

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

## اثر فرایند اکستروژن و ترکیب خوراک بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی غلات صبحانه بر پایه بلغور ذرت، آرد گندم و دانه طالبی

الناز میلانی<sup>۱\*</sup>، فخری شهیدی<sup>۲</sup>، الهام انصاری<sup>۳</sup>، محمد موحد خلیلیان<sup>۴</sup> و فریده صالحی پور<sup>۵</sup>

۱- دانشیار جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران

۲، ۴ و ۵- به ترتیب: استاد؛ و دانشجویان دکتری و گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- استادیار علوم و صنایع غذایی، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، گروه بهداشت عمومی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۷

### چکیده

مصرف غلات صبحانه آماده به مصرف محبوبیت بسیار زیادی یافته است و با توجه به اینکه کودکان و نوجوانان مصرف کنندگان اصلی آنها هستند، بهبود ارزش تغذیه‌ای این محصولات الزامی است. در صنعت غذا در مراحل تولید، آماده‌سازی و مصرف مواد غذایی به ویژه در فرایند میوه‌ها و سبزی‌ها، مقدار زیادی ضایعات حاصل می‌شود که حاوی مقدار زیادی پروتئین، اسیدهای چرب ضروری، فیبرهای رژیمی و مواد معدنی است که برای سلامت مصرف‌کنندگان مفیدند. در این تحقیق، از رویه سطح پاسخ برای بررسی اثر متغیرهای فرمولاسیون شامل آرد دانه طالبی (۱۰-۲۰ درصد)، میزان رطوبت (۱۲-۲۰ درصد) و سرعت چرخش ماریپیج اکسترودر (۱۸۰-۱۲۰ دور بر دقیقه) بر پاسخ‌های نسبت انبساط، دانسیته توده‌ای، سفتی بافت، شاخص جذب آب، شاخص انحلال پذیری در آب، رنگ، تخلخل و پذیرش حسی ارزیابی شد. نتایج تحقیق نشان داد افزایش سهم آرد دانه طالبی به مخلوط بلغور ذرت - آرد گندم باعث افزایش دانسیته توده‌ای، سفتی بافت و شاخص قرمزی فراورده و کاهش نسبت انبساط، تخلخل، شاخص جذب آب در فراورده می‌گردد. سرانجام، شرایط بهینه فرایند اکستروژن در ۱۰ درصد دانه طالبی، ۱۹/۶۸ درصد رطوبت خوراک و سرعت چرخش ماریپیج ۱۸۰ دور بر دقیقه تخمین زده شد.

### واژه‌های کلیدی

بهینه سازی، پردازش تصویر، تخلخل، فرایند اکستروژن

### مقدمه

کار می‌رود. دما و فشار بالا به همراه نیروی برشی در این فرایند سبب ژلاتینه شدن نشاسته، واسرشتی (دنا توره شدن) پروتئین، تشکیل کمپلکس آمیلوز-چربی و آمیلوز-پروتئین و همچنین غیر فعال شدن

فناوری اکستروژن فرایندی دما بالا- زمان کوتاه و روش مهمی در فرآوری مواد غذایی است و برای تولید، اصلاح و بهبود کیفیت فراورده‌های مختلف به

<http://doi: 10.22092/fooder.2022.351156.1279>

Email: [e.milani@jdm.ac.ir](mailto:e.milani@jdm.ac.ir)

\* نگارنده مسئول:

© 2021, The Author(s). Published by [Agricultural Engineering Research Institute](https://www.aeri.ac.ir/). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

طالبی و خربزه از مهم‌ترین محصولات جالیزی هستند که از گذشته‌های دور در کشور ما جایگاه ویژه‌ای داشته‌اند (Zulfiqaran, 1998). سطح زیر کشت خربزه و طالبی در ایران حدود ۸ درصد سطح زیر کشت این دو محصول در جهان و میزان تولید آن در ایران ۶ درصد کل تولید جهان است. از نظر سطح زیر کشت این محصول، کشور ما بعد از چین و ترکیه در رده سوم جهان قرار دارد (Mohammadi Jaafari, 2004). در حال حاضر دانه‌ی طالبی جز در موارد اندک مصرف آجیلی و خوراک دام، مصرف دیگری ندارد و ضایع می‌گردد حال آنکه منبع بالقوه‌ای است از پلی فنول‌ها، کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها و سایر ترکیبات فعال زیستی با تأثیرات بالقوه سلامت بخش. در بین ترکیبات گفته شده، ترکیبات پلی فنول فعالیت آنتی اکسیدانی، تأخیر یا مهار اکسیداسیون لیپیدها و سایر مولکول‌ها را نشان می‌دهند و بنابراین نقش مهمی در دفاع از سلول‌ها در برابر آسیب رادیکال‌های آزاد دارند و در جلوگیری از بیماری‌هایی مانند سرطان و اختلالات قلبی عروقی تأثیرگذارند (Vella, Cautela, & Laratta, 2019).

در زمینه‌ی استفاده از ضایعات میوه‌ها و سبزی‌ها، تاکنون مطالعات مختلفی صورت گرفته است، از جمله نتایج تحقیق ناواروکورتز و همکاران (Navarro-Cortez *et al.*, 2016) که ویژگی‌های اسنک‌های اکستروژده شده آماده به مصرف بر پایه‌ی آرد ذرت و آرد دانه‌ی کدو حلوایی را با استفاده از یک اکستروژدر تک مارپیچی بررسی کردند. این محققان اثر نسبت دانه‌ی کدو حلوایی در ترکیب فرمولاسیون (۳۰-۰ درصد)، رطوبت خوراک (۱۴-۲۰ درصد) و دمای اکستروژن (۱۸۰-۱۲۰ درجه سلسیوس) بر ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی فرآورده مانند نسبت

آنزیم‌ها، میکروب‌ها و بسیاری از عوامل ضد تغذیه‌ای می‌گردد. پخت سریع با ایجاد تغییرات فیزیکیوشیمیایی باعث اصلاح خواص مواد خام می‌شود و فرآورده‌ی پف کرده با چگالی کم و ویژگی‌های بافتی منحصر به فرد تشکیل خواهد شد؛ از این روش به منظور تولید طیف وسیعی از فرآورده‌ها مانند غلات صبحانه، اسنک‌ها، پاستا، غذای کودک و غذای حیوانات خانگی استفاده می‌شود (Thymi *et al.*, 2005).

غلات صبحانه عمدتاً از آرد ذرت و یا آرد گندم تولید می‌شوند، که دلیل آن قیمت پایین و دسترسی آسان به آنهاست و از آنجایی که از کربوهیدرات قابل هضم (نشاسته) هستند، ارزش تغذیه‌ای بسیار ضعیف دارند. به همین دلیل یافتن راهکارهایی برای بهبود ارزش غذایی و کیفیت این فرآورده‌ها اهمیت بسیاری دارد. با توجه به نقش مواد اولیه مصرفی در افزایش ارزش غذایی محصولات اکستروژده شده، محققان به تولید فرآورده‌هایی با ویژگی‌های سلامتی‌بخش و استفاده از فرآورده‌های جانبی کارخانه‌های مواد غذایی مانند تفاله میوه‌ها، سبزی‌ها و مغزهای خوراکی اشاره کرده اند زیرا این ترکیبات از نظر پروتئین، اسیدهای چرب ضروری، فیبرهای رژیمی و مواد معدنی غنی هستند و نقش آنها به لحاظ ویژگی‌های تغذیه‌ای در فرمولاسیون بالاست. باز یافت ضایعات غذایی به سرعت در سراسر جهان در حال گسترش است (Altan & Maskan., 2011). همچنین، روند رو به رشدی برای مصرف محصولات با ارزش غذایی بالا وجود دارد. مصرف زیاد میوه‌ها و سبزی‌ها با کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی و محافظت در برابر بسیاری از سرطان‌ها همراه است (Satia *et al.*, 2002).

شرکت ذرت طلایی و دانه طالبی از بازار محلی در مشهد تهیه شد. دانه طالبی خریداری شده همراه با پوست آسیاب و برای یکنواخت کردن اندازه ذرات از الک با اندازه مش ۵۰ عبور داده شد. پودر به دست آمده در بسته‌های پلی اتیلنی در دمای یخچال، تا زمان استفاده نگهداری شد.

#### اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی

ترکیبات شیمیایی مواد اولیه بر اساس استاندارد اندازه‌گیری شد (AOAC, 2000). تعیین چربی به روش سوکسله، پروتئین با روش کج‌لدال و خاکستر نمونه با کوره ۵۵۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد. برای تعیین رطوبت از آن ۱۰۵ درجه سلسیوس استفاده و برای محاسبه میزان کربوهیدرات، درصد کلیه ترکیبات از ۱۰۰ کسر شد.

#### آماده سازی فرمولاسیون

با استفاده از آزمایش‌های مقدماتی، مقادیر کمینه و بیشینه برای هر یک از متغیرها (نسبت دانه طالبی در ترکیب خوراک ورودی، رطوبت خوراک ورودی و سرعت چرخش مارپیچ) تعیین شد. به منظور آماده‌سازی مخلوط پایه برای اکستروژن، ابتدا آرد گندم و بلغور ذرت با نسبت ۱:۱ مخلوط شدند، پودر دانه طالبی در سه سطح ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد به مخلوط اضافه گردید. به منظور رسیدن به رطوبت مورد نیاز (۱۲، ۱۶ و ۲۰ درصد)، مقادیر آب لازم با استفاده از مربع پیرسون محاسبه و به مخلوط افزوده شد. پس از مخلوط کردن کامل ترکیب، نمونه‌ها در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و به منظور یکنواخت سازی رطوبت، به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شدند. یک ساعت قبل از پخت اکستروژن نمونه‌ها از یخچال بیرون آورده و در دمای محیط قرار داده شدند.

انبساط، چگالی توده‌ای، شاخص جذب آب، شاخص انحلال در آب، سفتی و تفاوت رنگ کل را بررسی کردند. یاگسی و گوغوش (Yağci & Göğüş, 2008). تأثیر ترکیب فرمولاسیون و شرایط اکستروژن را بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و عملکردی اسنک حجیم بر پایه برنج شکسته بررسی کردند. ترکیب فرمولاسیون شامل برنج شکسته (۶۷ درصد)، آرد نرم گندم دوروم (۸-۲۰ درصد)، آرد فندق فاقد چربی (۵-۱۵ درصد) و ضایعات میوه به صورت مخلوط هسته انگور، پالپ گوجه فرنگی، و پودر پوست پرتقال (۳-۷ درصد) و شرایط اکستروژن شامل رطوبت (۱۲-۱۸ درصد)، حرارت (۱۵۰-۱۷۰ درجه سلسیوس) و سرعت چرخش مارپیچ (۲۰۰-۲۸۰ دور بر دقیقه) بود.

دانه طالبی با دارا بودن میزان قابل توجهی پروتئین، ویتامین، اسیدهای چرب چند غیراشباعی، فیبرهای رژیمی، املاح فسفر، پتاسیم و کلسیم جایگاه ویژه‌ای دارد. با توجه به نیاز موجود برای اسنک با ارزش تغذیه‌ای مطلوب، هدف از این پژوهش غنی سازی غلات صبحانه حاوی بلغور ذرت و آرد گندم با دانه طالبی است و همچنین بنا به اهمیت اثر متغیرهای ترکیب خوراک و سرعت چرخش مارپیچ اکستروژن، ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و حسی محصول تولیدی بررسی و فرایند بهینه سازی شد.

#### مواد و روش‌ها

##### آماده سازی مواد اولیه

مواد اولیه مورد استفاده در این تحقیق شامل آرد گندم، بلغور ذرت و دانه طالبی بود. آرد گندم از اداره غله و خدمات بازرگانی منطقه ۵، بلغور ذرت از

### شرایط فرایند اکستروژن

به منظور فرمولاسیون و تهیه نمونه‌های اسنک، از دستگاه اکسترودر جفت مارپیچی مدل DS5 ساخت شرکت Jinan Saxin کشور چین استفاده گردید. در این پژوهش، متغیرهای مستقل عبارت اند از: مقدار آرد دانه طالبی (۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد)، رطوبت (۱۲، ۱۶ و ۲۰ درصد) و سرعت چرخش مارپیچ (۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دوربر دقیقه). سرعت خوراک‌دهی و دما مطابق پیش تیمارها ثابت و به ترتیب برابر ۳۰ کیلوگرم بر ساعت و ۱۵۰ درجه سلسیوس تعیین و قطر منفذ خروجی نیز ۴ میلی‌متر در نظر گرفته شد. اسنک‌های خروجی از اکسترودر روی نوار نقاله دستگاه خشک‌کن تونلی با دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفتند. نمونه‌های اکسترودر شده پس از رسیدن به دمای محیط در کیسه‌های پلی اتیلنی ریخته و تا زمان اندازه‌گیری ویژگی‌های مورد نظر دور از نور و در دمای اتاق نگهداری شدند.

### نسبت انبساط

از هر تیمار ۱۰ نمونه از محصول اکسترودر شده، به طور تصادفی انتخاب و با استفاده از کولیس، قطر نمونه‌های اکسترودر شده اندازه‌گیری شد. با تقسیم کردن میانگین قطر نمونه بر قطر قالب اکسترودر، میزان انبساط شعاعی محاسبه گردید (Harper, 1981).

### دانسیته توده‌ای

برای اندازه‌گیری دانسیته توده‌ای نمونه‌های اسنک از روش جابه جایی دانه ارزن استفاده شد. ابتدا در یک استوانه مدرج ۵۰۰ میلی‌لیتری دانسیته توده‌ای ارزن تعیین شد. بدین منظور مقداری ارزن با جرم معین تا حجم ثابت در استوانه پر شد. در مرحله بعد ۵

عدد اسنک از هر تیمار توزین و در داخل استوانه قرار داده شدند. سپس فضای خالی بین اسنک‌ها با ارزن پر شد. جرم ارزن اضافه شده به استوانه از رابطه (۱) محاسبه گردید:

$$(1) \quad \text{جرم ۵ عدد اسنک} - \text{جرم استوانه} -$$

$$\text{جرم ارزن} = \text{جرم کل}$$

در مرحله بعد حجم ارزن موجود در استوانه و حجم ۵ عدد اسنک با استفاده از رابطه‌های ۲ و ۳ تعیین شد:

$$(2) \quad \text{حجم ارزن} - \text{حجم کل} = \text{حجم ۵ عدد اسنک}$$

$$(3) \quad \text{دانسیته توده‌ای ارزن} = \frac{\text{جرم ارزن}}{\text{حجم ارزن}}$$

دانسیته توده‌ای اسنک از تقسیم جرم اسنک بر حجم آن محاسبه شد (Yagci et al., 2009).

### سفتی

برای اندازه‌گیری سفتی محصول اکسترودر شده از دستگاه بافت سنج (TAXT plus، ساخت کانادا) استفاده شد. روند آزمایش بر اساس سرعت نفوذ پروب استیل استوانه‌ای شکل به قطر ۲ میلی‌متر به داخل هر نمونه اسنک با سرعت ثابت ۱ میلی‌متر در ثانیه بود و حداکثر نیروی لازم (بر حسب نیوتون) برای نفوذ ۱۰ میلی‌متری (عمق نفوذ) پروب در بافت محصول (بر حسب نیوتون) اندازه‌گیری شد. به محض رسیدن پروب به عمق مورد نظر، پروب از نمونه خارج و نمودار نیرو-زمان برای نفوذ پروب در نمونه رسم گردید. بیشترین نیروی وارد شده بر حسب نیوتون توسط دستگاه، به عنوان سفتی اعلام شد (Yagci et al., 2009).

### شاخص جذب آب<sup>۱</sup> (WAD)

سیاه مات استفاده شد. برای اندازه‌گیری رنگ و تخلخل فراورده‌ها از هر فرمولاسیون اسنک، سه قطعه به تصادف انتخاب و عکس نمونه‌ها با استفاده از دوربین دیجیتال (Canon EOS 1000D, Taiwan) به فرمت JPG ذخیره شد. دوربین در فاصله ۲۰ سانتی‌متری و موازی با نمونه در پایه ثابت بود. مشخصات لنز نیز به صورت ISO ۱۰۰۰ و سرعت عکس‌برداری ۱/۸ S بود (Naji-Tabasi & Mohebbi., 2014). برای بررسی تأثیر عوامل مورد نظر بر رنگ فراورده فضای رنگی عکس‌های گرفته شده با استفاده از نرم‌افزار ImageJ 1.46 r از RGB به \*L, a\* و \*b\* تبدیل شد. به منظور اندازه‌گیری تخلخل فراورده‌ها ابتدا تقطیع تصاویر (جدا کردن تصویر حقیقی نمونه سطح برش خورده و رنگ شده از پس زمینه با استفاده از نرم افزار فتوشاپ Adobe Photoshop Extended CS5 V12) صورت گرفت. عکس‌ها با فرمت JPG ذخیره شدند. تصویرهای به دست آمده به فضای ۸ بیتی در نرم افزار ImageJ وارد و به روش آستانه‌گیری، حفره‌های بافت مورد نظر شناسایی گردید. حفره‌ها با استفاده از گزینه Analyze particle آنالیز شدند.

### ارزیابی حسی

نمونه‌های اسنک اکستروژن شده توسط ده ارزیاب آموزش دیده ارزیابی حسی شدند. از آزمون هدونیک ۵ امتیازی برای تعیین خصوصیات حسی فراورده شامل رنگ، ظاهر، عطر و طعم، بافت و پذیرش کلی استفاده شد. کیفیت امتیازدهی از یک (خیلی بد) تا پنج (خیلی خوب) بود. از هر تیمار تعدادی نمونه به طور تصادفی انتخاب و همراه با فرم ارزیابی به ارزیاب‌ها داده شد (Kumar et al., 2013).

به منظور اندازه‌گیری شاخص جذب آب، ۱ گرم از نمونه آسیاب شده به فالکون از پیش وزن شده اضافه گردید، پس از آن ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده و در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه با دستگاه شیکر مدل ZX3 با سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه هم زده شد. در مرحله بعد، مخلوط حاصل در سانتریفیوژ (D37520 Osterode am Harz, sigma) آلمان (با دور  $3000 \times g$  به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. سرانجام مایع رویی از فالکون بیرون آورده و ژل باقیمانده وزن شد. شاخص جذب آب از رابطه ۴ محاسبه گردید (Potter et al., 2013).

$$(4) \quad \text{شاخص جذب آب} = \frac{\text{وزن ژل باقی مانده}}{\text{وزن نمونه خشک}}$$

### شاخص انحلال پذیری در آب

برای اندازه‌گیری شاخص انحلال پذیری در آب، ابتدا مایع رویی فالکون در مرحله اندازه‌گیری شاخص جذب آب، به پلیتی اضافه شد که از قبل وزن شده بود. پلیت در آن هوای داغ با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده شد تا آب آن به طور کامل تبخیر شود. پلیت به همراه رسوبات موجود وزن شد و میزان انحلال پذیری در آب با استفاده از رابطه ۵ محاسبه گردید (Kumar et al., 2013).

$$(5) \quad \text{شاخص پذیرش انحلال در آب} = \frac{\text{وزن ماده خشک محلول در مایع رویی فالکون}}{\text{وزن نمونه}} \times 100$$

### پردازش تصویر

به منظور تهیه تصویر از نمونه‌های اسنک، از یک سیستم نورپردازی شامل اتاقک چوبی با دیواره‌های

### طرح آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها برای بهینه سازی شرایط تولید اسنک

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_{12} + b_{22}X_{22} + b_{33}X_{32} + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 \quad (6)$$

ضریب های 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. اثرهای 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 بررسی گردید. شرایط بهینه، با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی انتخاب شد. برای متغیرهای مستقل محدوده و برای پاسخ‌ها حداکثر یا حداقل در نظر گرفته شد.

### نتایج و بحث

#### تعیین ترکیب شیمیایی مواد اولیه

ترکیبات شیمیایی مواد اولیه مورد استفاده بر مبنای ماده خشک در جدول ۱ آورده شده است.

در این تحقیق از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی برای بررسی اثر متغیرهای مستقل (دانه طالبی  $X_1$ ، رطوبت  $X_2$  و سرعت چرخش مارپیچ  $X_3$ ) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی اسنک استفاده شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Design Expert 7,0,0 آنالیز شدند.

در طرح آزمایش، شش نقطه مرکزی برای محاسبه تکرارپذیری روش و تعیین خطای آزمایش انتخاب شد.

در این روش آماری برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می‌شود که آثار اصلی و متقابل فاکتورها را بر هر متغیر به طور جداگانه بیان می‌کند. برای توصیف مدل‌ها از رابطه ۶ استفاده شد.  $Y$  (تابع پاسخ) است و  $x_i = 1, 2, 3$  (متغیرهای مستقل) هستند.

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

ترکیب شیمیایی	آرد گندم	بلغور ذرت	دانه طالبی
رطوبت (درصد)	14/5	9/5	6/76
پروتئین (درصد)	9/47	7/08	23/04
چربی (درصد)	0/93	3/15	34/33
خاکستر (درصد)	0/634	0/95	4/25
کربوهیدرات (درصد)	74/47	79/31	31/62

اثر فرایند اکستروژن و ترکیب خوراک بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی...

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

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	احتمال F	ضریب تبیین
<b>نسبت انبساط</b>					
مدل	2/8	۹	0/93	< 0/0001	۰/۹۸۹
A (آرد دانه طالبی)	0/08	1	0/08	0/0256	
B (درصد رطوبت)	1/91	1	1/91	< 0/0001	
C (سرعت مارپیچ)	0/81	1	0/81	< 0/0001	
ضعف برازش	0/19	5	0/017	0/0578	
خطا	0/02	11	0/003		
<b>دانسیته توده‌ای</b>					
مدل	0/78	۹	0/087	< 0/0001	۰/۹۴۷
A (آرد دانه طالبی)	0/065	1	0/065	< 0/0001	
B (درصد رطوبت)	0/35	1	0/35	< 0/0001	
C (سرعت مارپیچ)	0/0064	1	0/09	0/74	
ضعف برازش	0/045	5	0/009	0/0649	
خطا	0/013	11	0/002		
<b>سختی</b>					
مدل	1652/87	9	0/087	< 0/0001	۰/۹۶
A (آرد دانه طالبی)	120/36	1	0/065	0/0019	
B (درصد رطوبت)	354/26	1	0/35	< 0/0001	
C (سرعت مارپیچ)	3/95	1	0/09	0/463	
ضعف برازش	54/06	5	10/81	0/091	
خطا	14/83	5	2/97		
<b>شاخص جذب آب</b>					
مدل	10/46	9	1/16	0/0013	۰/۹۹۷
A (آرد دانه طالبی)	4/29	1	4/29	0/0002	
B (درصد رطوبت)	1/81	1	1/81	0/0046	
C (سرعت مارپیچ)	1/13	1	1/13	0/0167	
ضعف برازش	0/87	5	0/17	0/284	
خطا	0/51	5	0/1		
<b>شاخص حلالیت در آب</b>					
مدل	98/92	3	32/97	< 0/0001	۰/۹۸
A (آرد دانه طالبی)	4/02	1	4/02	0/2106	
B (درصد رطوبت)	36/89	1	36/89	0/0011	
C (سرعت مارپیچ)	58	1	58	0/0001	
ضعف برازش	22/96	11	2/09	0/71	
خطا	14/87	5	2/97		

ادامه جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) پاسخ‌های اندازه‌گیری شده

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	احتمال F	ضریب تبیین
<b>L*</b>					
مدل	131/27	9	14/59	0/0008	۰/۹۷۲
A (آرد دانه طالبی)	23/1	1	23/1	0/0032	
B (درصد رطوبت)	41/75	1	41/75	0/0004	
C (سرعت مارپیچ)	0/38	1	0/38	0/ 63	
ضعف برازش	6/18	5	1/24	0/67	
خطا	9/35	5	1/87		
<b>b*</b>					
مدل	144/06	9	16/01	< 0/0001	۰/۹۴۵
A (آرد دانه طالبی)	14/51	1	14/51	0/0018	
B (درصد رطوبت)	3/47	1	3/47	0/066	
C (سرعت مارپیچ)	8/09	1	8/09	0/ 01	
ضعف برازش	4/46	5	0/89	0/421	
خطا	9/35	5	0/74		
<b>a*</b>					
مدل	26/32	9	4/39	0/0001	۰/۹۵
A (آرد دانه طالبی)	8/22	1	8/22	0/0007	
B (درصد رطوبت)	10/62	1	10/62	0/0002	
C (سرعت مارپیچ)	2/88	1	2/88	0/ 021	
ضعف برازش	4/38	8	0/55	0/16	
خطا	1/08	5	0/22		
<b>تخلخل</b>					
مدل	26/32	9	4/39	0/0001	۰/۹۸
A (آرد دانه طالبی)	8/22	1	8/22	0/0007	
B (درصد رطوبت)					
C (سرعت مارپیچ)	10/62	1	10/62	0/0002	
ضعف برازش	2/88	1	2/88	0/ 021	
خطا	4/38	8	0/55	0/16	

### نسبت انبساط

نسبت انبساط، دانسیته توده و تخلخل ملاک‌های بسیار مهمی برای تعیین میزان پف‌کردگی محصول اکسترود شده هستند و می‌توان آن را با توجه به شرایط، وضعیت دستگاه و مواد اولیه کنترل کرد (da Silva et al., 2014). عبارتهای معنی‌دار مدل

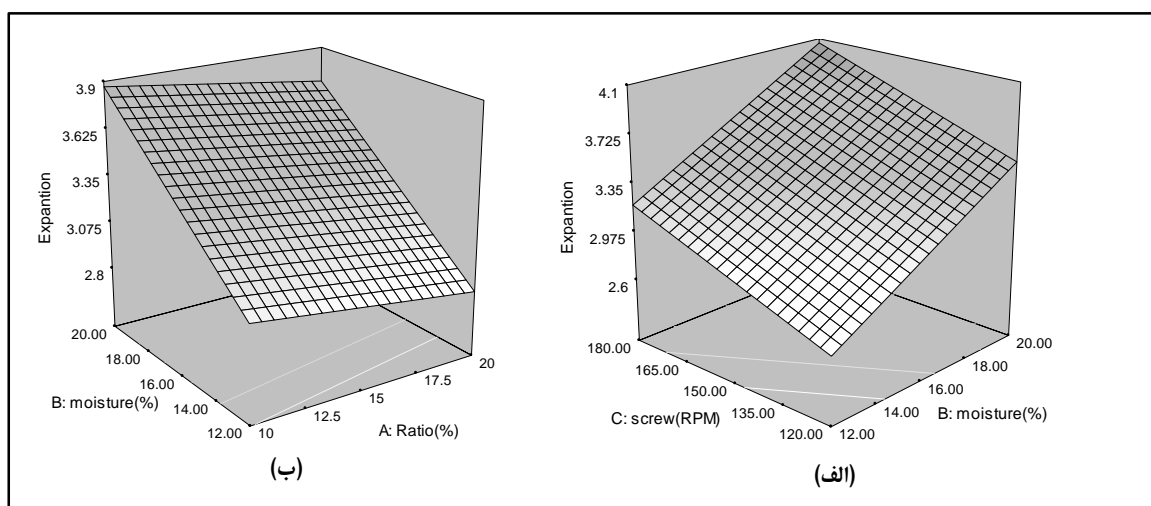
شامل اثر هر سه متغیر دانسه طالبی، رطوبت، سرعت چرخش مارپیچ و اثر متقابل آنها بر نسبت انبساط است. همانطور که در شکل ۱ الف نشان داده شده است، نسبت انبساط با افزایش میزان دانسه طالبی از ۱۰ به ۲۰ درصد خوراک کاهش می‌یابد. افزایش نسبت دانسه طالبی میزان پروتئین، چربی و فیبر



افزایش میزان رطوبت از ۱۲ به ۲۰ درصد در ترکیب خوراک نسبت انبساط افزایش می‌یابد. اثر افزایش آب مربوط به انتشار بخار آب است، آب سبب مخلوط شدن بهتر و در نتیجه پراکندگی بهتر حباب‌های بخار در فراورده هنگام خروج از قالب و افزایش انبساط می‌گردد (Suksomboon *et al.*, 2011). نتایج مشابهی در گزارش هاشمی و همکاران (Hashemi *et al.*, 2016) در تولید فراورده اکستروژن شده آرد بادام چربی‌گیری شده و آرد ذرت مشاهده می‌شود.

همان‌طور که در شکل ۱ ب نشان داده شده است، با افزایش سرعت چرخش مارپیچ از ۱۲۰ به ۱۸۰ دور بر دقیقه نسبت انبساط فراورده افزایش می‌یابد. افزایش سرعت چرخش مارپیچ با افزایش برش مکانیکی سبب کاهش ویسکوزیته مذاب و افزایش الاستیسیته می‌شود که به ایجاد یکنواختی و انبساط بهتر می‌انجامد (Bisharat *et al.*, 2013).

خوراک را افزایش و نشاسته را کاهش می‌دهد که بر خواص ویسکوالاستیک خمیر تأثیر می‌گذارد و در نتیجه انبساط فراورده کاهش می‌یابد. افزایش نسبت پروتئین در اکستروژن با تأثیر بر میزان توزیع آب در ماتریکس نشاسته و افزایش کمپلکس‌های آن سبب کاهش میزان انبساط پذیری نشاسته و مانع از منبسط شدن نمونه می‌شود (Robin *et al.*, 2011). چربی موجود نیز در فرایند پخت به عنوان روان کننده عمل می‌کند و سبب کاهش اصطکاک بین بدنه اکسترودر، مارپیچ و نمونه می‌شود. در نتیجه فشار وارده بر مذاب داخل اکسترودر و اختلاف فشار قبل و بعد از قالب کاهش می‌یابد و مانع حجیم شدن آنها در هنگام خروج از اکسترودر می‌شود و دیواره حباب‌های هوا را تخریب می‌کند (Liu *et al.*, 2000). ناوارو کورتز و همکاران (Navarro-Cortez *et al.*, 2016) محصول اکستروژن شده بر پایه آرد ذرت و دانه کدو حلوایی تهیه گزارش دادند با افزایش دانه کدو حلوایی از ۰ تا ۳۰ درصد میزان انبساط کاهش و با

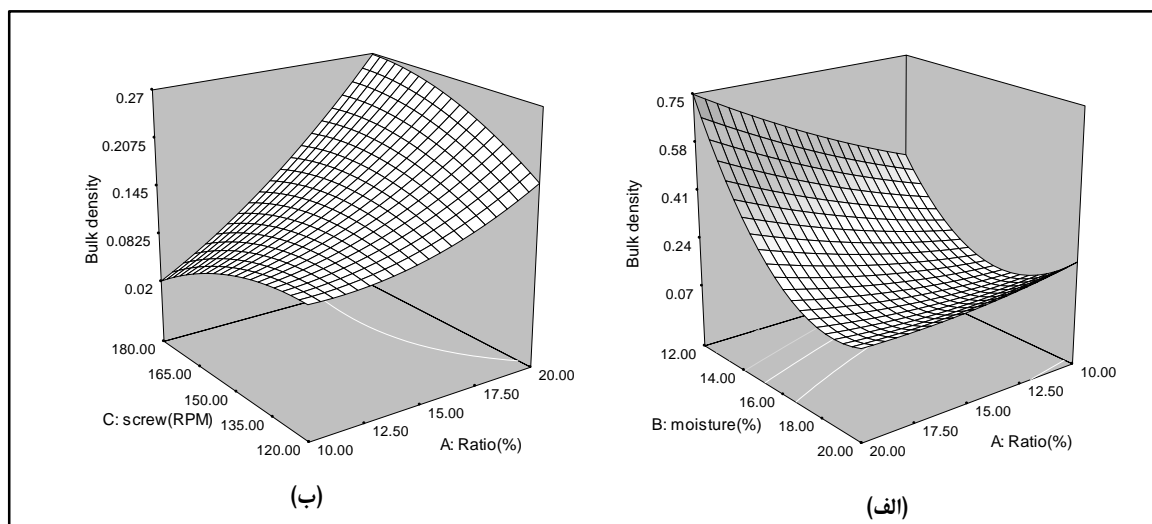


شکل ۱- اثر دانه طالبی و رطوبت در سرعت چرخش مارپیچ ۱۵۰ دور بر دقیقه بر نسبت انبساط فراورده حجیم (الف) اثر رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ در نسبت ۱۵ درصد دانه طالبی بر نسبت انبساط فراورده حجیم (ب)

### دانسیتة توده‌ای

دانسیتة توده‌ای شاخصی است دقیق از مقدار پف محصول و دانسیته پایین مشخصه ای مطلوب در محصولات حجیم است (Gat & Ananthanarayan, 2014). عبارتهای معنی‌دار مدل برای دانسیته توده‌ای شامل دانة طالبی و رطوبت است. دانسیته توده‌ای فراورده اکسترود شده بین ۰/۱ تا ۰/۸۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. همانطور که در شکل ۲ الف مشاهده می‌شود، با افزایش سطوح دانة طالبی از ۱۰ به ۲۰ درصد در فرمولاسیون محصول، دانسیته توده‌ای افزایش یافته است. به طور کلی افزودن ترکیبات محتوی پروتئین به خوراک سبب افزایش دانسیته و کاهش انبساط می‌شود. پروتئین سهم نشاسته را کاهش می‌دهد و بنابراین ژلاتیناسیون نشاسته کمتر می‌شود که با کاهش کشش پذیری پلیمر نشاسته به هنگام انبساط در خروجی قالب همراه است (Chaiyakul et al, 2009). نتایج

مشابهی توسط ناوارو کورتز و همکاران (Navarro-Cortez et al., 2016) در فراورده حجیم شده دانة کدو حلوايي و آرد ذرت مشاهده شده است. با توجه به شکل ۲ الف، افزایش رطوبت از ۱۲ به ۲۰ درصد دانسیته توده‌ای را کاهش می‌دهد. افزایش رطوبت ویسکوزیته خمیر را کاهش روانروی خمیر را افزایش و اجازه می‌دهد که حرارت در مخلوط به صورت یکنواخت پخش شود و بدین ترتیب ژلاتیناسیون نشاسته و انبساط افزایش و دانسیته فراورده کاهش می‌یابد (Hashemi et al, 2016). در شکل ۲ ب مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت چرخش مارپیچ از ۱۲۰ به ۱۸۰ دور بر دقیقه، دانسیته توده‌ای کاهش یافته است. سرعت مارپیچ بالاتر باعث ایجاد افت فشار بالاتر در خروجی قالب می‌شود که هسته زایی و انبساط سلول‌ها را افزایش می‌دهد و بنابراین دانسیته توده‌ای فراورده نهایی کاهش می‌یابد (Yağci & Göğüş, 2008).



شکل ۲- اثر دانة طالبی و رطوبت در سرعت چرخش مارپیچ ۱۵۰ دور بر دقیقه بر دانسیته توده‌ای فراورده حجیم (الف) اثر دانة طالبی و سرعت چرخش مارپیچ در رطوبت ۱۵ درصد بر دانسیته توده‌ای فراورده حجیم (ب).

می‌توانند برای پیش‌بینی ویژگی‌های حسی محصولات استفاده شوند. سفتی نشان‌دهنده حداکثر نیروی مورد نیاز برای ایجاد پارگی در دیواره سلولی

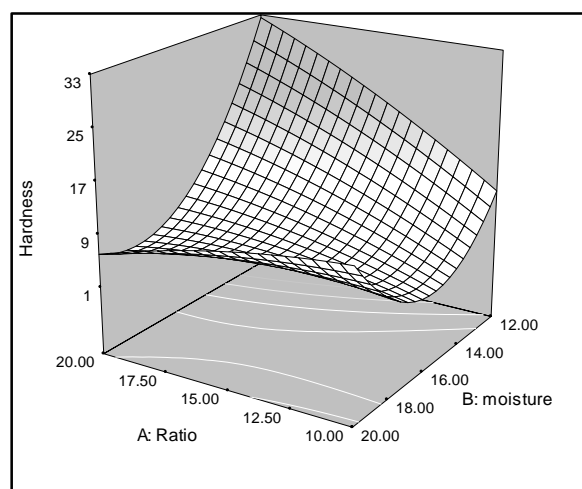
### سفتی

ویژگی‌های مکانیکی برای فراورده‌های حجیم بسیار مهم است. به این دلیل که این ویژگی‌ها

اسنک اکستروود شده مخلوط دانه کدو و آرد ذرت و مخلوط پودر بادام و بلغور ذرت نتایج مشابهی گزارش کرده اند.

بر اساس شکل ۳، افزایش رطوبت از ۱۲ تا ۱۶ درصد سبب کاهش سفتی شده اما افزایش رطوبت به بیش از ۱۶ درصد سبب افزایش سفتی فرآورده گردیده است. د پیلی و همکاران (De Pilli *et al.*, 2008) نتایج مشابهی در مخلوط آرد بادام و آرد گندم اکستروود شده مشاهده کرده و توضیح داده اند که افزودن رطوبت از تشکیل کمپلکس‌های نشاسته-لیپید جلوگیری می‌کند و سبب ایجاد بافت نرمتری می‌شود. اما رطوبت بالاتر، ویسکوزیته خمیر را کاهش می‌دهد و میانگین زمان ماند مواد خام در اکستروودر کاهش می‌یابد و بنابراین نسبت تبدیل انرژی مکانیکی اکستروودر به انرژی حرارتی کاهش می‌یابد و منجر به کاهش ژلاتیناسیون و کاهش دمای محصول می‌شود از این رو محصول نهایی سخت‌تر تولید خواهد شد (Taylor, 2014).

طی آزمون نفوذ است (Alam *et al.*, 2014). عبارت‌های معنی‌دار مدل برای سفتی شامل دانه طالبی و رطوبت است. سفتی فرآورده اکستروود شده بین ۳/۴۱ تا ۴۳/۵۶ نیوتن است. عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل نسبت دانه طالبی و رطوبت بود. در شکل ۳ افزایش آرد دانه طالبی از ۱۰ به ۲۰ درصد در ترکیب خوراک سبب افزایش سفتی فرآورده شده است. آرد دانه طالبی مقدار چربی، پروتئین و فیبر خوراک را افزایش می‌دهد. چربی و پروتئین احتمالاً با تشکیل کمپلکس‌هایی با نشاسته، ویژگی‌های ویسکوالاستیک مذاب را تغییر می‌دهند و ساختار ماتریکس نشاسته سخت‌تر می‌شود (Korkerd *et al.*, 2016). فیبرها در پخت اکستروژن به حالت غیر محلول باقی می‌مانند و با شکستن حباب‌های هوا و تداخل در ساختار آنها، سبب کاهش انبساط می‌شوند و بنابراین سفتی فرآورده نهایی افزایش می‌یابد (Potter *et al.*, 2013). ناوارو کورتز و همکاران (Navarro-Cortez *et al.*, 2016) و هاشمی و همکاران (Hashemi *et al.*, 2016) به ترتیب برای

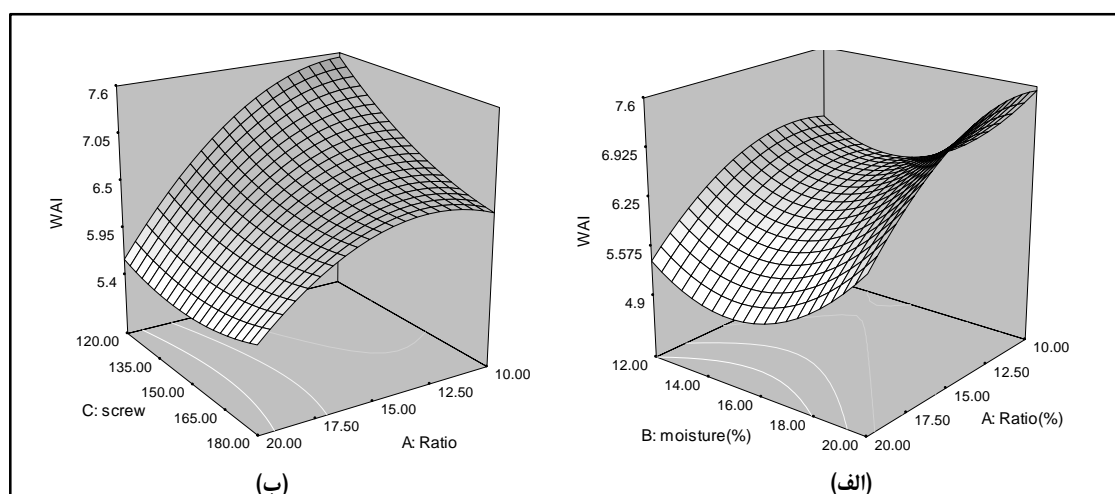


شکل ۳- اثر دانه طالبی و رطوبت در سرعت چرخش مارپیچ ۱۵۰ دور بر دقیقه بر سختی بافت فرآورده حجیم.

### شاخص جذب آب

شاخص جذب آب نشان دهنده یکپارچگی نشاسته پراکنده شده در آب است و به دسترسی گروه‌های آبدوست و ظرفیت تشکیل ژل آمیلوز بستگی دارد (Sharma *et al.*, 2015). عبارت‌های معنی‌دار مدل برای شاخص جذب آب شامل اثرهای خطی رطوبت و سرعت چرخش ماریپیچ و اثر همزمان هر سه متغیر است. محدوده تغییرات WAI بین ۴/۹۰ تا ۸/۰۱ گرم بر گرم است. با توجه به شکل ۴ الف افزایش آرد دانه طالبی از ۱۰ به ۲۰ درصد در ترکیب خوراک سبب کاهش شاخص جذب آب شده است. این امر ممکن است به علت کاهش مقدار نشاسته در ترکیب خوراک باشد که بر مقدار ژلاتیناسیون اثر می‌گذارد و سبب کاهش جذب آب می‌شود (Sumargo *et al.*, 2016). همچنین ممکن است به دلیل اثر روان‌کنندگی لیپیدهای موجود باشد که سبب جریان سریع تر و کاهش زمان ماند مذاب در اکسترودر می‌شود (Navarro-Cortez *et al.*, 2016). همانطور که در شکل ۴ الف نشان داده شده است، WAI با افزایش رطوبت خوراک از ۱۲ به ۱۸ درصد خوراک افزایش یافته است. در رطوبت‌های

بالاتر درجه ژلاتیناسیون نشاسته در فرایند اکستروژن افزایش می‌یابد و سبب افزایش توانایی جذب آب گرانول‌های نشاسته و عدم آسیب زنجیره‌های پلیمری می‌شود (Nikmaram *et al.*, 2017). در شکل ۴ ب با افزایش سرعت چرخش ماریپیچ از ۱۲۰ به ۱۸۰ دوربر دقیقه شاخص جذب آب کاهش یافته است. در فرایند اکستروژن، پروتئین‌های حاوی گروه‌های هیدروفیل واسرشت (دانتوره) می‌شوند که این امر منجر به از دست رفتن ظرفیت هیدراسیون آن‌ها می‌گردد. همچنین افزایش سرعت چرخش ماریپیچ به افزایش تخریب آمیلوز و آمیلوپکتین با ایجاد شکاف در زنجیره می‌انجامد. از سویی، تشکیل دکستترین در حین اکستروژن و اثر متقابل مولکول‌ها بین نشاسته تخریب شده، پروتئین و چربی ممکن است انحلال پذیری و به تبع آن شاخص جذب آب را کاهش دهد (Singh *et al.*, 2015). نتایج مشابهی توسط دینگ و همکاران (Ding *et al.*, 2015) و سینگ و همکاران (Singh *et al.*, 2007) به ترتیب در مورد برنج اکسترودر شده و مخلوط برنج با بلغور نخود مشاهده شده است.



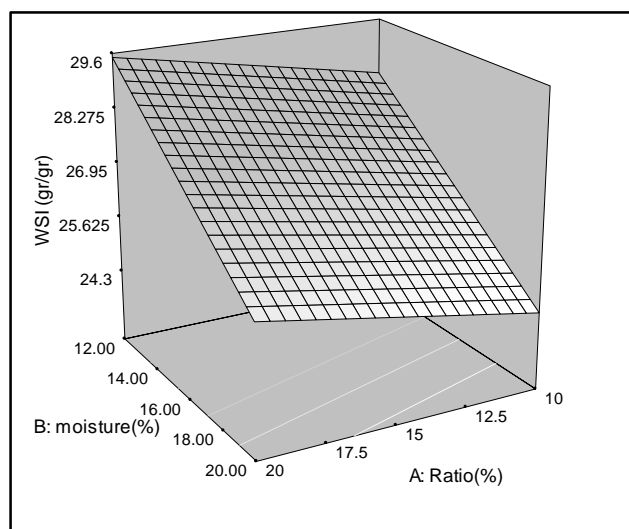
شکل ۴- اثر دانه طالبی و رطوبت در سرعت چرخش ماریپیچ ۱۵۰ دور بر دقیقه بر شاخص جذب آب فراورده حجیم (الف) اثر دانه طالبی و سرعت چرخش ماریپیچ در رطوبت ۱۶ درصد بر شاخص جذب آب فراورده حجیم (ب).

### شاخص انحلال پذیری در آب

شاخص انحلال پذیری در آب مقدار ترکیبات محلول آزاد شده طی اکستروژن را اندازه‌گیری می‌کند و به عنوان شاخصی از تخریب ترکیبات مولکولی مانند نشاسته، فیبر و پروتئین است. رطوبت با کاهش ویسکوزیته مخلوط و نیز کاهش زمان ماند در اکسترودر، سبب تخریب کمتر نشاسته می‌شود (Navarro-Cortez *et al.*, 2016). عبارت‌های معنی‌دار مدل برای شاخص انحلال پذیری در آب شامل رطوبت و سرعت چرخش ماریچ است. در این پژوهش میزان شاخص انحلال پذیری فرآورده اکسترودر شده بین ۲۲/۲۵ تا ۳۲/۹۸ درصد به دست آمد. عبارت‌های معنی‌دار شامل رطوبت و سرعت چرخش ماریچ است. بر اساس شکل ۵، افزایش رطوبت خوراک از ۱۲ به ۱۸ درصد سبب کاهش میزان WSI فرآورده اکسترودر شده گردیده است. مکانیسم غالب تخریب نشاسته طی اکستروژن در رطوبت پایین اتفاق می‌افتد (Lazou *et al.*, 2010). در رطوبت بالاتر خوراک، میزان ژلاتیناسیون نشاسته افزایش و تخریب گرانول‌های نشاسته کاهش می‌یابد.

همچنین رطوبت بالاتر به دلیل کاهش ویسکوزیته مذاب و جریان سریع‌تر مواد سبب کاهش زمان ماند مذاب داخل محفظه اکسترودر و متعاقباً کاهش تخریب نشاسته می‌شود (Ganorkar *et al.*, 2015). از سویی رطوبت بالاتر، واسرشتی (داناتوراسیون) پروتئین‌ها را محدود می‌کند و متعاقباً ذرات محلول و شاخص WSI کاهش می‌یابد (Sharma *et al.*, 2015).

با توجه به شکل ۵، افزایش سرعت چرخش ماریچ از ۱۲۰ به ۱۸۰ دوربردقیقه سبب افزایش شاخص انحلال پذیری در آب فرآورده شده است. افزایش سرعت چرخش ماریچ، افزایش شدیدی در انرژی مکانیکی ایجاد می‌کند و ماکرومولکول‌ها تحت انرژی مکانیکی بالا تخریب می‌شوند. وزن مولکولی نشاسته کاهش و ترکیبات پلیمری و شاخص انحلال در آب افزایش می‌یابد (Ganorkar *et al.*, 2015). نتایج مشابهی توسط شارما و همکاران (sharma *et al.*, 2015) در اسنک اکسترودر شده نشاسته ذرت، لوبیا قرمز و نخودفرنگی مشاهده شده است.



شکل ۵- اثر رطوبت و سرعت چرخش ماریچ در نسبت ۱۵ درصد دانه طالبی بر شاخص حلالت در آب فرآورده حجیم.

## پردازش تصویر

## رنگ

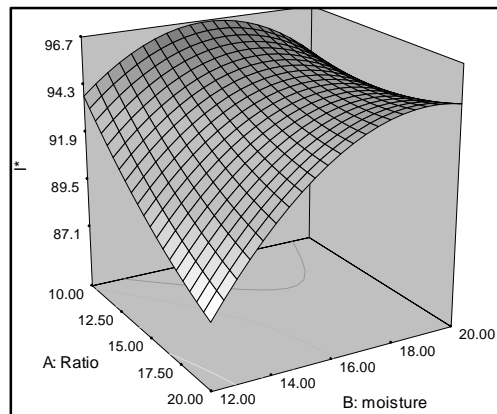
عبارت‌های معنی‌دار مدل برای شاخص روشنایی ( $L^*$ ) شامل اثر دانه‌طالبی و رطوبت است. با توجه به شکل ۶، افزایش رطوبت سبب افزایش شاخص روشنایی نمونه‌ها شده است. افزایش روشنایی با افزایش میزان رطوبت به علت افزایش انبساط و کاهش دانسیته توده در نتیجه پف بیشتر است، حضور سلول‌های هوا به جای رنگ مات، رنگ روشن‌تری به محصول می‌دهد (Bera & Panesar, 2012). با افزایش میزان دانه‌طالبی از ۱۰ به ۲۰ درصد در خوراک شاخص  $L^*$  کاهش یافته که ممکن است به دلیل واکنش میلارد بین قندهای کهنده (نشاسته دکسترینه شده) و گروه‌های آمین در دسترس پروتئین‌های موجود باشد (Hernández & Tostado, 2007).

عبارت‌های معنی‌دار مدل برای شاخص قرمزی ( $a^*$ ) شامل اثر خطی هر سه متغیر است. همانگونه که در شکل ۷ الف مشاهده می‌شود، با افزایش میزان دانه‌طالبی از ۱۰ به ۲۰ درصد در خوراک شاخص قرمزی افزایش می‌یابد. این امر ممکن است به دلیل افزایش میزان پروتئین و به تبع آن افزایش شدت واکنش‌های قهوه‌ای شدن، به ویژه واکنش میلارد باشد. با افزایش رطوبت خوراک از ۱۲ به ۱۸ درصد، قرمزی فرآورده ( $a^*$ ) کاهش می‌یابد. رطوبت پایین‌تر به نفع واکنش میلارد پیش می‌رود؛ لیزین که به علت

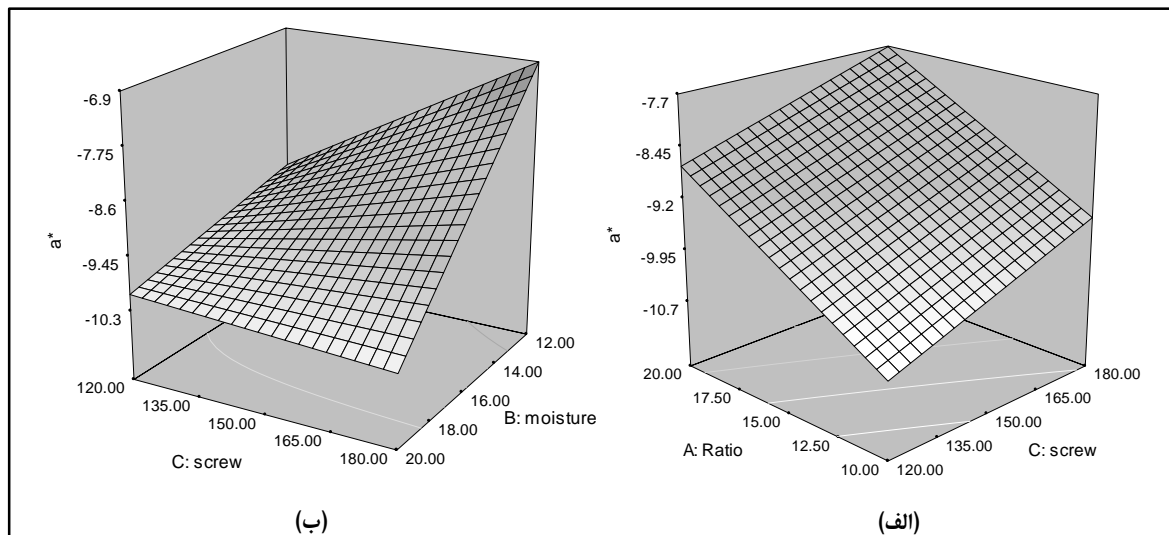
وجود دو گروه آمین آزاد بسیار فعال است، در رطوبت‌های بالاتر کمتر در دسترس قرار می‌گیرد و بنابراین قرمزی فرآورده کاهش می‌یابد (Chaiyakul *et al.*, 2009). در شکل ۷ ب با افزایش سرعت چرخش مارپیچ از ۱۲۰ به ۱۸۰ دوربردقیقه، شاخص قرمزی افزایش یافته است. اعمال نیروی برشی ممکن است سبب تخریب رنگدانه‌های کاروتنوئیدی طی پخت گردیده و کاهش میزان زردی را در پی داشته باشد. همچنین، افزایش سرعت چرخش مارپیچ با افزایش نیروی برشی در منطقه پخت فعال، منجر به افزایش دمای مذاب و تشدید واکنش‌های قهوه‌ای شدن می‌شود و در نتیجه شاخص قرمزی افزایش می‌یابد (Geetha *et al.*, 2014).

در شکل ۸ نشان داده شده است که با افزایش نسبت دانه‌طالبی از ۱۰ به ۲۰ درصد در ترکیب خوراک شاخص زردی کاهش یافته است. این امر ممکن است به این دلیل باشد که در ترکیب خوراک میزان بلغور ذرت کاهش می‌یابد. ذرت دارای کاروتنوئیدها (گزانتین و لوتئین) است که رنگ زرد فرآورده‌های ذرت را به وجود می‌آورد (Oliveira *et al.*, 2017). علاوه بر این، با افزایش سرعت چرخش مارپیچ از ۱۲۰ به ۱۸۰ دوربردقیقه، شاخص ( $b^*$ ) کاهش می‌یابد. اعمال نیروی برشی ممکن است سبب تخریب رنگدانه‌های کاروتنوئیدی طی پخت شود و کاهش میزان زردی را در پی داشته باشد (Geetha *et al.*, 2014).

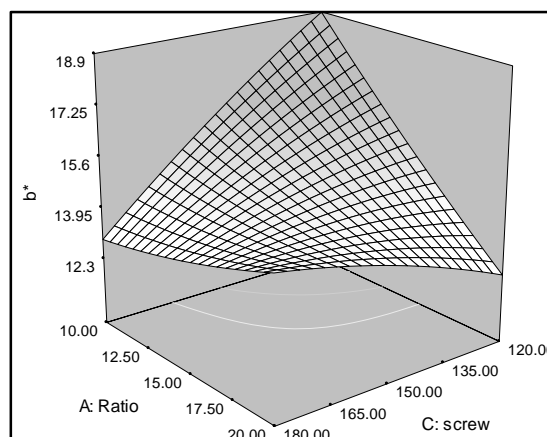
اثر فرایند اکستروژن و ترکیب خوراک بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی...



شکل ۶- اثر رطوبت و دانه طالبی در سرعت چرخش ماریج + ۱۵ و بر دقیقه بر شاخص  $a^*$  فرآورده حجیم.



شکل ۷- اثر دانه طالبی و سرعت چرخش ماریج در رطوبت ۱۶ درصد بر شاخص  $a^*$  فرآورده حجیم (الف) اثر رطوبت و سرعت چرخش ماریج در نسبت ۱۵ درصد دانه طالبی بر شاخص  $a^*$  فرآورده حجیم (ب).



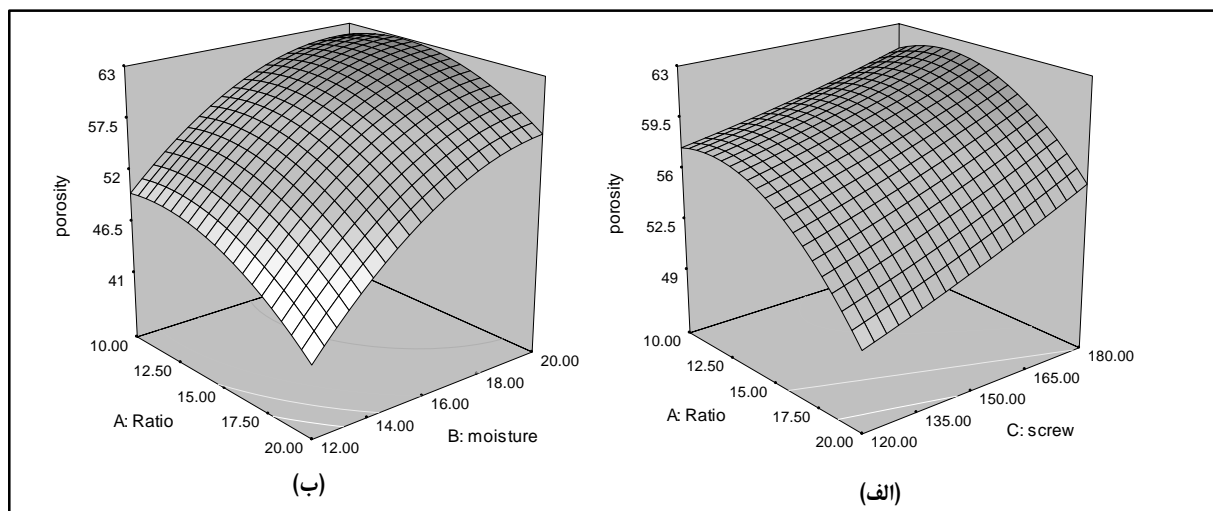
شکل ۸- اثر سرعت چرخش ماریج و دانه طالبی در رطوبت ۱۶ درصد بر شاخص  $b^*$  فرآورده حجیم

### تخلخل

سبب افزایش تخلخل اسنک اکستروود گردید. افزایش سرعت چرخش مارپیچ فشار مطلق درون بدنه اکستروود را افزایش می‌دهد و در زمان خروج مذاب از قالب اکستروودر، اختلاف فشار بیشتری ایجاد می‌شود و با تبخیر بیشتر آب، انبساط و متعاقباً تخلخل فرآورده‌ها افزایش می‌یابد (Bisharat et al., 2013).

در شکل ۹ ب افزایش رطوبت خوراک از ۱۲ به ۱۸ درصد سبب افزایش میزان تخلخل فرآورده اکستروود شده گردید. افزایش میزان رطوبت سبب افزایش میزان آب در دسترس برای تشکیل بخار و افزایش اندازه حباب‌ها می‌شود. همچنین آب سبب مخلوط شدن بهتر خمیر و پراکندگی بهتر حباب‌های بخار در فرآورده هنگام خروج از قالب و افزایش انبساط می‌گردد (Suksomboon et al., 2011).

تشکیل ساختار متخلخل و حجیم به علت تولید تعداد زیاد حباب‌های کوچک بخار طی کاهش ناگهانی فشار در هنگام خروج از قالب است (Suknark et al, 1997). عبارت‌های معنی‌دار مدل برای تخلخل شامل اثر هر سه متغیر است. با توجه به شکل ۹ الف افزایش میزان دانه طالبی از ۱۰ به ۲۰ درصد در ترکیب خوراک سبب کاهش میزان تخلخل شده است (شکل ۹، الف). کاهش تخلخل ممکن است مربوط به کاهش میزان نشاسته کل در دسترس برای انبساط و کاهش الاستیسیته و کشش‌پذیری دیواره سلولی حباب‌ها (به دلیل تشکیل کمپلکس‌های نشاسته با فیبر و پروتئین) باشد (Yağci & Göğüş, 2008). همچنین، افزایش سرعت چرخش مارپیچ از ۱۲۰ به ۱۸۰ دوربر دقیقه



شکل ۹- اثر سرعت چرخش مارپیچ و دانه طالبی در رطوبت ۱۶ درصد بر تخلخل فرآورده حجیم (الف) اثر رطوبت و دانه طالبی در سرعت چرخش مارپیچ ۱۵۰ دوربر دقیقه بر تخلخل فرآورده حجیم (ب)

سفت‌تر شدن بافت و کاهش نسبت انبساط و تیره‌تر شدن رنگ اسنک‌های اکستروود شده باشد. بر اساس شکل ۱۰ ب، با افزایش رطوبت خوراک از ۱۲ به ۱۸ درصد میزان پذیرش کلی افزایش یافته است. افزایش

### آزمون حسی

در شکل ۱۰ الف با افزایش میزان دانه طالبی از ۱۰ به ۲۰ درصد در ترکیب خوراک، میزان پذیرش کلی کاهش یافته است. این امر ممکن است به دلیل

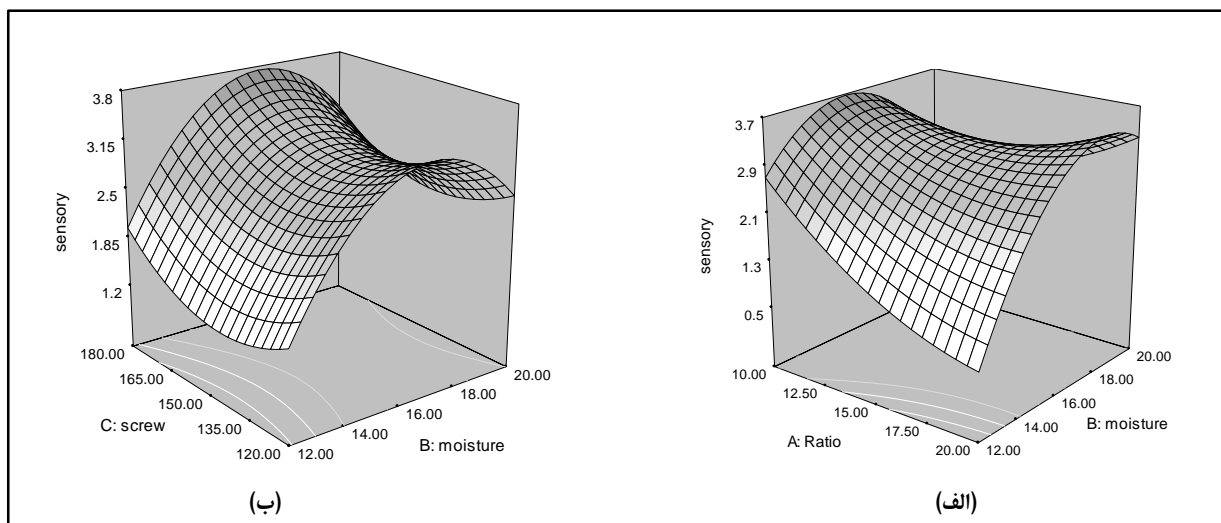


## اثر فرایند اکستروژن و ترکیب خوراک بر ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی...

افزایش سرعت چرخش مارپیچ سبب افزایش نسبت انبساط و کاهش دانسیته توده و در نتیجه پف بیشتر محصول می‌شود.

علاوه بر این، به دلیل زمان ماند کم مذاب در تنش برشی بالا میزان تخریب رنگدانه‌ها در این حالت کاهش می‌یابد (Geetha *et al.*, 2014).

پذیرش کلی با افزایش رطوبت به دلیل افزایش انبساط فراورده‌های اکستروژن شده و کاهش اثر دمای بدنه اکستروژن بر سیال مذاب و کاهش طعم سوختگی و بهبود ویژگی‌های رنگی اسنک‌هاست (Lazou *et al.*, 2010). افزایش سرعت چرخش مارپیچ از ۱۲۰ به ۱۸۰ دوربردقیقه سبب افزایش پذیرش کلی نمونه‌ها گردیده است (شکل ۱۰، ب).



شکل ۱۰- اثر رطوبت و دانه طالبی در سرعت چرخش مارپیچ ۱۵۰ دور بر دقیقه بر پذیرش کلی فراورده حجیم (الف) اثر رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ در نسبت ۱۵ درصد دانه طالبی بر پذیرش کلی فراورده حجیم (ب)

روشنایی و پذیرش کل بود. شاخص‌ها و هدف‌های بهینه‌سازی برای هریک از متغیرها و پاسخ‌های فرایند در جدول (۳) ارائه شده‌اند. بر این اساس، نسبت دانه طالبی: بلغور ذرت و آرد گندم ۱۰ درصد، سرعت چرخش مارپیچ ۱۸۰ دوربردقیقه و میزان رطوبت خوراک ورودی ۱۹/۶۸ درصد تعیین گردید.

## بهینه‌یابی

تکنیک بهینه‌سازی عددی به منظور بهینه‌سازی کردن متغیرهای فرایند به کاربرده شد. در این تحقیق، هدف از بهینه‌سازی تولید اسنک حجیم شده، به حداقل رساندن میزان دانسیته توده‌ای و سفتی اسنک و حداکثر کردن نسبت انبساط، شاخص

جدول ۳- شرایط بهینه اسنک اکستروود شده.

ویژگی‌های فرایند	هدف	مقدار پیش بینی شده بهینه	مقدار تجربی بهینه
دانه طالبی	محدوده	10	
میزان رطوبت	محدوده	19/68	
سرعت چرخش مارپیچ	محدوده	180	
<b>پاسخ‌ها</b>			
نسبت انبساط	بیش‌ترین	4/2	4/25
دانسیته توده‌ای	کم‌ترین	0/068	0/065
سختی بافت	کم‌ترین	1/96	1/98
شاخص روشنایی	بیش‌ترین	96/43	96/48
پذیرش کلی	بیش‌ترین	4/52	4/5

### نتیجه‌گیری

نسبت انبساط، سفتی بافت، شاخص جذب آب، شاخص انحلال پذیری در آب، رنگ، تخلخل و پذیرش حسی ارزیابی گردید. نتایج تحقیق نشان داد که افزایش دانه طالبی به مخلوط بلغور ذرت و آرد گندم باعث افزایش دانسیته توده‌ای، سفتی بافت، شاخص قرمزی فراورده و کاهش انبساط عرضی، تخلخل، شاخص جذب آب، شاخص روشنایی و شاخص زردی در فراورده می‌شود. در نهایت شرایط بهینه فرایند اکسترون با استفاده از روش سطح پاسخ و نرم‌افزار Design Expert با ۱۰ درصد دانه طالبی، ۱۹/۶۸ درصد رطوبت خوراک و سرعت چرخش مارپیچ ۱۸۰ دوربر دقیقه تخمین زده شد.

حجم بالای پسماندهای کارخانه‌های صنایع غذایی چالشی مهم در صنعت غذا به شمار می‌رود. این پسماندها علاوه بر ارزان بودن، منابعی سرشار از پروتئین، فیبرهای رژیمی، پلی فنول‌ها و ریزمغذی‌ها هستند. در این پژوهش اثر پارامترهای فرایند اکستروژن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی غلات صبحانه بر پایه آرد گندم، بلغور ذرت و آرد دانه طالبی بررسی شد. در این تحقیق، اثر افزودن آرد دانه طالبی (۲۰-۱۰ درصد)، میزان رطوبت (۲۰-۱۲ درصد) و سرعت چرخش مارپیچ اکسترودر (۱۸۰-۱۲۰ دوربر دقیقه) بر پاسخ‌های دانسیته توده‌ای،

### مراجع

- Alam, A., Järvinen, J., & Kirjoranta, S. (2014). Influence of Particle Size Reduction on Structural and Mechanical Properties of Extruded Rye Bran. *Journal of Food Food Bioprocess Technology*, 7: 2121-2133.
- Altan, A., & Maskan, M. (2011). Development of extruded foods by utilizing food industry by-products. *Advances in Food Extrusion Technology*, pp.121-160.
- Bera, M. B., & Panesar, P. S. (2012). Extrusion cooking of maize/spirulina of mixture: factors affecting expanded product characteristics and sensory quality, *Journal of Food Processing and Preservation*, pp.1-10.

- Bisharat, G. I., Oikonomopoulou, V. P., Panagiotou, N. M., Krokida, M. K., & Maroulis, Z. B. (2013). Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. *Food Research International*, 53, pp.1–14.
- Chaiyakul, S., Jangchud, K., Jangchud, A., Wuttijumnong, P., & Winger, R. (2009). Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein glutinous rice-based snack. *LWT - Food Science and Technology*, 42(3), pp.781–787.
- da Silva, E. M. M., Ascheri, J. L. R., de Carvalho, C. W. P., Takeiti, C. Y., & Berrios, J. de J. (2014). Physical characteristics of extrudates from corn flour and dehulled carioca bean flour blend. *LWT-Food Science and Technology*, 58(2), pp.620–626.
- De Pilli, T., Jouppila, K., Ikonen, J., Kansikas, J., Derossi, A., & Severini, C. (2008). Study on formation of starch–lipid complexes during extrusion-cooking of almond flour. *Journal of Food Engineering*, 87(4), pp.495–504.
- Ding Qing-Bo, Paul Ainsworth, Gregory Tucker, and Hayley Marson. (2005). The Effect of Extrusion Conditions on the Physicochemical Properties and Sensory Characteristics of Rice-Based Expanded Snacks. *Journal of Food engineering*. 66: 283–289.
- Ganorkar, P. M., Patel, J. M., Shah, V., & Rangrej, V. V. (2015). Defatted flaxseed meal incorporated corn-rice flour blend based extruded product by response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*.
- Gat, Y., & Ananthanarayan, L. (2014). Effect of extrusion process parameters and pregelatinized rice flour on physicochemical properties of ready-to-eat expanded snacks. *Guy, R. (2001). Snack foods. In Extrusion cooking*, pp.161–181.
- Geetha R, Mishra H N, Srivastav P. (2014). Twin Screw Extrusion of Kodo Millet-Chickpea Blend: Process Parameter Optimization, Physico-Chemical and Functional Properties. 51: 3144– 3153.
- Harper, J. M. (1981). *Extrusion of foods*. CRC press.
- Hashemi, N. Milani. E, Mortazavi, S.A. Tabatabai. F. (2016). microstructural and textural properties of puffed snack prepared from partially defatted almond powder and corn flour. *Journal of Food Processing and Preservation*. 41(5): 320-331.
- Hernández, N. M., & Tostado, E. C. (2007). Functional Characteristics of Extruded Blends of Whey Protein Concentrate and Corn Starch, *Cereal chemistry*, pp.195–201.
- Karakaya S, Kavas A, El SN Gunduc N. and Akdogan L. (1995). Nutritive value of melon seed beverage. *Food Chemistry*. 52: 139-141
- Korkerd S, Sorada W, Chureerat P, Dudsadee U. (2016). Expansion and Functional Properties of Extruded Snacks Enriched with Nutrition Sources from Food Processing By-Products. 53: 561–570.
- Kumar T V, Arun D, Samuel V, Jha S K, Sinha J P. (2015). Twin Screw Extrusion of Sorghum and Soya Blends: A Response Surface Analysis. 17: 642–649.
- Lazou A, Krokida M, Tzia C. (2010). Sensory Properties and Acceptability of Corn and Lentil Extruded Puffs. *Journal of Sensory Studies*. 25: 838–860.
- Lazou, A., Krokida, M., & Tzia, C. (2010). Sensory properties and acceptability of corn and lentil extruded puffs. *Journal of Sensory Studies*, 25(6), pp.838–860.
- Liu, Y., Hsieh, F., Heymann, H., & Huuff, H. E. 2000. Effect of Process Conditions on the Physical and Sensory Properties of Extruded Oat – Corn Puff. *Journal of Food Science*, (65)7, pp.1253-1259.
- Mohammadi Jaafari, M. (2004). evaluation of physicochemical properties of lactose freemilk production and its oil from melon seeds, Azad University of Sabzevar, Sabzevar, (in Persian).
- Naji-Tabasi, S., & Mohebbi, M. (2014). Evaluation of cress seed gum and xanthan gum effect on macrostructure properties of gluten-free bread by image processing. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 9(1), pp.110–119.

- Navarro-Cortez, B. Hern´andez-Santos, C. A. G´omez-Aldapa, J. Castro-Rosas, E. Herman-Lara, C. E. Mart´inez-S´anchez, J. M. Ju´arez-Barrientos, C. M. A. -C. and J. R. -M. (2016). Development of Extruded ready-to-eat Snacks using pumpkin seed (*Cucurbita pepo*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends. *Revista Mexicana de Ingenieria quimica*,15, pp.409-422.
- Nikmaram, N., Ying, S., Koubaa, M., & Zhu, Z. (2017). Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products, *Food Control*, 79, pp.62-73.
- Oliveira, L. C., Schmiele, M., & Steel, C. J. (2017). Development of whole grain wheat flour extruded cereal and process impacts on color, expansion, and dry and bowl-life texture. *Food Science and Technology*, 75, pp.261-270.
- Potter, R., Stojceska, V., & Plunkett, A. 2013. The use of fruit powders in extruded snacks suitable for Children’s diets. *Food Science and Technology*, 51, pp.537-544.
- Robin F, Dubois C, Pineau N, Schuchmann H P, Palzer S. (2011). Expansion mechanism of extruded foams supplemented with wheat bran. *Journal of Food Engineering*. 107: 80-89.
- Satia, J. A., Kristal, A. R., Patterson, R. E., Neuhouser, M. L., & Trudeau, E. (2002). Psychosocial factors and dietary habits associated with vegetable consumption. *Nutrition*, 18(3), pp.247-254.
- Sharma, S., Singh, N., & Singh, B. (2015). Effect of extrusion on morphology, structural, functional properties and in vitro digestibility of corn, field pea and kidney bean starches, *Starch Journal*, 67, pp.1-8.
- Singh B, Sekhon K, Narpinder S. (2007). Effects of Moisture, Temperature and Level of Pea Grits on Extrusion Behaviour and Product Characteristics of Rice. *Food Chemistry*. 100: 198-202.
- Singh, B., Rachna, Hussain, S. Z., & Sharma, S. (2015). Response Surface Analysis and Process Optimization of Twin Screw Extrusion Cooking of Potato-Based Snacks. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(3), pp.270-281.
- Suknark, K., Phillips, R. D., & Chinnan, M. S. (1997). Physical properties of directly expanded extrudates formulated from partially defatted peanut flour and different types of starch. *Food Research International*, 30(8), pp.575-583.
- Suksomboon, A., Limroongreungrat, K., Sangnark, A., & Thititumjariya, K. (2011). Effect of extrusion conditions on the physicochemical properties of a snack made from purple rice (*Hom Nil*) and soybean flour blend, *Journal of Food Science and Technology*,46, pp.201-208.
- Sumargo, F., Gulati, P., Weier, S. A., Clarke, J., & Devin, J. (2016). Effects of processing moisture on the physical properties and in vitro digestibility of starch and protein in extruded brown rice and pinto bean composite flours. *Food Chemistry*.
- Taylor, P. (2014). extruded snacks by response surface methodology Running head: Extruded snacks incorporated with fish powder and fish oil Modeling the inclusion of fish powder and fish oil into extruded snacks by response surface methodology, pp.37-41.
- Thachil, M. T., Chouksey, M. K., & Gudipati, V. (2014). Amylose-lipid complex formation during extrusion cooking: effect of added lipid type and amylose level on corn-based puffed snacks, pp.309-316.
- Thymi, S., Krokida, M. K., Pappa, A., & Maroulis, Z. B. (2005). Structural properties of extruded corn starch, 68, pp.519-526.
- Vella, F. M., Cautela, D., & Laratta, B. (2019). Characterization of polyphenolic compounds in cantaloupe melon by-products. *Foods*, 8(6), 196-206.
- Yagci S, Gogus F. (2009). Selected physical of expanded extrudates from the blend of hazelnut flour-durum clear flour-rice. *International Journal of Food Properties*. 12: 405-413.

اثر فرایند اکستروژن و ترکیب خوراک بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی...

- Yağci, S., & Göğüş, F. (2008). 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), pp.122–132.
- Zulfiqaran, A. (1998). Influence of irrigation period and number of drippers and drip irrigation on melon quality, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, (in Persian).

## Original Research

## The Effect of Extrusion Process and Feed Composition on Physicochemical and Sensory Properties of Breakfast Cereal Based on Corn Grit, Wheat Flour and Cantaloupe Seed Flour

M. Milani\*, F. Shahidi, M. Khalilian- Movahed and F. Salehipour

\* Corresponding Author: Associate Professor, Food Science and Technology Research Institute  
Academic center for Education, Culture and Research - Khorasan Razavi Email: e.milani@jdm.ac.ir  
Received: 15 July 2020, Accepted: 17 March 2021  
<http://doi: 10.22092/fooder.2022.351156.1279>

### Abstract

Consuming ready-to-eat breakfast cereals has become very popular. Considering that children and teenagers are their main consumers, it is necessary to improve their nutritional value. In the food industry, during food production, preparation and consumption, especially in the process of fruits and vegetables, a large scale of byproduct is obtained, which contains a large amount of protein, essential fatty acids, dietary fibers and minerals that are beneficial for health. In this research, a central composite design was used to investigate the effect of formulation variables including cantaloupe seed flour (20-10%), moisture content (20-12%) and screw speed (120-180 rpm) on the responses of expansion ratio, bulk density, hardness. Texture, water absorption index, water solubility index, color, porosity and sensory acceptance were used. The results showed that increasing the level of cantaloupe flour in the corn grits-wheat flour mixture increases the bulk density, hardness and redness index of the product and decreases the expansion ratio, porosity, and water absorption index in the product. The optimal conditions of the extrusion process were determined at 10% cantaloupe seeds, 19.68% feed moisture and screw speed 180 rpm.

**Keywords:** Extrusion process, Image process, Optimization, Porosity.