

مقاله پژوهشی

بررسی اثر شرایط فرایند اکستروژن و فرمولاسیون بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی اسنک بر پایه مغز گردو و بلغور ذرت

لیلا اردمه^۱، شهرام بیرقی طوسی^{۲*}، غلامعلی گلی موحد^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی کاشمر
۲. استادیار، گروه پژوهشی فراوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی
۳. مربی، گروه پژوهشی فراوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی

(تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۸، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۸/۲/۲۴، تاریخ پذیرش: ۹۸/۳/۴)

چکیده

اسنک‌های حجیم همواره بخش قابل توجهی از میان وعده افراد را در زندگی امروزی تشکیل می‌دهد و به دلیل تنوع طعم و ماندگاری بالا، طرفداران بسیاری دارد. در تهیه این اسنک‌ها معمولاً از فناوری پخت اکستروژن استفاده می‌شود و می‌توان از مخلوطی از چند غله مانند ذرت، برنج، گندم و ارزن استفاده نمود. در این پژوهش اثر متغیرهای اکستروژن شامل درصد مغز گردو ۲۱-۷٪، سرعت چرخش ماردون ۱۲۰-۱۸۰ دور در دقیقه و رطوبت خوراک ورودی ۱۸-۱۲٪ بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی فراورده اکستروژن شده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش میزان رطوبت خوراک ورودی، نسبت انبساط افزایش و جذب روغن، شاخص انحلال در آب کاهش یافت. با افزایش سرعت چرخش ماردون شاخص جذب روغن، شاخص انحلال در آب افزایش و شاخص جذب آب و سختی کاهش یافت. با افزایش درصد مغز گردو شاخص انحلال در آب، شاخص جذب روغن و سختی افزایش و نسبت انبساط، شاخص جذب آب کاهش یافت. نتایج حاصل از بهینه‌سازی نشان داد که در محدوده‌های تعیین شده جهت دستیابی به فراورده مطلوب، شرایط بهینه فرایند اعم از سرعت چرخش ماردون، مغز گردو و رطوبت خوراک باید به ترتیب برابر ۱۸۰، ۱۴٪ و ۱۸٪ دور در دقیقه می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که مغز گردو تا سطح ۱۴٪ ضمن افزایش ارزش تغذیه‌ای، قابلیت حفظ ویژگی‌های تکنولوژیکی اسنک را به‌عنوان یک میان وعده مغذی جهت عرضه به بازار داشت.

واژه‌های کلیدی: اکستروژن، بافت، رطوبت، سرعت چرخش ماردون.

۱. مقدمه

حدود ۲/۴g به ازای هر ۱۰۰g است. علاوه بر نشاسته، ذرت مقدار کمی حدود ۱ تا ۳٪ قند دکستروز دارد [۱۰]. میلانی و همکاران بررسی اثر شرایط فرایند اکستروژن و فرمولاسیون را بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میان وعده حجیم بر پایه کنجاله بادام و بلغور ذرت مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنان حاکی از این بود که فراورده ضمن داشتن ویژگی‌های تغذیه‌ای و بافت متخلخل، از لحاظ مصرف کننده نیز مورد پذیرش قرار گرفت. مطابق نتایج بهینه‌یابی به‌منظور تولید فراورده‌های حجیم با ویژگی مطلوب میزان رطوبت ۲/۷۶٪، فعالیت آبی ۰/۲۱۲، تخلخل ۰/۷۲۳، روشنی رنگ ۶۸/۶۲ و پذیرش کلی ۴/۰۴ شرایط فرایند شامل نسبت کنجاله بادام به بلغور ذرت ۱۵:۸۵، سرعت چرخش ماردون ۱۹۶ rpm و میزان رطوبت خوراک ورودی ۱۲٪ تعیین گردید [۱۱]. بهیسی و کائور اثر افزودن آرد موز و پارامترهای اکستروژن شامل سرعت چرخش ماردون و دما را بر خواص فیزیکی اسنک بلغور ذرت بررسی کردند. نتایج نشان داد که اثر غالب افزودن آرد موز بر پارامترهای رنگی محصول است و باعث افزایش شاخص *L و کاهش *a و *b می‌شود. دمای بالاتر باعث تیره تر شدن رنگ با کاهش *L و *a شد. سرعت چرخش ماردون بالاتر روشنی اسنک را افزایش داد. نسبت انبساط نیز با افزایش آرد موز و دمای اکستروژن افزایش یافت [۱۲]. یاغچی و گوغوش ویژگی‌های اسنک تولید شده بر پایه آرد چربی‌گیری شده فندق و برنج را به روش سطح پاسخ مورد مطالعه قرار دادند. آنان به‌منظور این مطالعه از شرایط اکستروژن از جمله میزان رطوبت مخلوط ۱۲-۱۸٪، دمای اکسترودر ۱۷۵°C-۱۵۰، سرعت چرخش ماردون اکسترودر ۲۸۰-۲۰۰ rpm استفاده نمودند. نتایج آنان نشان داد افزایش مقدار پودر فندق باعث کاهش نسبت انبساط شعاعی، سختی فراورده اکستروژن شده می‌شود. افزایش میزان رطوبت و کاهش دما باعث افزایش درصد انبساط بیشتر ترکیبات می‌شود. تنقلات اکستروژن شده با محتوای پودر فندق کمتر دارای بالاترین سطح پذیرش کلی در پانل حسی بود [۱۳]. ناوروکورتز و همکاران اسنک‌های اکستروژن شده آماده مصرف بر پایه غلات و آرد دانه کدو حلوابی را با استفاده از یک اکسترودر تک ماردون تولید کردند. نتایج آنان نشان داد افزایش دمای فرایند بر نسبت انبساط و سختی اسنک‌ها تاثیر منفی دارد. افزایش میزان رطوبت سبب افزایش معنی‌داری بر شاخص جذب آب شد. شرایط بهینه شامل ۱/۰۳۶٪ آرد دانه کدو حلوابی، دمای

امروزه اسنک‌ها به‌دلیل نوع بافت، طعم متنوع، رنگ‌های جذاب، ماندگاری بالا، هزینه تولید نسبتاً کم و نگهداری آسان، بخش قابل توجهی از میان وعده افراد را در زندگی امروزی تشکیل می‌دهد و طرفداران بسیاری دارد. اسنک‌ها در طبقه بندی مواد مغذی قرار نمی‌گیرد و به عبارتی ارزش غذایی زیادی ندارند [۱]. با توجه به این که کودکان و نوجوانان، مصرف‌کنندگان اصلی اسنک‌ها می‌باشند، بهبود ارزش تغذیه‌ای این دسته از میان وعده‌ها به گونه‌ای که ویژگی‌های کیفی آن دستخوش تغییرات نامطلوب نشود، الزامی است [۲]. یکی از روش‌های تولید اسنک، اکستروژن می‌باشد. فناوری اکستروژن فرایند دما بالا- زمان کوتاه است که به طور فزاینده‌ای در صنایع غذایی برای توسعه فراورده‌های جدید مانند اسنک‌ها، غذای کودک، غلات صبحانه و نشاسته‌های اصلاح شده استفاده می‌شود. فرایند اکستروژن باعث غیرفعال شدن آنزیم‌ها، میکروب‌ها و بسیاری از عوامل ضدتغذیه‌ای می‌شود [۳]. گردو به علت دارا بودن اسیدهای چرب غیر اشباع، آرژنین و فیبر از اهمیت تغذیه‌ای بالایی برخوردار است [۴]. مغز گردو دارای حدود ۷۰-۶۰٪ چربی و ۲۴٪ پروتئین است [۵]. میزان ترکیبات شیمیایی و درصد روغن آن وابسته به رقم متفاوت است [۶]. روغن گردو به‌دلیل غنی بودن از اسیدهای چرب غیراشباع به خصوص امگا ۳ و ترکیبات آنتی‌اکسیدان، دارای خواص تغذیه‌ای فراسودمندی مانند بهبود سیستم گوارشی، کاهش کلسترول خون و بیماری‌های قلبی عروقی می‌باشد [۷]. محققان نشان داده‌اند که مصرف مغزهای خوراکی در کاهش کلسترول بد خون و بیماری‌های قلبی و عروقی، انواع سرطان و دیابت نقش مهمی دارند [۸، ۹]. بنابراین از مغز گردو می‌توان برای تولید تنقلات اکستروژن شده پر انرژی استفاده کرد. با وجود اینکه گردو یک منبع مغذی برای تغذیه انسان است و اثرات مثبت زیادی روی سلامت انسان دارد ولی میزان مصرف آن در رژیم غذایی بسیار اندک و ناچیز است [۴]. ذرت سرشار از مواد مغذی مورد نیاز برای بدن بوده و نیز منبع خوبی از فیبر محسوب می‌شود و سرشار از کالری است. ذرت سرشار از ویتامین‌های گروه C، B، A و املاح معدنی کلسیم، پتاسیم، فسفر و آهن است و قسمت اعظم آن را مواد نشاسته‌ای تشکیل می‌دهد. نشاسته بیشترین کربوهیدرات موجود در ذرت را تشکیل می‌دهد و ۲۸ تا ۸۰٪ از وزن خشک ذرت را تشکیل می‌دهد. مقدار فیبر ذرت در

اتومات Gerhardt مدل VAP20 ساخت آلمان و چربی با استفاده از دستگاه سوکسله اتومات شرکت سازنده گرهارد ساخت آلمان اندازه‌گیری شد.

۱۲۰ C° و رطوبت ۲۰٪ خوراک بود [۱۴].

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. آماده‌سازی مواد اولیه

مواد اولیه مورد استفاده در این پژوهش شامل مغز گردو و بلغور ذرت بود. مغز گردو از عمده فروشی واقع در شهرستان نیشابور و بلغور ذرت از کارخانه ذرت طلایی مشهد خریداری شد.

۲.۲. آماده‌سازی فرمولاسیون خوراک ورودی

با استفاده از آزمایشات مقدماتی، مقادیر کمینه و بیشینه برای هریک از متغیرها سرعت چرخش ماردون، درصد مغز گردو و رطوبت خوراک ورودی تعیین گردید. جهت تهیه مخلوط خوراک ورودی اکستروژن، اختلاط بلغور ذرت و مغز گردو صورت گرفت و از مش ۴۰ عبور داده شد در ادامه با توجه به سطوح تحت بررسی و با استفاده از مربع پیرسون نسبت‌های میزان آب به مخلوط افزوده و پس از ۱۵ min مخلوط کردن، نمونه‌ها در کیسه‌های پلی اتیلنی بسته بندی شدند و به منظور یکنواخت سازی رطوبت، به مدت یک شب در دمای محیط قرار داده شد.

۳.۲. فرایند پخت اکستروژن

برای انجام این پژوهش از اکسترودر دو ماریپچ همسوگرد مدل DS56 ساخت شرکت Jinan Saixin کشور چین مستقر در پایلوت اکستروژن پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاددانشگاهی استفاده شد. در این پژوهش اثر افزودن مغز گردو ۷-۲۱٪، رطوبت خوراک ورودی ۱۲-۱۸٪ و سرعت چرخش ماردون ۱۲۰-۱۸۰ rpm در دمای ۱۴۰°C بر ویژگی‌های فرآورده حجیم بررسی گردید. به منظور تعدیل رطوبت تا رسیدن به کمتر از سه درصد، فرآورده اکسترودر شده خروجی روی نوار نقاله خشک‌کن تونلی با دمای ۳۰°C درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. در انتها نمونه‌ها در کیسه‌های پلی اتیلنی کد گذاری شده زیب دار قرار گرفتند و تا زمان انجام آزمایشات تکمیلی دور از نور و در دمای اتاق نگهداری شدند.

۵.۲. شاخص جذب آب

شاخص جذب آب (WAI) میزان آب جذب شده توسط گرانول یا پلیمر نشاسته پس از تورم در آب اضافی را اندازه‌گیری می‌کند و می‌تواند به‌عنوان شاخص ژلاتیناسیون استفاده کرد. جهت اندازه‌گیری ضریب جذب آب میزان ۱-۰/۵ g از نمونه پودر شده اسنک به فالکونی که از قبل توزین شده اضافه گردید، سپس ۱۰ ml آب مقطر به مخلوط اضافه شد و در دمای محیط به مدت ۱۰ min با شیکر هم زده می‌شود. در مرحله بعد مخلوط حاصل در سانتریفیوژ شرکت سازنده هرولب و ساخت آلمان، با سرعت ۳۰۰۰ دور به مدت ۲۰ min سانتریفیوژ گردید. در نهایت مایع-رویی را از فالکون خارج کرده و ژل باقی‌مانده توزین شد. از طریق معادله (۱) شاخص جذب آب براساس g.g محاسبه گردید [۱۵].

$$(1) \quad \text{شاخص جذب آب} = \frac{\text{وزن ژل باقی مانده}}{\text{وزن نمونه خشک}}$$

۶.۲. شاخص انحلال در آب

شاخص انحلال در آب (WSI) میزان پلی‌ساکاریدهای آزاد یا پلی‌ساکاریدهای آزاد شده از گرانول پس از افزودن آب اضافی را اندازه‌گیری می‌کند. همچنین این آزمون می‌تواند به‌عنوان شاخص از هم پاشیدگی ترکیبات ملکولی و اندازه‌گیری درجه تبدیل نشاسته طی اکستروژن محسوب گردد [۱۶]. جهت اندازه‌گیری ضریب حلالیت محلول حاصل از سانتریفیوژ، ژل باقی مانده از آزمون جذب آب، در یک پلیتی که از قبل توزین شده بود اضافه گردید و سپس پلیت در آون هوای داغ بادمای ۱۰۵°C قرار گرفت تا آب آن به طور کامل تبخیر گردد و در نهایت پلیت به همراه رسوبات موجود توزین و در نهایت از طریق معادله (۲) شاخص انحلال در آب به صورت درصد بیان گردید [۱۵].

$$(2) \quad \text{شاخص انحلال در آب} =$$

$$100 \times \frac{\text{وزن ماده خشک محلول در مایع رویی فالکون}}{\text{وزن نمونه}}$$

۴.۲. اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی و میزان رطوبت

میزان رطوبت، چربی و خاکستر بر اساس استاندارد AACC اندازه‌گیری گردید. میزان پروتئین با استفاده از دستگاه کلدال

۷.۲. شاخص جذب روغن

شاخص جذب روغن (OAI) بیانگر میزان ماهیت چربی دوستی فراورده می‌باشد و نشان‌دهنده گروه‌های آبگریز موجود در نمونه می‌باشد. جهت اندازه‌گیری ضریب جذب روغن حدود ۱g-۲ از نمونه اسنک پودر شده در فالدکونی که از قبل توزین شده اضافه گردید و سپس حدود ۲ml روغن به آن اضافه شد و با شیکر لوله شرکت سازنده ولپ و ساخت کشور ایتالیا، حدود ۱۰min همزده شد. در مرحله بعد مخلوط حاصل در سانتیفریژ با دور سرعت ۳۰۰۰ به مدت ۲۰ min سانتیفریژ گردید و در انتها روغن رویی دور ریخته و ژل باقی مانده توزین شد. از طریق معادله (۳) حجم روغن جذب شده بر اساس ml.g محاسبه شد [۱۶].

$$(3) \quad \text{حجم روغن جذب شده} = \frac{\text{حجم روغن جذب شده}}{\text{وزن نمونه}} \times \text{شاخص جذب روغن}$$

۸.۲. نسبت انبساط

ابتدا ۱۰ عدد از فراورده اکستروود شده از هر تیمار به صورت تصادفی انتخاب شد و سپس با استفاده از کولیس دیجیتال اینسایز ساخت کشور چین، سه نقطه از قطر آن اندازه گیری شد. از نتایج حاصله میانگین گرفته تا متوسط قطر فراورده به دست آید و قطر قالب دستگاه اکستروژن (۲/۵ mm) اندازه گیری و در نهایت توسط رابطه (۴) نسبت انبساط براساس mm محاسبه شد [۱۷].

$$(4) \quad \text{نسبت انبساط} = \frac{\text{میانگین قطر اسنک}}{\text{قطر منفذ قالب}}$$

۹.۲. بافت سنجی

بافت اسنک‌ها با استفاده از دستگاه آنالیز بافت، مدل TA-Plus، ساخت شرکت لویید انگلستان ارزیابی شد. به صورت تصادفی

۵ عدد از فراورده‌های اکستروود شده انتخاب شد، و تحت اثر پروب مخصوص آزمون نفوذ قرار داده شدند. سرعت حرکت پروب قبل از نفوذ و در حین نفوذ ۱ mm.s و همچنین تا عمق 10 mm بود. پس از انجام آزمون نیز مقدار بیشینه نیرو محاسبه شد.

۱۰.۲. طرح آزمایشات و تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش از روش سطح پاسخ RSM به روش باکس بنکن Box-Behnken جهت بررسی اثر متغیرهای آزمایش استفاده شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار Design Expert 11.0.0 انجام شد. متغیرهای مستقل شامل درصد مغز گردو، سرعت چرخش ماردون و رطوبت خوراک ورودی بود که در جدول (۱) آمده است.

۳. نتایج و بحث

۱.۲. ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی مواد اولیه

ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی مغز گردو و بلغور ذرت در جدول (۲) ارائه شده است.

۲.۳. تاثیر متغیرهای شرایط فرایند و فرمولاسیون بر شاخص جذب آب

بر اساس نتایج آنالیز واریانس شاخص جذب آب با مقدار p کمتر از ۰/۰۵ بر پاسخ معنی‌دار بود که در جدول (۳) آمده است. آزمون ضعف برازش مدل انتخاب شده بر پاسخ معنی‌دار نبود که نشان-دهنده برازش خوب داده‌ها با مدل است. با توجه به در شکل ۱، با افزایش درصد مغز گردو میزان شاخص جذب آب کاهش یافت. با توجه به متغیرها، معادله برازش داده شده در مورد WAI با شماره (۵) آورده شده است:

جدول (۱) سطوح متغیرهای مستقل فرایند و کدهای مربوطه.

Table 1. Independent factors with their codes.

کد و سطح مربوطه Code and levels			نماد abbreviate	متغیرهای مستقل Independent factors
+1	0	-1		
180	150	120	A	سرعت چرخش ماردون Screw speed (rpm)
21	14	7	B	درصد مغز گردو Walnut ratio (%)
18	15	12	C	درصد رطوبت Moisture content (%)

۳.۳. تاثیر متغیرهای شرایط فرایند و فرمولاسیون بر شاخص انحلال در آب

بر اساس جدول آنالیز واریانس انحلال در آب با مقدار p کمتر از ۰/۰۵ بر پاسخ معنی‌دار بود که در جدول (۴) آمده است. آزمون ضعف برازش مدل انتخاب شده بر پاسخ معنی‌دار نبود که نشان-دهنده برازش خوب داده‌ها با مدل است. با توجه به متغیرها، معادله برازش داده شده در مورد WSI به شماره (۶) آورده شده است:

$$WSI = (6) \\ 39.19 + 5.39 A + 2.31 B - 2.41 C - 9.00 AB + 0.4688 AC - 0.7634 BC + 13.76 A^2 + 3.42 B^2 - 6.40 C^2$$

شاخص انحلال، قدرت یا میزان تورم گرانول‌ها و تجزیه ملکولی را بیان می‌کند و شاخصی از میزان پلی‌ساکاریدهای محلول آزاد شده از اجزا نشاسته بعد از اکستروژن و تولید ترکیباتی با وزن ملکولی کم می‌باشد [۱۶]. با توجه به شکل (۲) مشاهده شد با افزایش درصد مغز گردو میزان شاخص انحلال در آب افزایش یافت. به دلیل اینکه فیبر و پروتئین شکسته شده و میزان انحلال در آب افزایش یافته است. گوجسا و همکاران تحقیقاتی روی فراورده اکستروژن شده حاوی ذرت و آرد لوبیای پینتو انجام دادند که مشخص شد با افزودن میزان لوبیا، بخشی از ترکیبات فیبری نامحلول به ترکیباتی با وزن ملکولی کم شکسته شدند و در نتیجه انحلال در آب افزایش یافت [۱۹]. با توجه به شکل (۲) با افزایش سرعت ماردون، میزان شاخص انحلال در آب افزایش یافت. از آنجا که با افزایش سرعت ماردون نیروی برشی افزایش می‌یابد، تخریب درشت مولکول‌ها به مولکول‌های کوچک بیشتر می‌شود، در نتیجه وزن ملکولی نشاسته و ترکیبات پلیمری کاهش یافته و شاخص انحلال در آب افزایش می‌یابد [۲۳]. نتایج اثر سرعت چرخش ماردون با نتایج سببو و چنگ و گوها و همکاران و مطابقت داشت [۲۴، ۲۵]. با توجه به شکل (۲)، با افزایش رطوبت خوراک میزان شاخص انحلال در آب کاهش یافته است. افزایش میزان رطوبت منجر به کاهش تخریب نشاسته و در نتیجه کاهش میزان انحلال در آب فراورده اکستروژن شده گردید. نتیجه رطوبت خوراک ورودی بر شاخص انحلال در آب با نتایج دینگ و همکاران در خصوص فراورده اکستروژن شده با آرد برنج [۲۶]، لی و همکاران در خصوص فراورده اکستروژن شده با آرد برنج [۲۷] و کومار و همکاران در خصوص فراورده اکستروژن شده با پوره هویج و آرد برنج مشابه بود [۲۸].

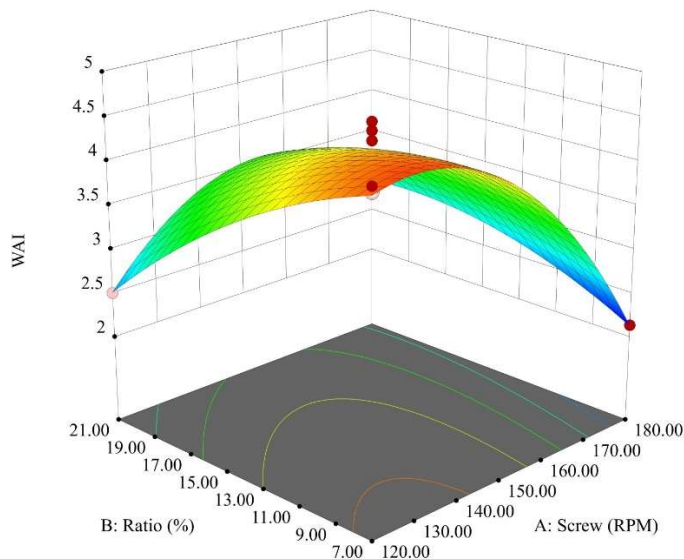
جدول (۲) ویژگی‌های مغز گردو و بلغور ذرت.

Table 2. Composition of Walnut and maize grit.

بلغور ذرت maize grit	مغز گردو Walnut	آزمون Component
11.8	3.2	رطوبت Moisture (%)
3.1	58.2	درصد چربی Fat (%)
7.07	15.3	درصد پروتئین Protein (%)
0.95	2.4	درصد خاکستر Ash (%)

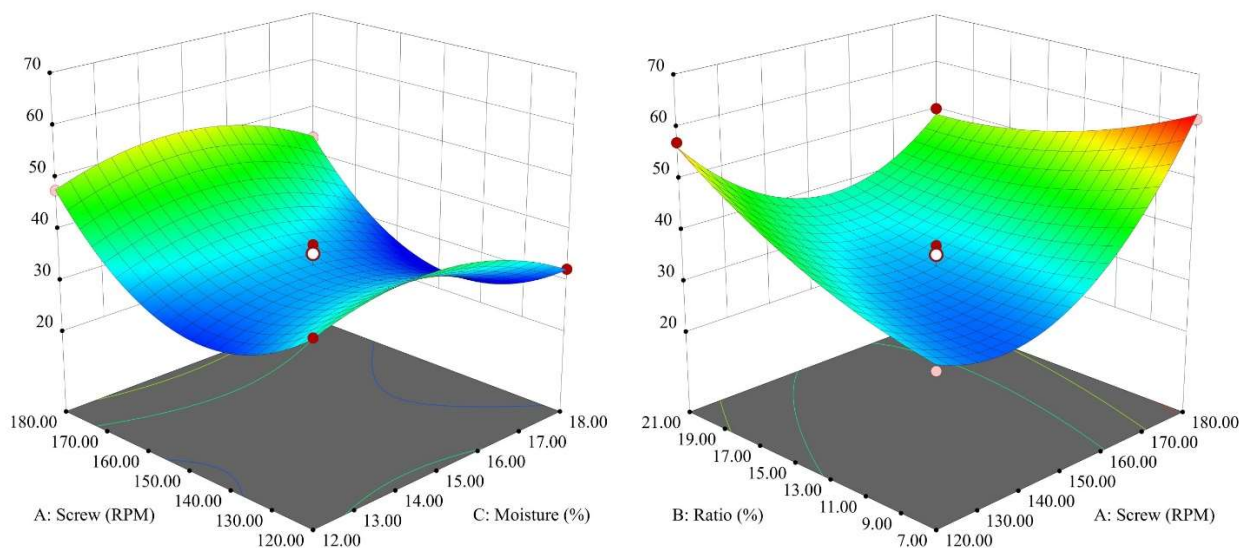
$$WAI = (5) \\ 4.15 - 0.5171 A - 0.3199 B + 0.0884 C + 0.7057 AB - 0.0559 AC + 0.1128 BC - 0.8695 A^2 - 0.2568 B^2 + 0.6382 C^2$$

کولونا و همکاران تحقیقی در مورد فراورده اکستروژن شده برنج حاوی آرد کنجاله روغن‌گیری شده بادم زمینی انجام دادند، که با افزودن آرد کنجاله چربی‌گیری شده بادم زمینی میزان شاخص جذب آب به دلیل کاهش دسترسی به مولکول‌های آب بر ژلاتیناسیون نشاسته تاثیر گذاشته و سبب کاهش جذب آب گردیده است [۱۸]. گوجسا و همکاران تحقیقاتی روی فراورده اکستروژن شده حاوی ذرت و آرد لوبیای پینتو (Pinto Beans) انجام دادند که مشخص شد با افزودن میزان لوبیا، به دلیل وجود فیبر نامحلول در آن و همچنین کاهش میزان اولیه نشاسته در فرمولاسیون، از میزان جذب آب و ژلاتیناسیون کاسته شد [۱۹]. با توجه به شکل (۱)، با افزایش سرعت ماردون میزان شاخص جذب آب کاهش یافت. با افزایش سرعت ماردون نیروی برشی افزایش می‌یابد و میزان تخریب شاخه‌های پلیمری را افزایش می‌دهد، در نتیجه قابلیت اتصال گروه‌های آب دوست به مولکول‌های آب کاهش می‌یابد. این امر منجر به کاهش میزان WAI می‌شود [۲۰]. طبق تحقیقات بادری و همکاران روی فراورده اکستروژن شده بر پایه ذرت و کاساوا که با افزایش سرعت چرخش ماردون میزان شاخص جذب آب کاهش یافته که علت آن را افزایش میزان برش و تغییر در ساختار ملکولی مخلوط خمیری در اکستروژر و کاهش زمان تماس مواد در دمای بالای اکستروژر اعلام نمودند [۲۱]. نتایج مشابهی در رابطه با اثر چرخش ماردون بر جذب آب برای اسنک بر پایه آرد جو و تفاله گوجه‌فرنگی [۳] و برای اسنک بر پایه تفاله میوه [۲۲] مشاهده گردید.



شکل (۱) اثر متغیرهای سرعت ماردون و درصد مغز گردو بر WAI

Fig 1. Effect of screw speed and Walnut ratio on WAI



شکل (۲) اثر متغیرهای سرعت ماردون، رطوبت خوراک و درصد مغز گردو بر WSI

Fig 2. Effect of screw speed, moisture content and Walnut ratio on WSI

مناسب مدل می‌باشد و بیانگر این است که نقاط به خوبی در اطراف مدل قرار گرفته است. عبارت‌های معنی‌دار در این آزمون شامل سرعت چرخش ماردون، رطوبت خوراک ورودی و درصد مغز گردو می‌باشد ($p \leq 0/05$). با توجه به متغیرها، معادله برازش داده شده در مورد جذب روغن به شماره (۷) آورده شده است:

۴.۳. تاثیر متغیرهای شرایط فرایند و فرمولاسیون بر شاخص جذب روغن

مطابق جدول آنالیز واریانس مدل برازش یافته با مقدار p کمتر از $0/05$ بر پاسخ معنی‌دار بود که در جدول (۵) آمده است. ضعف برازش مربوط به مدل معنی‌دار نبوده که نشان‌دهنده برازش

جدول (۳) نتایج آنالیز واریانس مدل سطح پاسخ شاخص WAI.

Table 3. ANOVA analysis of RSM model for WAI.

نتیجه	مقدار p P-value	احتمال F-value	میانگین مربعات Adj. MS	درجه آزادی DF	مجموع مربعات Adj. SS	مدل Source
**	0.000	19.16	1.08	9	10.05	مدل Model
**	0.000	34.49	1.95	1	2.14	سرعت چرخش ماردون (A) Screw speed (rpm) (A)
**	0.00	12.43	0.7	1	0.81	درصد مغز گردو (B) Walnut ratio (%) (B)
n.s	0.3	1.04	0.0625	1	0.0625	رطوبت خوراک ورودی (C) Moisture content (%) (C)
**	0.000	33.012	1.99	1	1.99	AB
n.s	0.6	0.2074	0.0125	1	0.0125	AC
n.s	0.3	0.8457	0.0509	1	0.0509	BC
**	0.000	52.92	3.18	1	3.18	A ²
*	0.06	4.61	0.2776	1	0.2776	B ²
**	0.00	52.92	1.71	1	1.71	C ²
			0.05	7	0.4211	باقیمانده Residual Error
n.s	0.99	0.03	2.87	3	0.0345	ضعف برازش Lack of fit
			0.09	4	0.386	خطای خالص Pure Error

* معنی‌دار در سطح ۵ درصد، * معنی‌دار در سطح ۱۰ درصد، n.s عدم معنی‌داری

**Very significant (p<0.05), * significant (p<0.1), n.s. None significant

جذب روغن این مطالعه با نتایج به دست آمده توسط محققان برای فراورده‌های اکستروژن شده حاصل از آرد لوبیا [۱۹] و آرد برنج [۳۰] و آرد ذرت و مخلوط آرد ذرت و عدس [۱۶] مطابقت داشت. با افزایش میزان درصد مغز گردو جذب روغن افزایش یافته است. که به دلیل افزایش میزان فیبر می‌باشد. دشیانده و همکاران به بررسی مشخصات فیزیکی و حسی فراورده اکستروژن شده حاوی آرد ارزن پرداختند که که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. این محقق اعلام نمود که با افزایش سطوح آرد ارزن مصرفی به دلیل افزایش فیبر جذب روغن فراورده اکستروژن شده تولید افزایش یافت [۳۱].

۵.۳. تاثیر متغیرهای شرایط فرایند و فرمولاسیون بر

نسبت انبساط

مطابق جدول آنالیز واریانس مدل برازش یافته با مقدار p کمتر از ۰/۰۵ بر پاسخ معنی‌دار بود که در جدول (۶) آورده شده است. ضعف برازش مربوط به مدل معنی‌دار نبوده که نشان‌دهنده برازش

$$OAI = 193.30 + 20.83 A + 22.35 B + 14.15 C + 17.79 AB - 17.50$$

$$AC + 4.97 BC + 16.06 A^2 + 22.01 B^2 - 24.73 C^2$$

به طور کلی شاخص جذب روغن می‌تواند به عنوان شاخص آبریزی فراورده اکستروژن شده مورد بررسی قرار گیرد [۲۹]. افزایش رطوبت به دلیل نقش نرم‌کنندگی باعث کاهش اثر دمای فرایند بر ماده شده و در نتیجه درجه پخت و میزان دکسترینه شدن را کاهش می‌دهد و در نتیجه کوچک شدن مولکول‌ها، شاخص جذب روغن کاهش می‌یابد. همچنین افزایش رطوبت به دلیل کاهش ویسکوزیته و زمان ماندن ماده در داخل اکستروژر، تجزیه مولکولی و در نتیجه شاخص جذب روغن را کاهش می‌دهد. در سوی مقابل افزایش سرعت چرخش ماردون نیز ممکن است به دلیل افزایش تنش برشی و افزایش دکسترینه کردن نشاسته موجب افزایش شاخص جذب روغن شود. نتایج مشابهی نیز در مطالعه بر روی آرد ذرت و مخلوط آرد ذرت عدس [۱۶]. نتایج

جدول (۴) نتایج آنالیز واریانس مدل سطح پاسخ شاخص WSI.

Table 4. ANOVA analysis of RSM model for WSI.

نتیجه	مقدار p P-value	احتمال F-value	میانگین مربعات Adj. MS	درجه آزادی DF	مجموع مربعات Adj. SS	مدل Source
**	0.000	67.72	172.87	9	1555.87	مدل Model
**	0.000	90.94	232.16	1	232.16	سرعت چرخش ماردون (A) Screw speed (rpm) (A)
**	0.00	16.71	42.65	1	42.65	درصد مغز گردو (B) Walnut ratio (%) (B)
**	0.00	18.19	46.43	1	46.43	رطوبت خوراک ورودی (C) Moisture content (%) (C)
**	0.000	126.78	323.65	1	323.65	AB
n.s	0.57	0.344	0.8791	1	0.8791	AC
n.s	0.37	0.913	2.33	1	2.33	BC
**	0.000	268.57	685.59	1	685.59	A ²
*	0.01	9.67	24.67	1	24.67	B ²
**	0.000	90.20	230.26	1	230.26	C ²
			17.87	7	17.87	باقیمانده Residual Error
n.s	0.39	4.06	8.79	3	8.79	ضعف برازش Lack of fit
			2.27	4	9.08	خطای خالص Pure Error

* معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح ۱۰ درصد، n.s عدم معنی‌داری

**Very significant (p<0.05), * significant (p<0.1), n.s. None significant

الاستیسیته مواد مربوط می‌شود. همچنین میزان نسبت انبساط به درجه ژلاتینه شدن نشاسته بستگی دارد. هاشمی و همکاران در بررسی‌هایی که در مورد بافت فراورد اکستروود شده با کنجاله بادام انجام دادند دریافتند که با افزایش فیبر در فرمولاسیون نسبت انبساط کاهش پیدا کرده است [۳۲]. نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققین گزارش شده است [۱۳، ۳۳]. از نظر آنها کاهش نسبت انبساط نمونه‌ها ممکن است به علت افزایش میزان پروتئین و فیبر در نتیجه کاهش میزان نشاسته باشد. لازم به توضیح است که پروتئین نمی‌تواند به خوبی نشاسته منبسط شود که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. در این پژوهش به دلیل اینکه گردو مقدار قابل توجهی فیبر، چربی و پروتئین دارد باعث کاهش نسبت انبساط شده است. ناسیمنتو و همکاران نیز با مطالعه بر روی اسنک‌هایی بر پایه بلغور ذرت دریافتند که افزایش کنجاله کنجد به دلیل مقدار زیاد فیبر و پروتئین آن باعث کاهش انبساط اسنک‌ها شد [۳۴]. احمد و همکاران نیز با مطالعه روی کیفیت فیزیکی، شیمیایی، ساختاری و حسی اسنک بر پایه ذرت و کتان دریافتند که آرد کتان به دلیل چربی و پروتئین بالاتر باعث کاهش

مناسب مدل می‌باشد و بیانگر این است که نقاط به خوبی در اطراف مدل قرار گرفته است و می‌توان از مدل برای پیش‌گویی مقادیر متغیرهای تابع استفاده نمود. عبارت‌های معنی‌دار شامل اثر مستقل درصد مغز گردو و رطوبت خوراک ورودی می‌باشد. بیشترین میزان انبساط معادل ۵۱۹/۱ بود که در درصد مغز گردو ۷٪ و رطوبت ۱۵٪ حاصل شد. در شکل (۴) نمودار سه بعدی تأثیر عوامل متغیر بر نسبت انبساط نشان داده شده است. با توجه به متغیرهای دارای اثر معنی‌دار، معادله برازش داده شده در مورد نسبت انبساط به شماره (۸) آورده شده است:

$$\text{Expansion rate} = 450.18 - 5.38 A - 23.86 B + 10.72 C \quad (8)$$

با افزایش درصد مغز گردو نسبت انبساط کاهش یافت، اما افزایش رطوبت خوراک ورودی نتیجه معکوس بر نسبت انبساط داشت. نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد که رطوبت خوراک ورودی اثر خطی از نوع افزایش بر میزان نسبت انبساط دارد. وابستگی زیاد انبساط به رطوبت به تأثیر آن بر ویژگی‌های

جدول (۵) نتایج آنالیز واریانس مدل سطح پاسخ شاخص جذب روغن.

Table 5. ANOVA analysis of RSM model for Oil absorption.

نتیجه	مقدار p P-value	احتمال F-value	میانگین مربعات Adj. MS	درجه آزادی DF	مجموع مربعات Adj. SS	مدل Source
**	0.00	10.50	1901.78	9	1711	مدل Model
**	0.00	19.71	3472.28	1	3472.28	سرعت چرخش ماردون (A) Screw speed (rpm) (A)
**	0.00	22.06	3995.24	1	3995.24	درصد مغز گردو (B) Walnut ratio (%) (B)
**	0.02	8.84	1601.64	1	1601.64	رطوبت خوراک ورودی (c) Moisture content (%) (C)
*	0.03	6.99	1265.33	1	1265.33	AB
*	0.03	6.77	1225.11	1	1225.11	AC
n.s	0.48	0.5452	98.72	1	98.72	BC
*	0.04	6.00	1085.87	1	1085.87	A ²
*	0.01	11.26	2039.06	1	2039.06	B ²
			181.09	7	1267.65	باقیمانده Residual Error
n.s	0.9597	0.094	27.71	3	83.13	ضعف برازش Lack of fit
			296.13	4	1184.52	خطای خالص Pure Error

عدم معنی داری n.s * معنی دار در سطح ۵ درصد، * معنی دار در سطح ۱۰ درصد، *

**Very significant (p<0.05), * significant (p<0.1), n.s. None significant

جدول (۶) نتایج آنالیز واریانس مدل سطح نسبت انبساط.

Table 6. ANOVA analysis of RSM model for Expansion ratio.

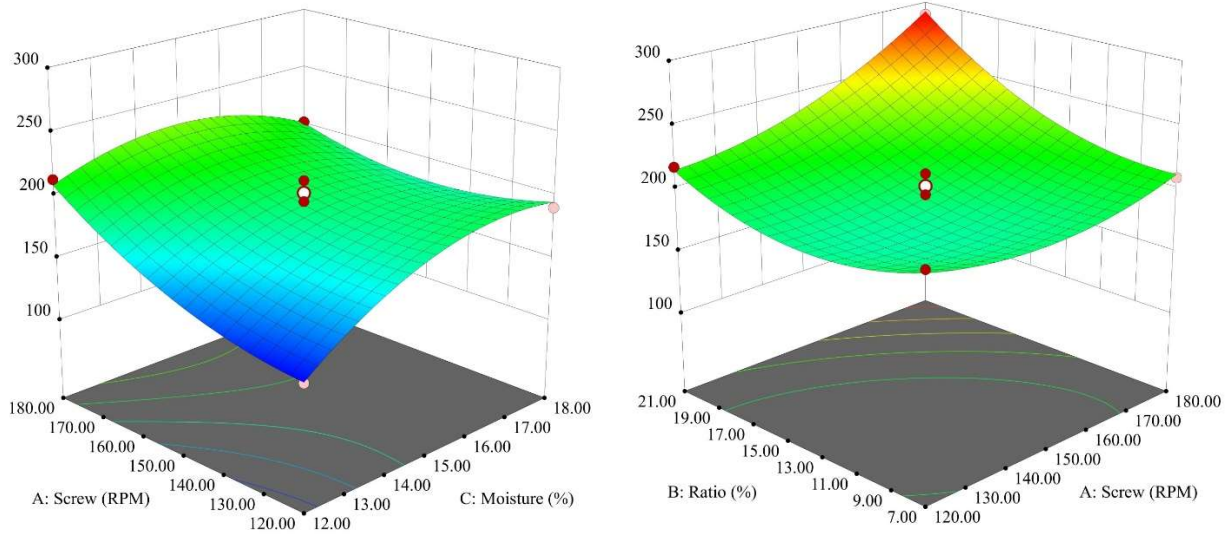
نتیجه	مقدار p P-value	احتمال F-value	میانگین مربعات Adj. MS	درجه آزادی DF	مجموع مربعات Adj. SS	مدل Source
**	0.000	104.89	1902.39	3	5707.16	مدل Model
**	0.00	12.78	231.77	1	231.77	سرعت چرخش ماردون (A) Screw speed (rpm) (A)
**	0.000	251.18	4555.8	1	4555.8	درصد مغز گردو (B) Walnut ratio (%) (B)
**	0.00	50.70	919.56	1	919.56	رطوبت خوراک ورودی (c) Moisture content (%) (C)
			20.77	13	269.99	باقیمانده Residual Error
n.s	0.990	2.25	25.05	9	225.46	ضعف برازش Lack of fit
			11.13	4	44.53	خطای خالص Pure Error

عدم معنی داری n.s * معنی دار در سطح ۵ درصد، * معنی دار در سطح ۱۰ درصد، *

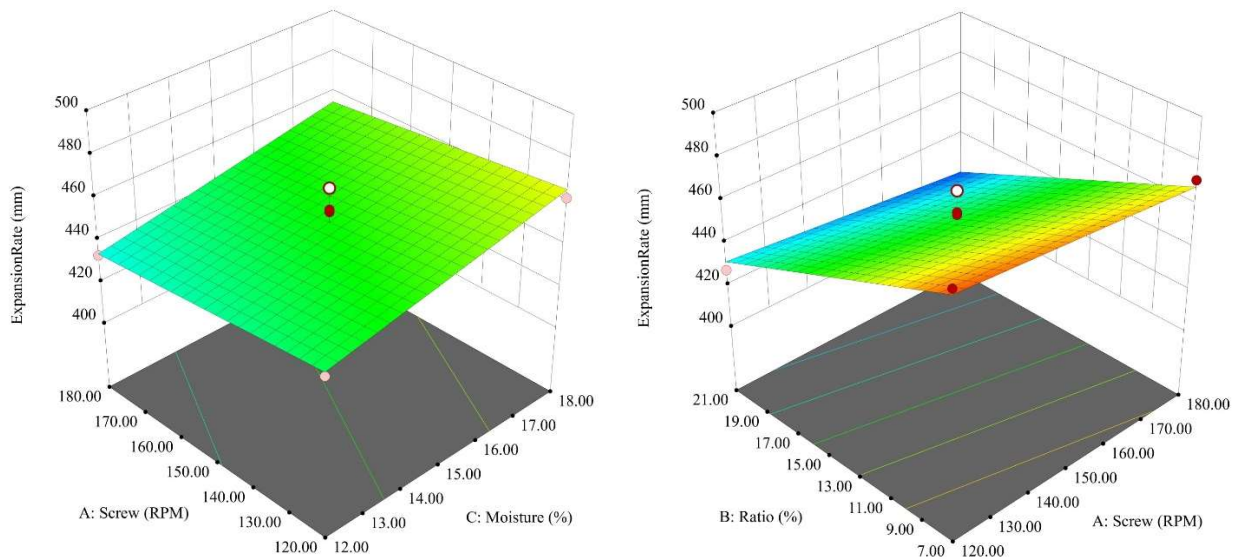
**Very significant (p<0.05), * significant (p<0.1), n.s. None significant

و جلوگیری از تشکیل و گسترش سلول هوایی می باشد. افزایش فیبر در فراورده اکستروژن شده باعث ایجاد ساختاری متراکم و سلول‌های هوایی کوچک‌تری ایجاد می‌شود و سبب کاهش انبساط گردید [۳۶]. در شکل (۴) با افزایش سرعت چرخش

نسبت انبساط شده است [۳۵]. فیوضی و همکاران اسنک حاوی آرد کنجاله بنه را مطالعه کردند و مشاهده کردند که با افزایش آرد کنجاله بنه نسبت انبساط کاهش یافته که به دلیل مقدار فیبر موجود در آرد کنجاله بنه و تاثیر فیبر در ایجاد سوراخ در دیواره



شکل (۳) اثر متغیرهای سرعت ماردون، درصد مغز گردو و رطوبت خوراک بر شاخص جذب روغن
Fig 3. Effect of screw speed, moisture content and Walnut ratio on oil absorption



شکل (۴) اثر متغیرهای درصد مغز گردو و رطوبت خوراک بر نسبت انبساط
Fig 4. Effect of moisture content and Walnut ratio on expansion ratio.

انبساط افزایش یافته است. رطوبت مسئول تشکیل بخار در فرآورده اکستروود شده است؛ این پدیده منجر به ژلاتینه شدن نشاسته و انبساط بیشتر فرآورده اکستروود شده می شود. همان طور که انتظار می رود، با افزایش رطوبت خوراک ورودی ویسکوزیته ماده مذاب فرآورده اکستروود شده به علت وجود آب بیشتر برای تشکیل بخار کاهش می یابد، و همه این عوامل باعث افزایش حباب‌های هوا شده و دیواره سلولی کوچک تر می شود

ماردون نسبت انبساط کاهش یافت. با افزایش سرعت چرخش ماردون زمان ماند ماده مذاب داخل محفظه اکستروودر کاهش یافته و باعث می شود که سطح ژلاتینه شدن نشاسته و انبساط فرآورده اکستروود شده کاهش یابد [۳۳]. لی و همکاران روی فرآورده اکستروود شده بر پایه نشاسته ذرت با استفاده از تزریق دی اکسید کربن فوق بحرانی به نتایج مشابه این پژوهش رسیدند [۳۷]. در شکل (۴) با افزایش رطوبت خوراک ورودی نسبت

به خصوص در دمای بالای اکستروژن سبب کاهش سختی نمونه‌های اسنک تولید شده بر پایه گندم گردید [۱۷]. در دمای بالا ژلاتیناسیون نشاسته افزایش یافته و سبب کاهش سختی فراورده می‌شود. این پدیده به افزایش حجم و کاهش چگالی فراورده اکستروژن شده کمک می‌کند [۳۹]. کاهش میزان سختی با افزایش سرعت چرخش ماردون در پژوهش‌های انجام شده در مورد فراورده‌های اکستروژن شده ذرت نیز گزارش شده است [۳، ۴۰]. در شکل (۵) با افزایش مغز گردو میزان سختی فراورده افزایش یافت، که این به دلیل فیبر و چربی موجود در مغز گردو می‌باشد. چربی با خاصیت روان کنندگی می‌تواند باعث کاهش اختلاف فشار درون محفظه اکستروژن و فضای بیرونی شده و باعث کاهش انبساط و کاهش ژلاتیناسیون نشاسته شده و سختی افزایش می‌یابد. یکی از عواملی که روی سختی اثر می‌گذارد فیبر نامحلول است. با افزایش فیبر ضخامت دیواره سلولی افزایش پیدا کرده و سختی فراورده افزایش می‌یابد [۴۱]. تاورنا و همکاران نیز گزارش کردند که با افزایش چربی و پروتئین خواص ویسکوالاستیک ماده مذاب فراورده اکستروژن شده دچار تغییر شده و ساختار ماتریکس نشاسته سخت‌تر می‌شود [۴۳].

۷.۳. بهینه‌یابی شرایط اکستروژن و فرمولاسیون

شرایط عملیاتی بهینه با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی جستجو شد. این بهینه‌سازی به منظور رسیدن به محصولی با ویژگی‌های مطلوب برای کاربرد در محصولات غذایی می‌باشد. ویژگی‌هایی که در شرایط بهینه مورد توجه قرار گرفت شامل روشنایی، چگالی ذره، نسبت انبساط و سختی بود (جدول ۳).

۴. نتیجه‌گیری

در مجموع فناوری اکستروژن موجب ایجاد ویژگی‌های مطلوب در اسنک بر پایه گردو و بلغور ذرت شد. در این پژوهش سعی بر این بود که شرایط فرایند اکستروژن به گونه‌ای تنظیم شود که ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری در خصوص فراورده، نشان‌دهنده کیفیت بالا و مطلوبیت آن باشد. می‌توان از ترکیب گردو و بلغور ذرت، فراورده اکستروژن شده با ارزش تغذیه‌ای بالا به‌عنوان جایگزین مناسب اسنک‌های رایج کنونی تولید نمود. گردو با توجه به میزان پروتئین و چربی بالا می‌تواند به‌عنوان پرکننده مطلوب

[۳۲]. نتایج مشابهی توسط هاشمی و همکاران (۲۰۱۷) در تولید فراورده اکستروژن شده بر پایه کنجاله بادام چربی گیری شده با آرد ذرت مشاهده شد [۳۲].

۶.۳. تاثیر متغیرهای شرایط فرایند و فرمولاسیون بر سختی

مطابق جدول آنالیز واریانس مدل برازش یافته با مقدار p کمتر از ۰/۰۵ بر پاسخ معنی‌دار بود که در جدول (۷) آورده شده است. ضعف برازش مربوط به مدل معنی‌دار نبوده که نشان‌دهنده برازش مناسب مدل می‌باشد و بیانگر این است که نقاط به خوبی در اطراف مدل قرار گرفته است و می‌توان از مدل برای پیش‌گویی مقادیر متغیرهای تابع استفاده نمود. سرعت چرخش ماردون (A) و درصد مغز گردو (B) تاثیر معنی‌داری بر سختی داشت ($p \leq 0.05$). در شکل (۵) اثر مستقل عوامل متغیر بر سختی نشان داده شده است. با توجه به متغیرهای دارای اثر معنی‌دار، معادله برازش داده شده در مورد سختی به شماره (۹) آورده شده است:

$$(9) \text{ Hardness} = 3.31 - 0.2597 A + 0.2406 B + 0.0627 C - 0.4392 AB - 0.0046 AC - 0.2130 BC - 0.6228 A^2 - 0.2868 B^2 + 0.1899 C^2$$

سختی مقدار حداکثر نیروی مورد نیاز پروب برای نفوذ به داخل فراورده می‌باشد. هرچه میزان حداکثر نیرو بیشتر باشد میزان سختی بیشتر است. در شکل (۵) با افزایش سرعت چرخش ماردون سختی کاهش یافته است. اثر سرعت چرخش ماردون بر سختی به دلیل تاثیر آن بر میزان انبساط فراورده اکستروژن شده باشد. با افزایش سرعت چرخش ماردون تا حدی باعث تخریب نشاسته شده، ولی مولکول‌ها درشت هستند و در نتیجه گسترش حباب‌ها تا حدودی کم شده و سختی افزایش یافته است. افزایش سرعت چرخش ماردون موجب کاهش گرانیوی ماده ذوب شده و افزایش حجم نیز منجر به تولید حباب‌های یکنواخت با دیواره نازک می‌شوند که منجر به کاهش سختی بافت می‌شود [۳۸]. نجف زاده و همکاران تحقیقی در مورد تاثیر متغیرهای فرمولاسیون بر سختی اسنک‌های بر پایه کنجاله کنجد و سبوس گندم انجام دادند که افزایش سرعت چرخش ماردون باعث کاهش سختی نمونه اسنک شده است که با افزایش رشد حباب‌ها محصول نرم‌تر می‌شود، افزایش سرعت چرخش ماردون

جدول (۷) نتایج آنالیز واریانس مدل سطح پاسخ سختی.

Table 7. ANOVA analysis of RSM model for Hardness.

نتیجه	مقدار p P-value	احتمال F-value	میانگین مربعات Adj. MS	درجه آزادی DF	مجموع مربعات Adj. SS	مدل Source
**	0.00	9.14	0.46	9	4.13	مدل Model
*	0.01	10.74	0.45	1	0.45	سرعت چرخش ماردون (A) Screw speed (rpm) (A)
*	0.01	9.21	0.46	1	0.46	درصد مغز گردو (B) Walnut ratio (%) (B)
n.s	0.4	0.6260	0.0315	1	0.0315	رطوبت خوراک ورودی (C) Moisture content (%) (C)
**	0.00	15.35	0.7715	1	0.7715	AB
n.s	0.9	0.0017	0.0001	1	0.0001	AC
*	0.09	3.61	0.1814	1	0.1814	BC
**	0.000	32.50	1.63	1	1.63	A ²
*	0.03	6.89	0.3463	1	0.3463	B ²
n.s	0.12	3.02	0.1518	1	0.1518	C ²
			0.05	7	0.35	باقیمانده Residual Error
n.s	0.096	4.30	0.09	3	0.27	ضعف برازش Lack of fit
			0.021	4	0.083	خطای خالص Pure Error

* معنی دار در سطح ۵ درصد، * معنی دار در سطح ۱۰ درصد، n.s عدم معنی داری

**Very significant (p<0.05), * significant (p<0.1), n.s. None significant

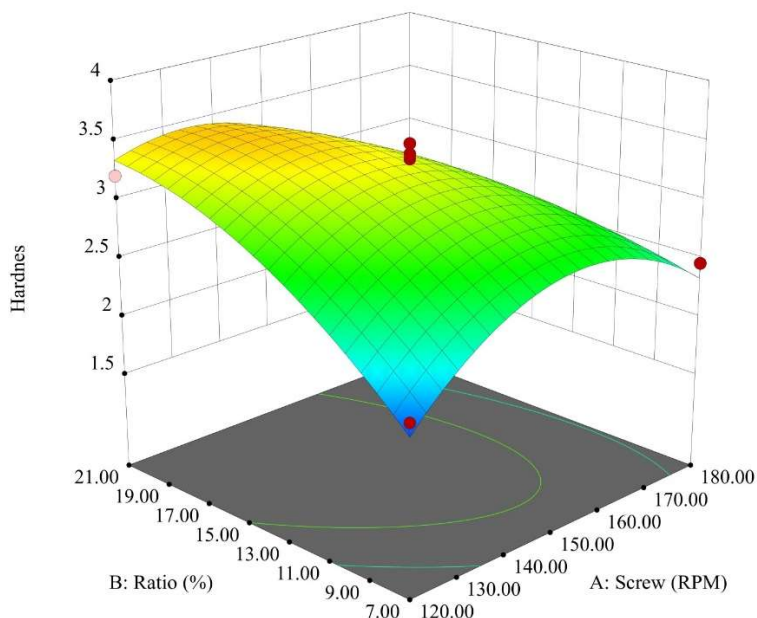
جدول (۸) نتایج بهینه‌یابی شرایط اکستروژن و فرمولاسیون.

Table 8. Optimization of process parameters and formulation.

مقادیر بهینه انتخاب شده Selected Values	شرایط انتخاب بهینه Goal	صفات Parameter
180	در محدوده In range	سرعت چرخش ماردون Screw speed (rpm)
14	14	درصد مغز گردو Walnut ratio (%)
18	در محدوده In range	رطوبت خوراک ورودی Feed moisture (%)
0.057	کمترین Minimum	چگالی ذره (گرم بر سانتی متر مکعب) Particle Density (g.cm ³)
66.17	بیشترین Maximum	روشنایی Lightness
456.02	بیشترین Maximum	نسبت انبساط (میلی متر) Expansion rate (mm)
2.79	کمترین Minimum	سختی (نیوتن) Hardness (N)

جذب آب و جذب روغن فراورده نیز در محدوده قابل پذیرش قرار دارد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی نشان داد که جهت دستیابی به فراورده مطلوب، شرایط بهینه فرایند شامل سرعت چرخش ماردون، مغز گردو و رطوبت خوراک به ترتیب برابر ۱۸۰ rpm، ۱۴ و ۱۸٪ بود.

در اسنک‌های متنوع استفاده شود. فراوری گردو و بلغور ذرت به کمک فناوری اکستروژن سبب بهبود ویژگی فیزیکی و عملکردی اسنک می‌شود. با بهبود ویژگی‌های ظاهری و عملکردی، می‌توان از این فراورده در فرمولاسیون‌های بر پایه غلات استفاده نمود. بیشترین تأثیر پاسخ‌ها مربوط به تغییرات سرعت چرخش ماردون ۱۸۰ rpm به دست آمد. در این سرعت چرخش میزان



شکل (۵) اثر متغیرهای سرعت چرخش ماردون و مغز گردو بر سختی

Fig 5. Effect of screw speed and Walnut ratio on Hardness

منابع

- [۶] مقصودی، ش.، (۱۳۹۳) گردو (کشاورزی، صنعت، تغذیه و درمان). تهران: انتشارات علم کشاورزی ایران.
- [7] Banel, D.K., and Hu, F.B. (2009). Effects of walnut consumption on blood lipids and other cardiovascular risk factors: a meta-analysis and systematic review. *Am. J. Clin. Nutr.*, 90(1), 56-63.
- [8] Hollingsworth, P. (2010). Margarine: the over – the top functional food. *Food Tech.*, 55(1), 59-62.
- [9] Yücesan, F.B., Orem, A., Kural, B.V., Orem, C., and Turan, I. (2010). Hazelnut consumption decreases the susceptibility of LDL to oxidation; plasma oxidized LDL level and increases the ratio of large.small LDL in normolipidemic healthy subjects. *Anatol. J. Cardiol.*, 10(1), 28-35.
- [10] Serna-Saldivar, S. (2018). *Corn, Chemistry and Technology (3rd Edition)*. Elsevier press.
- [۱۱] میلانی، ا.؛ هاشمی، ن.؛ مرتضوی، ع.؛ طباطبایی یزدی، ف. (۱۳۹۶) بررسی اثر شرایط فرایند اکستروژن و فرمولاسیون بر برخی ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی میان وعده حجیم بر پایه کنجاله بادام (*Amygdalus communis L.*) و بلغور ذرت. فصلنامه فناری‌های نوین مواد غذایی، جلد ۱، شماره ۵، ۱۲۳-۱۴۰.
- [12] Bhise, S., & Kaur, A. (2015). The effect of extrusion conditions on the functional properties of defatted cake of sunflower-maize based expanded snacks. *Intl. J. Food. Ferment. Technol.*, 5(2), 247-252.
- [1] Chen, G.S., Begums, B.W., Elkasabany, B., and Srirani, A. (2000). Age related patterns of the clustering of cardiovascular riskvariables of syndrome X from childhood to young adulthood in a population made up of blank white. *The Bogalusa Heart Study Diabetes*, 49, 1042-1048.
- [۲] مجذوبی، م.؛ فرحناکی، ع.، (۱۳۸۹) تکنولوژی اکستروژن در صنایع غذایی: اصول تولید مواد غذایی با استفاده از اکستروژن، صنایع تولید غلات صبحانه‌ای، فرآورده‌های حجیم شده، اسنک‌ها و غذای کودک. تهران: انتشارات علم کشاورزی ایران.
- [3] Altan, A., McCarthy, K. L., and Maskan, M. (2008). Evaluation of snack foods from barley-tomato pomace blends by extrusion processing. *J. Food Eng.*, 84(2), 231–242.
- [۴] احمدزاده قویدل، ر.؛ عسکری، ه.؛ قیافه داوودی، م.، (۱۳۹۵) بررسی تاثیر صمغ کاراگینان بر خصوصیات کیفی نوشیدنی گردو. مجله علوم و صنایع غذایی، جلد ۵۷، شماره ۱۳، ص ۴۵-۵۴.
- [۵] قاسمی، م.؛ ارزانی، ک.؛ حسینی، د.؛ قاسمی، ش. (۱۳۸۹) ترکیب اسیده‌های چرب برخی از ژنوتیپ‌های انتخابی گردو در استان مرکزی. مجله علوم و صنایع غذایی، جلد ۷، شماره ۱، ص ۳۱-۳۷.

- [25] Guha, M., Ali, S. and Bhattacharya, S. (1997). Twin screw extrusion of rice flour without a die: Effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. *J. food Eng.*, 32(3), 251-267.
- [26] Ding, Q.B., Ainsworth, P., Plonkell, A. Tucker, G., and Marson, H. (2005). The effect of extrusion on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice based expanded snacks. *J. food Eng.*, 66(3), 283-289.
- [27] Lei, H., Fulcher, G., Ruan, R. & Legerich, B. (2005). SME-Arrhenius model for WSI of rice flour in a twin-screw extruder. *Cereal Chem.*, 82, 574-581.
- [28] Kumar, N., Sarkar, B.C. and Sharma, H.K. (2010). Development and characterization of extruded product of carrot pomace, rice flour and pulse powder. *Afr. J. Food Sci.*, 4, 703-717.
- [29] Singh, U., and Seetha, R. (1993). Oil absorption and sensory properties of a snack food from chickpea genotypes. *J. Food Sci.*, 58(4), 853-855.
- [30] Kadan, R.S., Bryant, R.J. and Pepperman, A.B., 2003. Functional properties of extruded rice flours. *J. Food Sci.*, 68(5), 1669-1672.
- [31] Deshpande, H.W., & Poshadri, A. (2011). Physical and sensory characteristics of extruded snacks prepared from foxtail millet based composite flours. *Food Res Int.*, 18(2), 751-756.
- [32] Hashemi, N., Mortazavi, S.A., Milani, E., and Tabatabai Yazdi, F. (2017). Microstructural and textural properties of puffed snack prepared from partially defated almond powder and corn flour. *J. food Process Preserv.*, 41(5), 1-12.
- [33] Nikmaram, N., Garavand, F., Elhamirad, A., Beiraghi-toosi, S., and Goli-movahhed, G. (2015). Production of high quality expanded corn extrudates containing sesame seed using response surface methodology. *Qual. Assur. Saf. Crop Foods*, 7(5), 713-720.
- [34] Nascimento, E.M., Carvalho, C.W., Takeiti, C.Y., Freitas, D., and Ascheri, J.L. (2012). Use of sesame oil cake (*Sesamum Indicum* L.) on corn expanded extrudates. *Food Res Int.*, 45, 434-443.
- [35] Ahmed, Z.S (1999). Physico-chemical, structural and sensory quality of corn-based flax-snack. *Nahrung.Food*, 43(4), 253-258.
- [۳۶] فیوضی، ب؛ وریدی، م؛ میلانی، ا؛ شهیدی، ف؛ حدادخداپرست، م. (۱۳۹۷) بهینه‌سازی متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن فراورده اسنک حجیم حاوی آرد کنجاله بنه. *فصلنامه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی*، جلد ۷، شماره ۱، ص ۲۹-۴۸.
- [37] Lee, E.Y., Ryu, G.H., & Lim, S.T. (1999). Effects of processing parameters on physical properties of corn starch extrudates expanded using supercritical CO₂ injection. *Cereal Chem.*, 76(1), 63-69.
- [13] Yagci, S., and Gogus, F. (2009). Selected physical properties of expanded extrudates from the blends of hazelnut flour-durum clear flour-rice. *Int. J. Food Prop.*, 12, 405-413.
- [14] 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. *Rev Mex Ing Quim*, 15, 409-422.
- [۱۵] افشار، م؛ بصیری، ع؛ شریفی، ا. (۱۳۹۶) بررسی تأثیر میزان سیوس و رطوبت ورودی در فرایند پخت اکستروژن بر برخی ویژگی‌های پودری فوری بر پایه آرد برنج. *مجله نوآوری در صنایع غذایی*، جلد ۴، شماره ۹، ص ۱۰۳-۱۱۱.
- [16] Lazou, A., and Krokida, M. (2010). Functional properties of corn and corn-lentil extrudates. *Food Res. Int.*, 43, 609-616.
- [۱۷] نجف‌زاده، م؛ بلندی، م؛ میلانی، ا. (۱۳۹۴) تأثیر متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرآیند اکستروژن بر ویژگی‌های اسنک حجیم فراسودمند حاوی مکمل فیبری (کنجاله کنجد و سیوس گندم). *مجله علوم و صنایع غذایی*، جلد ۱۳، شماره ۱، ص ۱۲۷-۱۳۷.
- [18] Colonna, P., Tayeb, J. & Mercier, F. (1989). Extrusion cooking of starch and starchy products. In Extrusion cooking, in: Mercier, C., Linko, P., & Harper, J.M. St. Paul, MN: (eds.), American Association of Cereal Chemists Inc.
- [19] Gujska, E. and Khan, K. (1990). Effect of temperature on properties of extrudates from high starch fractions of navy, pinto and garbanzo beans. *J. Food Sci.*, 55, 466-469.
- [20] Oikonomou, N.A., and Krokida, M.K. (2012). Water absorption index and water solubility index prediction for extruded food products. *Int. J. Food Prop.*, 15(1), 157-168.
- [21] Badrie, N., Mellowes, W. A., Steam, A. & Corporation, P. (1991). Effect of extrusion variables on Cassava extrudates. *J. Food Sci.*, 56(5), 1334-1337.
- [22] Yağci, S., and Göğüş, F. (2008). Response surface methodology for evaluation of physical & functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products. *J. Food Eng.*, 86, 122-132.
- [23] Singh, B., Rachna, Hussain, S. Z., & Sharma, S. (2015). Response surface analysis and process optimization of twin screw extrusion cooking of potato-based snacks. *J. food Process Preserv.*, 39, 270-281.
- [24] Sebio, L., and Chang, Y.K. (2000). Effects of selected process parameters in extrusion of yam flour (*Dioscorea rotundata*) on physicochemical properties of extrudates. *Nahrung*, 44(2), 96-101.

- [38] Ding, Q.B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G., and Marson, H. (2006). The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *J. food Eng.*, 73(2), 142-148.
- [39] O'Shea, N., Arendt, E., and Gallagher, E. (2014). Enhancing an extruded puffed snack by optimising die head temperature, screw speed and apple pomace inclusion. *Food Bioprocess Technol.*, 7(6), 1767-1782.
- [40] Liu, Y., Hsieh, E., Heymann, H., and Huff, H.E. (2000). Effect of process conditions on the physical and sensory properties of extruded oat-corn puff. *J. Food Sci.*, 65(7), 1253-1259.
- [41] Potter, R., Stojceska, V., & Plunkett, A. (2013). The use of fruit powders in extruded snacks suitable for children's diets. *LWT-Food Sci. and Tech.*, 51, 537-544.
- [42] Dehghan-Shoar, Z., Hardacre, A.K., & Brennan, C.S. (2010). The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene. *Food chem.*, 123, 1117-1122.
- [43] Taverna, L. G., Leonel, M., & Mischan, M.M. (2012). Changes in physical properties of extruded sour cassava starch and quinoa flour blend snacks. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, 32, 826-834.

*Research Article***Effect of extrusion and formulation conditions on physicochemical characteristics of snack based on walnut and corn grits****Leila Ardameh¹, Shahram Beiraghi-Toosi^{2*}, Gholamali Goli-Movahhed³**

1. M.Sc. Student, Department of Food Science and Technology, ACECR Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran.
2. Assistant Professor, Food Processing Department, Food Science and Technology Research Institute, ACECR, Mashhad, Iran.
3. Instructor, Food Processing Department, Food Science and Technology Research Institute, ACECR, Mashhad, Iran.

Abstract

Extruded snacks are always a considerable part of the snack of people in modern life and have many advocates due to their diverse taste and high shelf life time. In the production of these snacks, extrusion cooking technology is commonly used, and a mixture of several cereals such as corn, rice, wheat and millet can be used. In this study, the effects of extrusion variables including walnut (7-21%), different screw speeds (120-180 rpm) and feed moisture content (12-18%) on the physicochemical properties of extruded product were investigated. The results showed that increasing the feed moisture content, the expansion ratio increased and the oil absorption index (OAI) and water solubility index (WSI) decreased. With increasing screw speed, the WSI index and OAI index increased and hardness and water absorption index (WAI) decreased. By increasing the amount of walnut, WSI index, OAI and hardness increased, and the WAI and expansion ratio decreased. Optimum condition was found to be the screw rate of 180 rpm, walnut of 14% and feed moisture content of 18%. Finally it can be concluded that walnut up to 14% increased the nutritional value, and could also maintain technological characteristics of snacks to offer to the market as a healthy product.

Keywords: Extruder, texture, moisture, screw speed.

* Corresponding author: toosi@acecr.ac.ir