

(مقاله پژوهشی)

استفاده از مغز بادام زمینی در تولید اسنک حجیم بر پایه بلغور ذرت و بررسی ویژگی های آن

شهرام بیرقی طوسی^{۱*}، غلامعلی گلی موحد^۱، مجید هاشمی^۱، فریده صالحی پور^۲، محبت محبی^۳

۱- گروه فرآوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران.

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۳- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۰۳

چکیده

تهیه فراورده های اکستروژن شده غنی شده با دانه های روغنی و مغزها علاوه بر کمک به تغذیه مصرف کنندگان می تواند به عنوان محصولی جدید مورد استقبال تولیدکنندگان نیز قرار بگیرد. اما تولید محصولی با ویژگی های مناسب و مطلوب نیازمند بررسی تاثیر شرایط فرایند بر خصوصیات محصول تولید شده می باشد. در این پژوهش اثر متغیرهای ترکیب خوراک، میزان رطوبت خوراک و سرعت چرخش ماریچ بر ویژگی های فیزیکی شیمیایی، بافتی، تصویری، صوتی و حسی اسنک حجیم حاوی مغز بادام زمینی تولید شده توسط فرایند اکستروژن مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور مغز بادام زمینی به نسبت های ۷، ۱۴ و ۲۱ درصد با بلغور ذرت مخلوط گردید و برای رسیدن به رطوبت های ۱۲، ۱۵ و ۱۸ درصد به آن آب افزوده شد. مخلوط حاصل سپس با سرعت چرخش ماریچ برابر با ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دور بر دقیقه، اکستروژن گردید و آزمایش های لازم برای تعیین ویژگی های مورد نظر بر روی نمونه های تولید شده صورت گرفت. نتایج حاصل نشان داد افزایش میزان رطوبت خوراک باعث افزایش میزان جذب آب، چگالی ذره ای، سختی، L^* ، b^* و امتیازهای ظاهر و رنگ در ارزیابی حسی و کاهش شاخص انحلال در آب و a^* نمونه ها گردید. همچنین افزایش سرعت چرخش ماریچ منجر به افزایش شاخص انحلال در آب، a^* و امتیازهای ارزیابی حسی (ظاهر، بافت، طعم و پذیرش کلی) و کاهش میزان انبساط، سختی، L^* و b^* گشت. از سوی دیگر افزایش چگالی ذره ای، سختی و a^* و کاهش مقادیر انبساط، تخلخل و L^* نمونه ها با افزایش نسبت مغز بادام زمینی مشاهده گردید. در نهایت به منظور تولید نمونه بهینه دارای بالاترین نسبت انبساط و روشنایی و کمترین میزان سختی و چگالی و حاوی ۱۴ درصد مغز بادام زمینی، میزان سرعت چرخش ماریچ و رطوبت خوراک ورودی به ترتیب برابر با ۱۲۰ دور بر دقیقه و ۱۳/۲۰ درصد پیشنهاد شد.

واژه های کلیدی: اکستروژن، بادام زمینی، رنگ، ارزیابی حسی، بافت.

۱- مقدمه

اسنک‌های حجیم بر پایه ذرت به دلیل ویژگی‌های بافتی و حسی منحصر به فردشان، طرفداران زیادی به ویژه در میان کودکان دارند. مصرف زیاد و مداوم این فراورده‌ها نگرانی‌های تغذیه‌ای بسیاری برای خانواده‌ها ایجاد کرده است. با افزایش سطح آگاهی‌های جامعه و افزایش دغدغه‌های تغذیه‌ای، تولید فراورده‌های اکستروود شده مغذی به منظور ارتقای سلامت جامعه از اهمیت خاصی برخوردار شده است. از طرف دیگر تولیدکنندگان این فراورده‌ها برای رقابت در بازار به دنبال ایجاد تنوع و عرضه فراورده‌های جدید می‌باشند. تهیه فراورده‌های اکستروود شده غنی شده با دانه‌های روغنی و مغزها علاوه بر کمک به تغذیه مصرف‌کنندگان از طریق افزایش پروتئین، املاح، اسیدهای چرب ضروری و فیبر می‌تواند به عنوان محصولی جدید مورد استقبال تولیدکنندگان نیز قرار بگیرد. بادام زمینی با نام‌های انگلیسی Peanut و Groundnut و نام علمی (*Arachis hypogaea L.*) یکی از مغذی‌ترین مغزهای موجود در طبیعت و یکی از متداول‌ترین محصولات کشاورزی در جهان می‌باشد که در حدود ۱۰۰ کشور جهان کشت می‌گردد. این محصول به دلیل روغن و پروتئین بالا به عنوان یکی از مغذی‌ترین مواد غذایی مورد توجه بوده و در تغذیه انسان بسیار ارزشمند می‌باشد (۳۴). اگرچه بادام زمینی در بیشتر مناطق دنیا به منظور روغن‌گیری استفاده می‌شود، اما این دانه در تولید برخی محصولات غذایی مانند کره بادام زمینی، بادام زمینی برشته شده، شکلات و سایر اسنک‌ها نیز به کار می‌رود (۲۷). از آن جا که تقاضای روزافزونی در سراسر جهان برای دستیابی به منابع بیشتر و متوازی از پروتئینی وجود دارد، لذا کاربردهای بالقوه بادام زمینی و محصولات حاصل از آن در سیستم‌های غذایی یکی از حوزه‌های تحقیقاتی رو به گسترش می‌باشد. از سوی دیگر،

وجود طعم مناسب در بادام زمینی می‌تواند عاملی جذاب برای تمایل بیشتر مصرف‌کنندگان به مصرف محصولات غذایی حاوی این ماده غذایی محسوب گردد که علاوه بر طعم مناسب دارای میزان مناسبی از پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه نیز می‌باشند. تا کنون مطالعات محدودی در خصوص کاربرد بادام زمینی در فرمولاسیون اسنک‌های حجیم صورت گرفته است. پرینیاویواتکول و همکاران (۱۹۹۳) اسنک اکستروود شده بر پایه نشاسته ذرت و آرد بادام زمینی را بهینه‌سازی کردند. برای این منظور آن‌ها از مخلوط آرد بادام زمینی چربی‌گیری شده تخمیری و غیر تخمیری با نشاسته ذرت استفاده کردند و نشان دادند این اسنک طعم دار شده از قابلیت پذیرش خوبی برخوردار بود (۳۱). همچنین همان محققان (۱۹۹۵) اثرات آرد بادام زمینی چربی‌گیری شده تخمیر شده و غیر تخمیر شده میزان رطوبت و دمای اکستروژن را بر ویژگی‌های فیزیکی محصول مدل‌سازی کرده و مشاهده کردند که میزان رطوبت، ضریب انبساط، چگالی توده و رنگ نمونه‌ها تحت تاثیر میزان آردهای بادام زمینی تخمیر شده و نشده قرار گرفتند (۳۲). از این رو، در بررسی حاضر از مغز بادام زمینی به دلیل ویژگی‌های تغذیه‌ای و طعم مناسب آن در تولید اسنک حجیم بر پایه بلغور ذرت استفاده شد. با توجه به میزان بالای چربی و پروتئین در بادام زمینی و نقش این ترکیبات در فرایند اکستروژن و به منظور دستیابی به محصولی مطلوب، بررسی تاثیر ترکیب فرمولاسیون خوراک و شناخت اثر متغیرهای فرایند اکستروژن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی فراورده ضروری می‌باشد. لذا در این پروژه به منظور بررسی تولید فراورده اکستروود شده حاوی این ماده غذایی، نسبت‌های مختلفی از بلغور ذرت و بادام زمینی در رطوبت‌های متفاوت، تحت تاثیر سرعت چرخش متغیر ماریچ اکستروودر قرار گرفته و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی، رنگی، صوتی و حسی فراورده حاصل ارزیابی شد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد

مغز بادام زمینی خام دارای پوست از فروشگاه محلی و بلغور ذرت نیز از کارخانه زرین طلایی مشهد تهیه گردیدند.

۲-۲- روش ها

۲-۲-۱- ویژگی‌های شیمیایی بلغور ذرت و بادام زمینی
میزان رطوبت، چربی، پروتئین و خاکستر مواد اولیه بر اساس روش‌های استاندارد (۲۰۰۲) AOAC اندازه‌گیری شد (۲).

۲-۲-۲- آماده‌سازی مخلوط پایه برای اکستروژن

به منظور آماده‌سازی نمونه‌ها برای عملیات اکستروژن و مطابق با پیش‌تست‌های انجام شده، مغز بادام زمینی به نسبت‌های ۷، ۱۴ و ۲۱ درصد با بلغور ذرت مخلوط، آسیاب (آسیاب تیغه‌ای توس شکن خراسان مدل ۸۳۰۰) و سپس الک گردید (مش ۲۰). آب به میزان مناسب برآیرسیدن به رطوبت‌های ۱۲، ۱۵ و ۱۸ درصد به مخلوط حاصل افزوده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه مخلوط و در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی شده و به مدت یک شب در دمای محیط نگهداری گردیدند (۲۹). (۳۲)

۲-۲-۳- فرایند اکستروژن

مخلوط‌های پایه آماده شده، توسط اکسترو در دو ماریچ ساخت چین با چرخش هم جهت و نسبت طول به قطر ۱۵ با شرایط میزان خوراک ۴۰ کیلوگرم در ساعت، سرعت چرخش ماریچ ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دور بر دقیقه، دمای اکستروژن ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و قطر خروجی قالب ۲/۵ میلی‌متر اکسترو گردید. پس از خشک کردن فراورده‌های اکسترو شده در خشک‌کن تونلی (دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد)، نمونه برداری انجام پذیرفت. نمونه‌ها پس از سرد شدن درون

کیسه‌های پلاستیکی پلی‌اتیلنی ضخیم زیپ‌دارکند گذاری شده قرار گرفته و تا زمان انجام آزمایش‌ها دور از نور و در دمای اتاق نگهداری گردیدند (۱).

۲-۲-۴- ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های تولید شده

۲-۲-۴-۱- شاخص جذب آب^۱ (WAI) و انحلال در آب^۲ (WSI)

برای اندازه‌گیری شاخص جذب آب، ۵ میلی لیتر آب مقطر به ۰/۵ گرم نمونه‌ی آسیاب افزوده شده و پس از ۳۰ دقیقه هم‌زدن به مدت ۲۰ دقیقه در سانتریفیوژ با دور ۳۰۰۰g قرار گرفت. سپس مایع رویی حاصل از سانتریفیوژ جدا شده، ژل باقی‌مانده توزین و شاخص جذب آب از رابطه ۱ به دست آمد (۳۳). برای اندازه‌گیری شاخص انحلال در آب، ماده خشک مایع رویی حاصل از سانتریفیوژ در مرحله‌ی اندازه‌گیری شاخص جذب آب به روش آون گذاری در ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد و شاخص انحلال در آب از رابطه ۲، محاسبه گردید (۳۳).

رابطه ۱

$$\text{شاخص جذب آب} = \frac{\text{ژلوزن باقی‌مانده}}{\text{وزن نمونه}}$$

رابطه ۲

$$\text{شاخص انحلال در آب} = \frac{\text{وزن ماده خشک مایع رویی حاصل از سانتریفیوژ}}{\text{وزن نمونه}} \times 100$$

۲-۲-۴-۲- چگالی ذره‌ای^۳، چگالی جامد^۴ و تخلخل

چگالی ذره‌ای با استفاده از روش جابجایی دانه ارزن و طبق رابطه شماره ۳ محاسبه شد (۳۳).

رابطه ۳

$$\text{چگالی ذره‌ای} = \frac{\text{وزن نمونه}}{\text{وزن ظرف حاوی نمونه} + (\text{وزن ظرف حاوی ارزن} - \text{وزن ظرف حاوی ارزن})} \times \text{چگالی ارزن}$$

- 1.- Water Absorption Index
- 2.- Water Solubility Index
- 3.- Particle Density
- 4.- Solid Density

پودر و در کاپ مخصوص ریخته شد تا سطح آن کاملاً پوشانده شود. در این آزمون مقادیر L^* ، a^* و b^* تعیین گردید. مقادیر L^* که بین صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید) متغیر است شاخص روشنی، مقادیر مثبت a^* شاخص قرمزی و مقادیر منفی آن شاخص سبزی محصول می‌باشد. همچنین مقادیر مثبت b^* شاخص زردی و مقادیر منفی آن شاخص میزان آبی بودن محصول است (۲۹).

۲-۲-۷- ویژگی‌های صوتی

به منظور تعیین ویژگی‌های صوتی نمونه‌های اکسترود شده از روش پردازش صوت به کمک نرم افزار متلب ۲۰۱۶ استفاده شد؛ به این صورت که با قرار دادن میکروفون متصل به رایانه با زاویه نود درجه نسبت به مسیر حرکت پروب، صدای نفوذ پروب آزمون بافت سنجی ضبط گردید. با استفاده از نرم افزار متلب ۲۰۱۶ محدوده نمودار صوتی نمونه‌ها تعیین شد. نویز محیط با طراحی فیلتر میان گذر^۵ از نمودار صوتی حذف شد. سپس ویژگی‌های صوتی شامل پیک بیشینه، تعداد پیک و متوسط قدرت پیک‌ها برای هر نمونه مشخص شد. متوسط قدرت پیک^۶ از نسبت مجموع ارزش پیک‌ها بر تعداد پیک‌ها در هر نمودار صوتی محاسبه گردید (۲۸).

۲-۲-۸- ویژگی‌های حسی

ارزیابی حسی به روش هدونیک هفت امتیازی و با استفاده از از هفت داور نیمه آموزش دیده انجام گردید. ویژگی‌های مورد بررسی شامل ظاهر، عطر و طعم، رنگ، بافت و پذیرش کلی بودند (۳۸).

۲-۲-۹- طرح آماری

در این پژوهش از روش سطح پاسخ (RSM)^۷ در قالب طرح آزمایشی باکس بنکن با کمک نرم افزار Minitab 17 استفاده شد. متغیرهای مورد بررسی شامل سرعت چرخش ماریج،

چگالی جامد با محاسبه نسبت وزن به حجم معینی از نمونه بدست آمد (۳۶). تخلخل نمونه‌ها با استفاده از چگالی‌های به دست آمده، طبق رابطه شماره ۴ محاسبه گردید (۲۸).
رابطه ۴

$$\text{چگالی ذره‌ای} - \text{چگالی جامد} = \frac{\text{تخلخل}}{\text{چگالی جامد}}$$

۲-۲-۳-۴-۳- نسبت انبساط

برای محاسبه‌ی نسبت انبساط، از هر تیمار ده نمونه به طور تصادفی انتخاب و قطر نمونه‌ها با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه‌گیری گردید. میانگین اندازه‌ها به عنوان قطر نمونه در نظر گرفته شد. نسبت انبساط از تقسیم قطر نمونه بر قطر خروجی قالب اکسترودر به دست آمد (۱۷).

۲-۲-۵- ویژگی‌های بافتی

به منظور تعیین ویژگی‌های بافتی نمونه‌های اکسترود شده از آزمون بافت سنجی و دستگاه بافت سنج^۱ شرکت لوید اینسترومنتس^۲ انگلستان به روش نفوذ استفاده شد؛ به این صورت که پروب استیل استوانه‌ای شکل با قطر دو میلی‌متر با سرعت ثابت یک میلی‌متر در ثانیه و میزان نفوذ ۱۰ میلی‌متر به داخل بافت هر نمونه‌ی اکسترود شده وارد شد. بیشینه نیروی ثبت شده توسط دستگاه به عنوان میزان سختی^۳ و سطح زیر منحنی نیرو- مسافت به عنوان کار^۴ در نظر گرفته شد. هر تیمار در ده تکرار مورد آزمایش قرار گرفت (۱).

۲-۲-۶- تعیین ویژگی‌های رنگی به روش هانتربل

رنگ نمونه‌های تولید شده توسط دستگاه رنگ سنج هانتربل مدل Colorflex ساخت آمریکا و به روش اوباتولو و همکاران (۲۰۰۶) اندازه‌گیری شد. به این منظور ابتدا نمونه‌ها

1-Texture Analyzer (TA Plus)

2- Lloy Instruments

3-Hardness

4- Work to Limit

5-Bandpass

6- Average of Peak's Power

7- Response Surface Methodology

نسبت افزودن مغز بادام زمینی و درصد رطوبت خوراک بود. نمونه بهینه بر اساس بیشترین میزان انبساط و روشنایی (L^*) و کمترین میزان سختی و چگالی ذره ای به روش عددی با استفاده از نرم افزار 7 Design Expert محاسبه گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ترکیب مواد اولیه

نتایج آنالیز ترکیب شیمیایی مواد اولیه مورد استفاده در تولید نمونه‌های اولیه اسنک حجیم در جدول ۱ آورده شده است.

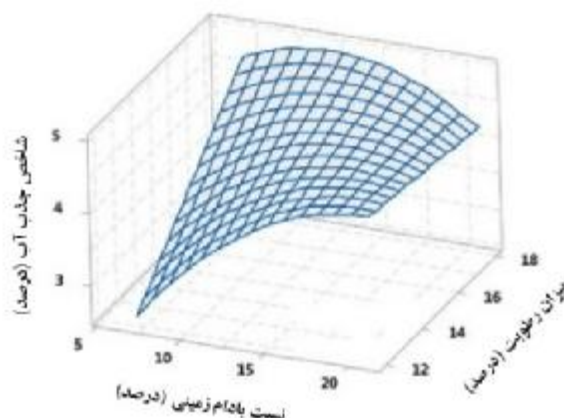
جدول ۱- ترکیب شیمیایی مواد اولیه (g/100g)

| ماده اولیه | خاکستر | چربی | پروتئین | رطوبت |
|-------------|------------|------------|------------|------------|
| بلغور ذرت | ۰/۰±۹۵۲/۰۸ | ۳/۰±۱۵/۳۶ | ۷/۱±۰۸/۰۱ | ۱۱/۱±۷۳/۸۳ |
| بادام زمینی | ۲/۰±۳۰۹/۱ | ۴۹/۳±۸۰/۳۸ | ۲۴/۲±۵۷/۵۳ | ۴/۰±۵۵/۳۸ |

۳-۲- شاخص جذب آب

شکل شماره ۱ روند تغییرات شاخص جذب آب را در نمونه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر خطی میزان رطوبتو اثر متقابل نسبت مغز بادام زمینی و میزان رطوبت بر این شاخص دارای تاثیر معنی دار بوده است ($p < 0/05$). همچنین مدل برازش شده تغییرات شاخص جذب آب از نوع چند جمله ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۶۶۱۵ بود. همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، با افزایش رطوبت خوراک ورودی میزان شاخص جذب آب افزایش نشان داد. همچنین با افزایش نسبت مغز بادام زمینی تا حدود ۱۶ درصد، میزان شاخص جذب آب افزایش و سپس کاهش یافت. افزایش قابلیت جذب آب با افزایش نسبت بادام زمینی را می‌توان به دلیل بالا بودن میزان پروتئین موجود در مغز بادام زمینی و قابلیت جذب آب بالای این ترکیبات دانست. هرچند همزمان با استفاده از بیشترین نسبت بادام زمینی و افزایش میزان روغن در نمونه‌ها، خاصیت جذب آب نمونه‌ها کاهش یافت که می‌تواند ناشی از خاصیت آبگریزی روغن باشد (۸). شاخص جذب آب بیانگر میزان جذب آب توسط نشاسته است و می‌تواند به عنوان شاخص

ژلاتینه شدن استفاده گردد (۱۰) و با حجم ژل تشکیل شده متناسب است. ژلاتینه شدن، تبدیل نشاسته خام به پخته شده و قابل هضم با بکارگیری آب و دما می‌باشد و از اثرات مهمی است که اکستروژن بر روی نشاسته دارد (۲۴). شاخص جذب آب به میزان در دسترس بودن گروه‌های آب دوست و نیز ظرفیت ژل کنندگی ماکرومولکول‌ها بستگی دارد. بر این اساس تغییرات این شاخص به عوامل مختلف از جمله تغییرات ماکرومولکول‌هایی نظیر نشاسته بستگی دارد. اندرسون (۱۹۶۹) دریافت که اکستروژن ذرت در رطوبت‌های پایین موجب ایجاد حرارت و نیروی برشی بیشتری می‌شود و از این طریق تجزیه نشاسته و تولید دکسترین‌ها افزایش می‌یابد (۴). بالاندران-کیتانا و همکاران (۱۹۹۸) نیز نشان داده‌اند با اعمال شرایط شدیدتر اکستروژن و در نتیجه افزایش میزان دکسترینه‌شدن نشاسته، شاخص جذب آب کاهش می‌یابد (۶). این موضوع در مطالعه حاضر نیز مشاهده گردیده است به طوری که در رطوبت‌های پایین، میزان شاخص جذب آب کاهش یافت. مرسیر (۱۹۷۵) نیز بالاترین شاخص جذب آب اسنک‌های اکستروژده جو-برنج را در رطوبت ۳۰-۴۰ درصد مشاهده کرده و در توجیه این امر چنین استنباط کرده است که آب بعنوان پلاستیسایزر در طول فرایند اکستروژن عمل کرده و با کاهش تخریب نشاسته منجر به افزایش ظرفیت جذب آب می‌گردد (۲۵).

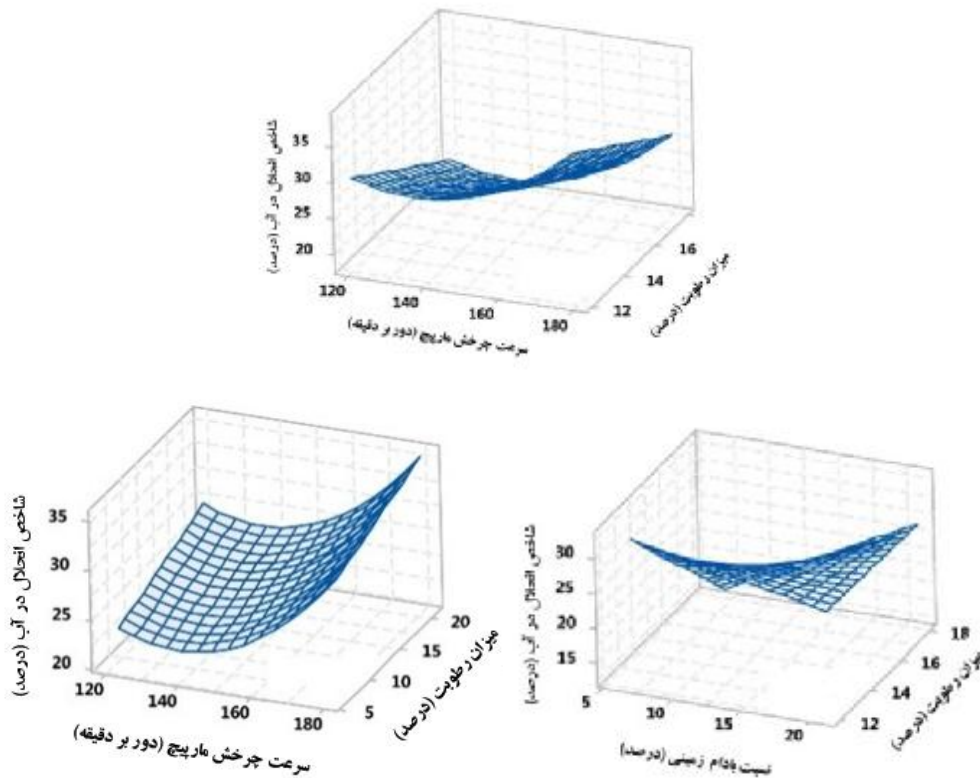


شکل ۱- اثر میزان رطوبت خوراک و نسبت بادام زمینی بر شاخص جذب آب اسنک حجیم.

۳-۳- شاخص انحلال در آب

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر خطی سرعت چرخش ماریچ و میزان رطوبت خوراک بر شاخص انحلال در آب نمونه‌های حجیم شده معنی‌دار بود ($p < 0.05$) اما اثر متقابل معنی‌داری بین متغیرهای مورد بررسی مشاهده نگردید. معادله برازش شده مربوط به تغییرات شاخص انحلال به صورت چند جمله ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۶۶۲۴ بود. همانطور که در شکل شماره ۲ مشخص است شاخص انحلال با افزایش سرعت چرخش ماریچ و میزان رطوبت به ترتیب افزایش و کاهش یافت. افزایش شاخص انحلال در آب نمایانگر تخریب ماکرومولکول در نمونه‌ها تولید شده است. محققین مختلف نشان داده‌اند با افزایش سرعت ماریچ میزان شاخص انحلال در آب افزایش می‌یابد (۳, ۱۹, ۲۶). زیرا در سرعت ماریچ بالا فشار برشی افزایش می‌یابد که این موضوع با افزایش میزان تخریب نشاسته، شاخص انحلال را افزایش می‌دهد (۲۳). مزر و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند با

افزایش سرعت چرخش میزان انرژی مکانیکی مخصوص افزایش شدیدی پیدا می‌کند. نیروی برشی حاصله باعث تخریب و کاهش وزن گرانول‌های نشاسته و نهایتاً افزایش ضریب انحلال نمونه می‌شود (۲۶). گوجسکا و خان (۱۹۹۱) نیز با اکستروژن آرد لویبای پینتو نشان دادند با کاهش رطوبت خوراک، میزان شاخص انحلال در آب افزایش یافت. آن‌ها افزایش تخریب برشی گرانول‌های نشاسته در رطوبت‌های پایین را دلیل این موضوع برشمردند (۱۵). اگر میزان آب خوراک به اندازه کافی بالا باشد می‌تواند اثر خنک‌کنندگی از خود بروز دهد که این موضوع با افزایش ویسکوزیته موجب کاهش انتقال حرارت و در نتیجه کاهش میزان تخریب نشاسته و شاخص انحلال می‌شود (۹). از سویی، آب به عنوان پلاستی‌سایزر عمل کرده و انرژی مکانیکی داخل اکسترودر را کاهش می‌دهد که این بر پروفایل دما تاثیر گذاشته و میزان تخریب نشاسته را کاهش می‌دهد (۱۸).

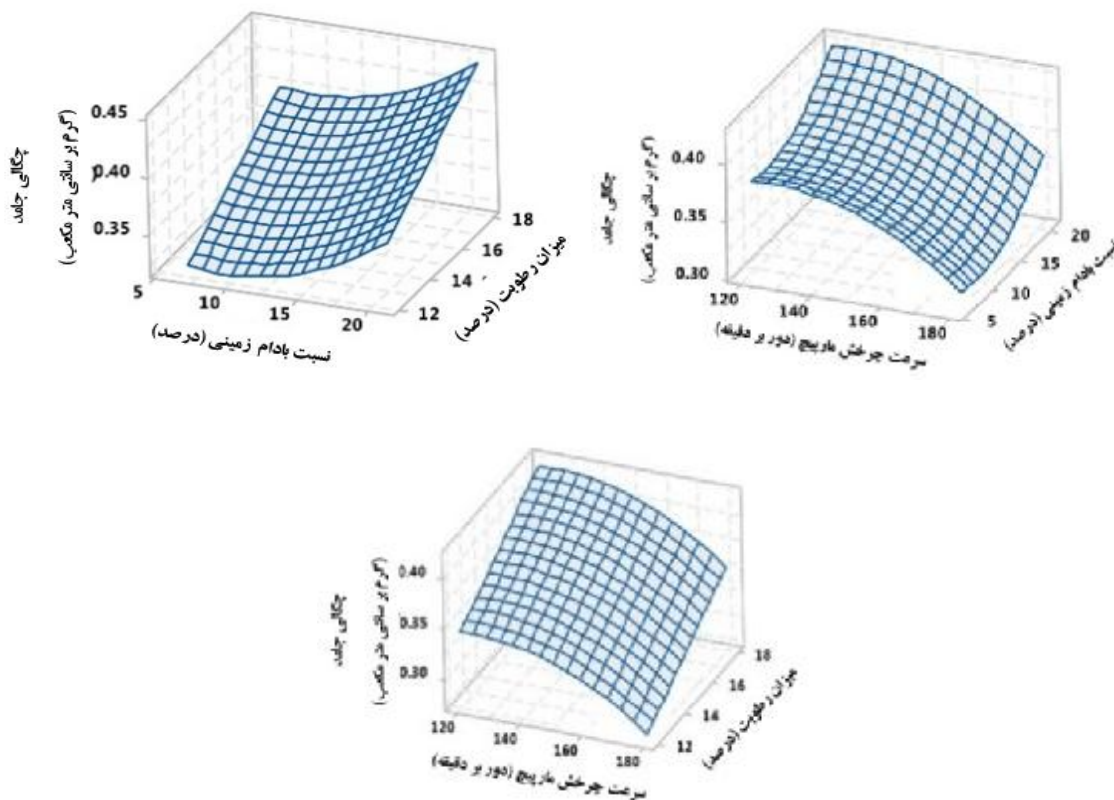


شکل ۲- اثر میزان رطوبت خوراک، نسبت بادام زمینی و سرعت چرخش ماریپیج بر شاخص انحلال در آب اسنک حجیم.

زمینی قرار گرفت. معادله برازش شده مربوط به تغییرات چگالی جامد به صورت چند جمله ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۸۳۴۴ بود. شکل ۳ نحوه اثر فاکتورهای مورد بررسی را بر چگالی جامد نمونه‌های اکستروژده شده نشان می‌دهد.

۳-۴- چگالی جامد، چگالی ذره‌ای و تخلخل

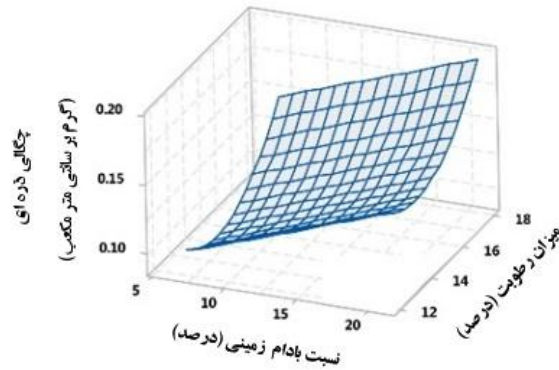
نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان داد چگالی جامد نمونه های تولید شده به طور معنی‌داری ($p < 0/05$) تحت تاثیر اثر خطی میزان رطوبت، سرعت چرخش ماریپیج و نسبت مغز بادام



شکل ۳- اثر میزان رطوبت خوراک، نسبت بادام زمینی و سرعت چرخش ماریچ بر چگالی جامد اسنک حجیم.

می توان با کاهش تخلخل در اثر افزایش نسبت مغز بادام زمینی در ارتباط دانست (بخش ۳-۴). دینگ و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی اثر رطوبت خوراک، سرعت ماریچ و دما بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی اسنک حجیم برنج نشان دادند میزان چگالی بیش از همه تحت تاثیر میزان رطوبت و دما بود. آن ها نشان دادند که افزایش رطوبت مقدار چگالی را به شدت افزایش داد اما افزایش دما موجب کاهش ملایم این ویژگی گردید. در تحقیق مزبور اثر سرعت چرخش ناچیز بود (۱۱).

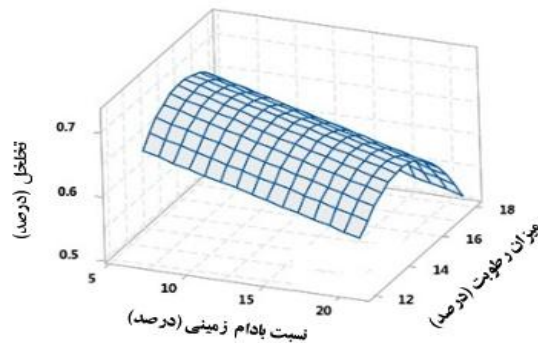
شکل ۴ اثر متغیرهای مورد بررسی را بر میزان چگالی ذره ای نشان می دهد. بر اساس نتایج حاصل از آنالیز آماری، اثرات خطی میزان رطوبت و نسبت مغز بادام زمینی و همچنین اثر مربع میزان رطوبت بر چگالی ذره ای معنی دار بود ($p < 0/05$). مدل برازش شده نرم افزار به صورت چندجمله ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۷۵۵۸ بود. همانطور که در شکل شماره ۴ مشخص است با افزایش نسبت مغز بادام زمینی و میزان رطوبت، مقدار چگالی ذره ای افزایش یافت. افزایش میزان چگالی ذره ای با افزایش نسبت مغز بادام زمینی را



شکل ۴- اثر میزان رطوبت خوراک و نسبت بادام زمینی بر چگالی ذره ای اسنک حجیم.

است ناشی از کاهش غلظت نشاسته در دسترس برای انبساط هم زمان با افزایش میزان مغز بادام زمینی باشد باشد (۳۰). در طی فرایند اکستروژن مواد غذایی و بر اثر تبخیر ناگهانی آب ناشی از اختلاف فشار، حباب‌های هوایی در اندازه و تعداد مختلف شکل می‌گیرند که ساختاری اسفنج‌مانند، متخلخل و منبسط به وجود می‌آورند (۳۵). از تخلخل ایجاد شده در فرایند اکستروژن می‌توان در توصیف و تبیین ویژگی‌های انبساطی فرآورده استفاده کرد. یاقچی و گوگوش (۲۰۰۹) نشان دادند با کاهش میزان نشاسته در فرمول (بر اثر افزودن پودر فندق نیمه‌چربی‌گیری‌شده) میزان تخلخل کاهش یافته اما با افزایش رطوبت از ۱۲ به ۱۸ درصد میزان تخلخل افزایش یافت (۴۰). فالکون و فیلیپس (۱۹۹۸) نیز نشان دادند میزان انبساط (یک عامل مهم در میزان تخلخل) در سورگوم حجیم شده با افزایش رطوبت از ۱۳ به ۱۸ درصد افزایش و پس از آن کاهش یافته است (۱۲).

نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان داد اثرات خطی نسبت مغز بادام زمینی و میزان رطوبت و همچنین مربع میزان رطوبت بر تخلخل نمونه‌های حجیم شده معنی دار بود ($p < 0.05$). معادله برازش شده مربوط به تغییرات تخلخل به صورت چند جمله ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۷۵۵۶ بود. همان طور که در شکل ۵ مشخص است، نحوه اثر میزان رطوبت بر میزان تخلخل نمونه‌ها به صورت سهمی بود به طوری که میزان تخلخل با افزایش میزان رطوبت افزایش یافته و سپس دچار کاهش شد. افزایش میزان رطوبت در طی فرایند اکستروژن منجر به تغییر ساختار مولکولی آمیلوپکتین مواد نشاسته ای شده که این امر منجر به کاهش ویسکوزیته و در نتیجه کاهش تخلخل می‌گردد (۳۵). در خصوص نسبت مغز بادام زمینی این تغییرات به صورت خطی بوده و افزایش نسبت مغز بادام زمینی منجر به کاهش تخلخل گشت. کاهش میزان تخلخل ممکن

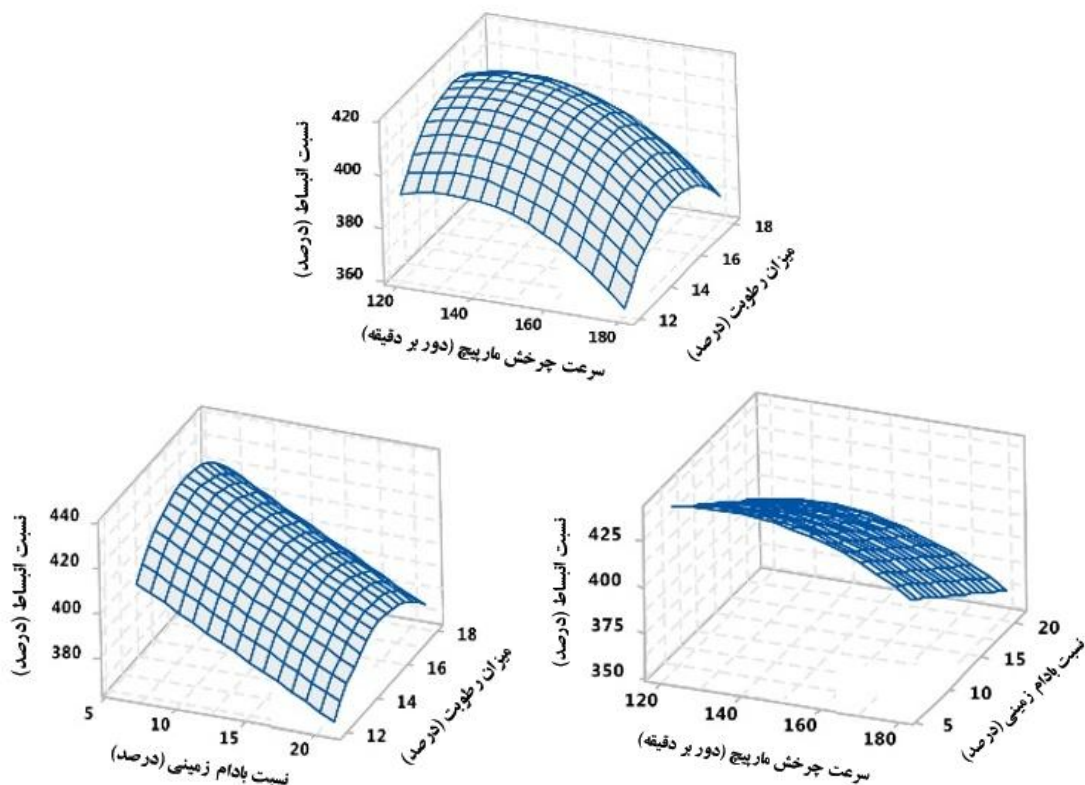


شکل ۵- اثر میزان رطوبت خوراک و نسبت بادام زمینی بر تخلخل اسنک حجیم.

۳-۵- نسبت انبساط

میزان انبساط به طور معنی دار ($p < 0.05$) تحت تاثیر اثر خطی نسبت مغز بادام زمینی و میزان رطوبت و اثر مربع میزان رطوبت قرار داشت. مدل برازش شده نرم افزار نیز از نوع چند جمله ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۷۸۱۸ بود.

همان طور که در شکل شماره ۶ مشخص است با افزایش میزان رطوبت تا حدود ۱۵ درصد میزان انبساط افزایش و سپس کاهش یافت. همچنین با افزایش نسبت مغز بادام زمینی و سرعت چرخش ماریچج در فرمولاسیون میزان انبساط کاهش یافت.



شکل ۶- اثر میزان رطوبت خوراک، سرعت چرخش ماریچج و نسبت بادام زمینی بر نسبت انبساط اسنک حجیم.

رطوبت آن اثر معنی داری بر ضریب انبساط فرآورده حجیم شده داشته است. در حالی که افزایش سرعت خوراک موجب افزایش ضریب انبساط شد میزان رطوبت اثر عکس داشت (۱۱). محققین متعددی نشان داده اند میزان رطوبت بیشترین اثر را بر ضریب انبساط محصولات حجیم شده دارد (۱۳، ۱۴، ۲۱). همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است با افزایش رطوبت تا حدود ۱۵ درصد میزان انبساط افزایش و پس از آن کاهش یافته است. فالكون و فیلیپس (۱۹۸۸) نیز نشان دادند افزایش رطوبت از ۱۳ درصد تا ۱۸

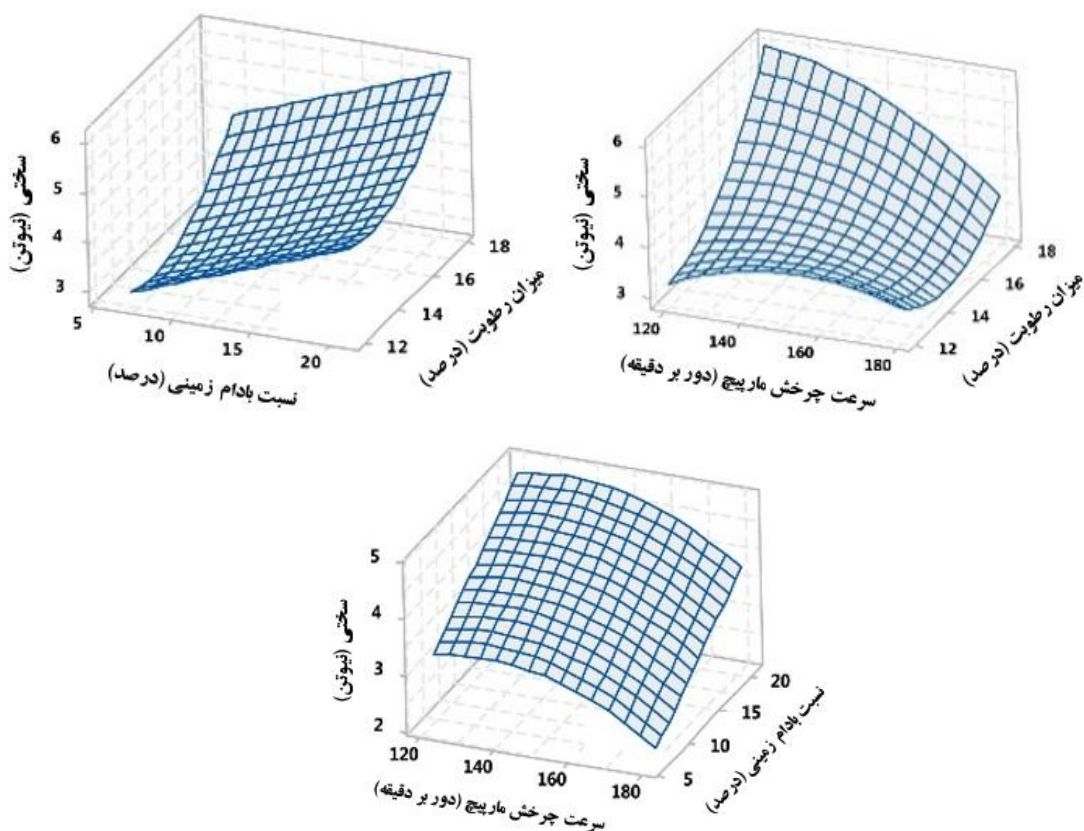
سرعت پایین چرخش ماریچج به معنی افزایش زمان ماند مخلوط در اکسترودر است که در نتیجه آن میزان دریافت انرژی حرارتی در محیط با برش کم افزایش می یابد. در این شرایط ایجاد بخار آب فوق داغ تسهیل می شود. وجود مقادیر بالاتری بخار فوق داغ، میزان انبساط و ساختار متخلخل را افزایش می دهد (۴۰). از این رو، کاهش میزان انبساط با افزایش سرعت چرخش ماریچج را می توان ناشی از کاهش زمان ماند مخلوط و در نتیجه کاهش ایجاد بخار آب فوق داغ دانست. دینگ و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که میزان خوراک و

می‌شود. در نهایت با کاهش تبخیر ناگهانی آب فوق داغ انبساط کاهش می‌یابد (۱۶).

۳-۶- ویژگی‌های بافتی

نتایج آنالیز واریانس نشان داد اثر خطی متغیرهای فرایند (سرعت چرخش مارپیچ، نسبت مغز بادام زمینی و میزان رطوبت)، مربع میزان رطوبت و اثر متقابل سرعت چرخش و میزان رطوبت بر سختی فرآورده معنی‌دار ($p < 0.05$) بوده است. معادله برازش شده برای سختی نیز به صورت چند جمله ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۸۷۰۶ محاسبه گردید. همان طور که در شکل ۷ مشخص است افزایش سرعت مارپیچ باعث کاهش سختی نمونه‌ها شد در حالی که افزایش میزان رطوبت و نسبت مغز بادام زمینی منجر به افزایش این ویژگی گردید.

درصد باعث افزایش انبساط و پس از آن موجب کاهش انبساط فرآورده حجیم بر پایه لویا چشم بلبلی و سورگوم گردید (۱۲). میزان رطوبت خوراک ورودی بالاتر موجب کاهش ویسکوزیته جریان مواد و در نتیجه کاهش فشار داخل و خارج اکسترودر و کاهش انبساط اکسترودر می‌شود. به علاوه ویسکوزیته پایین‌تر باعث می‌شود استحکام ساختمانی فرآورده حجیم برای حفظ انبساط حاصله کاهش یابد (۳۵). کاهش میزان انبساط با افزایش نسبت مغز بادام زمینی را می‌توان ناشی از افزایش میزان پروتئین دانست. به نظر می‌رسد هر عاملی که باعث کاهش میزان نشاسته در فرمولاسیون شود (مثل افزایش ترکیبات پروتئینی) می‌تواند موجب کاهش انبساط شود (۳۹). در خصوص اثر پروتئین نظر دیگری توسط هود-نیفر و تایلر (۲۰۱۰) ارائه شده است که بر مبنای آن پروتئین‌ها باعث کاهش نیروی برشی در پوسته و در نتیجه کاهش اختلاف فشار بین خروجی قالب و محیط



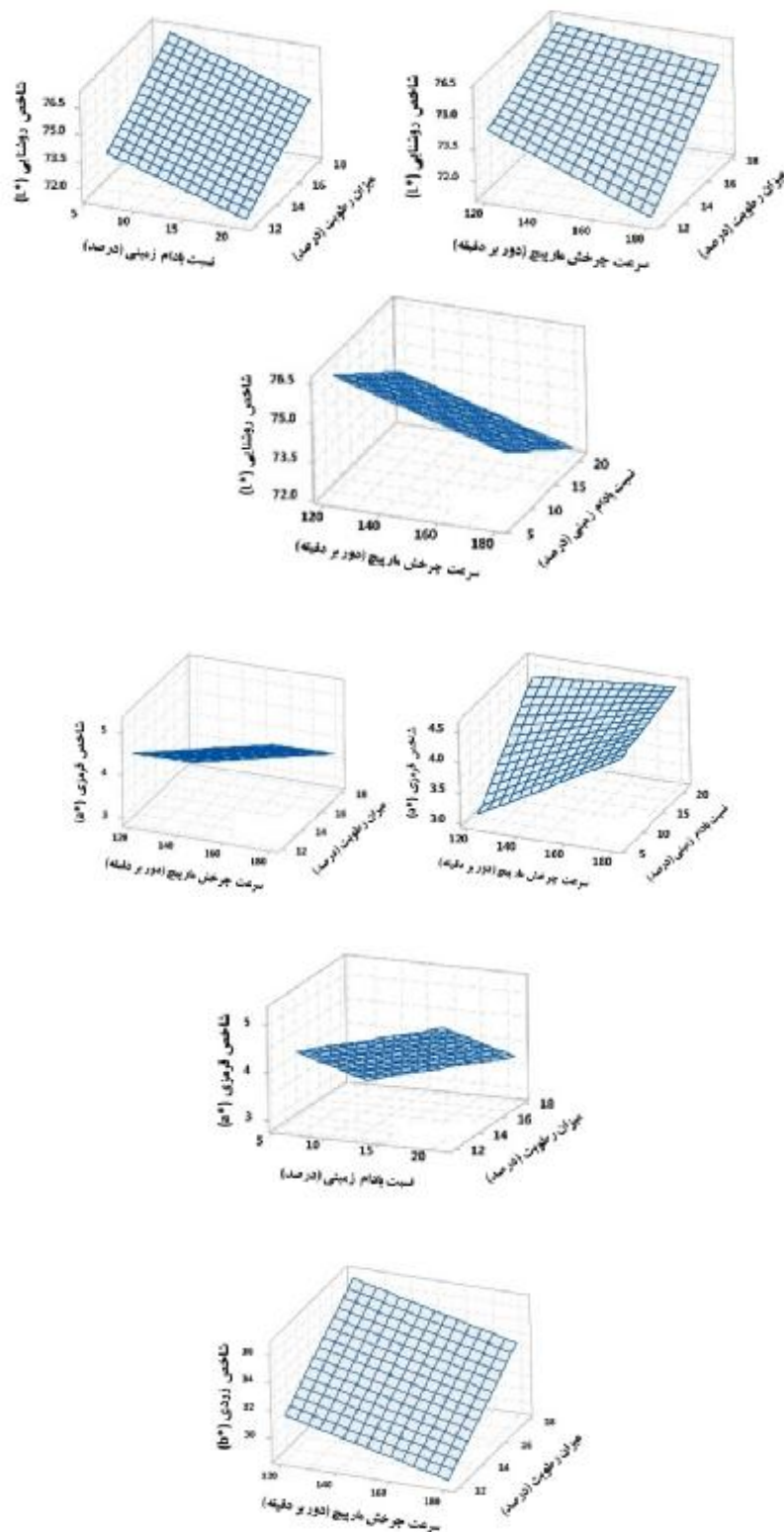
شکل ۷- اثر میزان رطوبت خوراک، سرعت چرخش ماریچ و نسبت بادام زمینی بر میزان سختی اسنک حجیم.

۳-۲- ویژگی‌های رنگی

۳-۲-۱- شاخص روشنایی L^*

رنگ محصولات اکستروژن شده یکی از ویژگی‌های کیفی مهم است که برای نشان دادن اثر فرایند اکستروژن نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. رنگ محصولات اکستروژن شده نمایانگر برآیند تخریب رنگدانه‌های طبیعی و نیز رنگدانه‌های تولید شده حین فرایند است. نتایج حاصل از آنالیز واریانس در این بررسی نشان داد که اثر خطی میزان رطوبت، نسبت مغز بادام زمینی و سرعت چرخش ماریچ بر شاخص روشنایی اثر معنی‌دار ($p < 0.05$) داشت. مدل برازش شده برای تغییرات روشنایی نمونه‌ها به صورت چند جمله ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۸۶۵۹ بود. همان طور که در شکل ۸ مشاهده می‌گردد افزایش نسبت مغز بادام زمینی و سرعت چرخش ماریچ منجر به کاهش روشنایی نمونه‌ها گشت، اما افزایش میزان رطوبت منجر به افزایش این ویژگی گردید.

در مطالعات مختلفی به افزایش سختی همراه با افزایش رطوبت اشاره شده است (۵، ۱۱، ۲۲). دینگ و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی اثر دما، سرعت چرخش، رطوبت و سرعت خوراک نشان دادند رطوبت بیشترین تاثیر را بر سختی اسنک حجیم شده بر پایه برنج داشته است (۱۱). طبق نظر این محققین، احتمالاً کاهش انبساط بر اثر افزایش رطوبت عامل افزایش سختی فراورده بوده است. وو و همکاران (۲۰۰۷) نیز نشان دادند میزان رطوبت مهم‌ترین عامل تعیین کننده سختی فراورده حجیم شده حاوی ذرت و بذرتان است به طوری که افزایش این عامل از ۱۶ درصد به ۲۰ موجب افزایش سختی گردیده است (۳۷). آلتان و همکاران (۲۰۰۸) و لیو و همکاران (۲۰۰۰) نیز نشان دادند که افزایش سرعت ماریچ موجب کاهش سختی فراورده حجیم شده گردیده است (۳، ۲۲).



شکل ۸- اثر میزان رطوبت خوراک، سرعت چرخش مارپیچ و نسبت بادام زمینی بر L^* ، a^* و b^* اسنک حجیم.

۳-۷-۳- شاخص زردی *b

نتایج آنالیز واریانس نشان داد اثر خطی سرعت چرخش ماریپیچ و میزان رطوبت بر شاخص زردی نمونه‌ها معنی‌دار بوده است ($p < 0/05$). مدل برازش شده تغییرات میزان شاخص زردی نیز به صورت چند جمله ای درجه اول با ضریب تبیین برابر با $0/7673$ بود. همانطور که در شکل شماره ۸ مشخص است با افزایش سرعت چرخش ماریپیچ مقدار شاخص زردی کاهش و در مقابل با افزایش میزان رطوبت، افزایش یافت.

در حالی که شاخص‌های قرمزی و روشنایی بیشتر تحت تاثیر واکنش‌های قهوه‌ای شدن قرار می‌گیرند، تخریب رنگدانه‌های طبیعی موجود در ماده اولیه تاثیر چشمگیری بر میزان شاخص زردی دارد (۱۸). بر این اساس، با افزایش میزان رطوبت و متعاقب آن کاهش ویسکوزیته و در نتیجه اصطکاک، رنگدانه‌های موجود کمتر تخریب شده و لذا با افزایش رطوبت شاخص زردی افزایش یافته است اما افزایش سرعت چرخش ماریپیچ منجر به افزایش اصطکاک و تخریب رنگدانه‌ها و در نتیجه کاهش میزان زردی شده است.

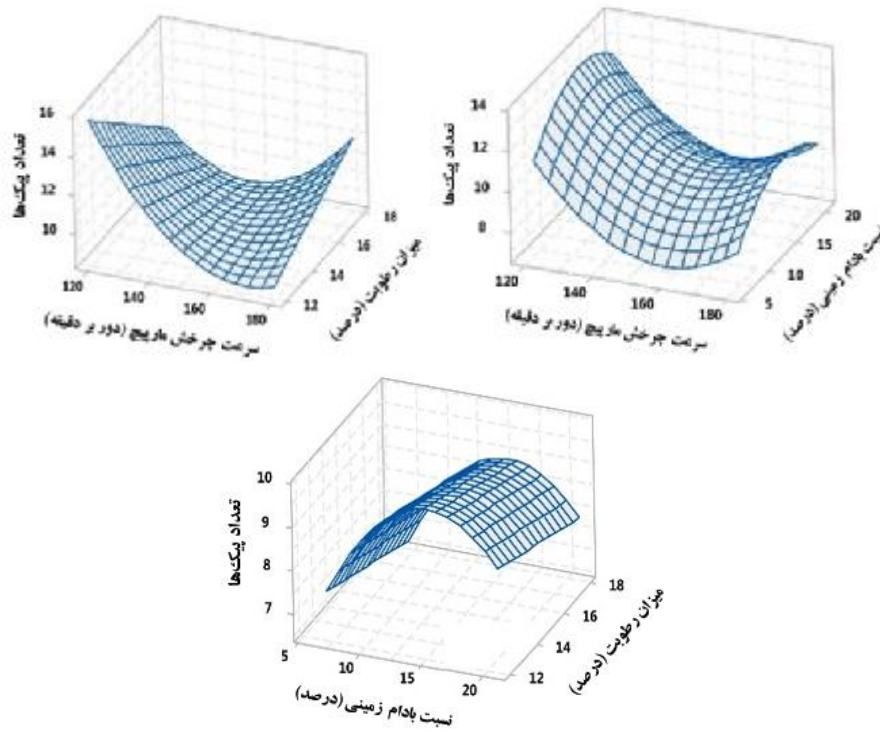
۳-۸- ویژگی‌های صوتی

نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان داد اثر مربع سرعت چرخش ماریپیچ بر میزان پیک بیشینه، تعداد پیک‌ها و متوسط قدرت پیک‌ها معنی‌دار بود ($p < 0/05$). مدل برازش شده برای تغییرات میزان پیک بیشینه، تعداد پیک‌ها و متوسط قدرت پیک‌ها به صورت چند جمله‌ای درجه دوم با ضریب همبستگی به ترتیب برابر با $0/5936$ ، $0/6673$ و $0/4638$ بود. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، افزایش سرعت چرخش ماریپیچ تا حدود ۱۶۰ دور بر دقیقه منجر به کاهش میزان تعداد پیک‌ها و در ادامه باعث افزایش آن گردید. از تعداد پیک می‌توان به عنوان شاخص تردی محصول استفاده کرد به طوری که هر چه محصول تردتر باشد تعداد پیک بیشتر خواهد بود. از سوی دیگر، افزایش سرعت ماریپیچ تا حدود ۱۵۰ دور بر دقیقه منجر به افزایش میانگین قدرت پیک‌ها و میزان پیک بیشینه گردید (شکل ۱۰).

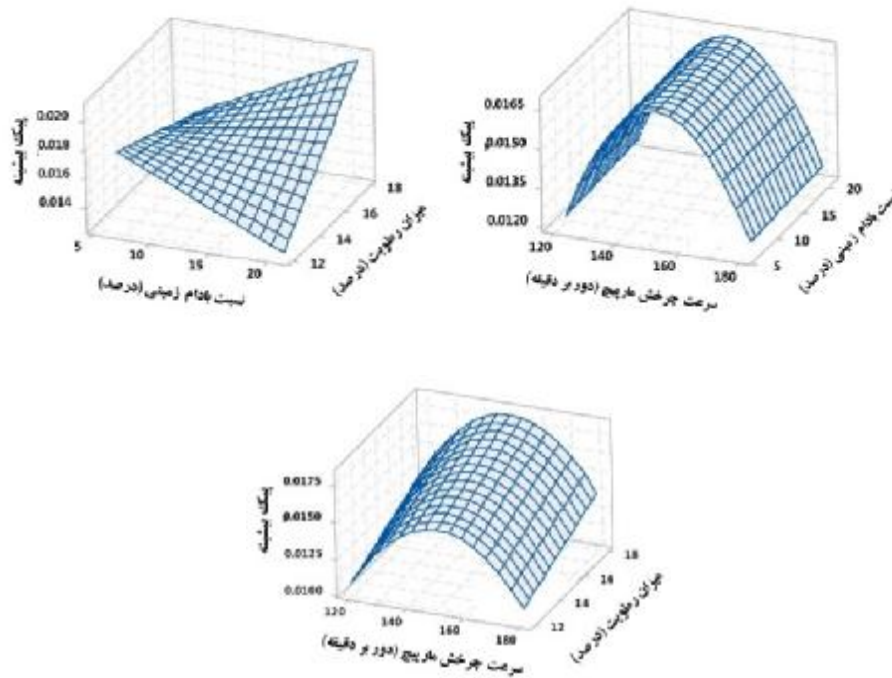
افزایش سرعت ماریپیچ می‌تواند منجر به افزایش میزان تنش برشی و در نتیجه ایجاد حرارت و پخت بیشتر گردد که باعث کاهش میزان روشنایی خواهد گردید. افزایش میزان رطوبت نیز می‌تواند باعث کاهش ویسکوزیته خمیر و در نتیجه اصطکاک شود که این امر نیز می‌تواند موجب کاهش واکنش‌های قهوه‌ای شدن در محصول گردد (۷).

۳-۷-۲- شاخص قرمزی *a

تغییرات شاخص قرمزی نمونه‌های تولیدشده در شکل ۸ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است افزایش رطوبت خوراک موجب کاهش و افزایش سرعت چرخش ماریپیچ و نسبت مغز بادام زمینی موجب افزایش مقدار شاخص قرمزی گردید. مطابق آنالیز واریانس اثر خطی میزان رطوبت خوراک، نسبت مغز بادام زمینی و سرعت چرخش ماریپیچ بر میزان شاخص قرمزی نمونه‌ها معنی‌دار بود ($p < 0/05$). مدل برازش شده تغییرات شاخص قرمزی به صورت چند جمله ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با $0/8721$ بود. واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی حین پخت و نیز تخریب رنگدانه‌ها موجب تغییر شاخص قرمزی فرآورده می‌شود. ایلو و همکاران (۱۹۹۹) با بررسی سینتیک تغییرات رنگی در اکستروژن بلغور ذرت نشان دادند دما و رطوبت ورودی مهمترین عوامل موثر بر شاخص قرمزی محصول بودند به طوری که میزان این شاخص با افزایش دما و رطوبت به ترتیب افزایش و کاهش یافت (۱۸). کاهش میزان شاخص قرمزی با افزایش میزان رطوبت می‌تواند به این علت باشد که در نمونه‌های حاوی مقادیر بالاتر آب، شرایط مناسب برای انجام واکنش میلارد و کاراملیزاسیون کاهش یافته و همچنین غلظت پروتئین‌ها و قندهای احیا کننده موجود در خمیر کمتر شده و میزان واکنش میلارد و در نتیجه تشکیل رنگدانه‌ها در اثر این واکنش دچار کاهش خواهد شد (۲۰).



شکل ۹- اثر میزان رطوبت خوراک، سرعت چرخش ماریج و نسبت بادام زمینی بر تعداد پیک‌های اسنک حجیم.



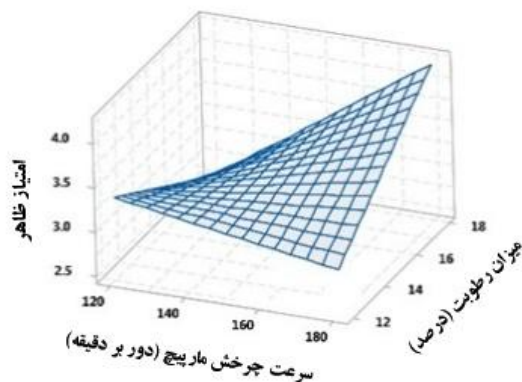
شکل ۱۰- اثر میزان رطوبت خوراک، سرعت چرخش ماریج و نسبت بادام زمینی بر پیک بیشینه اسنک حجیم.

۳-۹-۳ ویژگی های حسی

۳-۹-۳-۱- ظاهر

نحوه تغییرات امتیاز ظاهر نمونه های اسنک حجیم در شکل ۱۱ نشان داده شده است. نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان داد اثر متقابل سرعت چرخش با میزان رطوبت بر امتیاز ظاهر

نمونه ها معنی دار بود ($p < 0/05$). معادله برازش شده امتیاز ظاهر به صورت چند جمله ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۴۳۸۷ بود. همانطور که در شکل ۱۱ مشخص است، با افزایش میزان رطوبت و سرعت چرخش ماریپیچ میزان امتیاز ظاهر نمونه ها افزایش یافت.



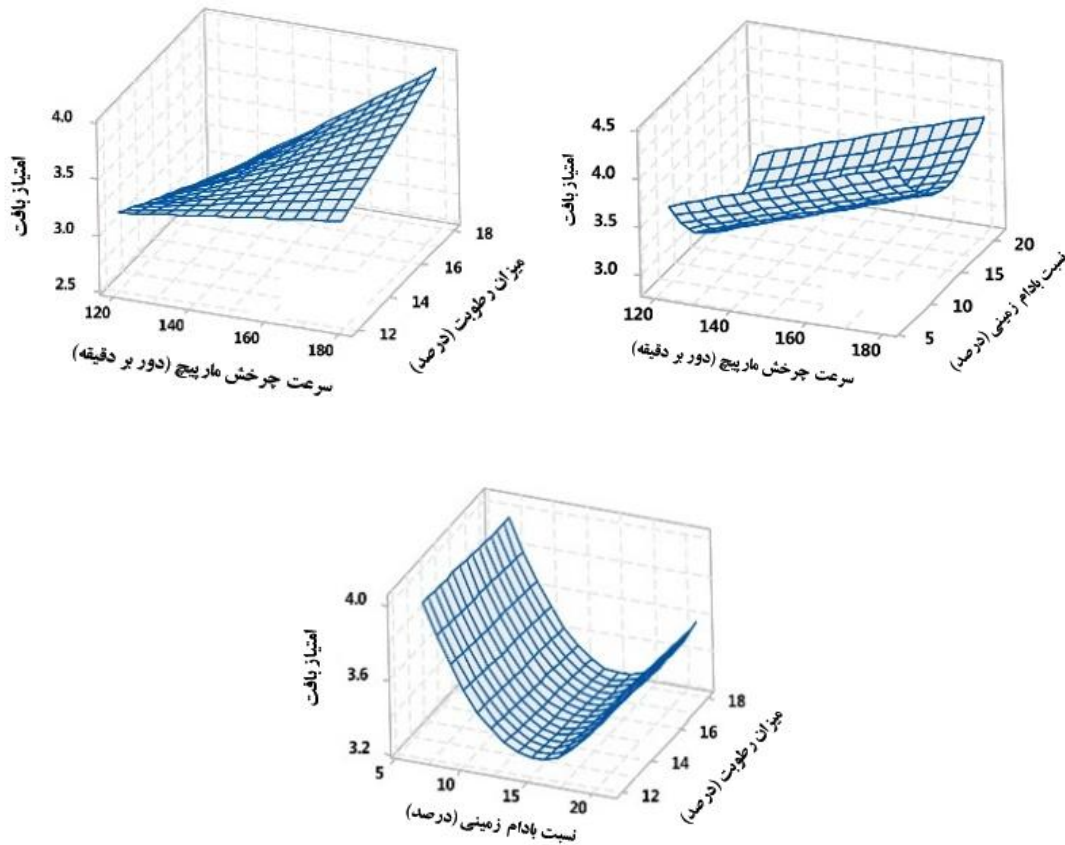
شکل ۱۱- اثر میزان رطوبت خوراک و سرعت چرخش ماریپیچ بر امتیاز ظاهر اسنک حجیم.

۳-۹-۳-۲- رنگ

مطابق نتایج حاصل از آنالیز واریانس فقط اثر خطی میزان رطوبت بر امتیاز رنگ نمونه ها معنی دار بود ($p < 0/05$) به طوری که با افزایش میزان رطوبت امتیاز رنگ نمونه ها نیز افزایش یافت. مدل برازش شده نرم افزار به صورت چند جمله ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۲۶۳۶ بود.

۳-۹-۳-۳- بافت

نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان داد که اثر خطی سرعت چرخش ماریپیچ و مربع نسبت مغز بادام زمینی بر امتیاز بافت نمونه ها تاثیر داشت ($p < 0/05$)، به طوری که با افزایش سرعت چرخش ماریپیچ امتیاز بافت نمونه ها افزایش و با افزایش رطوبت از امتیاز آن اندکی کاسته شد. افزایش نسبت مغز بادام زمینی تا حدود ۱۵ درصد منجر به کاهش و پس از آن باعث افزایش امتیاز بافت گردید (شکل ۱۲). مدل برازش شده تغییرات امتیاز بافت به صورت چند جمله ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۷۰۶۳ بود.



شکل ۱۲- اثر میزان رطوبت خوراک، سرعت چرخش ماریچ و نسبت بادام زمینی بر امتیاز بافت اسنک حجیم.

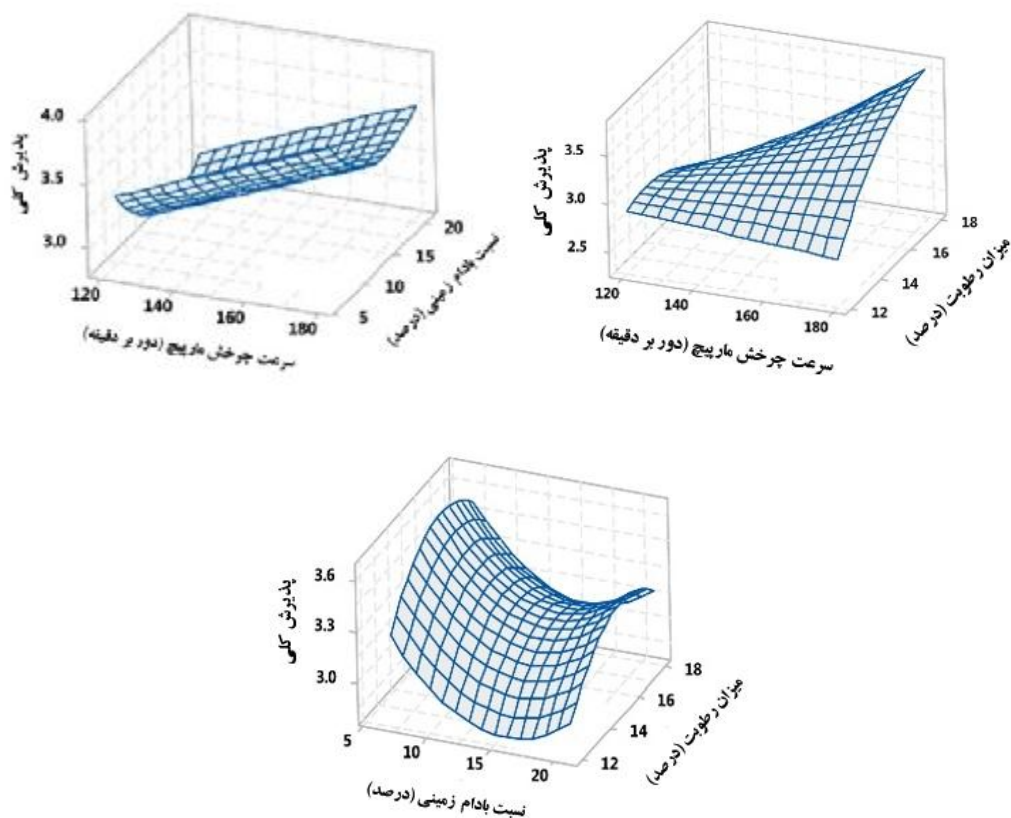
ماریچ و همچنین اثر متقابل میزان رطوبت و سرعت چرخش ماریچ بر امتیاز پذیرش کلی نمونه‌های حجیم شده معنی‌دار بود ($p < 0.05$). مدل برازش شده امتیاز پذیرش کلی به صورت چندجمله‌ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۷۲۹۱ بود. روند تغییرات امتیاز پذیرش کلی نمونه‌ها در شکل ۱۳ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است اثر رطوبت به صورت سهمی بود به طوری که تغییر آن از ۱۲ درصد به حدود ۱۶ درصد موجب افزایش امتیاز پذیرش کلی و پس آن موجب کاهش این امتیاز گردید. افزایش سرعت چرخش ماریچ نیز باعث افزایش پذیرش کلی نمونه‌ها گشت.

۳-۹-۴- طعم

نتایج حاصل از آنالیز واریانس مشخص کرد که فقط اثر سرعت چرخش ماریچ بر امتیاز طعم اثر معنی‌دار داشت ($p < 0.05$) و افزایش آن منجر به افزایش امتیاز طعم نمونه‌ها گشت. مدل برازش شده برای روند تغییرات امتیاز طعم به صورت دو جمله‌ای درجه اول با ضریب تبیین برابر با ۰/۲۹۰۶ بود.

۳-۹-۵- پذیرش کلی

نتایج آنالیز واریانس نشان داد اثرات خطی سرعت چرخش



شکل ۱۳- اثر میزان رطوبت خوراک، سرعت چرخش ماریج و نسبت بادام زمینی بر امتیاز پذیرش کلی اسنک حجیم.

صورت جدول ۲ به دست آمد. شایان ذکر است میزان نسبت مغز بادام زمینی در سطح چهارده درصد در نظر گرفته شد.

۳-۱۰- شرایط بهینه تولید

برای رسیدن به بالاترین نسبت انبساط و روشنایی و کمترین میزان سختی و چگالی، شرایط بهینه تولید به

جدول ۲- نتایج بهینه یابی شرایط اکستروژن و فرمولاسیون اسنک حاوی بادام زمینی

| شرایط/صفات | سرعت چرخش ماریج (rpm) | بادام زمینی (درصد) | رطوبت (درصد) | نسبت انبساط (درصد) | L* | سختی (N) | چگالی (g/cm ³) |
|--------------|-----------------------|--------------------|--------------|--------------------|-------|----------|----------------------------|
| مقادیر بهینه | ۱۲۰ | ۱۴ | ۱۳/۲۰ | ۴۱۰/۰۵۱ | ۷۴/۳۸ | ۴/۰۳ | ۰/۱۲۶ |

۴-- نتیجه گیری

در این بررسی امکان تولید اسنک حجیم بر پایه بلغور ذرت و مغز بادام زمینی مورد بررسی قرار گرفت و تاثیر ترکیب خوراک و شرایط فرایند بر ویژگی‌های محصول تولیدی ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که ترکیب خوراک و شرایط فرایند تاثیر چشمگیری بر خصوصیات محصول نهایی به ویژه ویژگی‌های حسی و رنگی آن داشته است. به نحوی که افزایش میزان مغز بادام زمینی در فرمولاسیون اسنک بر پایه بلغور ذرت و همچنین افزایش سرعت چرخش مارپیچ و میزان رطوبت منجر به کاهش مطلوبیت برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ظاهری و بهبود برخی ویژگی‌های حسی آن گشت. به طور کلی و بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان بیان داشت که میزان فرایند پخت و ژلاتیناسیون نشاسته، عوامل موثر بر آن و محصولات حاصل از این فرایند بر ویژگی‌های نمونه‌های تولید شده تاثیر بسزایی داشته و بسیاری از تغییرات صورت گرفته در نمونه‌های تولید شده را می‌توان در ارتباط با این فرایند دانست. لذا با مطالعات بیشتر در این زمینه می‌توان در خصوص افزایش پذیرش و بازار پسندی اسنک حجیم حاوی مغز بادام زمینی، که منبع مناسبی از اسیدهای چرب امگا-۳ می‌باشد، اقدامات موثرتری صورت داد.

۵- منابع

۱. بیرقی طوسی، ش.، محبی، م و وریدی، م. ۱۳۹۷. اثر ترکیب خوراک و متغیرهای فرایند بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کف‌های جامد تشکیل شده از نشاسته ذرت و دانه کنجد به روش اکستروژن. پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۴.

2. Altan, A., McCarthy, KL. and Maskan, M. 2008. Evaluation of snack foods from barley-tomato pomace blends by extrusion processing. *Journal of Food Engineering*, 84: 231-242.

3. Anderson, R. 1969. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. *Cereal science today*, 14: 4-12.

4. The Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official Methods of Analysis (17th edn). Association of Official Analytical Chemists, 2002.
5. Badrie, N. and Mellowes, W. 1991. Texture and microstructure of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) flour extrudate. *Journal of food science*, 56: 1319-1322.
6. Balandran Quintana, R., Barbosa Canovas, G., Zazueta Morales, J., Anzaldúa Morales, A. and Quintero Ramos, A. 1998. Functional and nutritional properties of extruded whole pinto bean meal (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science*, 63: 113-116.
7. Boff Zortéa Guidolin, ME., Carvalho, CW., Godoy, RC., Mottin Demiate, I. and Paula Scheer, A. 2017. Influence of Extrusion Cooking on In Vitro Digestibility, Physical and Sensory Properties of Brazilian Pine Seeds Flour (*Araucaria Angustifolia*). *Journal of Food Science*, 82: 977-984.
8. Cheewapramong, P., Riaz, M., Rooney, L. and Lusas, E. 2002. Use of partially defatted peanut flour in breakfast cereal flakes. *Cereal chemistry*, 79: 586-592.
9. Chen, C-M. and Yeh, A-I. 2001. Effect of amylose content on expansion of extruded rice pellet. *Cereal chemistry*, 78: 261-266.
10. 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. *Journal of Food Engineering*, 73: 142-148.
11. Ding, Q-B., Ainsworth, P., Tucker, G. and Marson, H. 2005. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 66: 283-289.
12. Falcone, RG. and Phillips, RD. 1988. Effectsof feed composition, feed moisture, and barrel temperature on the physical and rheological properties of snack-like products prepared from cowpea and sorghum flours by extrusion. *Journal of Food Science*, 53: 1464-1469.

2012. Properties of extruded expandable breadfruit products. *LWT-Food Science and Technology*, 46: 326-334.
24. Mason, W. and Hosney, R. 1986. Factors affecting the viscosity of extrusion-cooked wheat starch. *Cereal Chemistry*, 63: 436-441, 1986.
25. Mercier, C. 1975. Modification of carbohydrate components by extrusion cooking of cereal products. *Cereal Chem*, 52: 283-297
26. Mezreb, K., Goullieux, A., Ralainirina, R. and Queneudec, M. 2003. Application of image analysis to measure screw speed influence on physical properties of corn and wheat extrudates. *Journal of Food Engineering*, 57: 145-152.
27. Nigam, S. 1992. Groundnut-a global perspective: proceedings of an international workshop, 25-29 Nov 1991, ICRISAT Center. India. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
28. O'shea, N., Arendt, E. and Gallagher, E. 2014. Enhancing an extruded puffed snack by optimising diehead temperature, screw speed and apple pomace inclusion. *Food and bioprocess technology*, 7: 1767-1782.
29. Obatolu Veronica, A., Omueti Olusola, O. and Adebawale, EA. 2006. Qualities of extruded puffed snacks from maize/soybean mixture. *Journal of food process engineering*, 29: 149-161.
30. Okafor, GI. and Ugwu, FC. 2014. Production and Evaluation of Cold Extruded and Baked read-to-eat snacks from blends of breadfruit (*Treculia Africana*), Cashewnut (*Anacardium occidentale*) and Coconut (*cocos nucifera*). *Food Science and Quality Management*, 23: 65-77.
31. Prinyawiwatkul, W., Beuchat, L. and Resurreccion, A. 1993. Optimization of sensory qualities of an extruded snack based on cornstarch and peanut flour. *LWT-Food Science and Technology*, 26: 393-399.
32. Prinyawiwatkul, W., Beuchat, LR., Phillips, RD. and Resurreccion, AV. 1995. Modelling the effects of peanut flour, feed moisture content, and extrusion temperature on physical properties of an extruded snack product. *International journal of food science & technology*, 30: 37-44.
13. Faubion, J. and Hosney, R. 1982. High-temperature short-time extrusion cooking of wheat starch and flour. I. Effect of moisture and flour type on extrudate properties. *Cereal Chemistry*.
14. Fletcher, S., Richmond, P. and Smith, A. 1985. An experimental study of twin-screw extrusion-cooking of maize grits. *Journal of Food Engineering*, 4: 291-312.
15. Gujska, E. and Khan, K. 1991. Feed moisture effects on functional properties, trypsin inhibitor and hemagglutinating activities of extruded bean high starch fractions. *Journal of Food Science*, 56: 443-447.
16. Hood-Niefer, SD. and Tyler, RT. 2010. Effect of protein, moisture content and barrel temperature on the physicochemical characteristics of pea flour extrudates. *Food Research International*, 43: 659-663.
17. Huang, J., Lui, W-B. and Peng, J. 2014. Effects of Screw Speed and Sesame Cake Level on Optimal Operation Conditions of Expanded Corn Grits Extrudates. *International journal of food engineering*, 10: 317-328.
18. Berghofer, E. 1999. Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits. *Journal of Food Engineering*, 39: 73-80.
19. Jin, Z., Hsieh, F. and Huff, H. 1995. Effects of soy fiber, salt, sugar and screw speed on physical properties and microstructure of corn meal extrudate. *Journal of Cereal Science*, 22: 185-194.
20. Laguna, L., Salvador, A., Sanz, T. and Fiszman, SM. 2011. Performance of a resistant starch rich ingredient in the baking and eating quality of short-dough biscuits. *LWT-Food Science and Technology*, 44: 737-746.
21. Launay, B. and Lisch, J. 1983. Twin-screw extrusion cooking of starches: flow behaviour of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates. *Journal of Food Engineering*, 2: 259-280.
22. Liu, Y., Hsieh, F., Heymann, H. 2000. and Huff H. Effect of process conditions on the physical and sensory properties of extruded oat-corn puff. *Journal of Food Science*, 65: 1253-1259.
23. Ma, H., Pan, Z., Li, B., Atungulu, GG., Olson, DA., Wall, MM. and Mc Hugh, TH.

37. Wu, W., Huff, H. and Hsieh, F. 2007. Processing and properties of extruded flaxseed-corn puff. *Journal of food processing and preservation*, 31: 211-226.
38. Yagci, S. 2017. Effects of instant controlled pressure drop process on physical and sensory properties of puffed wheat snack. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97: 1768-1773.
39. Yagci, S. and Gogus, F. 2009. Selected physical properties of expanded extrudates from the blends of hazelnut flour-durum clear flour-rice. *International Journal of Food Properties*, 12: 405-413, 2009.
40. Yagci, S. and Gogus, F. 2009. Development of extruded snack from food by-products: a response surface analysis. *Journal of food process engineering*, 32: 565-586.
33. Singh, B., Hussain, SZ. and 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: 270-281.
34. Smartt, J. and Nwokolo, E. 2012. Food and feed from legumes and oilseeds. Springer Science & Business Media.
35. Suknark, K., Phillips, R. and Chinnan, M. 1997. Physical properties of directly expanded extrudates formulated from partially defatted peanut flour and different types of starch. *Food Research International*, 30: 575-583.
36. Ushakumari, SR., Latha, S. and Malleshi, NG. 2004. The functional properties of popped, flaked, extruded and rollerdried foxtail millet (*Setaria italica*). *International journal of food science & technology*, 39: 907-915.

(Original Research Paper)

Evaluation of the Effect of Feed Composition and Extrusion Process Variables on Physicochemical, Textural, Visual and Sensory Properties of Puffed Corn Snacks Containing Flaxseed

Shahram Beiraghi Toosi^{1*}, Gholam Ali Goli Movahhed¹, Majid Hashemi¹, Farideh Salehi Pour², Mohabbat Mohebbi³

- 1- Department of Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology, Khorasan Razavi Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran.
- 2- MS.c Graduated of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
- 3- Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Received: 25/07/2019

Accepted: 12/10/2019

Abstract

The production of extruded products enriched with oilseeds and nuts can be welcomed by producers as a new product in addition to helping to nourish consumers. But the production of a product with appropriate characteristics requires the examination of the effect of process conditions on the properties of the produced product. In this study, the effect of feed composition, feed moisture content and screw speed variables investigated on the physicochemical, textural, visual, acoustic and sensory properties of peanut puffed snacks produced by the extrusion process. For this purpose, the peanuts mixed with corn grits at a ratio of 7, 14 and 21 percent and water added to the mixture to reach a moisture content of 12, 15 and 18%. Then, the resulting mixture extruded at screw speeds of 120, 150 and 180 rpm, at 140 °C, with a die diameter of 2.5 mm. In the next step, the required tests performed to determine the intended properties of all produced samples. The results showed that increased moisture content of the feed increased water absorption, particle density, hardness, L*, b* and appearance and color scores in sensory evaluation and decreased water solubility and a* of the samples. Also, increasing the screw speed led to increase in the water solubility, a* and sensory evaluation scores (appearance, texture, flavor and overall acceptance) and reduced radial expansion, hardness, L* and b*. Increasing the ratio of peanut in the produced samples increased particle density, hardness and a* and reduced radial expansion, porosity and L* of the samples. In order to produce the optimum sample with the highest expansion ratio and brightness and the lowest hardness and density, which contains 14% peanut, the screw speed and feed moisture content calculated respectively for 120 rpm and 13.20% respectively.

Keywords: Extrusion, Peanut, Color, Sensory Evaluation, Texture.

*Corresponding Author: toosi@acecr.ac.ir