مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال شانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صفحات ۸۸-۷۹

ارزیابی کارایی آرد کامل دانه خربزه در فرمولاسیون غلات صبحانه

الناز میلانی[۱]، فخری شهیدی[۲]، الهام انصاری فر[۳]، محمد خلیلیان موحد[۴]، فریده صالحی پور[۵]

۱- دانشیار پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران
۲- نویسنده مسئول: استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران. پست الکترونیکی: fshahidi@um.ac.ir
۳- استادیار علوم و صنایع غذایی، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت، گروه بهداشت عمومی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، ایران
۴- دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۵- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۵/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۹/۹/۱

چکیده

سابقه و هدف: به کارگیری پسماندهایی مانند دانه‌های صیفی‌جات موجب ورود مجدد این منابع ارزشمند به چرخه‌ی غذایی، ارتقاء ارزش تغذیه‌ای و تولید فراورده فراسودمند در صنعت غذا می‌گردد. هدف از این تحقیق، ارزیابی اثر متغیرهای ترکیب خوراک و سرعت چرخش مارپیچ بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیای و حسی غلات صبحانه اکسترود شده بر پایه‌ی بلغور ذرت و آرد گندم غنی شده با دانه خربزه و به دست آوردن شرایط بهینه مناسب می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق، از روش سطح پاسخ جهت بررسی اثر متغیرهای فرمولاسیون شامل؛ آرد دانه خربزه (۱۰-۲۰ درصد)، میزان رطوبت (۱۲-۲۰ درصد) و سرعت مارپیچ (۱۸۰-۱۲۰ دوربردقیقه) بر پاسخ‌های نسبت انبساط، دانسیته توده‌ای، سختی بافت، شاخص جذب آب، شاخص حلالیت در آب و پذیرش حسی مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: افزایش دانه خربزه به مخلوط بلغور ذرت و آرد گندم باعث افزایش دانسیته‌ی توده‌ای و سختی بافت و نیز کاهش نسبت انبساط و شاخص جذب آب در فراورده گردید. شرایط بهینه فرایند اکسترون با استفاده از روش سطح پاسخ، ۱۰/۱ درصد دانه خربزه، ۱۸ درصد رطوبت خوراک و سرعت چرخش مارپیچ ۱۷۲/۳۹ دور بر دقیقه تخمین زده شد.

نتیجه‌گیری: استفاده از آرد کامل دانه خربزه در فرمولاسیون غلات صبحانه، می تواند به عنوان یک ماده غذایی کاربردی با مواد مغذی و مزایای سلامتی برخودار باشد. محصول نهایی از ویژگی های حسی مطلوب و پذیرش مناسب مصرف کننده برخوردار بود.

واژگان کلیدی: اکستروژن، غلات صبحانه، بهینه سازی، دانه خربزه

• مقدمه

سبک زندگی امروزه با محدودیت زمان آزاد و افزایش ساعات کاری همراه است، همین امر سبب افزایش ترغیب استفاده از محصولات آماده به مصرف (Ready-to-eat) گردیده است. علاوه بر این کودکان در سراسر جهان، به مصرف میان وعده‌های غذایی خوشمزه و مصرف آسان، جذب شده‌اند. فناوری اکستروژن به عنوان یک فرایند با کارایی بالا در صنایع غذایی نقش و اهمیت ویژه‌ای دارد. این فناوری نقش مهمی برای شکل‌دادن محصولات غلّه‌ای و فرآوری پروتئین‌های غذایی و غذای حیوانات خانگی (Pet foods) استفاده‌های زیادی دارد. در این فرایند اجزای فرمولاسیون یک ماده تحت فشار قرار گرفته؛ به صورت یک سیال، تحت اعمال نیرو و عملیاتی نظیر مخلوط‌کردن، حرارت‌دادن و اعمال نیروی برشی به جریان درمی‌آید و با عبور از قالب (Die) به صورت فراورده‌های شکل داده شده یا حجیم در می‌آیند (۱). از سوی دیگر روند رو به رشدی برای مصرف محصولات با ارزش غذایی بالا وجود دارد و مصرف کنندگان به مصرف میوه‌ها، سبزیجات و سایر غذاهای عملکردی وجود دارد (۲). خربزه گیاهی یکساله از خانواده Cucurbitacea، جنس Cucumis، گونه melo و گروه Inodorus می‌باشد. کشور چین با بیش از ۵۰٪ تولید خربزه مقام اول را در بین کشورهای تولید کننده این محصول دارا می‌باشد. کشور ایران نیز بعد از ترکیه مقام سوم جهان را به خود اختصاص داده است. سطح زیر کشت خربزه

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.52547/nsft.16.2.79]

در ایران ۸۰۰۰ هکتار و عملکرد آن ۱۵/۳۷ تن در هکتار و تولید کل این محصول ۱۲۳۰۰۰۰ تن می‌باشد (۳). دانه خربزه مغذی است و به علت دارا بودن مقدار زیادی پروتئین، اسید چرب امگا ۳ ،مواد معدنی و فیبر رژیمی می تواند سبب جلوگیری از بیماریهای قلبی عروقی و سرطان شود؛ دانه خربزه منبع غنی از مواد معدنی، ویتامین E، فیبر، ترکیبات فنلی و فیتوسترول‌ها می‌باشد (۴). نداشتن عوامل حساسیت زا، برخورداری از قابلیت هضم آسان، ساده بودن فرآوری آن، و کم هزینه بودن تولید، سبب اهمیت کاربرد دانه خربزه در صنعت غذا گردیده است(۴). از جمله استفاده از آرد دانه‌ی خربزه به عنوان جایگزین چربی بر ویژگی های شیمیایی و حسی همبرگر و کالباس که محصول نهایی از ویژگی های حسی مطلوب و بازارپسندی مناسب برخوردار بود (۵).

در پژوهش زاوه‌زاد و حقایق (۲۰۱۴)، آرد دانه خربزه به عنوان جایگزین چربی در تولید کیک کم‌چرب استفاده شد. مطابق نتایج، دانه خربزه در سطح ۱۹ درصد میتواند با حفظ کمیت و کیفیت کیک تولیدی، جایگزین مناسبی برای روغن موجود در فرمولاسیون اولیهٔ کیک روغنی باشد. در تحقیق دیگری، کاربرد آرد دانه خربزه و امولسیفایر ستین به عنوان جایگزین چربی در تولید بیسکویت کم‌چرب بررسی شد. در این تحقیق آرد دانه خربزه در سطوح ۱۹، ۵ و ۱۵ درصد در کنار امولسیفایر لستین در سطوح ۰،۱، ۰،۲ و ۰،۳ ٪ درصد با هدف بکارگیری کامل آن به جای چربی در بیسکویت بررسی شد. نتایج مطالعات آنها نشان داد کنارگذاشتن روغن در تولید بیسکویت و اضافه کردن آرد دانه خربزه به جای آن از میزان چربی و رطوبت محصول نهایی می‌کاهد و بر میزان خاکستر، پروتئین و سختی آن می افزاید ضمن این که امولسیفایر لستین سختی بافت را کاهش و میزان رطوبت را افزایش می‌دهد. در مجموع، آرد دانه خربزه در سطح ۱۹ درصد در کنار ۰،۱ درصد لستین قابلیت جایگزینی با کل روغن در بیسکویت کم‌چرب را دارد (۷، ۶). در مطالعه نصرآبادی و همکاران (۱۳۹۸)، افزودن ۰/۱ درصد آرد دانه خربزه به نان تست توانست ضمن حفظ خواص کمی و کیفی نان، سبب بهبود ارزش تغذیه ای نان تست نیز گردد(۸). اخیرا تولید محصولات حجیم شده ای که از لحاظ تغذیه ای محتوی فیبرهای رژیمی، اسیدهای چرب ضروری و ویتامین بوده، مورد توجه قرار گرفته است. لذا استفاده از مغزهای آجیلی در تولید این دسته از میان وعده‌ها توصیه می شود. در این زمینه De Pilli و همکاران (۲۰۰۸) مطالعاتی جهت اکسترود کردن آرد گندم و آرد بادام انجام دادند (۹). Yagci و همکاران (۲۰۰۸) تولید محصولی حاوی آرد برنج، گندم و آرد بادام زمینی چربی گیری شده و ضایعات میوه را بهینه سازی کردند (۱۰).

با عنایت به مصرف بالای انواع اسنک حجیم و نگرانی های تغذیه ای در این خصوص، فرمولاسیون و تولید میان وعده غذایی اکسترود شده با ارزش غذایی افزوده به عنوان جایگزین مناسب اسنک های حجیم رایج موجود در بازار بوده تا در ارتقای سلامت جامعه مؤثر باشد. دانه های خربزه میان وعده مفید و ارزان قیمت بوده و محتوای حدود ۳۰ درصد چربی، سبب چالش بکارگیری آنها در فرایندهایی توأم با حرارت گردیده است، از این رو هدف پژوهش دستیابی به شرایط بهینه فرمولاسیون و متغیرهای دستگاه اکسترودر جهت تولید غله صبحانه با حداکثر سطوح افزودن دانه خربزه می باشد. لذا در پژوهش حاضر، به کمک طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر، اثر متغیرهای ترکیب خوراک و سرعت چرخش مارپیچ بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیای و حسی غلات صبحانه اکسترود شده بر پایه‌ی بلغور ذرت و آرد گندم غنی شده با دانه خربزه بررسی و ارزیابی خواهد شد.

• مواد و روش‌ها

پروژه حاضر تابستان ۱۳۹۷ و در پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاددانشگاهی و پایلوت تحقیقات نیمه صنعتی اکستروژن غذایی آن مجموعه انجام پذیرفت. مواد اولیه شامل آرد گندم، بلغور ذرت و دانه خربزه به ترتیب از اداره غله و خدمات بازرگانی منطقه ۵. شرکت ذرت طلایی و بازار محلی در مشهد خریداری شد. درصد ترکیبات شیمیایی مواد اولیه با استفاده از روش‌های استاندارد تعیین شد (۱۱). چربی به روش سوکسله، اندازه‌گیری پروتئین با روش کجلدال و تعیین خاکستر نمونه با کوره ۵۵۰ درجه‌سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. برای تعیین رطوبت از آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. میزان کربوهیدرات نیز از طریق کسر درصد کلیه ترکیبات از ۱۰۰ تعیین شد (۵).

تهیه‌ی مخلوط پایه و شرایط فرایند اکستروژن: بدین منظور ابتدا آرد گندم و بلغور ذرت با نسبت ۱:۱مخلوط و سپس پودر دانه خربزه به آن اضافه گردید. به منظور رسیدن به رطوبت مورد نیاز، مقادیر آب لازم محاسبه و افزوده شد سپس نمونه‌ها در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شدند. یک ساعت قبل از پخت اکستروژن نمونه‌ها از یخچال خارج شدند و در دمای محیط قرار گرفتند. به منظور تهیه نمونه‌های غلات صبحانه از دستگاه اکسترودر جفت مارپیچی مدل DS5 ساخت شرکت Jinan Saxin کشور چین استفاده گردید. در این پژوهش متغیرهای

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.52547/nsft.16.2.79]

مستقل شامل سطوح دانه‌ی خربزه (۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد)، رطوبت (۱۲، ۱۶ و ۲۰ درصد) و سرعت چرخش مارپیچ (۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دوربردقیقه) بود. میزان سرعت خوراک‌دهی و دما ثابت و به ترتیب برابر ۳۰ کیلوگرم‌برساعت و ۱۵۰ درجه-سانتی‌گراد تعیین شد و قطر منفذ خروجی نیز ۴ میلی‌متر در نظر گرفته شد. محصول خروجی از اکسترودر بر روی نوار نقاله دستگاه خشک‌کن تونلی با دمای ۱۱۰ درجه‌سانتی‌گراد قرار گرفتند. نمونه‌های اکسترود شده پس از رسیدن به دمای محیط در کیسه‌های پلی اتیلنی قرار گرفتند و تا زمان اندازه-گیری ویژگی‌های مورد نظر دور از نور و در دمای اتاق نگهداری شدند.

نسبت انبساط شعاعی: از هر تیمار ۱۰ نمونه از محصول اکسترود شده، به طور تصادفی انتخاب شد و با استفاده از کولیس قطر نمونه‌های اکسترود شده اندازه‌گیری شد. سپس از طریق تقسیم میانگین قطر نمونه بر قطر قالب اکسترودر، میزان انبساط شعاعی محاسبه گردید (۱۰).

دانسیته توده ای: اندازه‌گیری دانسیته توده با استفاده از روش جابجایی در ارزن انجام شد. ابتدا با استفاده از یک استوانهٔ مدرج ۵۰۰ میلی‌لیتری دانسیته توده‌های ارزن تعیین شد. بدین منظور مقداری ارزن با جرم معین تا یک حجم ثابت در استوانه پر شد. سپس ۵ عدد غلات صبحانه از هر تیمار توزین و در داخل استوانه قرار گرفت، فضای خالی بین با ارزن پر شد. جرم ارزن اضافه شده به استوانه از معادله ۱ محاسبه گردید:

(۱) جرم ۵ عدد غلات صبحانه- جرم استوانه- جرم کل= جرم ارزن

حجم ارزن موجود در استوانه و حجم ۵ عدد غلات صبحانه با استفاده از معادلات ۲ و ۳ تعیین شد:

(۲) $$\text{حجم ارزن} = \frac{\text{جرم ارزن}}{\text{دانسیته توده‌ای ارزن}}$$

(۳) حجم ارزن- حجم کل= حجم ۵ عدد غلات صبحانه

در نهایت دانسیته توده‌ای غلات صبحانه از تقسیم جرم غلات صبحانه بر حجم آن محاسبه شد (۱۱).

سختی: از پروب استیل استوانه‌ای شکل دستگاه آنالیزگر بافت استفاده شد و حداکثر نیروی لازم جهت نفوذ ۱۰ میلی‌متری پروب در بافت محصول اندازه‌گیری شد. بیشترین نیرو وارد شده بر حسب نیوتون به عنوان سختی اعلام شد (۱۱).

شاخص جذب آب WAI (Water Absorbtion Index): مقدار آب جذب شده توسط گرانول‌های نشاسته را اندازه گیری می‌کند و شاخصی از ژلاتیناسیون نشاسته می‌باشد. به ۱ گرم نمونه آسیاب شده در داخل فالکون، ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده و به مدت ۱۰ دقیقه هم زده شد. سپس با دور $g3000 \times$ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. مایع‌رویی از فالکون خارج و ژل باقی‌مانده توزین و بر وزن اولیه تقسیم گردید (۱۲).

شاخص حلالیت در آب WSI (Water Solution Index): مایع‌رویی فالکون در مرحله‌ی اندازه‌گیری شاخص جذب آب، به یک پلیت اضافه شد. پلیت در آون هوای داغ با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و پلیت به همراه رسوبات توزین و بر وزن ماده خشک محلول در مایع رویی فالکون تقسیم گردید (۱۲).

ارزیابی حسی: ارزیابی حسی نمونه‌های غلات صبحانه اکسترود شده توسط ده ارزیاب آموزش دیده انجام شد. از آزمون هدونیک ۵ نقطه‌ای جهت تعیین خصوصیات حسی فراورده شامل رنگ، ظاهر، عطر و طعم، بافت و پذیرش کلی استفاده شد. کیفیت امتیازدهی از امتیاز یک (خیلی بد) تا امتیاز پنج (خیلی خوب) بود (۱۳).

طرح آماری و تجزیه وتحلیل داده‌ها جهت بهینه سازی شرایط تولید غلات صبحانه: در این تحقیق از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی جهت بررسی اثر متغیرهای مستقل (دانه خربزه؛ x_1، رطوبت؛ x_2 و سرعت چرخش مارپیچ؛ x_3) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی غلات صبحانه استفاده شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Design Expert 7,0,0 انجام شد. برای توصیف مدل ها از معادله ۶ استفاده شد. Y (تابع پاسخ) و x_i، i = ۱، ۲ و ۳ (متغیرهای مستقل) می‌باشد.

(۶)

$$Y = b_0+b_1x_1+b_2x_2+b_3x_3+b_{11}x_1^2+b_{22}x_2^2+b_{33}x_3^2+b_{12}x_1x_2+b_{13}x_1x_3+b_{23}x_2x_3$$

ضرایب مدل با b (ضریب ثابت)، b_1، b_2 و b_3 (اثر خطی b_{11}، b_{22} و b_{33} (اثر درجه دوم)، b_{12}، b_{13} و b_{23} (اثر متقابل) نشان داده شده است. اثرات معنی‌دار در مدل با تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) برای هر پاسخ مشخص شد. R^2 و R^2 تصحیح شده برای مناسب بودن مدل پیش بینی شده در جدول ۲ مورد بررسی قرار گرفت. شرایط بهینه، با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی انتخاب شد.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/nsft.16.2.79]

• یافته‌ها

تعیین ترکیبات شیمیایی مواد اولیه: با توجه به آزمایش‌هایی که بر روی آرد گندم، بلغور ذرت و دانه خربزه صورت پذیرفت، میزان این ترکیبات در جدول ۱، آورده شده است.

نسبت انبساط: انبساط یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی، عملکردی و پذیرش محصول نهایی است. میزان انبساط به درجه ژلاتینه شدن نشاسته و ذوب آن وابسته است (۱۴) بررسی نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که اثر متغیر دانه خربزه و رطوبت بر نسبت انبساط معنی‌دار است (جدول ۲).

جدول ۱. ترکیب شیمیایی آرد گندم، بلغور ذرت و دانه خربزه بر مبنای ماده خشک

ترکیب شیمیایی	آرد گندم	بلغور ذرت	دانه خربزه
رطوبت(٪)	۱۴/۵	۹/۵۰	۴/۸
پروتئین(٪)	۹/۵	۷/۱	۲۳/۱
چربی(٪)	۰/۹۳	۳/۱۵	۳۴/۳
خاکستر(٪)	۰/۵۷	۰/۹۵	۲/۲
کربوهیدرات(٪)	۷۴/۵	۷۹/۳	۳۵/۶

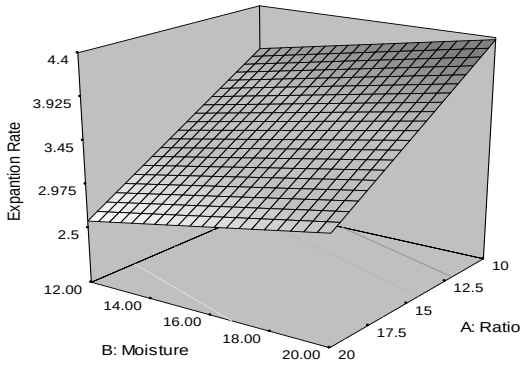
جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) پاسخ‌های اندازه‌گیری شده

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	احتمال F	ضریب تبیین
نسبت انبساط					
مدل	۴/۹۶	۳	۱/۶۵	< ۰/۰۰۰۱	۰/۹۸۹
(آرد دانه خربزه)A	۴/۳۲	۱	۴/۳۲	< ۰/۰۰۰۱	
(درصد رطوبت)B	۰/۵۹	۱	۰/۵۹	۰/۰۱۶۴	
(سرعت مارپیچ)C	۰/۰۴۸	۱	۰/۰۴۸	۰/۴۵۵۹	
ضعف برازش	۴/۹۶	۱۱	۱/۶۵	۰/۳۰	
خطا	۴/۹۶	۵	۱/۶۵		
دانسیته توده‌ای					
مدل	۰/۱۸	۹	۰/۰۱۹	< ۰/۰۰۰۱	۰/۹۵
(آرد دانه خربزه)A	۰/۰۲۹	۱	۰/۰۲۹	۰/۰۰۰۱	
(درصد رطوبت)B	۰/۰۲۳	۱	۰/۰۲۳	۰/۰۰۱	
(سرعت مارپیچ)C	۰/۰۰۸۳	۱	۰/۰۰۸۳	۰/۴۰۴	
ضعف برازش	۰/۰۷۳	۵	۱/۴۶	۰/۲۳	
خطا	۰/۶۳	۵	۷/۲۶		
سختی					
مدل	۴۱۷/۸	۹	۴۶/۴۲	۰/۰۰۰۱	۰/۹۸۹
(آرد دانه خربزه)A	۲۰۳/۶	۱	۲۰۳/۶	< ۰/۰۰۰۱	
(درصد رطوبت)B	۳۷/۴۳	۱	۳۷/۴۳	۰/۰۰۵	
(سرعت مارپیچ)C	۷/۷۳	۱	۷/۷۳	۰/۱۴	
ضعف برازش	۲۷/۸۷	۵	۵/۵۷	۰/۳۹	
خطا	۲/۷۹	۵	۰/۵		
شاخص جذب آب					
مدل	۲۳/۷۲	۹	۲/۶۵	< ۰/۰۰۰۱	۰/۹۶
(آرد دانه خربزه)A	۱/۰۱	۱	۱/۰۱	۰/۰۱	
(درصد رطوبت)B	۴/۸۷	۱	۴۷/۱۶	< ۰/۰۰۰۱	
(سرعت مارپیچ)C	۲/۱۳	۱	۲/۱۳	۰/۰۰۱	
ضعف برازش	۰/۸۶	۵	۰/۱۷	۰/۴۸	
خطا	۰/۱۷	۵	۰/۰۳۴		
شاخص حلالیت در آب					
مدل	۵۰۹/۵۲	۹	۵۶/۶۱	۰/۰۰۰۳	۰/۹۷
(آرد دانه خربزه)A	۱۲/۱۶	۱	۱۲/۱۶	۰/۱۴	
(درصد رطوبت)B	۱۰۴/۸۸	۱	۱۰۴/۸۸	۰/۰۰۰۹	
(سرعت مارپیچ)C	۱۹۴/۸۸	۱	۱۹۴/۸۸	< ۰/۰۰۰۱	
ضعف برازش	۴۲/۸۶	۵	۸/۵	۰/۱۷	
خطا	۵/۰۳	۵	۱/۰۱		

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-03]

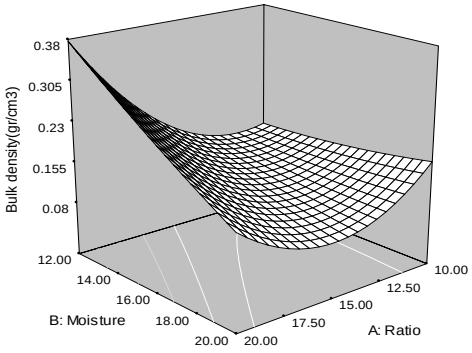
[DOI: 10.52547/nsft.16.2.79]

نسبت انبساط غلات صبحانه‌های اکسترود شده بین ۲/۰۵ تا ۴/۲۲ متغیر بود. با افزایش نسبت دانه خربزه از ۱۰ به ۲۰ درصد در خوراک، نسبت انبساط کاهش یافت، همچنین افزایش رطوبت خوراک از ۱۲ به ۲۰ درصد، سبب افزایش نسبت انبساط گردید (شکل ۱).



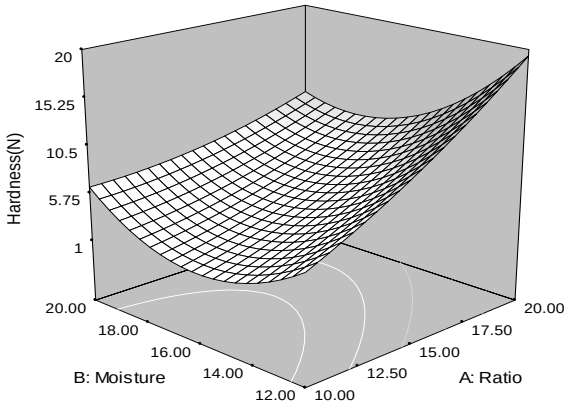
شکل ۱. اثر رطوبت و دانه خربزه در سرعت چرخش مارپیچ ۱۵۰ دور بر دقیقه بر نسبت انبساط شعاعی فراورده حجیم

دانسیته توده‌ای: دانسیته معمولاً برای تعریف ویژگی‌های فیزیکی و کیفی فراورده‌های حجیم استفاده می‌شود. انبساط عرضی و دانسیته، میزان پف فراورده را نشان می‌دهد (۱۵). دانسیته توده‌ای فراورده اکسترود شده بین ۰/۰۸ تا ۰/۴۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل دانه خربزه و رطوبت بود (جدول ۲). در این پژوهش با افزایش نسبت دانه خربزه از ۱۰ به ۲۰ درصد در ترکیب خوراک، دانسیته توده‌ای غلات صبحانه افزایش یافت. همچنین افزایش رطوبت خوراک از ۱۲ به ۲۰ درصد، سبب کاهش دانسیته توده‌ای فراورده‌ها شد (شکل ۲).



شکل ۲. اثر رطوبت و دانه خربزه در سرعت چرخش مارپیچ ۱۵۰ دور بر دقیقه بر دانسیته توده‌ای فراورده حجیم

سختی: سختی، بیشترین نیروی مود نیاز پروب برای نفوذ به داخل نمونه می‌باشد و با دانسیته و انبساط محصول اکسترود شده مرتبط است (۱۶). سختی فراورده اکسترود شده بین ۲/۸۸ تا ۲۱/۱۸ نیوتن بود. عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل نسبت دانه خربزه و رطوبت بود (جدول ۲). افزایش درصد رطوبت خوراک از ۱۲ به ۲۰ درصد، سبب کاهش سختی نمونه‌ها شد و افزایش دانه خربزه از ۱۰ به ۲۰ درصد در ترکیب خوراک باعث افزایش سختی نمونه‌ها شد (شکل ۳).



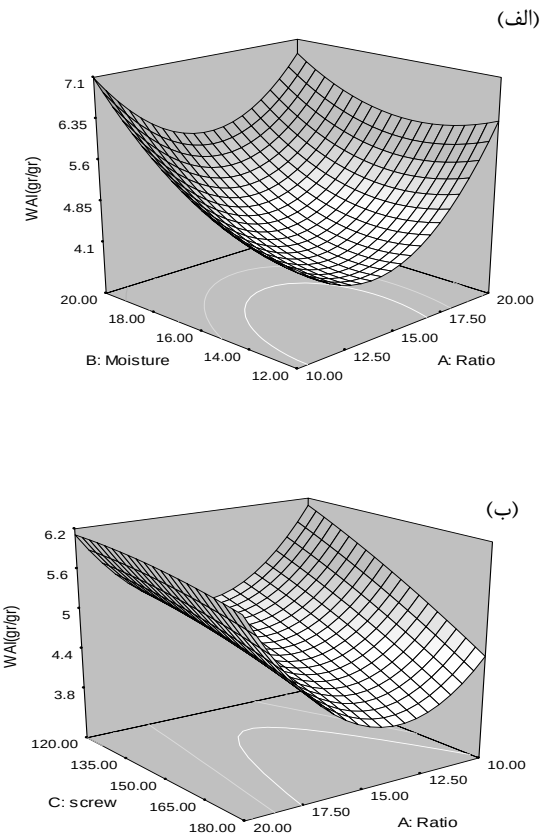
شکل ۳. اثر رطوبت و دانه خربزه در سرعت چرخش مارپیچ ۱۵۰ دور بر دقیقه بر سختی فراورده حجیم

شاخص جذب آب: عبارت‌های معنی‌دار مدل برای شاخص جذب آب شامل دانه خربزه، رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ و اثر همزمان هر سه متغیر بود (جدول ۲). محدوده‌ی تغییرات جذب آب بین ۳/۷-۷/۲ گرم بر گرم بود. میزان جذب آب با افزایش رطوبت از ۱۲ به ۲۰ درصد در ترکیب خوراک، افزایش و با افزایش نسبت دانه خربزه از ۱۰ به ۲۰ درصد کاهش یافت (شکل ۴، الف). همان‌طور که در شکل۴، ب مشاهده می‌شود با افزایش سرعت چرخش مارپیچ از ۱۲۰ به ۱۸۰ دوربردقیقه جذب آب کاهش یافت.

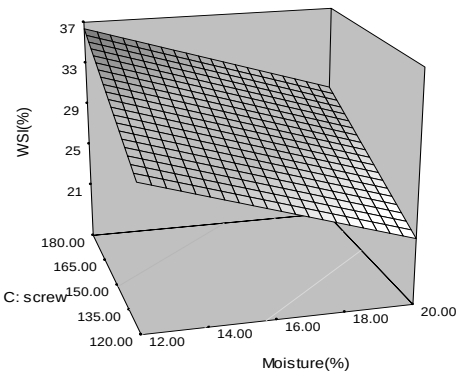
شاخص حلالیت در آب: میزان تبدیل ترکیبات نشاسته‌ای به پلی ساکاریدهای محلول ازاد شده در طول اکستروژن را اندازه‌گیری می‌کند (۱۷). همچنین مولکول‌های محلول در آب ممکن است از تخریب ترکیبات مولکولی دیگر از جمله فیبرها و پروتئین تولید شود (۱۸). عبارت‌های معنی‌دار مدل برای شاخص حلالیت در آب شامل رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ بود (جدول ۲). محدوده‌ی تغییرات حلالیت بین ۳۵/۹- ۱۶/۲ گرم بر گرم بود. افزایش رطوبت خوراک از ۱۲ به ۲۰ درصد، منجر به کاهش شاخص حلالیت در آب و افزایش

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.52547/nsft.16.2.79]

سرعت چرخش مارپیچ از ۱۲۰ بـه ۱۸۰ دوربردقیقـه منجربـه افزایش آن گردید (شکل ۵).

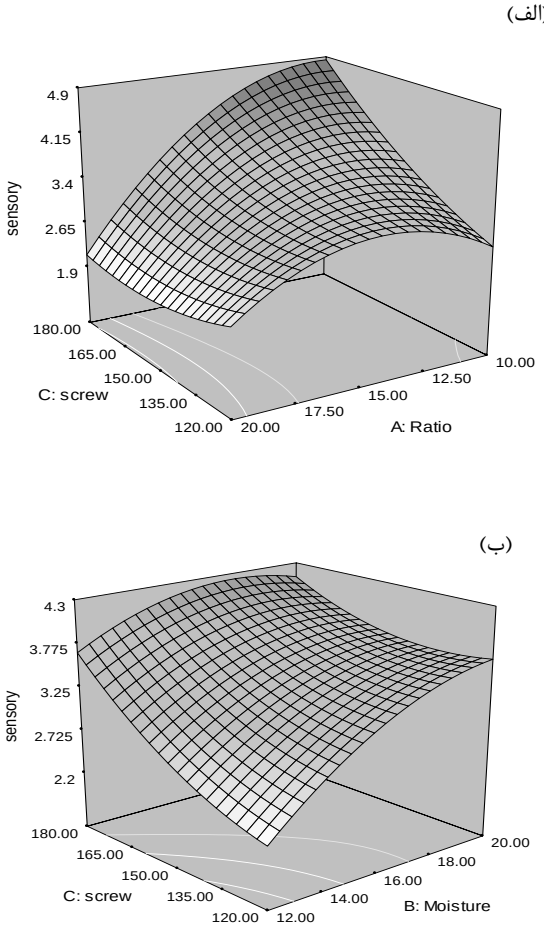


شکل ۴. اثر دانه خربزه و رطوبت در سرعت چرخش مارپیچ ۱۵۰ دور بر دقیقه بر شاخص جذب آب فراورده حجیم (الف اثر دانه خربزه و سرعت چرخش مارپیچ در رطوبت ۱۶ بر شاخص جذب آب فراورده حجیم (ب).



شکل ۵. اثر رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ در نسبت ۱۵ دانه خربزه بر شاخص حلالیت در آب فراورده حجیم

ویژگی حسی: پذیرش کلی به عنوان نظـر و امتیـاز کلـی بـه نمونه ها در نظر گرفته شد. پذیرش کلی با افـزایش رطوبـت و سرعت چـرخش مـارپیچ افـزایش یافـت (شـکل۶، ب). امـا بـا افزایش نسبت دانه خربزه از ۱۰ بـه ۲۰ درصـد، پـذیرش کلـی کاهش یافت (شکل ۶، الف). مطابق شـکل از حیـث مطلوبیـت حسی، فراورده حاوی دانه خربزه در سـطوح ۱۰ تـا ۱۵ درصـد مناسب خواهد بود.



شکل ۶. اثر دانه خربزه و سرعت چرخش مارپیچ در رطوبت ۱۶ بر پذیرش کلی فراورده حجیم (الف) اثر رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ در نسبت ۱۵ درصد دانه خربزه بر پذیرش کلی فراورده حجیم (ب).

• بحث

پروتئین و فیبر بالا با افـزایش درصـد آرد دانـه خربـزه در فرمولاسیون، بر توزیع آب در ماتریکس نشاسته تاثیر گذاشته و بـا تشـکیل کمـپلکس‌هـایی بـا نشاسـته، درجـه ژلاتیناسـیون نشاسته محدود شده و در نهایت میزان نسبت انبساط فـراورده نهایی کاهش می‌یابد (۱۹). عـلاوه بـر ایـن لیپیـد موجـود بـه

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.52547/nsft.16.2.79]

عنوان یک روان کننده عمل کرده و سبب کاهش اصطکاک بین بدنه‌ی اکسترودر، مارپیچ و نمونه شده و درجه‌ی ژلاتیناسیون گرانول‌های نشاسته کاهش می‌یابد که متعاقباً بر روی انبساط تأثیر می‌گذارد (۲۰). نتایج مشابه در مورد افزودن آرد دانه‌ی کدو حلوایی به آرد ذرت مشاهده شد؛ بطوریکه با افزایش سهم دانه کدو تا ۲۳ درصد میزان اندیس انبساط از ۱/۸۳ تا ۱/۲۳ کاهش یافت (۱۵). افزایش رطوبت خوراک، سبب کاهش ویسکوزیته‌ی مذاب، افزایش رطوبت مورد نیاز برای تشکیل بخار و کاهش مقاومت دیواره‌های سلولی نسبت به انبساط می گردد با این حال در سرعت های پایین مارپیچ بدلیل کاهش دمای خمیر، انبساط طولی افزایش یافته و ظرفیت بالاتری برای تشکیل سلول‌های بزرگتر وجود دارد؛ همزمان با افزایش سرعت چرخش مارپیچ به واسطه افزایش نیروی برشی و حرارت، تولید بخار افزایش یافته و ظرفیت تولید سلول‌های هوایی منبسط افزایش و تخلخل افزایش می‌یابد (۲۱). نتایج مشابهی در تولید فراورده‌ی اکسترود شده-ی پودر بادام چربی‌گیری شده و آرد ذرت مشاهده شد؛ شایان ذکر است میزان افزایش رطوبت بسته به فاکتور متغیرهای فرمولاسیون می تواند محدوده متغیری داشته باشد (۲۲).

افزایش دانه خربزه در ترکیب خوراک محتوای لیپید، پروتئین و فیبر را افزایش می دهد. فیبر موجود در دانه خربزه باعث پاره شدن سلول‌های هوا شده و توانایی انبساط محصول را محدود می‌کند و بنابراین دانسیته افزایش می‌یابد. چربی نیز به دلیل اثر روان کنندگی، اصطکاک درون محفظه را کاهش داده و منجربه کاهش اثر دما و پخته نشدن خمیر و افزایش تراکم می‌گردد. پروتئین‌ها نیز با تشکیل یک شبکه‌ی سه بعدی و یا تشکیل کمپلکس‌هایی با آمیلوز، آب را از دسترس نشاسته خارج کرده و در نتیجه ژلاتیناسیون و انبساط نشاسته کاهش و دانسیته افزایش می‌یابد (۲۳). رطوبت بالاتر ویسکوزیته مذاب را کاهش داده و با بهتر شدن ژلاتیناسیون نشاسته و افزایش رطوبت در دسترس برای تشکیل بخار، رشد حباب‌ها بیشتر شده و با افزایش حجم فراورده، دانسیته توده-ای آن کاهش می‌یابد (۲۲). نتایج مشابهی برای غلات صبحانه برپایه‌ی بلغور برنج، تفاله‌ی میوه و آرد فندق چربی‌گیری شده، گزارش گردید. اما از نظر کمی میزان افزایش دانسیته فراورده های این پژوهش در مقایسه با نمونه حاوی آرد فندق، به واسطه حذف چربی آنها، کمتر بود (۲۴).

محصولی با دانسیته بالا دیواره‌ی سلولی ضخیم دارد که به طور مستقیم با سختی محصول اکسترود شده مرتبط می‌باشد (۲۲). Ding و همکاران (۲۰۰۶) اظهار داشتند که در حالت کلی فراورده‌های حاوی گندم در مقایسه با فراورده‌های برنج سخت‌تر هستند که احتمالاً به دلیل حضور گلوتن می‌باشد که بر سختی فراورده نهایی مؤثر است (۱). با این حال تعریف سختی بافت فراورده حجیم شده ارتباط زیادی به شدت انبساط و تخلخل فراورده دارد؛ افزودن آرد دانه خربزه باعث کاهش مقاومت دیواره سلول های هوایی به دلیل کم شدن میزان نشاسته در فرمول می شود. همچنین روغن موجود در آرد دانه از گسترش بافت محصول اکسترود شده می کاهد(۱۸). نتایج مشابهی توسط هاشمی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شده است (۲۳). از طرفی با افزایش رطوبت مقدار بخار آب تولیدی حین انبساط محصول بیشتر شده در نتیجه تخلخل بیشتری ایجاد خواهد شد (۲۴). این نتایج با نتایج به دست آمده توسط Hashemi و همکاران (۲۰۱۷)، Navarro-Cortez و همکاران (۲۰۱۶) به ترتیب برای غلات صبحانه اکسترود شده‌ی پودر بادم-آرد ذرت و آرد دانه کدو-آرد ذرت مطابقت دارد (۲۳، ۱۴). رطوبت مسئول تشکیل بخار در محصولات منبسط است؛ افزودن رطوبت ویسکوزیته‌ی خمیر را کاهش داده و سبب اختلاط بهتر مخلوط، افزایش ژلاتیناسیون، تشدید تعداد سلولهای هوایی حجیم و کاهش سختی فراورده می گردد (۲۵). رطوبت بالا همزمان با افزایش سرعت چرخش مارپیچ سبب پخش یکنواخت حرارت در مخلوط شده و شدت تخریب نشاسته کاهش می یابد (۲۶). نتایج مشابهی توسط Meng و همکاران (۲۰۱۰) مشاهده شده است. در پژوهش نامبردگان افزایش رطوبت همزمان با افزایش درجه پخت اسنک حاوی نخود سبب حجیم شدن و کاهش سختی فراورده نهایی گردید (۲۷).

کاهش جذب آب با افزایش دانه خربزه ممکن است به علت خاصیت نرم کنندگی چربی موجود در آرد دانه در طول پروسه اکسترود و همچنین کاهش محتوای نشاسته در اثر زیاد شدن ترکیبات غیر نشاسته‌ای باشد. همچنین ممکن است به دلیل تعاملات بین گروه‌های آبدوست در دسترس پروتئین و فیبر با نشاسته باشد که سبب به تاخیر انداختن اتصال نشاسته به آب و متعاقباً کاهش ژلاتیناسیون نشاسته باشد (۲۸). نتایج مشابهی در مورد تأثیر افزایش رطوبت بر جذب آب برنج اکسترود شده و غلات صبحانه برنج-بلغور نخود نیز مشاهده شده است (۲۶، ۱۴). افزایش سرعت چرخش مارپیچ؛ برشی مکانیکی اعمال شده بر مذاب را افزایش داده که سبب افزایش تجزیه و تخریب مولکول‌های نشاسته می‌گردد و بنابراین شاخص جذب آب کاهش می‌یابد (۲۹).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/nsft.16.2.79]

مکانیسم غالب تخریب نشاسته در میزان رطوبت پایین در طول اکستروژن اتفاق می‌افتد (۲۸). در رطوبت بالا، آب مانند پلاستیسایزر عمل نموده و دناتوراسیون پروتئین‌ها را محدود و متعاقباً ذرات محلول و حلالیت کاهش می‌یابد (۳۰، ۱۴). نتایج مشابهی در رابطه با افزایش جذب آب بواسطه افزایش رطوبت خوراک ورودی برای غلات صبحانه برپایه‌ی بلغور برنج، تفاله‌ی میوه و آرد فندق چربی‌گیری شده و ضایعات میوه مشاهده گردید (۳۲، ۳۱). افزایش سرعت مارپیچ سبب افزایش انرژی مکانیکی شده و ماکرومولکول‌ها با دریافت انرژی، دما افزایش یافته، ویسکوزیته کاهش و جریان مواد درطول اکسترده تسریع و بواسطه تخریب ماکروملکول‌ها وزن مولکولی نشاسته و ترکیبات پلیمری کاهش و در نهایت شاخص انحلال در آب افزایش می یابد. نتایج مشابهی در فراورده اکسترود شده‌ی حاوی دانه کدو تنبل و ذرت مشاهده شد (۳۲).

افزایش پذیرش کلی با افزایش رطوبت به دلیل افزایش انبساط فراورده‌های اکسترود شده و کاهش اثر دمای بدنه اکسترودر بر سیال مذاب و کاهش طعم سوختگی و همچنین بهبود ویژگی‌های رنگی غلات صبحانه‌ها می‌باشد (۲۵). افزایش نسبت دانه خربزه سبب سفت‌تر شدن بافت و کاهش نسبت انبساط و همچنین تیره‌تر شدن رنگ غلات صبحانه‌های اکسترود شده می گردد. افزایش سرعت چرخش مارپیچ سبب افزایش انبساط و کاهش دانسیته‌ی توده‌ای و در نتیجه پف بیشتر می‌شود، همچنین به دلیل زمان ماند کم مذاب در تنش برشی بالا میزان تخریب رنگدانه‌ها در این حالت کاهش می‌یابد (۳۳).

بهینه‌یابی: تکنیک بهینه سازی عددی به منظور بهینه کردن متغیرهای فرایند به کاربرده شد. در این تحقیق، هدف از بهینه سازی تولید غلات صبحانه حجیم شده، به حداقل رساندن میزان دانسیته توده‌ای و سختی غلات صبحانه و حداکثرکردن نسبت انبساط و پذیرش کلی بود. شاخص‌ها و اهداف بهینه-سازی برای هریک از متغیرها و پاسخ‌های فرایند در جدول (۳)، ارائه شده است. بر این اساس نسبت دانه خربزه: ۱۰/۱ درصد، سرعت چرخش مارپیچ ۱۷۲/۳۹ دوربردقیقه و میزان رطوبت خوراک ورودی ۱۸ درصد تعیین گردید.

جدول ۳. شرایط بهینه غلات صبحانه اکسترود شده

ویژگی‌های فرایند	هدف	مقدار پیش بینی شده بهینه	مقدار تجربی بهینه
دانه خربزه	محدوده	۱۰/۱	
میزان رطوبت	محدوده	۱۸	
سرعت چرخش مارپیچ	محدوده	۱۷۲/۳۹	
پاسخ‌ها			
نسبت انبساط	بیش‌ترین	۴/۵۱	۴/۸۴
دانسیته توده‌ای	کم‌ترین	۰/۱۰۸	۰/۱۱
سختی بافت	کم‌ترین	۳/۴۱	۳/۴
پذیرش کلی	بیش‌ترین	۴/۸۱	۴/۸

با توجه به آثار بد تغذیه‌ای فراورده‌های حجیم موجود مانند وجود شکر، نمک، چربی‌های اشباع و کالری بالا نگرانی در زمینه مصرف این گروه مواد غذایی وجود دارد، فراورده حجیم شده به لحاظ میزان فروش و میزان تقاضا بالا بستر مناسبی را جهت تولید فراورده های سالم، مغذی و قابل جایگزینی با نمونه‌های تجاری موجود فراهم نموده است. از طرف دیگر به کارگیری پس ماندهایی مانند دانه‌های صیفی-جات موجب ورود مجدد این منابع ارزشمند به چرخه غذایی، ارتقاء ارزش تغذیه‌ای و تولید فراورده فراسودمند در صنعت غذا می‌گردد. از این رو در این تحقیق، اثر افزودن آرد دانه خربزه (۱۰-۲۰ درصد)، میزان رطوبت (۱۲-۲۰ درصد) و سرعت چرخش مارپیچ اکسترودر (۱۲۰-۱۸۰ دوربردقیقه) بر پاسخ‌های دانسیته توده‌ای، نسبت انبساط، سختی بافت، شاخص جذب آب، شاخص حلالیت در آب و پذیرش حسی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد؛ که افزایش دانه خربزه به مخلوط بلغور ذرت و آرد گندم باعث دانسیته‌ی توده‌ای، سختی بافت و کاهش انبساط عرضی و شاخص جذب آب در فراورده می‌شود. در نهایت شرایط بهینه فرایند اکسترون با استفاده از روش سطح پاسخ و نرم‌افزار Design Expert با نسبت دانه خربزه: ۱۰/۱ درصد، سرعت چرخش مارپیچ ۱۷۲/۳۹ دوربردقیقه و میزان رطوبت خوراک ورودی ۱۸ درصد تخمین زده شد. بطور کلی، گرچه در مواردی کیفیت فراورده کاهش یافته اما بدلیل ارزش غذایی بالا و بویژه وجود فیبر، استفاده از آرد کامل دانه خربزه قابل توصیه است.

• References

1. QingBoDingaPaulAinswortha AndrewPlunkettaGregoryTucker bHayleyMarson. The Effect of Extrusion Conditions on the Functional and Physical Properties of Wheat-Based Expanded Snacks. Journal of Food Engineering 2006; 73: 142–48.
2. Satia Jessie A. Psychosocial Factors and Dietary Habits Associated with Vegetable Consumption. Nutrition 2002; 18: 247–54.
3. Zulfiqaran, A. Influence of irrigation period and number of

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/nsft.16.2.79]

drippers and drip irrigation on melon quality, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad; 1998; 3: 12–23 [in Persian].

4. Karakaya S, Kavas A, El SN Gunduc N. and Akdogan L. Nutritive value of melon seed beverage. Food Chemistry 1995; 52: 139-141.
5. Abedini M, Varidi M. J, Shahidi F, and Marashi S. H. Study the effect of melon seed meal as fat replacer on chemical and organoleptical characteristics of meat products. Journal of Food Science and Technology 2002; 6: 51-58 [in Persian].
6. Zavehzad N, and Haghayegh G, Utilization of Melon Seed Flour as Fat Replacer in Production of Low Fat Oil Cake and Evaluation Quantities and Qualitative of Final Product. Journal of Food Science and Technology 2014; 53(13): 15-23. [in Persian].
7. Zavehzad N, and Haghayegh G, Application of melon seed flour and lecithin emulsifies as replacer in low fat oil biscuit production. Journal of Food Science and Technology 2017; 70(14): 57-66. [in Persian].
8. Nasrabadi S,Nikfarjam M, Investigating the Effect of Adding Melon Seed Flour on Quantitative and Qualitative Properties of Toast Bread. Food Engineering Research 2019; 18(66): 75-86.
9. De Pilli T, Carbone BF, Derossi A, Fiore A.G. and Severini C. Effects of operating conditions On oil loss and structure of almond snacks. Int. J. Food Sci. Technol 2008; 43(3): 430.
10. Yagci S, Gogus F, Selected physical of expanded extrudates from the blend of hazelnut flour-durum clear flour-rice. International Journal of Food Properties (2009), 12: 405–413.
11. AOAC, Offical methods of analysis:revision 1 (17th Ed). Association of Official Analytical Chemists,Inc. , Washington, DC. 2002.
12. Stojceska V, Paul A, Plunkett A. The Effect of Extrusion Cooking Using Different Water Feed Rates on the Quality of Ready-to-Eat Snacks Made from Food by-Products. 2009; 114: 226–32.
13. Anderson R A, Gelatinization of Corn Grits by Roll-and Extrusion-Cooking. Cereal science today 1969; 14: 4–12.
14. Lazou A, Krokida M, Tzia C. Sensory Properties and Acceptability of Corn and Lentil Extruded Puffs. Journal of Sensory Studies 2010; 25: 838–860.
15. Navarro Cortez B, Development of Extruded Ready-to-Eat Snacks Using Pumpkin Seed (Cucurbita Pepo) and Nixtamalized Maize (Zea Mays) Flour Blends. Revista Mexicana de Ingenierıa quımica 2016; 15: 409-422.
16. Sobukola O P, Babajide J M, Ogunsade O. Effect of brewers spent grain adddition and extrusion parameters on some properties of extruded yam starch–based pasta, Journal of Food Processing and Preservation, 2013; 37: 734–743.
17. Kumar T V, Arun D, Samuel V, Jha S K, Sinha J P. Twin Screw Extrusion of Sorghum and Soya Blends: A Response Surface Analysis. 2015; 17: 642–649.
18. Ding Qing-Bo, Paul Ainsworth, Gregory Tucker, and Hayley Marson. The Effect of Extrusion Conditions on the Physicochemical Properties and Sensory Characteristics of Rice-Based Expanded Snacks. Journal of Food engineering 2005; 66: 283–289.
19. Suksomboon A, Kullaya L, Arpathsra S, and Korntip T. Original Article Effect of Extrusion Conditions on the Physicochemical Properties of a Snack Made from Purple Rice (Hom Nil) and Soybean Flour Blend. 2011; 201–208.
20. Robin F, Dubois C, Pineau N , Schuchmann H P, Palzer S. Expansion mechanism of extruded foams supplemented with wheat bran. Journal of Food Engineering. 2011; 107: 80–89.
21. Bisharat G I. Effect of Extrusion Conditions on the Structural Properties of Corn Extrudates Enriched with Dehydrated Vegetables. FRIN. 2013; 53: 1–14.
22. Korkerd S, Sorada W, Chureerat P, Dudsadee U. Expansion and Functional Properties of Extruded Snacks Enriched with Nutrition Sources from Food Processing By-Products. 2016; 53: 561–570.
23. Hashemi N, Mortazavi S. A, Milani E, Tabatabai Yazdi, F. Microstructural and textural properties of puffed snack prepared from partially deffated almond powder and corn flour. Journal of Food Processing and Preservation 2017; 41(5), 3210-3224.
24. Ozer EA, Herken E N, Guzel S, Ainsworth P, Ibanoglu S. Effect of extrusion process on the antioxidant activity and total phenolics in a nutritious snack food. Int. J. Food Sci. Technol. 2006; 41:289–293.
25. Champenois Y, Larry P Walker. Influence of α-Amylase on the Viscoelastic Properties of Starch--Gluten Pastes and Gels. Journal of the Science of Food and Agriculture. 1998; 78: 127–133.
26. Yağci Sibel, Fahrettin Göğüş. Response Surface Methodology for Evaluation of Physical and Functional Properties of Extruded Snack Foods Developed from Food-by-Products. Journal of Food Engineering. 2008; 86: 122–132.
27. Meng X D, Threinen M, Hansen I, Driedger. Effects of Extrusion Conditions on System Parameters and Physical Properties of a Chickpea Flour-Based Snack. Food Research International. 2010; 42: 650–658.
28. Lazou A, Magdalini K. Functional Properties of Corn and Corn – Lentil Extrudates. Food Research International. 2010; 43: 609–616.
29. Singh B, Sekhon K, Narpinder S. Effects of Moisture, Temperature and Level of Pea Grits on Extrusion Behaviour and Product Characteristics of Rice. Food Chemistry. 2007; 100: 198–202.
30. Singh B, Rachna S, Zameer H, Savita Sh. Response Surface Analysis and Process Optimization of Twin Screw Extrusion Cooking of Potato-Based Snacks. Journal of Food Processing and Preservation. 2015; 39: 270–281.
31. Altan A, Kathryn L, Medeni M. Evaluation of Snack Foods from Barley – Tomato Pomace Blends by Extrusion Processing. 2008; 84: 231–242.
32. Sharma M, Deep N Yadav, Mridula R K. Protein Enriched Multigrain Expanded Snack : Optimization of Extrusion Variables. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences. 2015.
33. Geetha R, Mishra H N, Srivastav P. Twin Screw Extrusion of Kodo Millet-Chickpea Blend: Process Parameter Optimization, Physico-Chemical and Functional Properties. 2014; 51: 3144–3153.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/nsft.16.2.79]

Efficiency of Whole Melon Seed Flour in Formulation of Breakfast Cereals

*Milani E[1],Shahidi F[*2], Ansarifar E[3], Khalilian-Movahhed M[4], Salehipour F[5]*

1-Associated professor, Department of Food Processing, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR) of Mashhad, Iran

*2-*Corresponding author: Professor, Department of Food Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran*

3- Assistant Professor, Social Determinants of Health Research Center, Department of Public Health, School of Health, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran

4-PhD student of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

5-M.Sc in Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

Received 9 Aug, 2020 **Accepted 21 Nov, 2020**

Background and Objectives: Use of wastes such as seeds of summer crops leads to re-enter these valuable sources into the food cycle. Therefore, it causes enhancement of the nutritional values and production of functional foods in food industries. The aim of this study was assessment of the effects of feed composition variables and screw speed on physicochemical and sensory characteristics of breakfast cereals based on cornmeal and wheat flour enriched with melon seeds to achieve optimal results.

Materials & Methods: In this study, response surface methodology was used to estimate effects of formulation variables, including melon seed flour (10–20%), moisture content (12–20%) and screw speed (120–180 rpm) on expansion ratio, bulk density, hardness, water absorption index, water solubility index and sensory acceptance.

Results: Results showed that increases in melon seed in mixtures of cornmeal and wheat flour increased density and hardness of the extruded snacks while the expansion ratio and water absorption decreased. The optimum conditions for the production of snacks included 10.1% melon seeds, 18% moisture content and 172.39 RPM screw speed**.**

Conclusion: In Conclusion, breakfast cereals with whole melon seed flour can be suggested as functional foods with nutritional and health benefits. The final product includes desired sensory characteristics and consumer acceptability.

Keywords: Extrusion, Snacks, Optimization, Melon seeds

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.52547/nsft.16.2.79]