیه (۲۰٪) و کمترین سرعت چرخش مارپیچ (۱۲۰ دور بر دقیقه) متعلق بود. بروز این پدیده را می توان به حضور میزان فیبر نامحلول بالا و نشاسته اندک در تفاله قهوه مرتبط دانست. با افزایش فیبرهای نامحلول و توانایی بالای آنها در نگهداری و حفظ رطوبت، اتصالات قوی بین فیبرها و آب ایجاد شده، خروج آب به صورت بخار، هسته زایی و ژلاتینه شدن نشاسته شده دچار اختلال می گردد. مجموعه این عوامل باعث تولید سلول های هوایی با دیواره قطورتر و بافت سخت تر می شود، همچنین به علت چربی بالا (۱۱/۳۱٪) در تفاله قهوه و تمایل ایجاد کمپکس های مختلف چربی-نشاسته و چربی- پروتئین بافت محصول سفت تر می گردد [۳۱]. افزایش سختی در محصولات غنی از فیبر و چربی

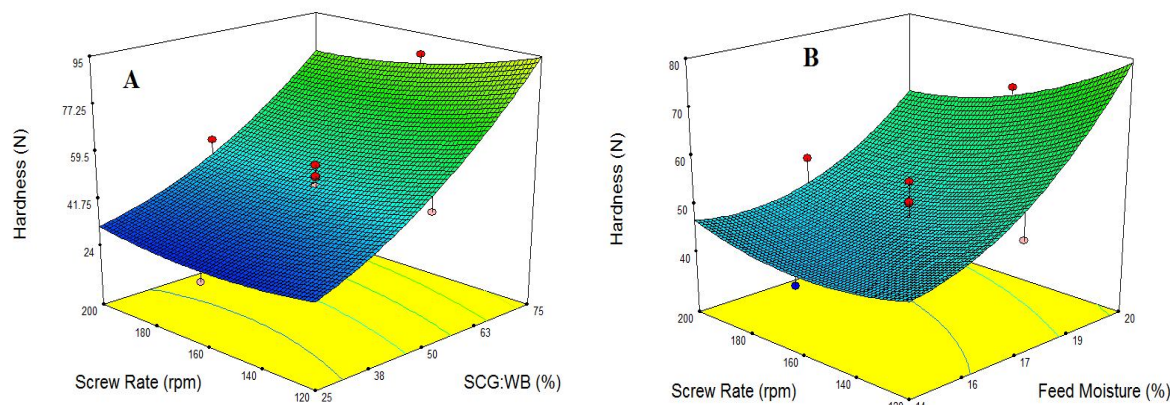


Fig 4 Response surface plot showing the effects of A) the Ratio of SCG:WB and Screw Rare, B) Feed Moisture and Screw Rare on Hardness.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی به بررسی ریز ساختار بافت کف جامد، اندازه، تعداد و ضخامت دیواره سلول های هوایی می پردازد [۳۳]. با توجه به اینکه متغیر نسبت تفاله قهوه :

۳-۵- تاثیر متغیرهای فرمولاسیون بر ویژگی های

ریز ساختار (میکروسکوپی) کف جامد فیبری

ایجاد منافذ باز در کنار فیبرها و ذرات فیبری بهم چسبیده توسط کایسانگسری و همکاران (۲۰۱۶) نیز مشاهده گردیده است و گزارش داد که با افزایش ۱۰ تا ۱۵٪ تفاله هویج به علت افزایش فیبر نامحلول بالا و توزیع نامتناسب و غیر یکنواخت ذرات فیبری بین گرانولهای نشاسته ژلاتینه شدن نشاسته دچار اختلال شده و سلولهای هوایی نامنظمی با دیواره‌های تخریب شده تشکیل شده بودند [۳۰].

در شکل ۵-الف (بزرگنمایی‌های ۲۵۰) و E-5 (بزرگنمایی ۵۰۰۰) که نشان دهنده حداقل نسبت تفاله قهوه : سبوس گندم (۲۵:۷۵٪) است، سلولهای هوایی نسبتاً منظمتر با دیواره مشخص با ضخامت ۴/۵۴۷ میکرومتر و اقطار ۳۷۸ و ۳۰۶/۴ میکرومتر مشاهده می‌شوند. رشته‌های بلندی به تعداد زیاد قابل مشاهده است که احتمالاً مربوط به ترکیبات موجود در سبوس گندم است.

بر اساس نتایج سایر محققین ارتباط معنی‌داری بین خصوصیات فیزیکی (تخلخل، دانسیته و ضریب انبساط) و سختی بافت نمونه‌ها با پارامترهای بررسی شده در اندازه‌گیری میکروسکوپی وجود دارد. نمونه‌هایی که دارای ضریب انبساط کمتر و سختی بیشتری هستند، از لحاظ میکروسکوپی دارای سلولهای هوایی کوچک و دیواره سلولی قطورتری می‌باشند [۳۳، ۳۵]. این نتایج منطبق بر تفاسیر حاصله از آزمونهای سختی بافت و ضریب انبساط نیز می‌باشد. محققین دیگر چون هاشمی و همکاران (۲۰۱۷) در محصول حجیم شده محتوی کنجاله بادام [۲۰]، ناسیمتو و همکاران (۲۰۱۲) در محصول حجیم شده حاوی کنجاله کنجد [۳۳] نتایج مشابه گزارش داده‌اند. علاوه بر این، حضور فیبرها، نشاسته ژلاتینه شده، ذرات پروتئینی دنا توره شده و نقاط روشن (مواد معدنی) نیز مانند گزارش هونچو و همکاران (۲۰۱۶) در تصاویر (شکل‌های F, E, D, C-5) قابل مشاهده است [۳۴].

سبوس گندم مهمترین فاکتور اثر گذار بر ویژگی‌های ماکروساختار مانند فیزیکی ضریب انبساط و سختی بافت بود لذا از نمونه‌های حاوی مقادیر کمینه نسبت تفاله قهوه : سبوس گندم (۲۵:۷۵٪) و بیشینه نسبت تفاله قهوه : سبوس گندم (۷۵:۲۵٪) تصاویر میکروسکوپی تهیه گردید. در شکل ۵ اثر متغیر فرمولاسیون (نسبت تفاله قهوه : سبوس گندم)، در شرایط ثابت فرایند اکستروژن (میزان رطوبت خوراک اولیه ۱۷٪ و سرعت چرخش ۱۶۰ دور بر دقیقه) بر ریز ساختار کف جامد فیبری با بزرگنمایی‌های ۲۵۰، ۲۰۰۰ و ۵۰۰۰ نمایش داده شده است. شکل ۵-ج، ه تصاویر مربوط به مقادیر کمینه تفاله قهوه : سبوس گندم و شکل-ب، د، ه مربوط به مقادیر بیشینه تفاله قهوه : سبوس گندم می‌باشد. شکل-۵-الف و ب با بزرگنمایی ۲۵۰، ساختاری نسبتاً متخلخل با بافت غیر یکنواخت و دارای حفره‌ها و سلولهای ناهمگن را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود نمونه‌های دارای حداقل نسبت تفاله قهوه : سبوس گندم (شکل-۵-الف) دارای سلولهای هوایی مشخص‌تر و منظم‌تری نسبت به نمونه‌های دارای حداکثر نسبت تفاله قهوه : سبوس گندم (شکل-۵-ب) هستند. این روند در سایر بزرگنمایی‌ها نیز کاملاً مشهود است، طوریکه بر اساس شکل‌های F, D, B-۵ با افزایش سطح تفاله قهوه و کاهش میزان سبوس گندم در شرایط ثابت فرایند تعداد سلولهای هوایی کمتر با دیواره سلولی ضخیم‌تر و قطر کمتر مشاهده می‌گردد. در واقع در نمونه‌هایی با نسبت تفاله قهوه : سبوس گندم (۲۵:۷۵٪) به دلیل فیبر نامحلول و چربی بیشتر و نشاسته کمتر، ساختار اسفنجی و منظمی مشاهده نمی‌گردد و سلولهای کامل هوایی با دیواره کاملاً مشخص و تفکیک شده، تشکیل نشده‌اند و در برخی قسمت‌ها دیواره‌ها با سطوح شکسته ملاحظه می‌گردند. افزایش میزان فیبر نامحلول منجر به کاهش سائز سلولهای هوایی می‌شود [۲۳، ۳۳]. همچنین تخریب دیواره‌های هوایی در نمونه‌های حاوی فیبر نامحلول بالا،

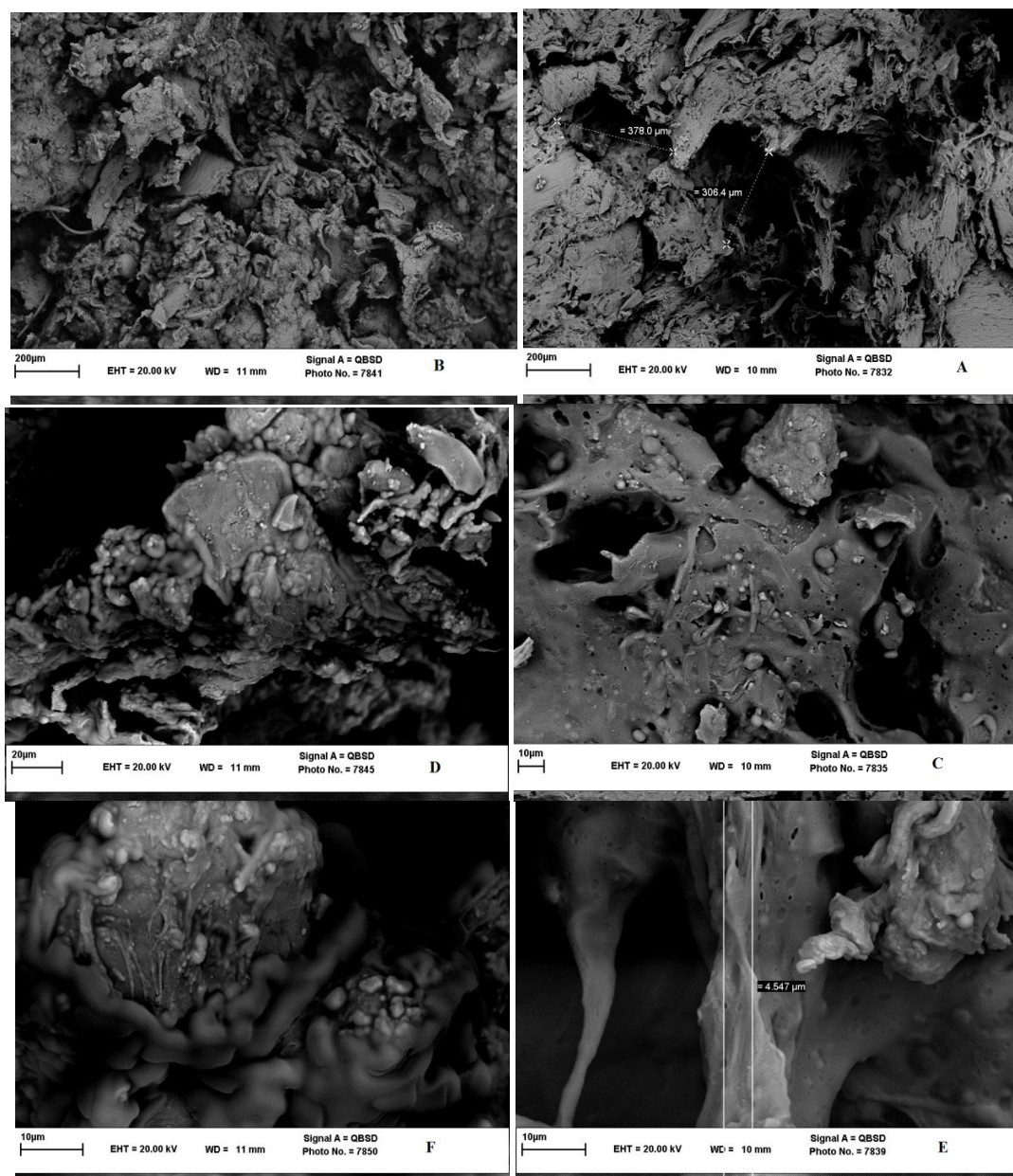


Fig 5 Microstructure of solid foam as affected by ratio of A) SCG:WB (25:75%), 250- magnification, B) SCG:WB (75:25%), 250- magnification, C) SCG:WB (25:75%), 2000- magnification, D) SCG:WB (75:25%), 2000- magnification, E) SCG:WB (25:75%), 5000- magnification, F) SCG:WB (75:25%), 5000- magnification.

بدین منظور در ابتدا اهداف بهینه سازی شامل کمینه سختی بافت، رطوبت نهایی و فعالیت آب، بیشینه میزان ضریب انبساط تعیین گردید (جدول ۴). بر اساس ملاحظات فوق شرایط بهینه با ضریب اطمینان ۰/۸۱۲ شامل نسبت تفاله قهوه: سبوس گندم ۶۹:۳۱، سرعت چرخش ماریچ ۱۹۰ دور بر دقیقه و میزان رطوبت خوراک اولیه ۱۴٪ انتخاب گردید.

۳-۶- بهینه یابی فرمولاسیون و فرایند اکستروژن

در تولید فراورده حجیم

جهت بهینه یابی فرمولاسیون و فرایند اکستروژن و برای دستیابی به بهترین پاسخ ها از روش بهینه سازی عددی^۵ استفاده گردید.

5. Optimization Numerical

Table 4 Optimized solution obtained using the response optimizer

Response variable	Final Humidity (%)	aW	ER	Hardness (N)
Predicted responses	4.73	0.29	1.23	68.51

Enhancing an extruded puffed snack by optimising die head temperature, screw speed and apple pomace inclusion. *Food Bioprocess Technol.*, 7(6):1767-1782.

- [5] Gómez, M., Martinez, MM. (2017). Fruit and vegetable by-products as novel ingredients to improve the nutritional quality of baked goods. *Crit Rev Food Sci Nutr.*, 58(13):2119-2135.
- [6] Onipe, O O., Jideani, A I O, Beswa, D. (2015). Review Composition and functionality of wheat bran and its application in some cereal food products, *J. Food Sci. Technol.*, 50, 2509–2518.
- [7] Stevenson, L., Phillips, F., Sullivan, K., Walton, J. (2012). Wheat bran: its composition and benefits to health, a European perspective. *Int J Food Sci Nutr.*, 63(8): 1001–1013.
- [8] Martinez-Saez, N., García, A.T., Pérez, I.D., Rebollo-Hernanz, M., Mesías, M., Morales, F.J., Martín-Cabrejas, M.A., del Castillo, M.D., (2016), Use of Spent Coffee Grounds as Food Ingredient in Bakery Products. *Food Chem.*, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.173>
- [9] Campos-Vega, R., Loarca-Piña, G., Vergara-Castañeda, H., Oomah, B.D., (2015). Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Trends Food Sci Technol.*, 45(1), 24-36
- [10] Selani, MM., Brazaca, SGC., Santos Dias, CT, Ratnayake, WSC., Flores, RA., Bianchini, A. (2014). Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. *Food Chem.*, 163 23–30.
- [11] Pensamiento-Niño C. A., Gómez-Aldapa, C. A., Hernández-Santos, B., Juárez-Barrientos, J. M., Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C. E., Torruco-Uco, J. G., Rodríguez-Miranda, J. (2018). Optimization and characterization of an extruded snack based on taro flour (*Colocasia esculenta* L.) enriched with mango pulp (*Mangifera indica* L.). *J. Food Sci. Technol.*, 55 (10), 4244–4255.

۴- نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش حاکی از کارایی و قابلیت مناسب فناوری پخت اکستروژن به منظور بکارگیری مجدد پسماندهای صنایع تبدیلی و تولید فراورده‌های غذایی جدید نظیر انواع کف جامد می‌باشد. کف جامد تولیدی ضمن داشتن فیبر از ویژگی‌های بافتی، تخلخل و سختی مناسبی برخوردار بود. کف جامد تولیدی به دلیل داشتن رطوبت و فعالیت آب مناسب قابلیت ماندگاری و پایداری مناسب داشته و همچنین به علت داشتن تخلخل، بافت مناسب و فیبر بالا می‌تواند به عنوان ماده اولیه در فرمولاسیون سایر مواد غذایی نظیر فراورده‌های رژیمی، غذاهای آماده مصرف و پودر فوری مورد استفاده قرار بگیرد. در این پژوهش نمونه بهینه کف جامد فیبری با ویژگی‌های میزان رطوبت نهایی ۷۳/۴ درصد، فعالیت آب ۰/۲۹، ضریب انبساط ۱/۲۳ و سختی بافت ۶۸/۵۱ نیوتن تحت شرایط فرایند شامل نسبت تغاله قهوه : سبوس گندم ۶۹:۳۱، سرعت چرخش مارپیچ ۱۹۰ دور بر دقیقه و میزان رطوبت خوراک اولیه ۱۴٪ تولید می‌گردد.

۵- منابع

- [1] Bhandari, B., Roos, YH. (2012). *Food Materials Science and Engineering. In: Food Materials Science and Engineering*, 1st ed. (ed Bhandari, B and Roos, YH). Blackwell Publishing Ltd, UK., PP. 14– 19.
- [2] 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 Chem.*, 411–421.
- [3] Sharif, M. K., Rizvi, S. S. H., Paraman, I. (2014). Characterization of supercritical fluid extrusion processed rice-soy crisps fortified with micronutrients and and soy protein. *LWT - Food Sci Technol.*, 56, 414–420.
- [4] O'Shea, N., Arendt, E., Gallagher, E. (2014).

- Extruded Corn Snacks. *J Texture Stud.*, 48(3):221-230.
- [22] Milani, E., Hashemi, N., Mortazavi, SA., Tabatabai Yazdi, F. (2017). Effect of extrusion conditions and formulation on some physicochemical properties of extrudate snack based on almond meal (*Amygdalus communis* L.) and corn grits. *Journal of Innovative Food Technologies*. 5(1), 123-140.
- [23] Yanniotis, S., Petraki, A., Soumpasi, E. (2007). Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch. *INT J FOOD ENG.*, 80, 594-599.
- [24] Chevanan, N., Muthukumarappan, K., Rosentrater, K. A. (2009). Extrusion studies of aquaculture feed using distillers dried grains with solubles & whey. *Food Bioprocess Technol.*, 2, 177-185.
- [25] Rodríguez-Miranda, J., Ruiz-López, II., Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, CE., Delgado-Licon, E., Vivar-Vera, MA. (2011) Development of extruded snacks using taro (*Colocasia esculenta*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends. *LWT-Food Sci Technol.*, 44(3):673-680.
- [26] Altan, A., McCarthy, K L., Maskan, M. (2008). Twin-screw extrusion of barley-grape pomace blends: Extrudate characteristics and determination of optimum processing conditions. *J Food Eng.*, 89, 24-32.
- [27] Silva, RFD. Pereira, RGFA. Ascheri, JLR., Ascheri, DPR. (2013). Technological properties of precooked flour containing coffee powder and rice by thermoplastic extrusion. *Food Sci. Technol, Campinas.*, 33(1): 7-13.
- [28] Paraman, I., Sharif, MK., Supriyadi, S., Rizvi, SSH. (2015). Agro-food industry byproducts into value-added extruded foods. *FOOD BIOPROD PROCESS.*, 96, 78-85.
- [29] Höglund, E., Eliasson, L., Oliveira, G., Almlí, VL., Sozer, N. (2018). Effect of drying and extrusion processing on physical and nutritional characteristics of bilberry press cake extrudates. *LWT-Food Sci Technol.* 92, 422-428.
- [30] Kaisangsri, N., Kowalski, RJ., Wijesekara, I., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N., Ganjyal, GM. (2016). Carrot pomace enhances the expansion and nutritional quality of corn starch extrudates. *LWT-Food Sci Technol.*, 68, 391-399.
- [12] Combrzyński, M, Wójtowicz, A., Mitrus, M. 2019. Effect of starch type and screw speed on mechanical properties of extrusion-cooked starch-based foams. *Int. Agrophys.*, 33: 233-240
- [13] Beiraghi-Toosi, Sh. Mohebbi, M. Varidi3, M. 2019. Effect of feed mixture and process variables on physicochemical properties of solid foams made from corn starch and sesame seed by extrusion. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 14(5): 865-876
- [14] Singha, P., Muthukumarappan, K. (2018). Single screw extrusion of apple pomace-enriched blends: Extrudate characteristics and determination of optimum processing conditions. *Food Sci Technol Int.*, 24(5):447-462.
- [15] Ruiz-Armenta XA., Zazueta-Morales JDJ., Aguilar-Palazuelos E., Delgado-Nieblas CI., López-Díaz A., Camacho-Hernández IL., Martínez-Bustos F. (2018). Effect of extrusion on the carotenoid content, physical and sensory properties of snacks added with bagasse of naranjita fruit: optimization process. *CyTA J Food.*, 16(1):172-180.
- [16] Korkerd, S., Wanlapa, S., Puttanlek, C., Uttapap, D., Rungsardthong, V. (2016). Expansion and functional properties of extruded snacks enriched with nutrition sources from food processing by-products. *J Food Sci Technol.*, 53(1):561-570
- [17] AACC. (2000). Approved Methods of the AACC (10th ed). American Association of cereal Chemists, st Paul.
- [18] AOAC. Official methods of analyses. (2000). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- [19] Alam, MS., Kumar, S & Khaira, H., (2015). Effects of Extrusion Process Parameters on a Cereal-Based Ready-to-Eat Expanded Product Formulated with Carrot Pomace. *Cereal Foods World.*, 60 (6). 287-295.
- [20] Hashemi, N., Mortazavi, SA, Milani, E, Tabatabai Yazdi, F. (2017). Microstructural and textural properties of puffed snack prepared from partially deffated almond powder and corn flour. *J Food Process Preserv.*, 41(5) 1-12.
- [21] Shah, FUH., Sharif, MK., Butt, MS., Shahid, M. (2016). Development of Protein, Dietary Fiber and Micronutrient Enriched

- indicum L.) on corn expend extrudate. *Food Res. Int.*, 45, 434-443.
- [34] Honcu, I., Slukova, M., Vaculova, K., Sedlackova, I., Wiege, B., Fehling, E. (2016). The effects of extrusion on the content and properties of dietary fibre components in various barley cultivars. *J CEREAL SCI.*, 68, 132-139.
- [35] Zarzycki, P., Kasprzak, M., Rzedzicki, Z., Sobota, A., Wirkijowska, A., Sykut-Domańska, E. (2015). Effect of blend moisture and extrusion temperature on physical properties of everlasting pea-wheat extrudates. *J Food Sci Technol.*, 52(10):6663–6670.
- [31] Stojceska, V., Plunkett, A., Ibanglu, S. (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 Chem.*, 114, 226-232.
- [32] Niasi, S., Haddad khodaparast, MH., Milani, E., Koocheki, A. (2018). Production and Optimization of Functional Fiber Supplement Based on Food By-products Using Extrusion Technology, *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology.*, 7(2), 133-148.
- [33] Nascimento, E.M.G.C., Carvalho, C.W.P., Takeiti, C.Y., Freitas, D.G.C. Ascheri, J.L.R. (2012). Use of sesame oil cake (Sesamum

A feasibility study of fiber solid foam based on food by products (Spent coffee – wheat bran)

Millani, E. ^{1*}, Hashemi, N. ², Goli Movahed, Gh. ³, Hashemi, M. ⁴

1. Associated professor, Faculty member of academic Center for Education Culture and Research, Mashhad

2. PhD, Food science and technology

3. Lecturer, Faculty member of academic Center for Education Culture and Research, Mashhad

4. Assistant professor, Faculty member of academic Center for Education Culture and Research, Mashhad

(Received: 2019/10/12 Accepted: 2020/05/09)

In this project, study of application of food by products (Spent coffee – wheat bran) in order to producing fiber solid foam using extrusion was carried out. Central composite design was used for evaluation of variables containing spent coffee: wheat bran ratio (75:25, 50:50, 25:75), feed moisture content (14, 17, and 20) and screw speed (120, 160, 200 RPM) on moisture, water activity, expansion index, hardness and microstructure of extrudates. Results showed that by increasing spent coffee and moisture, water activity and humidity of solid foams were increased significantly. However screw speed had no effects on both properties. Improvement of spent coffee: wheat bran concentration in formulations in order to higher concentration of nonsalable fiber caused an increase in hardness and decrease in expansion index significantly. Increasing feed moisture content (14, 17, and 20) and screw speed simultaneously, showed an increase in expansion index and decrease in hardness. Microstructure survey of solid foams illustrated that increasing spent coffee: wheat bran ratio leded porosity reduction and improvement of cell wall size and reducing in air bubble diameter. Based on optimization results, in order to production of solid foam with appropriate characteristics such as final moisture content (4.73%), wateractivity (0.29), expansion index (1.23), hardness (68.51 N), the process conditiond were determined at spent coffee: wheat bran ratio (69:31), feed moisture content (14.1) and screw speed (190 RPM)

Keywords: Extrusion, Wheat bran, Coffee processing waste, Solid foam

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