

## بررسی تأثیر ترکیب خوراک و متغیرهای فرایند اکستروژن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی، تصویری و حسی اسنک حجیم ذرت حاوی بذر کتان

شهرام بیرقی طوسی<sup>۱\*</sup>، غلامعلی گلی موحد<sup>۲</sup>، مجید هاشمی<sup>۲</sup>، فریده صالحی پور<sup>۳</sup> و محبت محبی<sup>۴</sup>

۱ و ۲- به ترتیب: استادیار؛ و مربی گروه پژوهشی فرآوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران  
۳ و ۴- به ترتیب: دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد؛ و استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران  
تاریخ دریافت: ۹۸/۴/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۶

### چکیده

در این پژوهش، اثر متغیرهای ترکیب و میزان رطوبت خوراک و سرعت چرخش ماریج بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی، تصویری، صوتی و حسی اسنک حجیم حاوی بذر کتان تولید شده با فرایند اکستروژن بررسی شده است. بدین منظور، بذر کتان به نسبت‌های ۷، ۱۴ و ۲۱ درصد با بلغور ذرت مخلوط و برای رسیدن به رطوبت‌های ۱۲، ۱۵ و ۱۸ درصد به آن آب افزوده شد. مخلوط به دست آمده با سرعت چرخش ماریج برابر با ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دور بر دقیقه، در دمای ۱۴۰ درجه سلسیوس اکستروژد گردید. در مرحله بعد، آزمایش‌های لازم برای تعیین ویژگی‌های مورد نظر روی کلیه نمونه‌های تولید شده صورت گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد افزایش میزان رطوبت خوراک باعث افزایش میزان جذب آب، چگالی ذره‌ای و سفتی و کاهش شاخص انحلال پذیری در آب و امتیاز حسی بافت نمونه‌ها می‌شود. همچنین، افزایش سرعت چرخش ماریج منجر می‌شود به افزایش شاخص انحلال در آب و کاهش میزان چگالی ذره‌ای، نسبت انبساط شعاعی، سفتی، و امتیازهای حسی ظاهر، رنگ، بافت و پذیرش کلی نمونه‌ها. افزایش نسبت بذر کتان در نمونه‌های تولید شده نیز باعث افزایش چگالی ذره‌ای و کاهش مقادیر انبساط شعاعی و امتیازهای حسی مربوط به ظاهر، رنگ و پذیرش کلی نمونه‌ها می‌شود. به منظور تولید نمونه بهینه با بالاترین نسبت انبساط و روشنایی و کمترین میزان سفتی و چگالی با ۱۴ درصد بذر کتان، نیاز خواهد بود میزان سرعت چرخش ماریج و رطوبت خوراک ورودی به ترتیب برابر با ۱۸۰ دور بر دقیقه و ۱۴/۴۲ درصد باشد.

### واژه‌های کلیدی

ارزیابی حسی، اکستروژر، بافت، پردازش تصویر، غذاهای فراسودمند

مقدمه  
عملگر مواد غذایی هستند که علاوه بر تأثیرات تغذیه‌ای مناسب، دارای تأثیر مطلوب بر یک یا چند عملکرد در بدن انسان باشند. این غذاها باعث بهبود کلی سلامت و کاهش خطر ابتلا به بیماری‌ها

در سال‌های اخیر علاقه به مفهوم "غذاهای عملگر" توسط صنعت غذا و مصرف‌کنندگان افزایش یافته است (Yanniotis *et al.*, 2007). غذاهای

روز در نظر گرفته شده است که حداقل ۱۵ گرم از آن باید از فیبرهای حل‌پذیر باشد. نوع و کیفیت فیبرهای رژیمی به طور چشمگیری بر حسب شرایط فرایند و منبع مورد استفاده متفاوت است (Aleixandre & Miguel, 2008). یکی از متداول‌ترین فناوری‌های مورد استفاده برای وارد کردن فیبرهای غذایی، فرآیند اکستروژن است که فرآیندی با دمای بالا و زمان کوتاه شناخته می‌شود (Singh et al., 2007). تأثیرات حرارتی- مکانیکی در فرآیند اکستروژن منجر به توزیع مجدد ترکیبات حل‌پذیر و حل‌ناپذیر فیبرها می‌شود و در نتیجه پروفایل فیبرهای غذایی می‌تواند به طور چشمگیری بهبود یابد (Gualberto et al., 1997).

با توجه به مطالب فوق می‌توان چنین نتیجه گرفت که تولید محصولات اکستروژن شده حاوی دانه کتان که به صورت غلات صبحانه یا اسنک قابل مصرف باشد می‌تواند منجر به افزایش مصرف دانه کتان شود و برای مصرف‌کنندگان سودبخش باشد. قابلیت پذیرش مواد غذایی اکستروژن شده، به ویژه اسنک‌ها، عمدتاً وابسته به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی آنهاست (Yanniotis et al., 2007)؛ مطالعات اندکی تا کنون به منظور کنترل سیستماتیک شرایط فرایند اکستروژن برای تولید اسنک حجیم حاوی مقادیر بالایی از دانه کتان صورت پذیرفته است. منتی و همکاران (Manthey et al., 2002). تأثیر فرآیند اکستروژن و پخت را بر میزان لیپید و پایداری آلفا لینولنیک اسید در اسپاگتی حاوی دانه کتان آسیاب شده بررسی و مشاهده کردند که میزان کلی لیپید و آلفا لینولنیک اسید با افزودن ۵ و ۱۰ درصد دانه کتان آسیاب شده دچار کاهش جزئی می‌شود اما در سطح ۱۵ درصد چنین اتفاقی نمی‌افتد. احمد (Ahmed, 1999)

می‌شوند. با افزایش توجه به مقوله سلامت، استفاده از مواد غذایی عملگر به عنوان یکی از ابعاد توسعه محصولات غذایی باید مورد توجه قرار گیرد (Capriles et al., 2009).

یکی از مواد غذایی عملگر که تحقیقات در سال‌های اخیر روی آن متمرکز شده است، دانه کتان (*Linum usitatissimum* L.) است. دانه کتان غنی‌ترین منبع ترکیبات فنولیک است که لیگنان شناخته می‌شود و اثر ضد سرطان‌زایی دارد (Chen et al., 2011). علاوه بر این، دانه کتان غنی از پروتئین است و پروفایل اسید آمینه آن شبیه به پروفایل سویاست (Oomah & Mazza, 1993). این دانه همچنین غنی‌ترین منبع گیاهی اسیدهای چرب امگا-۳ است. اخیراً تعداد غذاهای حاوی اسیدهای چرب امگا-۳ از جمله نان، بیسکویت، کیک، پاستا، آب میوه و بستنی افزایش یافته است. غذاهای دارای امگا-۳ که با دانه کتان غنی‌سازی شده‌اند به تدریج از اهمیت بیشتری می‌یابند (Borneo et al., 2007). هر سال حجم بالایی از اسنک مصرف می‌شود، از این رو ورود ترکیبات غذایی سلامتی بخش به اسنک می‌تواند یکی از راه‌هایی باشد که طی آن مردم مقدار بیشتری امگا-۳ دریافت کنند. با این همه، اسیدهای چرب امگا-۳ در حضور حرارت، نور و اکسیژن تجزیه می‌شوند و بنابراین توسعه محصولات غذایی حاوی امگا-۳ چالش برانگیز خواهد بود (Perlman, 2008).

دانه کتان منبع مناسبی از صمغ و موسیلاژ (نوعی فیبر انحلال‌پذیر) و فیبرهای انحلال‌ناپذیر است. فیبرهای غذایی بر اساس انحلال‌پذیریشان در آب دو دسته‌اند: پکتین و صمغ‌ها (که در آب حل‌پذیرند) و سلولز، همی سلولز و لیگنین (که در آب حل‌ناپذیرند) (Rose et al., 2007). امروزه مصرف فیبر رژیمی برای افراد بالغ بین ۲۰ تا ۳۵ گرم در

### مواد و روش‌ها

#### آماده‌سازی مخلوط پایه برای اکستروژن

به منظور آماده‌سازی نمونه‌ها برای اکستروژن و مطابق با پیش‌تست‌ها، بذر کتان (تهیه شده از فروشگاه محلی) به نسبت‌های ۱۴،۷ و ۲۱ درصد با بلغور ذرت (کارخانه زرین طلایی مشهد) مخلوط و آسیاب (مش ۲۰) گردید. آب به میزان مناسب برای رسیدن به رطوبت‌های ۱۲، ۱۵ و ۱۸ درصد به آن افزوده شد. نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه مخلوط و در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و به مدت یک شب در دمای محیط نگهداری شدند.

#### فرآیند اکستروژن

مخلوط‌های پایه آماده شده، با اکسترودر دوماریچ با چرخش هم‌جهت 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 سلسیوس و قطر خروجی قالب ۲/۵ میلی‌متر اکسترودر گردید. پس از خشک کردن فرآورده‌های اکسترودر شده در خشک‌کن تونلی (دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس)، نمونه‌برداری دنبال شد. نمونه‌ها پس از سرد شدن و قرار دادن آن‌ها درون کیسه‌های پلاستیکی پلی‌اتیلنی ضخیم زیپ‌دار کدگذاری شده، تا آغاز آزمایش‌ها دور از نور و در دمای اتاق نگهداری شدند.

#### ویژگی‌های شیمیایی مواد اولیه

میزان رطوبت، چربی، پروتئین و خاکستر مواد اولیه بر اساس روش‌های استاندارد (۲۰۰۲) AOAC اندازه‌گیری شد.

اسنک بر پایه ذرت حاوی دانه کتان را مطالعه و گزارش کرد که افزودن آرد دانه کتان باعث کاهش ضریب انبساط و افزایش دانسیته توده می‌شود که به محصولی متراکم‌تر می‌انجامد. علاوه بر این، رنگ نمونه اکسترودر شده تیره‌تر است و میزان جذب آب و انحلال‌پذیری در آب با افزایش میزان آرد دانه کتان افزایش می‌یابد. مسکوئیتا و همکاران (Mesquita et al., 2013) تأثیر شرایط فرآیند را بر ویژگی‌های فیزیکی اسنک اکسترودر شده حاوی مخلوط نشاسته کاساوا و آرد بذر کتان (تا سطح ۲۰ درصد) به منظور افزایش ارزش تغذیه‌ای اسنک بررسی و مشاهده کردند که تأثیر شرایط فرآیند و آرد بذر کتان بر ویژگی‌های اسنک حجیم تولید شده معنی‌دار است. مین و همکاران (Min et al., 2015) تأثیر شرایط فرآیند اکستروژن را بر ویژگی‌های اسنک دانه کتان مطالعه و شرایط بهینه تولید را محاسبه کردند. در این بررسی، میزان بهینه بذر کتان برابر با ۲۰ درصد اعلام شد و محققان گزارش دادند که اسنک تولید شده دارای ویژگی‌های قابل قبولی است.

هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر شرایط فرآیند اکستروژن و نسبت دانه کتان بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی، ساختاری و حسی اسنک حجیم حاوی دانه کتان و بهینه‌سازی شرایط تولید به منظور تولید اسنک بر پایه آرد ذرت حاوی دانه کتان، ضمن حفظ ویژگی‌های حسی مطلوب در نمونه است تا سودمندی‌های سلامتی بخش این دانه، به‌ویژه فیبر و امگا-۳، به اسنک حجیم که محصولی است بازاریابند، اضافه شود.

## ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های تولید شده

### شاخص جذب آب<sup>۱</sup> (WAI) و انحلال در آب<sup>۲</sup> (WSI)

برای اندازه‌گیری شاخص جذب آب، ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به ۰/۵ گرم نمونه آسیاب‌شده افزوده و نمونه پس از ۳۰ دقیقه هم‌زدن به مدت ۲۰ دقیقه در سانتریفیوژ با دور ۳۰۰۰g قرار داده شد. مایع رویی حاصل از سانتریفیوژ جدا و ژل باقیمانده وزن شد و شاخص جذب آب از رابطه ۱ به دست آمد (Singh et al., 2015). برای اندازه‌گیری شاخص انحلال در آب، ماده خشک مایع رویی حاصل از سانتریفیوژ کردن در مرحله اندازه‌گیری شاخص جذب آب به روش آون‌گذاری در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس اندازه‌گیری و شاخص انحلال در آب از رابطه ۲ محاسبه شد (Singh et al., 2015).

$$(1) \quad \text{وزن ژل باقی‌مانده} / \text{وزن نمونه} = \text{شاخص جذب آب}$$

$$(2) \quad \frac{\text{وزن ماده خشک مایع رویی حاصل از سانتریفیوژ}}{\text{وزن نمونه}} \times 100 = \text{شاخص انحلال آب در}$$

### چگالی ذره‌ای<sup>۳</sup>، چگالی جامد<sup>۴</sup> و تخلخل

چگالی ذره‌ای با استفاده از روش جابه‌جایی دانه ارزن و طبق رابطه ۳ محاسبه شد (Singh et al., 2015).

$$(3) \quad \text{چگالی ذره‌ای} = \frac{\text{چگالی ارزن} \times \text{وزن نمونه}}{\text{وزن نمونه} + (\text{وزن ظرف حاوی نمونه} - \text{وزن ظرف حاوی ارزن})}$$

چگالی جامد با محاسبه نسبت وزن به حجم معینی از نمونه به دست آمد (Ushakumari et al., 2004). تخلخل نمونه‌ها با استفاده از چگالی‌های به دست آمده، برابر رابطه شماره ۴ محاسبه شد (O'shea et al., 2014).

$$(4) \quad \text{تخلخل} = \frac{\text{چگالی ذره‌ای} - \text{چگالی جامد}}{\text{چگالی جامد}}$$

### نسبت انبساط

برای محاسبه نسبت انبساط، از هر تیمار ده نمونه به طور تصادفی انتخاب و قطر نمونه‌ها با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. میانگین اندازه‌ها به عنوان قطر نمونه در نظر گرفته شد. نسبت انبساط از تقسیم قطر نمونه بر قطر خروجی قالب اکسترودر به دست آمد (Huang et al., 2014).

### ویژگی‌های بافتی

به منظور تعیین ویژگی‌های بافتی نمونه‌های اکسترودر شده، از آزمون بافت سنجی و دستگاه بافت سنج<sup>۵</sup> شرکت لویید اینسترومنتس<sup>۶</sup> انگلستان به روش نفوذ استفاده شد؛ پروب استیل استوانه‌ای شکل با قطر دو میلی‌متر با سرعت ثابت یک میلی‌متر در ثانیه و میزان نفوذ ۱۰ میلی‌متر به داخل بافت هر نمونه اکسترودر شده وارد شد. بیشینه نیروی ثبت شده با دستگاه به عنوان میزان سفتی<sup>۷</sup> و سطح زیر منحنی نیرو-مسافت به عنوان کار<sup>۸</sup> در نظر گرفته شد. برای هر تیمار ده تکرار آزمایش در نظر گرفته شد (Beiraghi-Toosi et al., 2019).

1- Water Absorption Index  
3- Particle density  
5- Texture Analyzer (TA Plus)  
7- Hardness

2- Water Solubility Index  
4- Solid density  
6- Lloy Instruments  
8- Work to limit

### ویژگی‌های تصویری سطح نمونه‌ها

به منظور تعیین ویژگی‌های تصویری نمونه‌های اکستروژن شده، از روش پردازش تصویر استفاده شد؛ با دوربین دیجیتالی شرکت کنون<sup>۱</sup> تایوان، در جعبه سیاه مخصوص مجهز به لامپ‌های فلورسنت از نمونه‌ها تصویربرداری شد و تصویرها با استفاده از نرم‌افزار متلب ۲۰۱۶ پردازش شدند.

از سطح چهار عدد از هر تیمار تصویربرداری شد. در نرم‌افزار متلب ۲۰۱۶ ابتدا تقطیع و حذف زمینه اجرا شد. یک ماسک متناسب تصویر هر تیمار طراحی گردید. ماسک با آستانه‌گیری به روش اوتسو<sup>۲</sup> از تصویر خاکستری هر تیمار و حذف مشاهدات به هم پیوسته کوچک‌تر از ۱۳۰۰ پیکسل و در ادامه اعمال اتساع<sup>۳</sup> و فرسایش<sup>۴</sup> با یک عنصر ساختاری صاف دایره‌ای با شعاع ۳۰ پیکسل به دست آمد. با ضرب ماسک طراحی شده در تصویر اولیه، حذف زمینه انجام پذیرفت. تصویرهای نمونه‌های هر تیمار با استفاده از تعیین آرایه ساختار داده جغرافیایی<sup>۵</sup> در محدوده مختصات مرزی<sup>۶</sup> جداسازی شد. ویژگی‌های رنگی تصویر شامل کانال‌های رنگی RGB،  $L^*a^*b^*$ ، رنگینگی<sup>۷</sup> و سطوح خاکستری تعیین شد. رنگینگی از رابطه ۵ محاسبه شد.

$$R+G+B = \text{رنگینگی} \quad (5)$$

ویژگی‌های ریختی<sup>۸</sup> تصویر شامل مساحت، محور بزرگ<sup>۹</sup>، محور کوچک برای هر نمونه در نرم‌افزار متلب ۲۰۱۶ با استفاده از توصیف نواحی<sup>۱۰</sup> تعیین و همبستگی این ویژگی‌ها با خصوصیات فیزیکی شیمیایی و حسی محصول بررسی شد.

### ویژگی‌های صوتی

به منظور تعیین ویژگی‌های صوتی نمونه‌های اکستروژن شده، از روش پردازش صوت به کمک نرم‌افزار متلب ۲۰۱۶ استفاده شد؛ 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 نرم‌افزار متلب ۲۰۱۶، محدوده نمودار صوتی نمونه‌ها تعیین شد. نویز محیط با طراحی فیلتر میان‌گذر<sup>۱۱</sup> از نمودار صوتی حذف شد. ویژگی‌های صوتی شامل پیک بیشینه، تعداد پیک و متوسط قدرت پیک‌ها برای هر نمونه مشخص شد. متوسط قدرت پیک<sup>۱۲</sup> از نسبت مجموع ارزش پیک‌ها بر تعداد پیک‌ها در هر نمودار صوتی محاسبه شد (O'shea et al., 2014).

### ویژگی‌های حسی

ویژگی‌های حسی شامل ظاهر، عطر و طعم، رنگ، بافت و پذیرش کلی به روش هدونیک هفت امتیازی و با استفاده از هفت داور نیمه آموزش دیده ارزیابی شد (Yagci, 2017).

### طرح آماری

در این پژوهش، از روش سطح پاسخ<sup>۱۳</sup> (RSM) در قالب طرح آزمایشی باکس بنکن با کمک نرم‌افزار Minitab 17 استفاده شد.

متغیرهای مورد بررسی شامل سرعت چرخش مارپیچ، نسبت افزودن بذر کتان و درصد رطوبت خوراک است. نمونه بهینه بر اساس بیشترین میزان انبساط و روش‌شنایی ( $L^*$ ) و کمترین میزان سفتی و چگالی ذره‌ای به روش عددی با استفاده از نرم‌افزار Design Expert 7 محاسبه گردید.

1- Canon (EOS 1000D)

3- Dilation

5- Geographic data structure array

7- Chroma

9- Major axis length

11- Bandpass

13- Response Surface Methodology

2- Otsu

4- Erosion

6- Bounding Box

8- Morphological properties

10- Region properties

12 Average of Peak's Power

## نتایج و بحث

## ترکیب مواد اولیه

استفاده در تولید نمونه‌های اولیه اسنک  
حجم در جدول ۱ آورده شده  
است.

نتایج آنالیز ترکیب شیمیایی مواد اولیه مورد

جدول ۱- ترکیب شیمیایی مواد اولیه (گرم در ۱۰۰ گرم)

ماده اولیه	خاکستر	چربی	پروتئین	رطوبت
بلغور ذرت	۰/۹۵۲	۳/۱۵	۷/۰۸	۱۱/۷۳
بذر کتان	۵/۴۴	۵/۶۵	۱۴/۰۳	۹/۴۷

## شاخص جذب آب

شاخص جذب آب بیانگر میزان جذب آب توسط  
نشاسته است و می‌تواند به عنوان شاخص ژلاتینه  
شدن استفاده شود (Ding *et al.*, 2006) و با حجم  
ژل تشکیل شده متناسب است. ژلاتینه شدن، تبدیل  
نشاسته خام به نشاسته پخته‌شده و قابل هضم با  
به‌کارگیری آب و دماست و از اثرهای مهمی است که  
اکستروژن بر نشاسته دارد (Mason & Hosney,  
1986). شاخص جذب آب به میزان در دسترس  
بودن گروه‌های آب‌دوست و نیز ظرفیت ژل‌کنندگی  
ماکرو مولکول‌ها بستگی دارد. بر این اساس، تغییرات  
این شاخص به عوامل مختلف از جمله تغییرات  
ماکرو مولکول‌هایی مانند نشاسته بستگی دارد.  
اندرسون (Anderson, 1969) 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.  
بالاندران-کینتانا و همکاران (Balandran-Quintana  
*et al.*, 1998) نیز نشان داده‌اند با اعمال شرایط  
شدیدتر اکستروژن و در نتیجه افزایش میزان  
دکسترینه‌شدن نشاسته، شاخص جذب آب کاهش  
می‌یابد. این موضوع در مطالعه حاضر نیز دیده‌شده  
است به طوری که با افزایش سرعت چرخش و  
کاهش رطوبت، میزان شاخص جذب آب کاهش

روند تغییرات شاخص جذب آب در نمونه‌های  
مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده‌شده است. نتایج  
آنالیز واریانس نشان می‌دهد اثر خطی میزان رطوبت  
و اثر متقابل سرعت چرخش مارپیچ و میزان رطوبت  
بر این شاخص معنی‌دار است ( $p < 0.05$ ). مدل برازش  
شده تغییرات شاخص جذب آب از نوع چندجمله‌ای  
درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۷۸۰۵ است  
(رابطه شماره ۶).

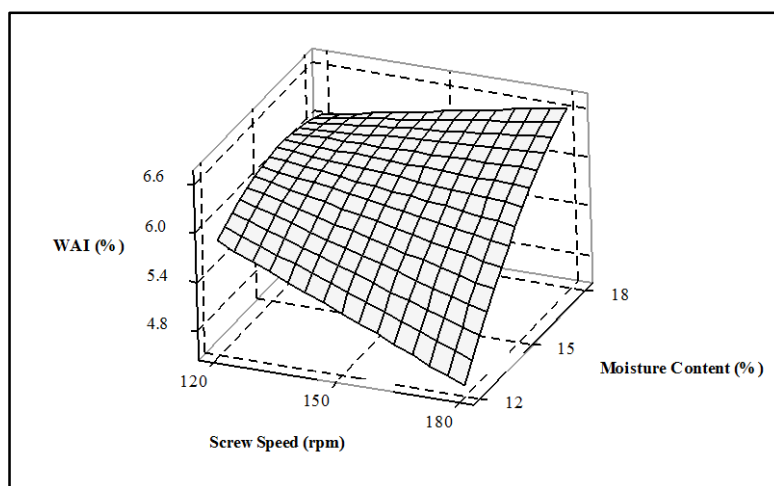
$$\text{شاخص جذب آب} = 9.27 - 0.0832 S + 0.272 M - 0.0285 M^2 + 0.00516 S^2 \quad (5)$$

یادآوری می‌شود، در تمام مدل‌های برازش شده  
(معادله‌های رگرسیونی) ارائه شده در این مقاله، S  
معادل سرعت چرخش مارپیچ، R نسبت بذر کتان و  
M میزان رطوبت خوراک است. همان‌طور که در  
شکل ۱ نشان داده شده است، با افزایش رطوبت  
خوراک ورودی، میزان شاخص جذب آب افزایش  
نشان می‌دهد. با افزایش سرعت چرخش مارپیچ در  
رطوبت‌های پایین، میزان شاخص جذب آب کاهش  
می‌یابد، در حالی که به تدریج و با افزایش میزان  
رطوبت، میزان این شاخص افزایش پیدا می‌کند به  
طوری که در رطوبت ۱۸ درصد و با افزایش سرعت  
چرخش مارپیچ، شاخص جذب آب نیز بالا می‌رود.

یافته است. مرسیر (Mercier, 1975) نیز بالاترین شاخص جذب آب اسنک‌های اکستروژده شده جو-برنج را در رطوبت ۳۰-۴۰ درصد مشاهده و در توجیه آن چنین استنباط کرده است که آب به‌عنوان

پلاستیسیایزر در خلال فرآیند اکستروژن عمل می‌کند و با کاهش تخریب نشاسته منجر به افزایش ظرفیت جذب آب می‌شود.

را در رطوبت ۳۰-۴۰ درصد مشاهده و در توجیه آن چنین استنباط کرده است که آب به‌عنوان



شکل ۱- اثر میزان رطوبت خوراک و سرعت چرخش مارپیچ بر شاخص جذب آب اسنک حجیم

محققان نشان داده‌اند با افزایش سرعت مارپیچ، میزان شاخص انحلال در آب افزایش می‌یابد (Altan et al., 2008; Jin et Mezreb et al., 2003)؛ در سرعت مارپیچ بالا، فشار برشی افزایش می‌یابد که این موضوع با افزایش میزان تخریب نشاسته، شاخص انحلال را افزایش می‌دهد (Ma et al., 2012). مزرب و همکاران (Mezreb et al., 2003) می‌گویند با افزایش سرعت چرخش میزان انرژی مکانیکی مخصوص افزایش شدیدی پیدا می‌کند. نیروی برشی حاصل باعث تخریب و کاهش وزن گرانول‌های نشاسته و سرانجام افزایش ضریب انحلال نمونه می‌شود.

### شاخص انحلال در آب

نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اثر خطی سرعت چرخش و میزان رطوبت خوراک بر شاخص انحلال در آب نمونه‌های حجیم‌شده معنی‌دار است ( $p < 0.05$ ) اما اثر متقابل معنی‌داری بین متغیرهای مورد بررسی مشاهده نمی‌شود. معادله برازش شده مربوط به تغییرات شاخص انحلال به صورت چندجمله‌ای درجه اول با ضریب تبیین برابر با  $0.7103$  است (رابطه ۷). همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است شاخص انحلال با افزایش سرعت چرخش مارپیچ و میزان رطوبت به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد.

$$(7) \quad \text{شاخص انحلال در آب} = 38.84 + 0.1144 S - 2.218 M$$

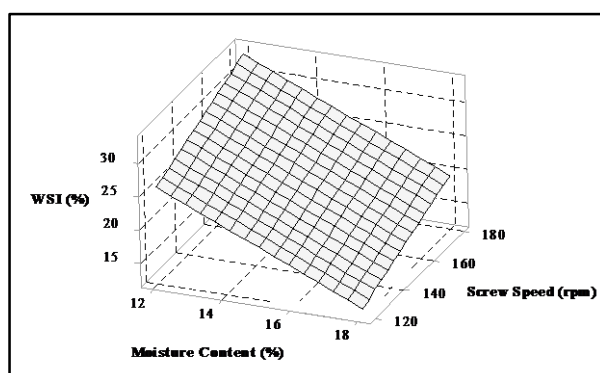
گوجسکا و خان (Gujska & Khan, 1991) نیز با اکستروژن آرد لوبیای پینتو نشان دادند با کاهش رطوبت خوراک، میزان شاخص انحلال در آب افزایش

افزایش شاخص انحلال در آب نمایانگر تخریب ماکرو مولکول در نمونه‌های تولید شده است.



می‌یابد. این محققان افزایش تخریب برشی گرانول‌های نشاسته را در رطوبت‌های پایین دلیل این موضوع برشمرده‌اند. اگر میزان آب خوراک به اندازه کافی بالا باشد می‌تواند به کاهش دما بینجامد که این موضوع با افزایش ویسکوزیته موجب کاهش انتقال حرارت و در نتیجه کاهش میزان تخریب نشاسته و شاخص انحلال می‌شود (Chen & Yeh, 2001). از سویی، آب به‌عنوان پلاستیسایزر عمل می‌کند و انرژی مکانیکی داخل اکسترودر را کاهش می‌دهد؛ این موضوع بر پروفایل دما تأثیر می‌گذارد و میزان تخریب نشاسته را کاهش می‌دهد (Ilo & Berghofer, 1999).

می‌یابد. این محققان افزایش تخریب برشی گرانول‌های نشاسته را در رطوبت‌های پایین دلیل این موضوع برشمرده‌اند. اگر میزان آب خوراک به اندازه کافی بالا باشد می‌تواند به کاهش دما بینجامد که این موضوع با افزایش ویسکوزیته موجب کاهش انتقال حرارت و در نتیجه کاهش میزان تخریب نشاسته و شاخص



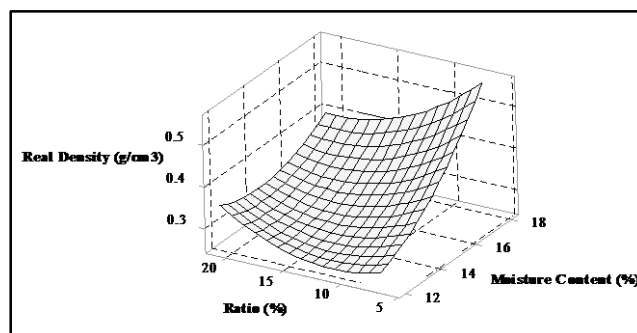
شکل ۲- اثر میزان رطوبت خوراک و سرعت چرخش ماریچ بر شاخص انحلال در آب اسنک حجیم

تغییرات چگالی جامد به صورت چندجمله‌ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۸۶۹۶ است (رابطه ۸). شکل ۳، نحوه اثر فاکتورهای مورد بررسی را بر چگالی جامد نمونه‌های اکسترودر شده نشان می‌دهد.

$$\text{چگالی جامد} = 0.604 + 0.0126 R - 0.0759 M + 0.000936 R^2 + 0.00473 M^2 - 0.002794 R \cdot M \quad (8)$$

### چگالی جامد، چگالی ذره‌ای و تخلخل

نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد چگالی جامد نمونه‌های تولید شده به طور معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) تحت تأثیر اثر خطی میزان رطوبت، اثر متقابل نسبت بذر کتان و میزان رطوبت و اثر مربع نسبت بذر کتان و میزان رطوبت قرار می‌گیرد. معادله برآزش شده



شکل ۳- اثر میزان رطوبت خوراک و نسبت بذر کتان بر چگالی جامد اسنک حجیم

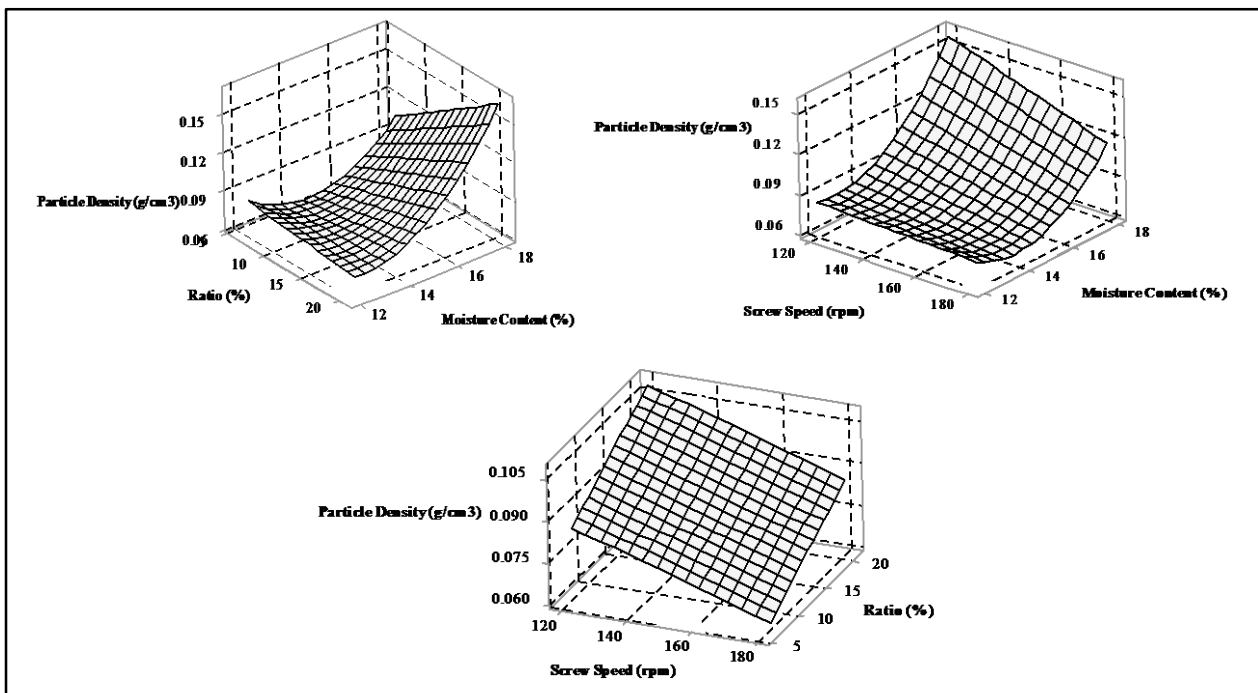


سویا، نمک و شکر نشان دادند میزان حجم مخصوص (اندازه‌گیری شده به روش جابه‌جایی کلزا) با افزایش سرعت مارپیچ افزایش می‌یابد که نشان دهنده کاهش چگالی ذره‌ای است. به نظر می‌رسد افزایش سرعت مارپیچ با افزایش میزان کار مکانیکی (انرژی مخصوص) و حرارت ناشی از اصطکاک موجب افزایش دمای خمیر می‌شود. بر اثر نیروی برشی و حرارت بیشتر، مقدار بیشتری از گرانول‌های نشاسته در فاز پلیمری پراکنده و پخش می‌شود و در نتیجه، انبساط افزایش و چگالی ذره‌ای کاهش می‌یابد. دینگ و همکاران (Ding *et al.*, 2005) با بررسی اثر رطوبت خوراک، سرعت مارپیچ و دما بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی اسنک حجیم برنج نشان دادند میزان چگالی بیش از همه تحت تأثیر میزان رطوبت و دماست. آن‌ها نشان دادند که افزایش رطوبت، مقدار چگالی را به شدت افزایش می‌دهد اما افزایش دما موجب کاهش ملایم این ویژگی می‌شود. در تحقیق یادشده، اثر سرعت چرخش ناچیز بوده است.

شکل ۴، اثر متغیرهای مورد بررسی را بر میزان چگالی ذره‌ای نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز آماری، اثرهای خطی متغیرهای مورد بررسی (میزان رطوبت، نسبت بذر کتان و سرعت چرخش مارپیچ)، اثرهای متقابل میزان رطوبت با سرعت چرخش مارپیچ و نسبت بذر کتان و همچنین اثر مربع میزان رطوبت بر چگالی ذره‌ای معنی‌دار است ( $p < 0.05$ ). مدل برازش شده نرم‌افزار به صورت چندجمله‌ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۹۵۰۵ است (رابطه ۹). همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است، مقدار چگالی ذره‌ای با افزایش سرعت مارپیچ کاهش و با افزایش نسبت بذر کتان و میزان رطوبت، افزایش می‌یابد.

$$\begin{aligned} \text{چگالی ذره‌ای} = & 0.546 + 0.001101 S - 0.01058 R \\ & - 0.0695 M + 0.002735 M * M - 0.000099 S * M \\ & + 0.000818 R * M \end{aligned} \quad (9)$$

جین و همکاران (Jin *et al.*, 1994) در بررسی ویژگی‌های مخلوط اکستروژن شده حاوی ذرت، فیبر



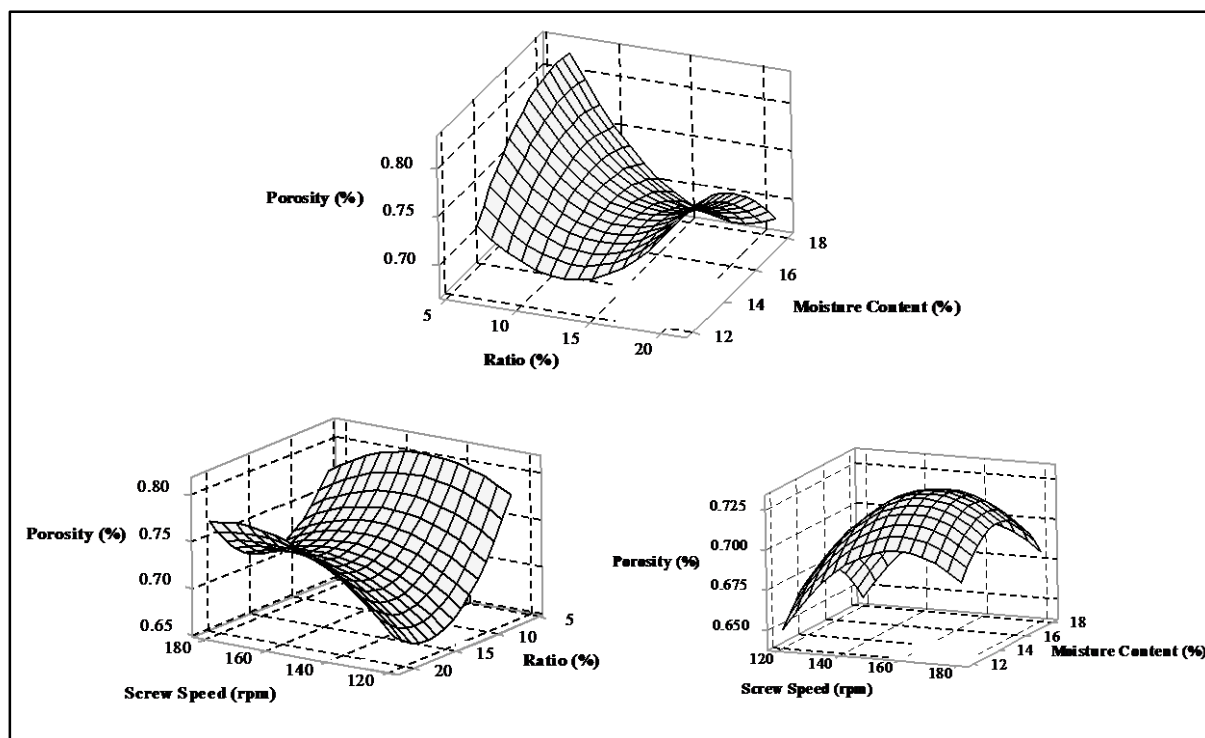
شکل ۴- اثر میزان رطوبت خوراک، سرعت چرخش مارپیچ و نسبت بذر کتان بر چگالی ذره‌ای اسنک حجیم

در فرآیند اکستروژن مواد غذایی و بر اثر تبخیر ناگهانی آب ناشی از اختلاف فشار، حباب‌های هوا در اندازه و تعداد مختلف شکل می‌گیرند که ساختاری اسفنج‌مانند، متخلخل و منبسط به وجود می‌آورند (Suknark *et al.*, 1997). از تخلخل ایجاد شده در فرآیند اکستروژن می‌توان در توصیف و تبیین ویژگی‌های انبساطی فرآورده استفاده کرد.

یاقچی و گوگوش (Yagci & Gogus, 2009a) نشان دادند با کاهش میزان نشاسته در فرمول (بر اثر افزودن پودر فندق نیمه‌چربی‌گیری‌شده)، میزان تخلخل کاهش می‌یابد اما با افزایش رطوبت از ۱۲ به ۱۸ درصد میزان تخلخل بالا می‌رود. فالکون و فیلیپس (Falcone & Phillips, 1988) نیز نشان دادند میزان انبساط (عامل مهم در میزان تخلخل) در سورگوم حجیم شده با افزایش رطوبت از ۱۳ به ۱۸ درصد افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد.

نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز واریانس نشان می‌دهد اثر خطی نسبت بذر کتان و سرعت چرخش مارپیچ، مربع میزان رطوبت، نسبت بذر کتان و سرعت چرخش مارپیچ و نیز اثرهای متقابل نسبت بذر کتان با سرعت چرخش مارپیچ و میزان رطوبت بر تخلخل نمونه‌های حجیم شده معنی‌دار است ( $p < 0.05$ ). معادله برازش شده مربوط به تغییرات تخلخل به صورت چندجمله‌ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۹۲۴۰ است (رابطه ۱۰). همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است، نحوه اثر میزان رطوبت، سرعت چرخش مارپیچ و نسبت بذر کتان بر میزان تخلخل نمونه‌ها به صورت سهمی است به طوری که میزان تخلخل با افزایش میزان رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ افزایش می‌یابد و پس از آن دچار کاهش می‌شود. در خصوص نسبت دانه کتان، این تغییرات معکوس است.

$$\begin{aligned} \text{تخلخل} = & -0.786 + 0.00985 S - 0.0232 R + 0.1230 M \\ & - 0.000036 S^2 + 0.001198 R^2 - 0.00316 M^2 \\ & + 0.000117 S^*R - 0.002106 R^*M \end{aligned} \quad (10)$$



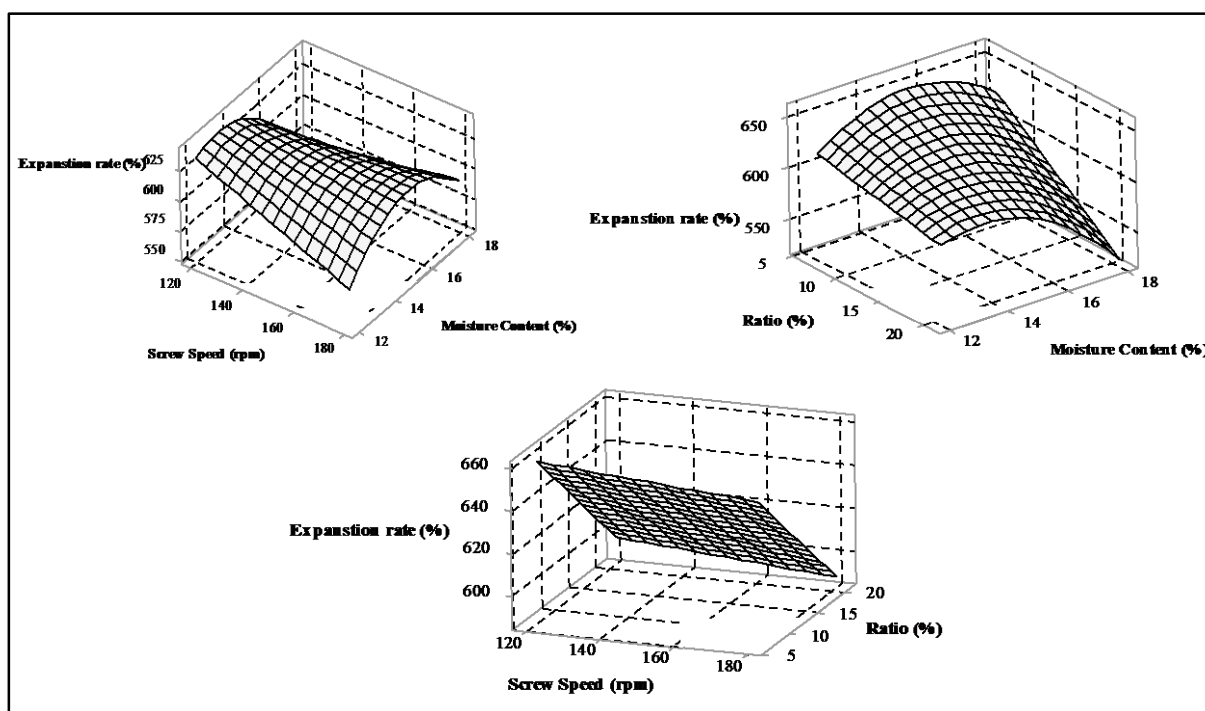
شکل ۵- اثر میزان رطوبت خوراک، سرعت چرخش مارپیچ و نسبت بذر کتان بر تخلخل ذره‌ای اسنک حجیم

### نسبت انبساط

میزان انبساط به طور معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) تحت تأثیر اثر خطی نسبت بذر کتان و میزان رطوبت، اثر مربع میزان رطوبت و اثر متقابل میزان رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ قرار دارد. مدل برازش شده نرم‌افزار نیز از نوع چندجمله‌ای درجه دوم با ضریب

تبیین برابر با  $0/8331$  است (رابطه ۱۱). همان طور که در شکل ۶ مشخص است با افزایش سرعت چرخش مارپیچ و نسبت بذر کتان در فرمولاسیون، میزان انبساط کاهش یافته است.

$$(11) \quad \text{نسبت انبساط} = 344 - 3.97 S + 9.02 R + 79.8 M - 3.71 M * M + 0.255 S * M - 0.900 R * M$$



شکل ۶- اثر میزان رطوبت خوراک، سرعت چرخش مارپیچ و نسبت بذر کتان بر نسبت انبساط اسنک حجیم

دینگ و همکاران (Ding *et al.*, 2005) نشان دادند که میزان خوراک و رطوبت آن اثر معنی‌داری بر ضریب انبساط فرآورده حجیم شده دارد. در حالی که افزایش سرعت خوراک موجب افزایش ضریب انبساط شده و میزان رطوبت اثر عکس داشته است. محققانی چند نشان داده‌اند میزان رطوبت بیشترین اثر را بر ضریب انبساط محصولات حجیم شده دارد (Faubion & Hosney, 1982; Fletcher *et al.*, 1983; Launay & Lisch, 1985). همان طور که در شکل ۶ نشان داده شده است، با افزایش رطوبت تا

سرعت پایین چرخش مارپیچ به معنی افزایش زمان ماند مخلوط در اکسترودر است که در نتیجه آن میزان دریافت انرژی حرارتی در محیط با برش کم افزایش می‌یابد. در این شرایط، ایجاد بخار آب فوق داغ تسهیل می‌شود. وجود مقادیر بالاتری بخار فوق داغ، میزان انبساط و ساختار متخلخل را افزایش می‌دهد (Yagci & Gogus, 2009a). از این رو، کاهش میزان انبساط با افزایش سرعت چرخش مارپیچ را می‌توان ناشی از کاهش زمان ماند مخلوط و در نتیجه کاهش ایجاد بخار آب فوق داغ دانست.

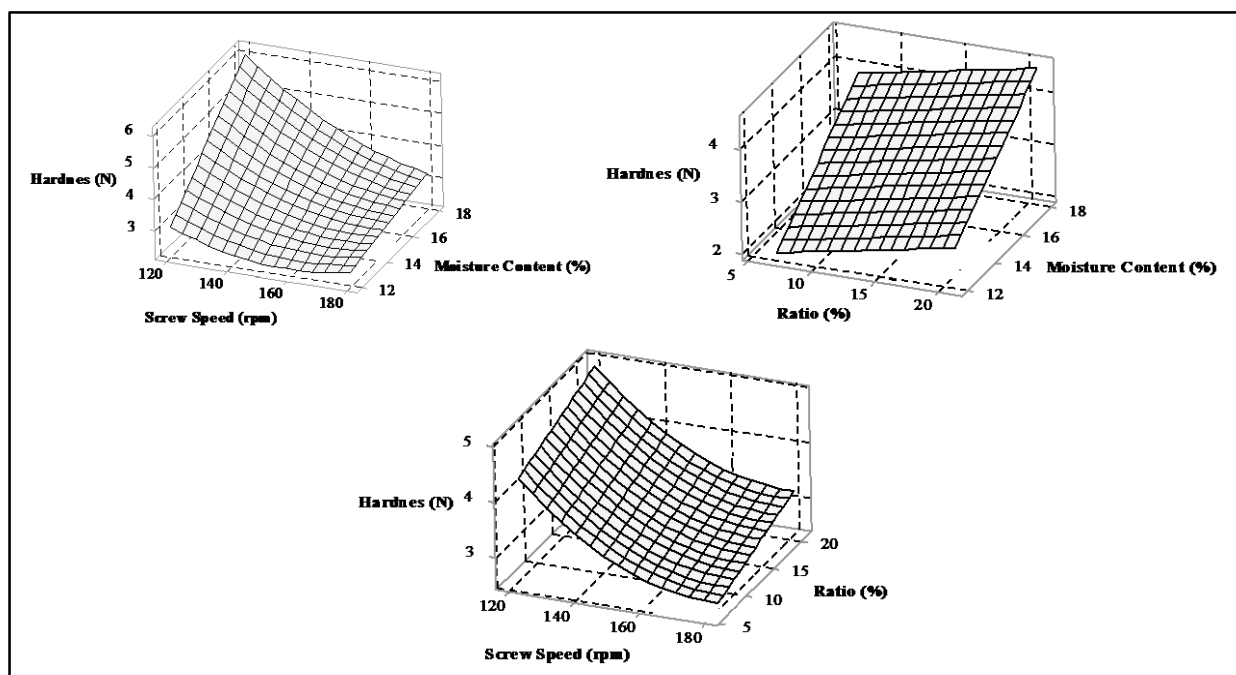
شود (Yagci & Gogus, 2009b). در خصوص اثر پروتئین، هود-نیفر و تایلر (Hood-Niefer & Tyler, 2010) نظر دیگری ارائه داده‌اند که بر مبنای آن پروتئین‌ها باعث کاهش نیروی برشی در پوسته و در نتیجه کاهش اختلاف فشار بین خروجی قالب و محیط می‌شود. در نتیجه با کاهش تبخیر ناگهانی آب فوق داغ، انبساط کاهش می‌یابد.

### ویژگی‌های بافتی

نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد اثر خطی سرعت چرخش و میزان رطوبت بر سفتی فرآورده معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) است. معادله برازش شده برای سفتی نیز به صورت چندجمله‌ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۸۲۹۰ محاسبه شد (رابطه ۱۲). همان طور که در شکل ۷ مشخص است، افزایش سرعت ماریج باعث کاهش سفتی نمونه‌ها اما افزایش میزان رطوبت منجر به افزایش این ویژگی شده است.

$$\text{سفتی} = -0.98 - 0.0820 S + 0.0456 R + 1.275 M + 0.000502 S*S - 0.00645 S*M \quad (12)$$

حدود ۱۵ درصد، میزان انبساط افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد. فالکون و فیلیپس (Falcone & Phillips, 1988) نیز نشان دادند افزایش رطوبت از ۱۳ تا ۱۸ درصد باعث افزایش انبساط و پس از آن موجب کاهش انبساط فرآورده حجیم بر پایه لوبیا چشم‌بلبلی و سورگوم شده است (Falcone & Phillips, 1988). میزان بالاتر رطوبت خوراک ورودی موجب کاهش ویسکوزیته جریان مواد و در نتیجه کاهش اختلاف فشار داخل و خارج اکسترودر و کاهش انبساط اکسترودر می‌شود. به علاوه، ویسکوزیته پایین‌تر باعث می‌شود استحکام ساختمانی فرآورده حجیم برای حفظ انبساط حاصل کاهش یابد (Suknark et al., 1997). کاهش میزان انبساط با افزایش نسبت بذر کتان 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



شکل ۷- اثر میزان رطوبت خوراک، سرعت چرخش ماریج و نسبت بذر کتان بر میزان سفتی اسنک حجیم

تصویر در شکل ۸ نشان داده شده است. نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد اثر خطی سرعت چرخش مارپیچ و میزان رطوبت بر شاخص‌های روشنایی، زردی و قرمزی محاسبه شده به روش پردازش تصویر معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) است.

مربع سرعت چرخش مارپیچ نیز بر میزان شاخص قرمزی تأثیر معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) دارد. مدل برازش شده برای تغییرات روشنایی و قرمزی نمونه‌ها از نوع چندجمله‌ای درجه دوم و برای شاخص زردی از نوع چندجمله‌ای درجه اول است (رابطه‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵). ضریب تبیین مدل‌ها برای شاخص‌های روشنایی، قرمزی و زردی نیز به ترتیب برابر با ۰/۶۴۳۵، ۰/۸۱۸۰ و ۰/۸۲۰۹ است.

$$L^* = 59.96 - 0.01922 S + 0.309 R - 0.3301 M - 0.01161 R^2 \quad (13)$$

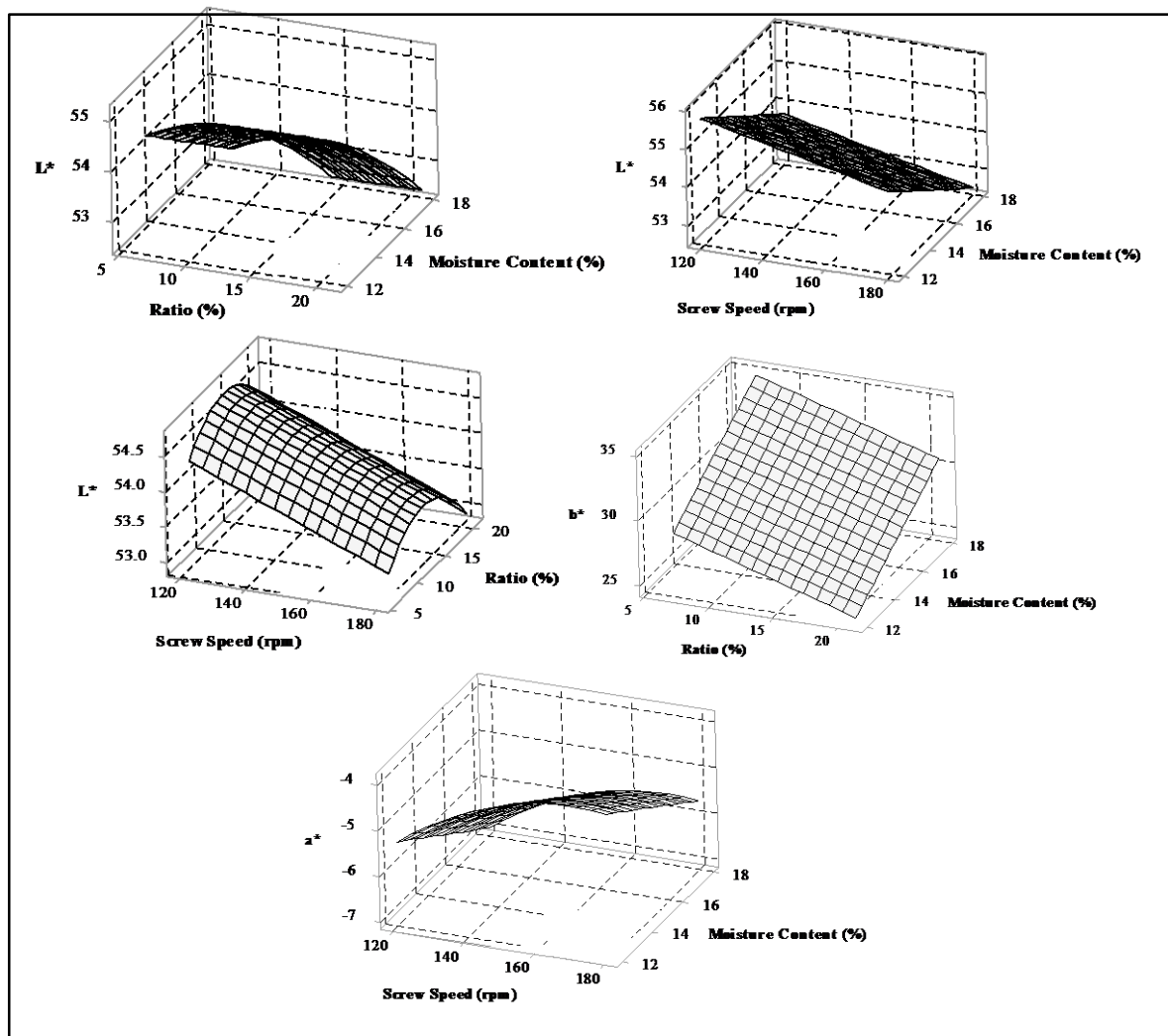
$$a^* = -16.09 + 0.1812 S - 0.2782 M - 0.000530 S^2 \quad (14)$$

$$b^* = 19.66 - 0.3063 R + 0.960 M \quad (15)$$

در مطالعات مختلف (Ding *et al.*, 2005; Badrie & Mellowes, 1991; Liu *et al.*, 2000) افزایش سفتی همراه با افزایش رطوبت اشاره شده است. دینگ و همکاران (Ding *et al.*, 2005) با بررسی اثر دما، سرعت چرخش، رطوبت و سرعت خوراک نشان دادند رطوبت بیشترین تأثیر را بر سفتی اسنک حجیم شده بر پایه برنج داشته است. طبق نظر این محققان احتمالاً کاهش انبساط بر اثر افزایش رطوبت عامل افزایش سفتی فرآورده بوده است. وو و همکاران (Wu *et al.*, 2007) نیز نشان دادند میزان رطوبت مهمترین عامل تعیین کننده سفتی فرآورده حجیم شده حاوی ذرت و بذر کتان است به طوری که افزایش این عامل از ۱۶ به ۲۰ درصد موجب افزایش سفتی شده است. آلتان و همکاران (Altan *et al.*, 2008) و لئو و همکاران (Liu *et al.*, 2000) نیز نشان دادند که افزایش سرعت مارپیچ موجب کاهش سفتی فرآورده حجیم شده گردیده است.

#### ویژگی‌های تصویری سطح نمونه‌ها

تغییرات ویژگی‌های روشنایی، قرمزی و زردی نمونه‌های تولید شده با استفاده از روش پردازش



شکل ۸- اثر میزان رطوبت خوراک، سرعت چرخش مارپیچ و نسبت بذر کتان بر  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  اسنک حجیم

می‌دهد همبستگی بین میزان زردی و امتیاز حسی رنگ نیز با ضریب پیرسون معادل ۰/۷۴ معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) است.

#### ویژگی‌های صوتی

نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان می‌دهد فقط اثر خطی سرعت چرخش مارپیچ بر میزان متوسط قدرت پیک‌ها تأثیر معنی‌دار دارد ( $p < 0.05$ ) افزایش سرعت چرخش مارپیچ منجر به کاهش متوسط قدرت پیک‌ها شده است. تعداد پیک‌ها و پیک بیشینه تحت تأثیر متغیرهای مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. مدل برازش شده تغییرات متوسط قدرت

نتایج آزمون همبستگی نشان می‌دهد مساحت نمونه‌ها رابطه‌ای معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) با سفتی و امتیاز حسی بافت محصول دارد به طوری که ضریب پیرسون برای آنها به ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۸۳- به دست آمد. گفتنی است همبستگی منفی معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) بین سفتی و امتیاز حسی بافت با ضریب پیرسون معادل ۰/۶۱- مشاهده می‌شود که نشان می‌دهد با افزایش سفتی در محدوده مورد بررسی، امتیاز بافت اسنک کاهش یافته است. همبستگی بین محور بزرگ و محور کوچک با سفتی و امتیاز حسی بافت معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) است. نتایج بررسی‌ها نشان

پیک‌ها به صورت چندجمله‌ای درجه دوم و با ضریب تبیین برابر با ۰/۷۷۰۶ است (رابطه ۱۶).

$$0.151 - 0.00138 S - 0.00897 R + 0.0061 M + 0.000001 S*S + 0.000107 R*R - 0.000404 M*M + 0.000022 S*R + 0.000029 S*M + 0.000146 R*M \quad (16)$$

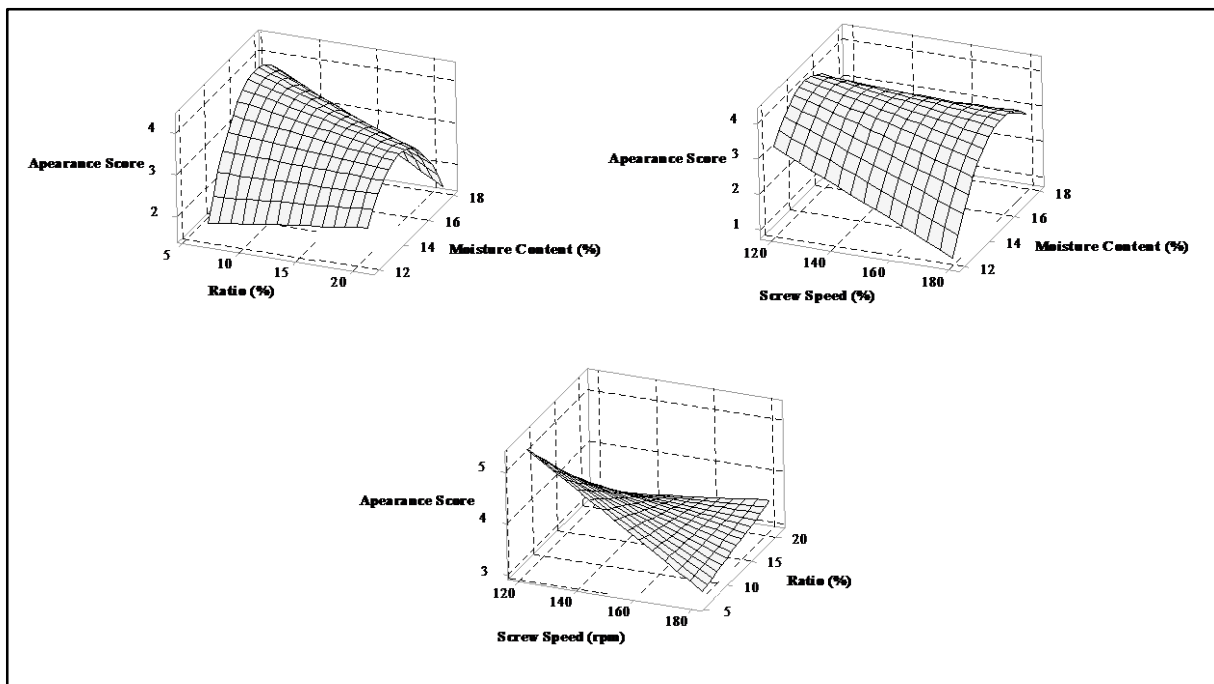
دانه کتان با میزان رطوبت بر امتیاز ظاهر نمونه‌ها معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) است. معادله برازش شده امتیاز ظاهر به صورت چند جمله‌ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۸۸۶۶ است (رابطه ۱۷).

$$-11.04 - 0.1788 S - 0.050 R + 3.928 M - 0.1533 M*M + 0.00310 S*R + 0.00801 S*M - 0.0317 R*M \quad (17)$$

### ویژگی‌های حسی ظاهر

نحوه تغییرات امتیاز ظاهر نمونه‌های اسنک حجیم در شکل ۹ نشان داده شده است. نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان می‌دهد اثر خطی نسبت دانه کتان و سرعت چرخش مارپیچ، مربع میزان رطوبت و اثرهای متقابل سرعت چرخش با نسبت دانه کتان و میزان رطوبت و همچنین نسبت

در شکل ۹ دیده می‌شود نحوه اثر رطوبت به صورت سهمی است به طوری که با افزایش رطوبت تا حدود ۱۶ درصد، امتیاز ظاهر افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد. با افزایش میزان دانه کتان و سرعت چرخش نیز میزان امتیاز ظاهر نمونه‌ها کاهش یافته است.



شکل ۹- اثر میزان رطوبت خوراک، سرعت چرخش مارپیچ و نسبت بذر کتان بر امتیاز ظاهر اسنک حجیم

شکل ۱۰، نحوه اثر متغیرهای مورد بررسی را بر امتیاز رنگ نمونه‌ها نشان می‌دهد. مطابق نتایج

حاصل از آنالیز واریانس، اثر خطی نسبت دانه کتان و اثر مربع میزان رطوبت بر امتیاز رنگ نمونه‌ها معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) است. مدل برازش شده نرم‌افزار

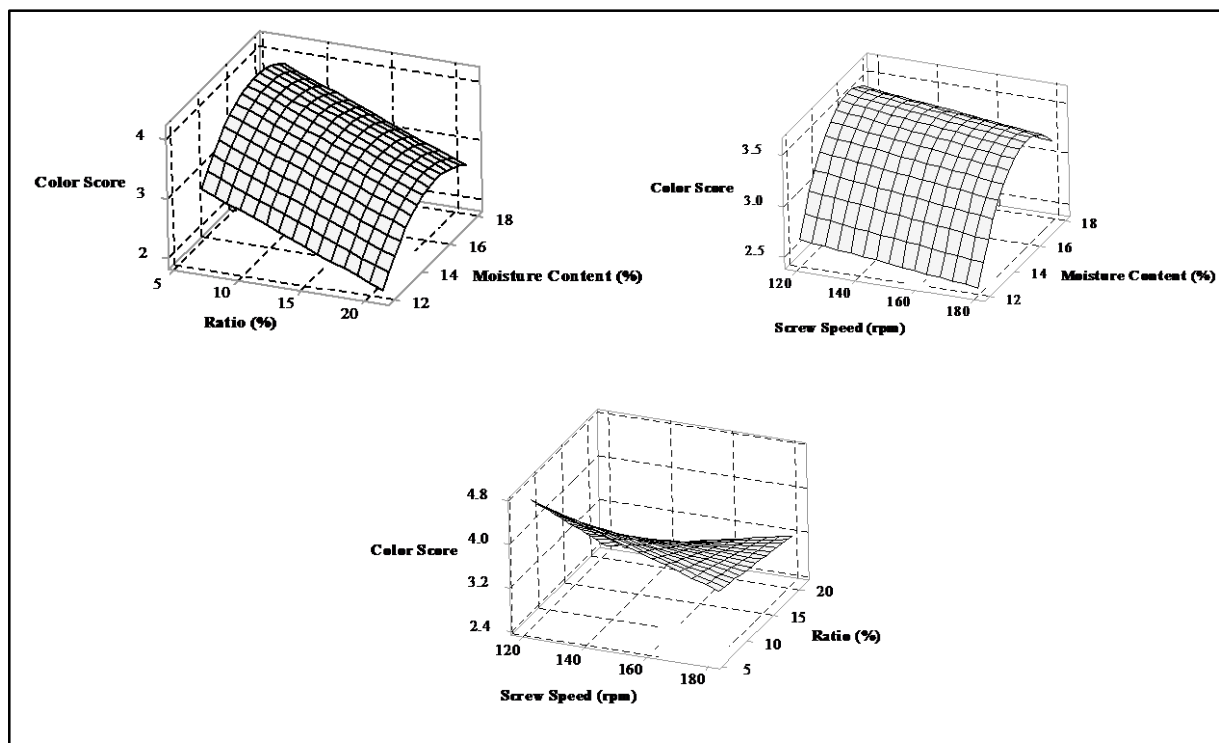
### رنگ



در شکل ۱۰ نشان داده شده است که افزایش سرعت چرخش مارپیچ و نسبت دانه کتان منجر به کاهش امتیاز رنگ نمونه‌ها شده است. افزایش میزان رطوبت تا حدود ۱۶ درصد نیز باعث افزایش امتیاز رنگ و بعداً کاهش آن شده است.

به صورت چندجمله‌ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۶۸۷۰ است (رابطه ۱۸).

$$(18) \quad \text{امتیاز رنگ} = -5.62 - 0.0342 S - 0.419 R + 1.941 M - 0.0608 M^*M + 0.00220 S^*R$$



شکل ۱۰- اثر میزان رطوبت خوراک، سرعت چرخش مارپیچ و نسبت بذر کتان بر امتیاز رنگ اسنک حجیم

## بافت

نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان می‌دهد فقط اثر خطی میزان رطوبت بر امتیاز بافت نمونه‌ها تأثیر دارد ( $p < 0.05$ )، به طوری که با افزایش میزان رطوبت، از امتیاز بافت نمونه‌ها کاسته می‌شود. مدل برازش شده نیز به صورت چندجمله‌ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۷۷۲۳ است (رابطه ۱۹).

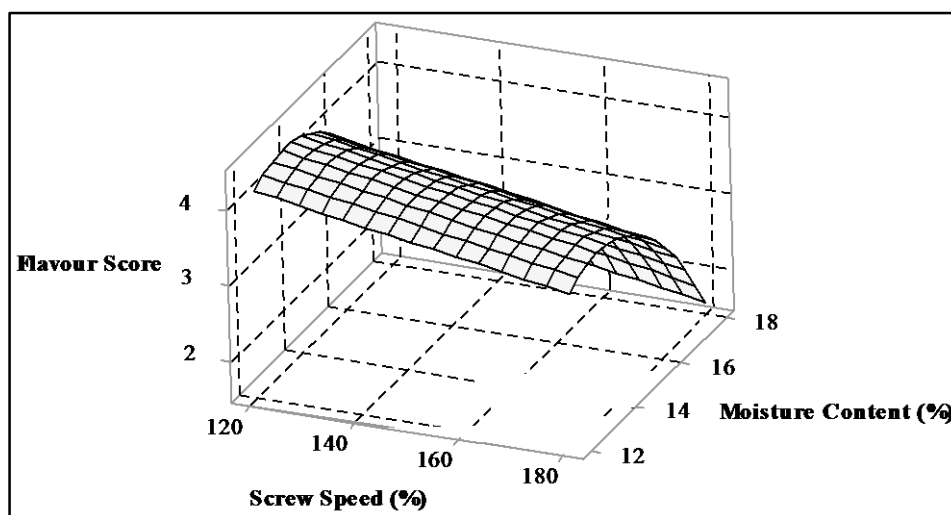
$$(19) \quad \text{امتیاز بافت} = 0.06 + 0.836 M - 0.0392 M^*M$$

## طعم

نحوه اثر متغیرهای مورد بررسی بر امتیاز طعم فرآورده حجیم شده در شکل ۱۱ نشان داده شده است. نتایج حاصل از آنالیز واریانس نیز مشخص می‌کند اثرهای خطی و مربع رطوبت بر امتیاز طعم معنی‌دارند ( $p < 0.05$ ). مدل برازش شده برای روند تغییرات امتیاز طعم به صورت چندجمله‌ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۷۱۱۲ است (رابطه ۲۰). در شکل ۱۱ نشان داده شده است که افزایش

رطوبت در ابتدا (تا حدود ۱۴ درصد) باعث افزایش امتیاز طعم شده اما پس از آن اثر منفی بر این امتیاز گذاشته است.

$$\text{امتیاز طعم} = -10.51 - 0.01160 S + 2.442 M - 0.0918 M * M \quad (20)$$



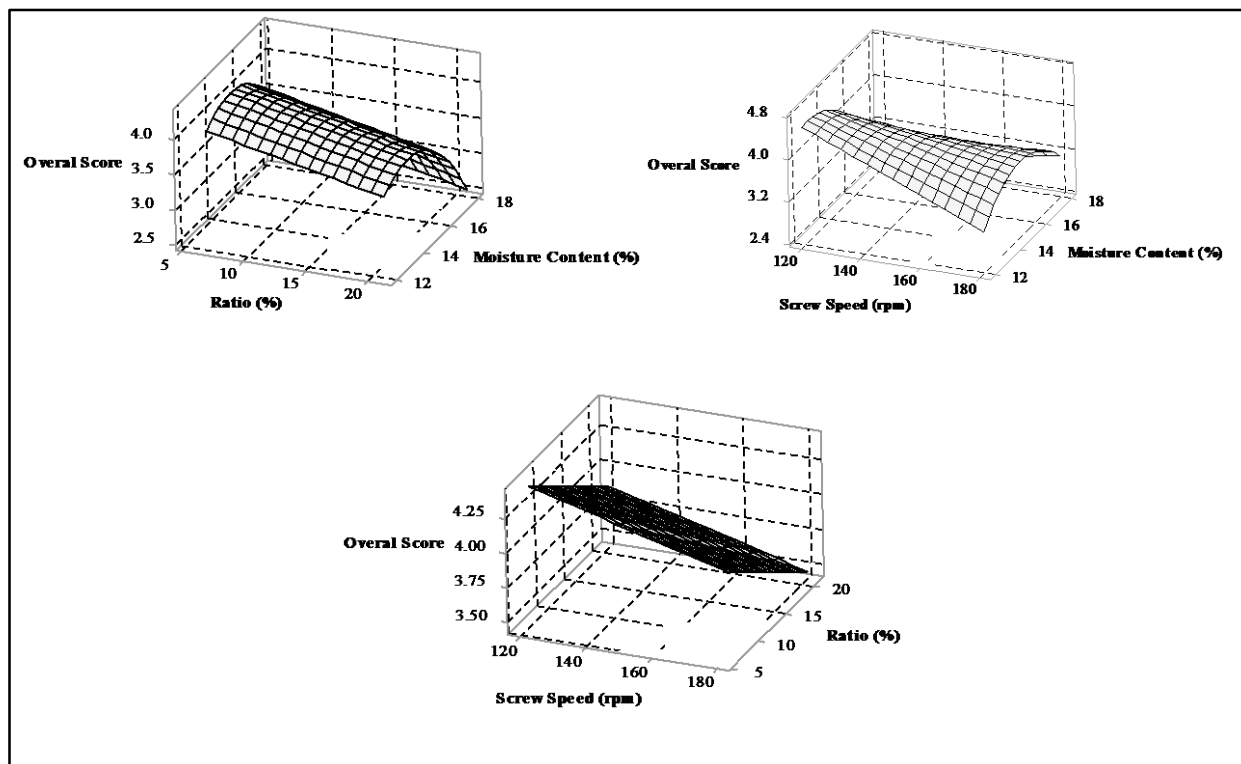
شکل ۱۱- اثر میزان رطوبت خوراک و سرعت چرخش مارپیچ بر امتیاز طعم اسنک حجیم

### پذیرش کلی

روند تغییرات امتیاز پذیرش کلی نمونه‌ها در شکل ۱۲ نشان داده شده است. دیده می‌شود اثر رطوبت به صورت سهمی است به طوری که تغییر آن از ۱۲ به حدود ۱۴ درصد موجب افزایش امتیاز پذیرش کلی و پس آن موجب کاهش این امتیاز شده است. افزایش سرعت چرخش مارپیچ و میزان دانه کتان نیز باعث کاهش پذیرش کلی نمونه‌ها شده است.

نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد اثرهای خطی و مربع رطوبت و همچنین اثر متقابل میزان رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ بر امتیاز پذیرش کلی نمونه‌های حجیم شده معنی‌دار است ( $p < 0.05$ ). مدل برازش شده امتیاز پذیرش کلی به صورت چندجمله‌ای درجه دوم با ضریب تبیین برابر با ۰/۸۰۴۵ است (رابطه ۲۱).

$$\text{امتیاز پذیرش کلی} = 5.82 - 0.0937 S - 0.0393 R + 0.998 M - 0.0681 M * M + 0.00581 S * M \quad (21)$$



شکل ۱۲- اثر میزان رطوبت خوراک، سرعت چرخش مارپیچ و نسبت بذر کتان بر امتیاز پذیرش کلی اسنک حجیم

### شرایط بهینه تولید

برای رسیدن به بالاترین نسبت انبساط و روشنایی و کمترین میزان سفتی و چگالی، شرایط بهینه تولید به صورت جدول ۲ تهیه شده است. نسبت بذر کتان در سطح ۱۴ درصد در نظر گرفته شد. به منظور بررسی دقت و صحت پاسخ‌های

پیش‌بینی شده، نمونه‌های اسنک در شرایط بهینه تولید و ارزیابی شدند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد نسبت انبساط،  $L^*$ ، سفتی و چگالی نمونه بهینه به ترتیب برابر با ۳۷۰/۳۸ درصد، ۷۶/۰۱، ۲/۶۷ نیوتن و ۰/۰۹۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب و نزدیک به مقادیر پیش‌بینی شده است.

جدول ۲- نتایج بهینه‌یابی شرایط اکستروژن و فرمولاسیون اسنک حاوی بذر کتان

چگالی	سفتی	$L^*$	نسبت انبساط	رطوبت	بذر کتان	سرعت چرخش	شرایط/صفات
(گرم بر سانتی متر مکعب)	(نیوتن)		(درصد)	(درصد)	(درصد)	مارپیچ (دور در دقیقه)	
۰/۰۸۱	۲/۴۵	۷۳/۵۵	۳۸۴/۱۶	۱۴/۴۲	۱۴	۱۸۰	مقادیر بهینه

### نتیجه‌گیری

در این بررسی، امکان تولید اسنک حجیم بر پایه بلغور ذرت و بذر کتان بررسی و تأثیر ترکیب خوراک و شرایط فرآیند بر ویژگی‌های محصول

تولیدی ارزیابی شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد ترکیب خوراک و شرایط فرآیند تأثیر چشمگیری بر ویژگی‌های محصول نهایی، به‌خصوص ویژگی‌های حسی آن دارد. افزایش میزان بذر کتان در

فرمولاسیون اسنک بر پایه بلغور ذرت و همچنین افزایش سرعت چرخش مارپیچ منجر به کاهش مطلوبیت برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (نسبت انبساط شعاعی) و حسی (ظاهر، رنگ و پذیرش کلی) آن شده است. تأثیر رطوبت خوراک بر ویژگی‌های اسنک تولید شده، اغلب به صورت سهمی است و بسته به میزان رطوبت، متغیر است. به طور کلی و بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان گفت فرآیند پخت و ژلاتیناسیون نشاسته، عوامل مؤثر بر آن و محصولات به دست آمده از این فرآیند بر

ویژگی‌های نمونه‌های تولید شده تأثیر بسزایی دارند و بسیاری از تغییرات صورت گرفته در نمونه‌های تولید شده را می‌توان در ارتباط با این فرآیند دانست. از سوی دیگر، همبستگی معنی‌داری بین برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی نمونه‌های تولید شده مشاهده می‌شود که با بررسی‌های بیشتر در این زمینه می‌توان در خصوص افزایش پذیرش و بازارپسندی اسنک حجیم حاوی بذر کتان، که منبع مناسبی از اسیدهای چرب امگا-۳ است، گام‌هایی برداشت.

### تعارض منافع

نویسندگان در انتشار این مقاله از اخلاق نشر تبعیت کرده و از موارد سوء اخلاق از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافی تجاری در این راستا وجود ندارد.

### مراجع

- Ahmed, Z.S. 1999. Physico-chemical, structural and sensory quality of corn-based flax-snack. *Food/ Nahrung*. 43(4): 253-258.
- Aleixandre, A. and Miguel, M. 2008. Dietary fiber in the prevention and treatment of metabolic syndrome: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 48(10): 905-912.
- Altan, A., McCarthy, K.L. and Maskan, M. 2008. Evaluation of snack foods from barley-tomato pomace blends by extrusion processing. *Journal of Food Engineering*. 84(2): 231-242.
- Anderson, R.A. 1969. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. *Cereal Science Today*. 14, 4-12.
- AOAC. 2002. *Official Methods of Analysis* (17<sup>th</sup> Ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Badrie, N. and Mellows, W.A. 1991. Texture and microstructure of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) flour extrudate. *Journal of Food Science*. 56(5): 1319-1322.
- Balandran-Quintana, R.R., Barbosa-Canovas, G.V., Zazueta-Morales, J.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(1): 113-116.
- Beiraghi-Toosi, Sh., Mohebbi, M. and Varidi, M. 2019. Effect of feed mixture and process variables on physicochemical properties of solid foams made from corn starch and sesame seed by extrusion. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 14(5): 865-876. (in Persian)
- Borneo, R., Kocer, D., Ghai, G., Tepper, B.J. and Karwe, M.V. 2007. Stability and consumer acceptance of long-chain omega-3 fatty acids (eicosapentaenoic acid, 20: 5, n-3 and docosahexaenoic acid, 22: 6, n-3) in cream-filled sandwich cookies. *Journal of Food Science*. 72(1): 49-54.
- Capriles, V.D., Soares, R.A., Pinto e Silva, M.E. and Arêas, J.A. 2009. Effect of fructans-based fat replacer on chemical composition, starch digestibility and sensory acceptability of corn snacks. *International Journal of Food Science & Technology*. 44(10): 1895-1901.

- Chen, C.M. and Yeh, A.I. 2001. Effect of amylose content on expansion of extruded rice pellet. *Cereal Chemistry*. 78(3): 261-266.
- Chen, J., Saggar, J.K., Corey, P. and Thompson, L.U. 2011. Flaxseed cotyledon fraction reduces tumour growth and sensitises tamoxifen treatment of human breast cancer xenograft (MCF-7) in athymic mice. *British Journal of Nutrition*. 105(3): 339-347.
- 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(2): 142-148.
- 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(3): 283-289.
- Falcone, R.G. and Phillips, R.D. 1988. Effects of 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(5): 1464-1469.
- Faubion, J.M. and Hosney, R.C. 1982. High-temperature short-time extrusion cooking of wheat starch and flour. I. Effect of moisture and flour type on extrudate properties. *Cereal Chemistry*. 59(6): 529-533.
- Fletcher, S.I., Richmond, P. and Smith, A.C. 1985. An experimental study of twin-screw extrusion-cooking of maize grits. *Journal of Food Engineering*. 4(4): 291-312.
- Gualberto, D.G., Bergman, C.J., Kazemzadeh, M. and Weber, C.W. 1997. Effect of extrusion processing on the soluble and insoluble fiber, and phytic acid contents of cereal brans. *Plant Foods for Human Nutrition*. 51(3): 187-198.
- Gujaska, 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(2): 443-447.
- Hood-Niefer, S.D. and Tyler, R.T. 2010. Effect of protein, moisture content and barrel temperature on the physicochemical characteristics of pea flour extrudates. *Food Research International*. 43(2): 659-663.
- 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(2): 317-328.
- Ilo, S. and Berghofer, E. 1999. Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits. *Journal of Food Engineering*. 39(1): 73-80.
- Jin, Z., Hsieh, F. and Huff, H.E. 1994. Extrusion cooking of corn meal with soy fiber, salt, and sugar. *Cereal Chemistry*. 71(3): 227-233.
- Jin, Z., Hsieh, F. and Huff, H.E. 1995. Effects of soy fiber, salt, sugar and screw speed on physical properties and microstructure of corn meal extrudate. *Journal of Cereal Science*. 22(2): 185-194.
- Launay, B. and Lisch, J.M. 1983. Twin-screw extrusion cooking of starches: flow behaviour of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates. *Journal of Food Engineering*. 2(4): 259-280.
- Liu, Y., Hsieh, F., Heymann, H. and Huff, H.E. 2000. Effect of process conditions on the physical and sensory properties of extruded oat-corn puff. *Journal of Food Science*. 65(7): 1253-1259.
- Ma, H., Pan, Z., Li, B., Atungulu, G.G., Olson, D.A., Wall, M.M. and McHugh, T.H. 2012. Properties of extruded expandable breadfruit products. *LWT-Food Science and Technology*, 46(1), 326-334.

- Manthey, F.A., Lee, R.E. and Hall, C.A. 2002. Processing and cooking effects on lipid content and stability of  $\alpha$ -linolenic acid in spaghetti containing ground flaxseed. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(6): 1668-1671.
- Mason, W.R. and Hosney, R.C. 1986. Factors affecting the viscosity of extrusion-cooked wheat starch. *Cereal Chemistry*. 63(5): 436-441.
- Mercier, C. 1975. Modification of carbohydrate components by extrusion cooking of cereal products. *Cereal Chemistry*. 52, 283-297.
- Mesquita, C.D.B., Leonel, M. and Mischan, M.M. 2013. Effects of processing on physical properties of extruded snacks with blends of sour cassava starch and flaxseed flour. *Food Science and Technology*. 33(3): 404-410.
- 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(2): 145-152.
- Min, W., Yi, L., Lijun, W., Dong, L. and Zhihui, M. 2015. Effects of extrusion parameters on physicochemical properties of flaxseed snack and process optimization. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 8(5): 121-131.
- 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 and Bioprocess Technology*. 7(6): 1767-1782.
- Oomah, B.D. and Mazza, G. 1993. Flaxseed proteins—a review. *Food Chemistry*. 48(2): 109-114.
- Perlman, D., GFA Brands Inc, 2008. Oxidative stabilization of omega-3 fatty acids in low linoleic acid-containing peanut butter. U.S. Patent 7,344,747.
- Rose, D.J., DeMeo, M.T., Keshavarzian, A. and Hamaker, B.R. 2007. Influence of dietary fiber on inflammatory bowel disease and colon cancer: Importance of fermentation pattern. *Nutrition Reviews*. 65(2): 51-62.
- Singh, B., Hussain, S.Z. 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(3): 270-281.
- Singh, S., Gamlath, S. and Wakeling, L. 2007. Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science & Technology*. 42(8): 916-929.
- Suknark, K., Phillips, R.D. and 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): 575-583.
- Ushakumari, S.R., Latha, S. and Malleshi, N.G. 2004. The functional properties of popped, flaked, extruded and roller-dried foxtail millet (*Setaria italica*). *International Journal of Food Science & Technology*. 39(9): 907-915.
- Wu, W., Huff, H.E. and Hsieh, F. 2007. Processing and properties of extruded flaxseed-corn puff. *Journal of Food Processing and Preservation*. 31(2): 211-226.
- 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(6): 1768-1773.
- Yagci, S. and Gogus, F. 2009a. Development of extruded snack from food by-products: a response surface analysis. *Journal of Food Process Engineering*. 32(4): 565-586.
- Yagci, S. and Gogus, F. 2009b. Selected physical properties of expanded extrudates from the blends of hazelnut flour-durum clear flour-rice. *International Journal of Food Properties*. 12(2): 405-413.
- Yanniotis, S., Petraki, A. and Soumpasi, E. 2007. Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch. *Journal of Food Engineering*. 80(2): 594-599.

## Original Research

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

Sh. Beiraghi-Toosi\*, Gh. Goli-Movahhed, M. Hashemi, F. Salehi Pour and M. Mohebbi

\* Corresponding Author: Assistant professor, Food processing research institute, Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran. E-mail: [toosi@acecr.ac.ir](mailto:toosi@acecr.ac.ir)

Received: 13 July 2019, Accepted: 25 February 2020

[http://doi: 10.22092/fooder.2020.127042.1230](http://doi:10.22092/fooder.2020.127042.1230)

### Abstract

An investigation was conducted to evaluate the effects of feed composition, feed moisture content and screw speed variables on the physicochemical, textural, visual, acoustic and sensory properties of flaxseed puffed snacks, produced by the extrusion processing. The flaxseed mixed with corn grits at three ratios: 7, 14 and 21 percent, the water was added to the mixture to bring the moisture content of the samples of feeding to 12, 15 and 18%. The mixtures were extruded at screw speeds of 120, 150 and 180 rpm, at 140°C. Experiments on the samples showed that increasing in moisture content of the samples led to increase in water absorption, particle density and hardness, and also led to decrease water solubility and texture sensory scores. Increasing in screw speed led to increase the water solubility and to reduce particle density, radial expansion, hardness, and sensory scores of appearance, color, texture, and overall acceptance of samples. Increasing the ratio of flaxseed in samples, led to increase particle density and to reduce radial expansion and sensory scores for the appearance, color and overall acceptance of the samples. In order to produce the optimum sample with the highest expansion ratio and brightness and the lowest hardness and density, containing 14% of flaxseed, the screw speed and feed moisture content must be selected at 180 rpm and 14.42%, respectively.

**Keywords:** Extruder, Functional food, Image processing, Sensory evaluation, Texture