



بررسی شرایط فرآیند اکستروژن و ترکیب ساختار بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی اسنک ذرت و مغز پسته

نوشین نورافشان^۱، شهرام بیرقی طوسی^{۲*}، غلامعلی گلی موحد^۲

^۱گروه علوم و صنایع غذایی، موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی کاشمر، خراسان رضوی، ایران
^۲گروه پژوهشی فرآوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۹

چکیده

سابقه و هدف: از اسنک‌ها به عنوان میان‌وعده‌های غذایی یاد می‌شود که در بین وعده‌های اصلی میل شده و مقدار آن کم‌تر از وعده غذایی اصلی می‌باشد. به منظور افزایش ارزش تغذیه‌ای این میان‌وعده پرفرمدار، می‌توان از افزودنی‌هایی نظیر لبنیات، گوشت، ماهی، سبزیجات، میوه‌ها، حبوبات، غلات مختلف و تنقلاتی مانند پسته، گردو، بادام و بادام‌زمینی و غیره استفاده نمود. پسته سرشار از مس، منیزیم و انواع ویتامین‌های B است بنابراین به منظور افزایش ارزش تغذیه‌ای اسنک می‌توان از پسته در تهیه آن استفاده نمود.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از پسته با نسبت‌های متغیر ۷، ۱۴ و ۲۱ درصد در فرمولاسیون غله حجیم‌شده بر پایه آرد ذرت و همچنین رطوبت ۱۲، ۱۵ و ۱۸ درصد و سرعت چرخش مارپیچ ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دور بر دقیقه استفاده شد. دمای ثابت ناحیه دوم و ناحیه سوم اکسترودر به ترتیب ۱۲۰ و ۱۴۵ درجه سانتی‌گراد و سرعت خوراک ثابت ۴۰ کیلوگرم بر ساعت ثابت بود. آزمون‌های انجام شده شامل ویژگی‌های فیزیکی (چگالی ظاهری، نسبت انبساط و سختی بافت، رنگ و مشخصه‌های ریز ساختاری)، عملکردی (شاخص جذب آب، شاخص انحلال در آب، شاخص جذب روغن، عدد پراکسید) و ویژگی‌های حسی فرآورده مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش در قالب روش سطح پاسخ (RSM) و طرح باکس-بنکن (Box-Behnken) و به منظور آنالیز تغییرات از نرم افزار آماری Minitab نسخه ۱۷ استفاده شد.

یافته‌ها: مهم‌ترین مسأله در تهیه اسنک‌ها مزه و بافت آن می‌باشد. با افزایش پسته در نمونه‌های تولیدی اسنک، میزان سختی بافت به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P < 0/05$) و میزان رضایتمندی از طعم و مزه اسنک بیشتر گردید. علاوه بر این افزایش پسته باعث کاهش میزان رنگ قرمز و آبی و متمایل شدن رنگ‌ها به سبز و زرد گردید. افزایش رطوبت به طور معنی‌دار باعث افزایش نسبت انبساط، چگالی ظاهری و سختی اسنک گردید ($P < 0/05$). افزایش سرعت چرخش مارپیچ باعث کاهش میزان روشنایی و جذب آب اسنک گردید. بررسی ویژگی ریز ساختاری اسنک که بر روی نمونه بهینه انجام گرفت نشان داد که میزان پف کردگی اسنک مناسب بوده و قطر دیواره حباب‌های تشکیل شده، کم‌تر از ۱۷ میکرومتر بود. دیواره حباب‌ها تقریباً صاف بوده که نشان دهنده مخلوط شدن خوب پسته با ذرت و همچنین اختلاط خوب و مناسب گویچه‌های چربی با آرد می‌باشد.

نتیجه‌گیری: بر طبق نتایج به‌دست آمده، شرایط بهینه فرآیند شامل سرعت چرخش مارپیچ، نسبت مغز پسته و رطوبت خوراک به ترتیب برابر ۱۵۰ دور بر دقیقه، ۱۴ درصد و ۱۵ درصد بود. بنابراین می‌توان در صنعت تهیه اسنک، از پسته با درصد‌های ذکر شده نیز استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: اسنک، اکستروژن، پسته، سرعت مارپیچ

*مسئول مکاتبه: toosi@acecr.ac.ir

مقدمه

میان وعده‌های مبتنی بر غلات اکستروود شده محصولات پر طرفداری هستند، با این حال بسیاری از میان وعده‌های موجود در بازار در حال حاضر از نظر میزان نمک، چربی و شکر اشباع بوده و ارزش غذایی پایینی دارند (۱۸). در حال حاضر تهیه غذاهایی سالم و سلامتی بخش در کنار اطلاع‌رسانی به مردم پیرامون رژیم سلامتی بسیار مهم می‌باشد. بنابراین فرصتی برای تهیه میان وعده‌های اکستروود شده سالم و سازگار با محیط زیست وجود دارد.

فناوری پخت اکستروژن به‌طور گسترده‌ای در تولید میان وعده‌های سالم کاربرد دارد. اکستروژن شامل یک فرآیند اختلاط و پخت است که طی مدت زمان کوتاهی در دمای بالا انجام می‌شود. مزیت فرآیند اکستروژن برای تولید اسنک، فناوری بسیار کارآمد در تولید مداوم و با حجم بالا است (۱۰). علاوه بر این، فرآیند اکستروژن سهولت کار و توانایی تولید انواع اندازه‌ها، اشکال و بافت‌های مطلوب محصول میان وعده را فراهم می‌کند (۳۵).

بیشترین مواد اولیه مورد استفاده در تهیه اسنک‌ها مواد اولیه مبتنی بر نشاسته هستند که از گندم، ذرت، سیب زمینی و برنج مشتق شده‌اند. سایر ترکیبات به دست آمده از میوه و سبزیجات در مقادیر کمی و به منظور غنی‌سازی اسنک، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

(۸، ۳۷). تلاش‌های بسیاری برای تحقیق و بررسی استحکام بخشیدن به ترکیبات کاربردی برای بهبود ارزش غذایی میان وعده‌های اکستروود شده مانند آرد لوبیا، آرد موز سبز (۳۹)، آرد بادام زمینی (۳۸)، پودرهای میوه (سیب، موز، توت فرنگی و نارنگی) (۳۷) و پوست گوجه فرنگی (۱۳) انجام شده است. اما تا به حال از پسته به عنوان افزودنی در اسنک‌ها استفاده نشده است. پسته دانه خوراکی از درخت پسته (*Pistacia vera*) است که به مقدار زیاد در مناطق

گرم و خشک خاورمیانه، کشورهای مدیترانه و آمریکا کشت می‌شود (۱۶). پسته درخت کوچکی است که مبدأ آن خاورمیانه و آسیای مرکزی است (۱) و در کشورهایمانند ایران، سوریه، ترکمنستان و غرب افغانستان رشد می‌کند. پسته واژه‌ای فارسی است که از طریق زبان لاتین وارد زبان‌های اروپایی شده‌است. پسته نیمه گرمسیری از خانواده *آناکاردیاسه*^۱ و جنس *پستاسیا*^۲ است که در سال ۱۷۳۷ میلادی توسط لینه نام‌گذاری علمی شده است. به نظر می‌رسد مصرف پسته می‌تواند فشار خون سیستولیک و دیاستولیک را در افرادی که دیابت ندارند، تا حدودی کاهش دهد. با اینکه پسته حاوی مقدار زیادی کالری است، اما مصرف آن در مقادیر معمولی باعث افزایش وزن یا چاقی نمی‌شود (۳۰). مغز پسته منبع غنی از روغن (۶۰-۵۰ درصد) حاوی اسیدهای چرب لینولئیک و لینولئیک می‌باشد و برای تغذیه انسان ضروری است. علاوه بر این روغن پسته سرشار از اسید اولئیک است (۴۱).

با توجه به نقش مواد اولیه مصرفی در افزایش ارزش غذایی محصولات اکستروود شده و کاهش سوء تغذیه، محققین توجه خود را به تولید فراورده‌هایی با خواص سلامتی بخش معطوف داشته‌اند. در همین راستا پژوهشی پیرامون تهیه اسنک اکستروود شده با استفاده از ذرت و پسته انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه: مواد اولیه مورد استفاده در تهیه اسنک شامل پسته تهیه شده از بازار مشهد، بلغور ذرت تهیه شده از کارخانه زرین طلایی، آب مقطر و روغن آفتابگردان تهیه شده از بازار مشهد بود.

1. Anacardiaca
2. Pistacia

چگالی واقعی: ابتدا فرآورده اکستروود شده توسط آسیاب چکشی پودر شد. استوانه مدرج ۱۰ میلی متری پس از توزین به آرامی از نمونه پودر پر شد. استوانه مدرج مکرراً ضربه زده شد تا زمانی که هیچ کاهشی در حجم نمونه‌ی داخل استوانه مدرج مشاهده نشد. با مشخص شدن حجم نمونه، وزن آن نیز اندازه‌گیری شد. چگالی واقعی نمونه‌های اکستروود شده به عنوان جرم واحد حجم نمونه محاسبه گردید (۲۷)

نسبت انبساط: به‌طور تصادفی ۱۰ نمونه از هر تیمار برداشته شد و قطر ۳ نقطه از هر یک از نمونه‌ها با کولیس دیجیتالی اینسایز ساخت کشور چین اندازه‌گیری گردید. به منظور تعیین نسبت انبساط میانگین قطر در رابطه ۱ قرار داده شد (۳۴).

رابطه ۱.

$$\text{نسبت انبساط شونده} = \frac{\text{قطر نمونه‌ی اکستروود شده}}{\text{قطر روزنه}}$$

رنگ سنجی: به‌منظور ارزیابی رنگ نمونه‌های اسنک از سیستم هانترلب استفاده شد. در سیستم هانترلب، رنگ بر مبنای ۳ پارامتر L^* ، a^* و b^* ارزیابی می‌شود. شاخص L^* نشان‌دهنده میزان روشنایی نمونه و دامنه آن از ۰ (سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص) می‌باشد. شاخص a^* میزان نزدیکی رنگ نمونه به قرمز و سبز را نشان می‌دهد و دامنه آن از ۱۲۰+ (قرمز خالص) و ۱۲۰- (سبز خالص) می‌باشد. شاخص b^* نیز میزان نزدیکی رنگ نمونه به زرد و آبی را نشان می‌دهد و دامنه آن از ۱۲۰+ (زرد خالص) و ۱۲۰- (آبی خالص) می‌باشد.

تعیین سختی محصول: جهت تعیین بافت از دستگاه بافت‌سنج مدل TA-Plus، ساخت انگلستان استفاده شد. به صورت تصادفی ۵ عدد از فرآورده‌های 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 میلی متر

آماده سازی نمونه: به‌منظور آماده‌سازی نمونه، پسته تهیه شده پوست‌گیری و سپس با آسیاب چکشی، آسیاب گردید. میزان رطوبت، خاکستر، پروتئین خام و چربی به‌عنوان مواد اولیه اندازه‌گیری گردید. پسته با نسبت‌های مشخص (۷، ۱۴ و ۲۱ درصد) به بلغور ذرت که رطوبت آن قبلاً اندازه‌گیری شده بود اضافه گردید. سپس به‌منظور رسیدن به رطوبت مورد نظر (۱۲، ۱۵ و ۱۸ درصد) مقادیر آب لازم با استفاده از طرح مربع پیرسون محاسبه و به مخلوط افزوده شد. پس از ۱۵ دقیقه مخلوط کردن، نمونه‌ها در کیسه‌های پلی اتیلنی بسته‌بندی و به‌منظور یکنواخت سازی رطوبت، به مدت یک شب در دمای محیط قرار داده شدند. در این پژوهش از اکستروودر دو مارپیچه با چرخش هم جهت (مدل DS56، ساخت شرکت Jinan Saxin کشور چین) مستقر در پایلوت صنایع غذایی پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی استفاده گردید. اکستروودر با دمای ثابت (به ترتیب ناحیه دوم ۱۲۰ و ناحیه سوم ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد) و سرعت خوراک ثابت ۴۰ کیلوگرم بر ساعت بود. نمونه‌های اکستروود شده در خشک‌کن تونلی با دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا میزان رطوبت نهایی محصول به ۳ درصد برسد. سپس در کیسه‌های پلی اتیلنی زیپ‌دار بسته‌بندی و کد گذاری شده و تا آزمون‌های بعدی در دمای اتاق نگهداری شدند.

اندازه‌گیری رطوبت، چربی، خاکستر و پروتئین مواد اولیه: به منظور اندازه‌گیری رطوبت، چربی و خاکستر به‌ترتیب از روش AACC 44-16، AOAC 14-018 و AACC 08-01 (۲۰۰۰) و برای پروتئین از روش کلدال استفاده گردید.

چگالی ظاهری: چگالی ظاهری اسنک‌ها از طریق جایجایی ارزن طبق روش استاندارد AACC به شماره ۱۰-۰۵ (۲۰۰۰) محاسبه شد.

بر ثانیه و همچنین تا عمق ۱۰ میلیمتر بود. پس از انجام آزمون نیز مقدار بیشینه نیرو محاسبه شد.

جدول ۱- متغیرهای مستقل تولید اسنک ذرت و مغز پسته با اکسترودر

Table 1. Independent variables for corn and pistachio snack by extruder

بیشترین مقدار Maximum	نقطه مرکزی Central point	کم ترین مقدار Minimum	متغیر مستقل independent variable
۲۱	۱۴	۷	پسته (%) Pistachios (%)
۱۸۰	۱۵۰	۱۲۰	سرعت چرخش مارپیچ (rpm) Spiral rotation speed (rpm)
۱۸	۱۵	۱۲	رطوبت خوراک ورودی (%) (%) Feed moisture content

$$\text{شاخص جذب روغن} = \frac{\text{وزن روغن جذب شده}}{\text{وزن نمونه}}$$

ارزیابی حسی: پارامترهای حسی شامل رنگ، ظاهر، عطر و طعم، بافت و پذیرش کلی در فاصله زمانی ۲ ساعت پس از تهیه اسنک‌ها، بر اساس روش هدونیک ۵ نقطه‌ای (۵: بسیار خوب و ۰: بسیار بد) در پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاددانشگاهی مشهد توسط ۱۰ داور آموزش دیده امتیازدهی شد (۴).

تعیین ویژگی‌های ریزساختاری محصول: نمونه‌ها ابتدا توسط تیغ جراحی برش داده شده و سپس با استفاده از دستگاه پوشش‌دهنده توسط طلا-پالادیوم به مدت ۲۴۰ ثانیه در حالت سایه، پوشش‌دهی شدند. سپس نمونه‌ها توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی^۱ (SEM) با وضوح ۲/۵ نانومتر و حداکثر ولتاژ ۳۵ کیلوولت در بزرگ‌نمایی‌های مختلف بررسی گردیدند (۷).

تجزیه و تحلیل آماری: در این پژوهش از روش سطح پاسخ^۲ (RSM) و طرح باکس-بنکن (Box-Behnken) و نرم‌افزار آماری Minitab نسخه ۱۷ استفاده شد. متغیرهای مستقل درصد شامل درصد

شاخص جذب آب (WAI) و انحلال در آب (WSI): ابتدا ۰/۵ گرم نمونه خشک آسیاب شده به فالكون از پیش توزین شده اضافه گردید، سپس ۱۰ میلی لیتر آب مقطر به آن افزوده و برای ۱۰ دقیقه به سرعت هم زده شد. در مرحله بعد مخلوط حاصل در سانتیفریوژ با دور ۳۰۰۰ g در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه سانتیفریوژ گردید. در نهایت مایع رویی حاصل از سانتیفریوژ جدا شده و ژل باقی‌مانده توزین شد. مایع رویی به پلیت خالی منتقل گردید و سپس در آن هوای داغ خشک گردید. شاخص جذب آب و انحلال در آب با روابط ۲ و ۳ محاسبه گردید.

$$\text{رابطه ۲. } WAI = \frac{\text{وزن ژل باقیمانده}}{\text{وزن نمونه}}$$

$$\text{رابطه ۳. } WSI = \frac{\text{وزن ماده خشک محلول در مایع رویی فالكون}}{\text{وزن نمونه}}$$

شاخص جذب روغن: ابتدا ۲ گرم از نمونه اسنک پودر شده توزین و به فالكون با وزن مشخص اضافه گردید. سپس ۲ میلی لیتر روغن افزوده و پس از ۱۰ دقیقه همزدن با شیکر با سرعت ۳۰۰۰ g سانتیفریوژ گردید. شاخص جذب روغن با توزین ژل باقی‌مانده پس از دور ریختن روغن رویی در فالكون با رابطه ۴ محاسبه گردید (۲۴).

رابطه ۴.

1. Scanning Electron Microscopy
2. Response Surface Methodology

نوشین نورافشان و همکاران

۳/۲ درصد، رطوبت بلغور ذرت ۱۱/۸ درصد، چربی پسته و ذرت به ترتیب ۴۵/۳ و ۳/۱ درصد، پروتئین پسته و ذرت به ترتیب ۱/۱ و ۷/۷ درصد و میزان خاکستر پسته ۲/۴ و ذرت ۰/۹۵ درصد بود (جدول ۲).

پسته، سرعت چرخش مارپیچ و رطوبت خوراک ورودی بود که در جدول ۱ آمده است.

نتایج و بحث

ترکیبات شیمیایی ذرت و پسته: درصد رطوبت پسته

جدول ۲- آنالیز واریانس متغیرهای مورد آزمایش تولید اسنک ذرت و مغز پسته با اکسترودر

Table 2. Analysis of variance of variables for corn and pistachio snack by extruder

Total acceptance پذیرش کلی	p-value										Source
	b*	a*	L*	جذب روغن OAI	آنحلال در آب WSI	جذب آب WAI	سختی یافت Hardness	چگالی واقعی Real Density	چگالی ظاهری Bulk Density	نسبت انبساط Expansion rate	
۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۴	۰/۲۳۳	۰/۰۲۴	۰/۰۲۶	۰/۰۱۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	/۰۰۰	۰/۰۰۰	مدل Model
۰/۱۱۳	۰/۰۰۷	۰/۰۱۰	۰/۲۶	۰/۰۲۲	۰/۰۸۳	۰/۱۸۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰	نسبت Ratio (A)
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۴۵	۰/۳۶۳	۰/۱۱۹	۰/۲۱۰	۰/۰۶۱	۰/۰۹۳	۰/۱۲۴	۰/۰۰۳	۰/۰۴۶	رطوبت Moisture (B)
۰/۸۲۵	۰/۰۰۶	۰/۰۳۰	۰/۲۲	۰/۱۵۵	۰/۱۹	۰/۱۸۱	۰/۴۵	۰/۲۴۵	۰/۲۳	۰/۸۹۰	سرعت چرخش مارپیچ Screw (C)
۰/۱۴۲	۰/۶۷	۰/۵۳	۰/۸۹	۰/۳۲	۰/۰۱۴	۰/۲۶	۰/۰۶۰	۰/۰۲۵	۰/۰۰۸	۰/۱۰۳	AB
۰/۰۱۰	۰/۳۷	۰/۰۱۳	۰/۵۹	۰/۴۶	۰/۲۷	۰/۳۴	۰/۶۸	۰/۵۵	۰/۳۶	۰/۴۴	AC
۰/۶۸	۰/۳۷	۰/۲۹	۰/۳۸	۰/۰۵۱	۰/۴۷	۰/۰۱۷	۰/۳۷	۰/۱۰۶	۰/۴۴	۰/۰۴۲	BC

بر اساس نتایج با افزایش درصد پسته میزان نسبت انبساط کاهش یافته است (شکل ۱)؛ در حالی که با افزایش درصد رطوبت، میزان نسبت انبساط افزایش یافت. میزان سرعت چرخش مارپیچ بر نسبت انبساط تأثیر معنی دار نداشته، بنابراین نمودار آن هم صعودی یا نزولی نمی باشد.

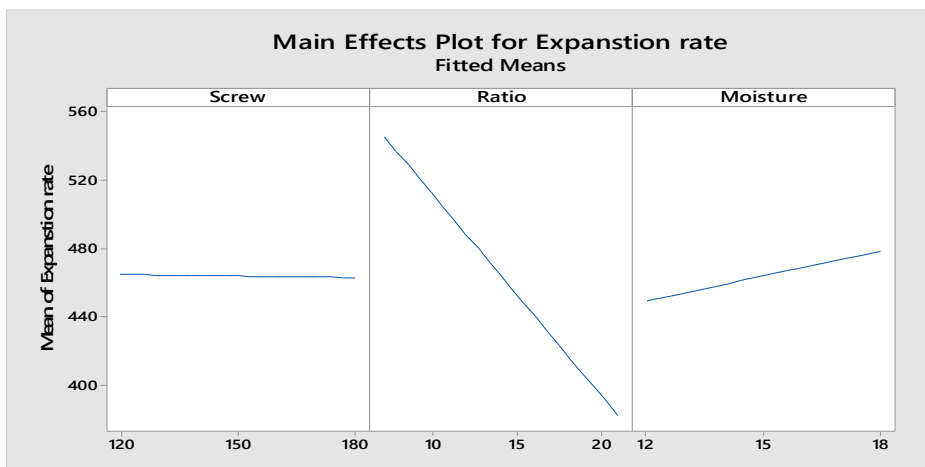
چگالی ظاهری: درصد پسته و رطوبت بر چگالی ظاهری تأثیر معنی دار داشت ($P < 0.05$). همچنین اثر متقابل دوتایی درصد پسته و رطوبت نیز معنی دار بود. مدل خطی برای نسبت انبساط از نظر آماری معنی دار بوده و آزمون عدم برازش معنی دار نبوده است. بنابراین می توان عنوان کرد که مدل خطی در این نتایج مناسب می باشد و مدل برازش شده نهایی به صورت زیر می باشد.

بر اساس نتایج آنالیز واریانس متغیرهای مورد آزمایش در جدول ۲، p -value کم تر از ۰/۰۵ نشان دهنده معنی دار بودن آن متغیر بر روی صفت مورد آزمایش می باشد.

نسبت انبساط: آنالیز واریانس نشان داد که میزان رطوبت و درصد پسته بر میزان نسبت انبساط تأثیر معنی دار دارد ($P < 0.05$). همچنین مقدار بالای $R^2 = 0.94$ و متناسب بودن مقدار Adjusted R^2 و Predicted R^2 که به ترتیب برابر ۹۱/۷۱ و ۹۱/۴۹ درصد می باشد، بیانگر قدرت بالای مدل در پیش بینی است. بنابراین مدل برازش شده به صورت زیر می باشد.

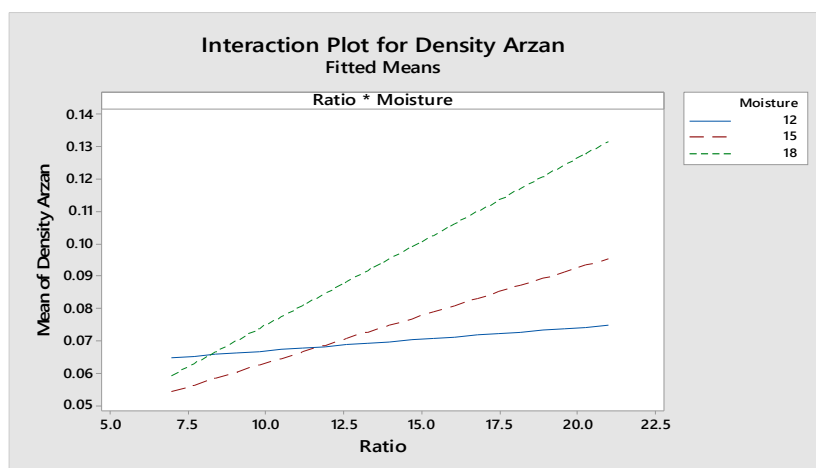
$$\text{Expansion rate} = 918 - 3.49 \text{ Screw} - 0.18 \text{ Ratio} + 19.1 \text{ Moisture} - 0.230 \text{ Screw} * \text{Moisture} - 0.762 \text{ Ratio} * \text{Moisture}$$

$$\text{Bulk Density} = 0/318 - 0/00819 \text{ Ratio} - 0/0318 \text{ Moisture} + 0/000741 \text{ Ratio} * \text{Moisture}$$



شکل ۱- تأثیر سرعت چرخش مارپیچ، درصد پسته و میزان رطوبت بر نسبت انبساط اسنک

Figure 1. Effect of spiral rotation speed, pistachio percentage and moisture content on snack expansion ratio



شکل ۲- تأثیر همزمان درصد پسته و رطوبت بر چگالی ظاهری اسنک

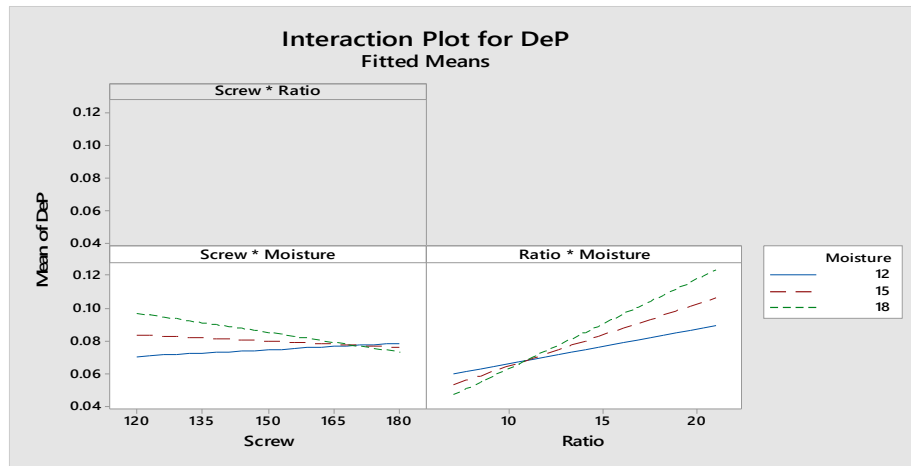
Figure 2. Simultaneous effect of pistachio percentage and moisture content on snack mass density

$(P > 0/05)$. با توجه به معنی دار بودن مدل خطی و عدم معنی داری ضعف برازش و همچنین با توجه به مقدار بالای $R^2 = 0/88$ و متناسب بودن مقدار R^2 -Adjust و R^2 -Predicted که به ترتیب برابر ۸۲/۹۹ و ۶۵/۷۱ درصد می باشد، مدل برازش شده به صورت زیر تعیین شد.

$$\begin{aligned} \text{Real Density} = & -0/060 + 0/001184 \text{ Screw} - \\ & 0/00457 \text{ Ratio} + 0/00713 \text{ Moisture} - \\ & 0/000088 \text{ Screw} * \text{Moisture} + 0/000555 \text{ Ratio} \\ & * \text{Moisture} \end{aligned}$$

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود، در رطوبت ثابت، با افزایش میزان درصد پسته در محصول، چگالی ظاهری بیشتر شده است. میزان افزایش چگالی ظاهری در رطوبت ۱۵ و ۱۸ درصد از رطوبت ۱۲ درصد بیشتر بود.

چگالی واقعی: آنالیزهای آماری نشان داد که فقط درصد پسته بر میزان چگالی واقعی نمونه تأثیر معنی دار داشته و سرعت چرخش مارپیچ و درصد رطوبت بر چگالی واقعی تأثیر معنی داری نداشته است



شکل ۳- تأثیر همزمان سرعت چرخش مارپیچ و رطوبت، درصد پسته و رطوبت بر چگالی واقعی اسنک
 Figure 3. Simultaneous effect of spiral rotation speed and moisture content along with pistachio percentage and moisture content on the actual density of snacks

میزان توزیع آب در ماتریکس بین سلولی و افزایش میزان پیوند و کاهش میزان انبساط پذیری محصول تأثیر داشته و مانع از پف کردن نمونه می شود (۳۳). از طرفی پروتئین باعث کاهش تنش برشی در دستگاه اکسترودر می گردد بنابراین باعث کاهش فشار مارپیچ و کاهش اختلاف فشار بین مارپیچ و اتمسفر می گردد (۱۷). علاوه بر این اضافه شدن فیبر سبب کاهش ضریب انبساط، تخلخل و افزایش دانسیته می شود (۳۲). افزایش مقدار فیبر در محصولات اکسترودر شده سبب ایجاد ساختاری متراکم و کاهش اندازه سلول های هوایی، افزایش تعداد سوراخ ها در دیواره سلولی و بنابراین کاهش میزان انبساط و افزایش دانسیته ظاهری می گردد (۱۵). ناخون و همکاران (۲۰۱۸) عنوان نمودند که پلی ساکاریدهای غیرنشاسته ای نظیر فیبرها می توانند در طی فرایند اکستروژن اتصال قوی تری نسبت به پروتئین و نشاسته با آب برقرار کنند و این اتصال می تواند با محدود کردن آب در دسترس سبب کاهش میزان انبساط و احتمالاً افزایش چگالی ظاهری گردد (۳۳).
 سختی: نتایج آنالیز آماری نشان داد که میزان اضافه شدن پسته به نمونه اسنک بر روی میزان سختی نمونه

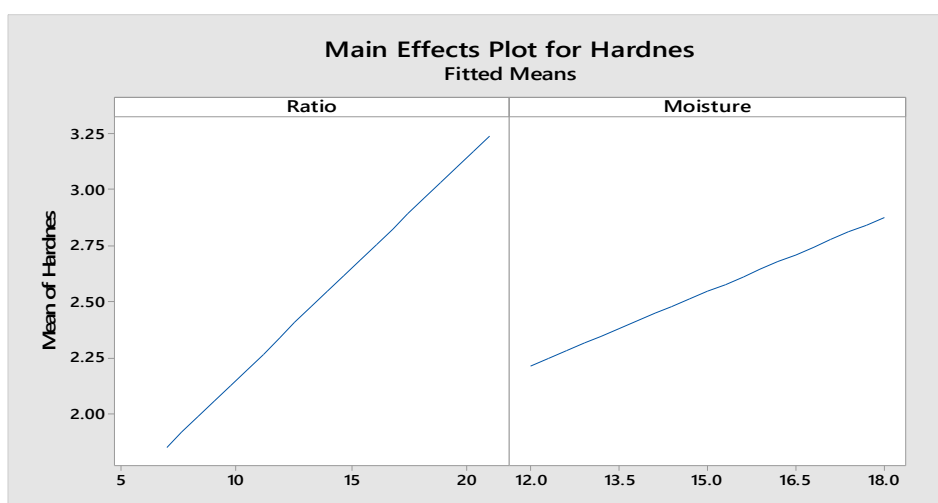
اثر همزمان سرعت چرخش مارپیچ و رطوبت در رطوبت ثابت ۱۵ و ۱۸ درصد بر میزان چگالی واقعی تأثیر منفی داشته و باعث کاهش در میزان چگالی واقعی گردید. در مدل پیش بینی شده نیز تأثیر همزمان این دو عامل به صورت $0/000088 \text{ Screw} * \text{Moisture}$ بیان شده است. در اثر همزمان رطوبت و درصد پسته، در رطوبت ثابت، میزان چگالی واقعی افزایش یافت و این افزایش در مدل پیش بینی شده به صورت $0/000555 \text{ Ratio} * \text{Moisture} +$ بیان شده است.
 میزان پف کردگی محصولات اکسترودر شده را می توان از نسبت انبساط، چگالی ظاهری و چگالی واقعی استنباط نمود (۱۲، ۴۰). چگالی ظاهری به طور مستقیم با انبساط محصولات اکسترودر شده ارتباط دارد و پارامتر بسیار مهمی در تولید محصولات حجیم و شکل داده شده بشمار می رود (۲۳). مورارو و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهشی پیرامون استفاده از تفاله سیب در تهیه اسنک به این نتیجه رسیدند که افزایش سرعت چرخش مارپیچ می تواند مانع گسترش اندازه حباب ها شود و موجب تولید تعداد سلول های هوایی با اندازه کوچکتر گردد که به منزله ی کاهش انبساط می باشد. افزایش میزان پروتئین در طی اکستروژن بر

به ترتیب به میزان ۰/۲۸۰- و ۰/۲۴۴- بر سختی اسنک تأثیر گذاشته است. اثر همزمان درصد پسته و رطوبت نیز به میزان ۰/۰۲۵۳ و به صورت مثبت بر سختی نمونه تأثیر گذاشت. این مطلب به این معناست که با افزایش یک واحد در رطوبت و یا درصد پسته به تنهایی، میزان سختی کاهش ولی با افزایش همزمان این دو عامل میزان سختی افزایش یافت.

تأثیر معنی دار ($P < 0/05$) داشته و همچنین مدل خطی برای نسبت انبساط از نظر آماری معنی دار بوده و آزمون عدم برازش معنی دار نبوده است. بنابراین می توان عنوان کرد که مدل خطی در این نتایج مناسب می باشد و مدل برازش شده به صورت زیر می باشد:

$$\text{Hardnes} = 4/81 - 0/280 \text{ Ratio} - 0/244 \text{ Moisture} + 0/0253 \text{ Ratio} * \text{Moisture}$$

با توجه به مدل ارائه شده، درصد پسته و رطوبت



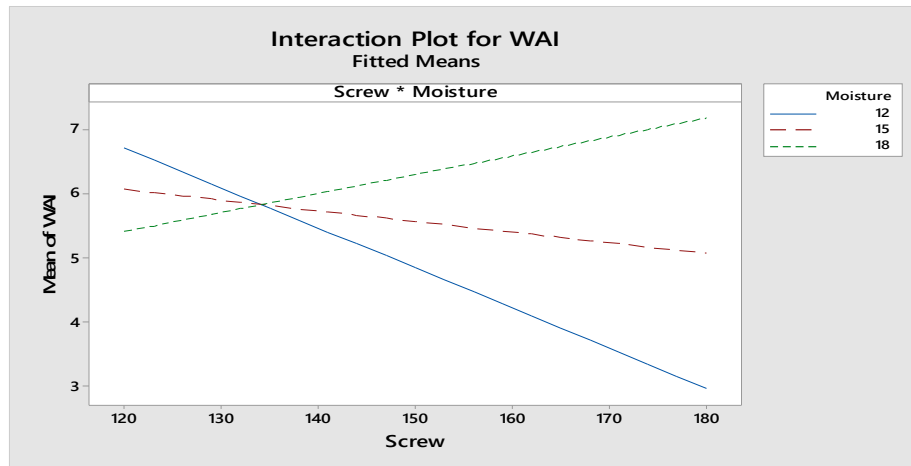
شکل ۴- تأثیر درصد پسته و میزان رطوبت بر سختی اسنک

Figure 4. Effect of pistachio percentage and moisture content on snack hardness

نسبت انبساط و افزایش چگالی و در نتیجه افزایش سختی می باشد.

شاخص جذب آب (WAI): ضریب جذب آب در فرآورده حجم معادل میزان آب جذب شده توسط نشاسته و شاخص ژلاتینه شدن تعریف می گردد (۶، ۳، ۱۱) همچنین به دسترسی گروه های آب دوست و برقراری پیوند با مولکول های آب ارتباط دارد و ظرفیت درشت مولکول ها را در تشکیل ژل مشخص می نماید (۳). نتایج آنالیز واریانس نشان داد که درصد پسته، رطوبت و سرعت چرخش ماریچ بر میزان جذب آب نمونه تأثیر معنی دار نداشته است ($P > 0/05$)، اما تأثیر همزمان رطوبت و سرعت چرخش ماریچ بر میزان جذب آب تأثیر معنی دار داشت ($P < 0/05$).

همانطور که از شکل ۴ می توان دریافت، با افزایش رطوبت و درصد پسته، میزان سختی افزایش می یابد. در مقایسه درصد پسته و درصد رطوبت، میزان سختی با افزایش درصد پسته، افزایش بیشتری می یابد. با توجه به پژوهش های انجام شده توسط دانشمندان مختلف مشخص شده است که افزودن هر نوع فرآورده جانبی به فرمولاسیون محصولات اکستروژن شده سبب تغییرات بافتی محصولات می گردد (۲). افزودن مواد حاوی فیبر در فرمولاسیون مواد غذایی اکستروژن شده سبب کاهش اندازه سلول های هوایی و تشکیل دیواره ضخیم می گردد (۹) هر چه دیواره تشکیل شده ضخیم تر باشد، میزان سختی اسنک افزایش می یابد. با افزایش میزان رطوبت، میزان سختی بافت افزایش یافت که احتمالاً به دلیل کاهش میزان



شکل ۵- تأثیر همزمان رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ بر ضریب جذب آب اسنک
Figure 5. Simultaneous effect of moisture and spiral rotation speed on the water absorption coefficient of the snack

در تحقیق حاضر شاخص جذب آب در محصول اکستروژده شده با افزایش سرعت چرخش مارپیچ، کاهش یافت. علت آن احتمالاً مربوط به تغییر در ساختار پسته ناشی از اثر سرعت چرخش مارپیچ و صدمه به زنجیره پلیمری و از طرفی کاهش دسترسی گروه‌های هیدروفیلی به مولکول آب و کاهش زمان تماس مواد موجود در اکستروژدر جهت ژلاتیناسیون بود (۱۹، ۲۵). افزایش رطوبت باعث افزایش میزان جذب آب می‌شود که احتمالاً به دلیل افزایش میزان ژلاتینه شدن نشاسته و در نتیجه کاهش جذب آب می‌باشد (۳۴). همچنین افزایش رطوبت سبب افزایش شاخص جذب آب محصول گردید که علت احتمالی مربوط به نقش آب به عنوان یک نرم‌کننده بوده است که سبب کاهش تجزیه پلیمر نشاسته و در نتیجه موجب دسترسی بیشتر گروه‌های آب دوست به مولکول‌های آب شده است. یاگسی و گوگوس (۲۰۰۸)، هاگنمانا و همکاران (۲۰۰۶) و دینگ و همکاران (۲۰۰۵) نتایج مشابهی را در خصوص اثر آرد به دست آمده از کنجاله‌های مختلف بر شاخص جذب آب گزارش کردند (۴۲، ۲۰، ۱۴).
با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق

مدل خطی ضریب جذب آب از نظر آماری معنی‌دار بود و آزمون عدم برازش معنی‌دار نبوده است. بنابراین می‌توان عنوان کرد که مدل خطی در این نتایج مناسب بوده و مدل برازش شده به صورت زیر می‌باشد:

$$WAI = 44/6 - 0/2472 \text{ Screw} - 0/735 \text{ Ratio} - 2/063 \text{ Moisture} + 0/01537 \text{ Screw} * \text{Moisture}$$

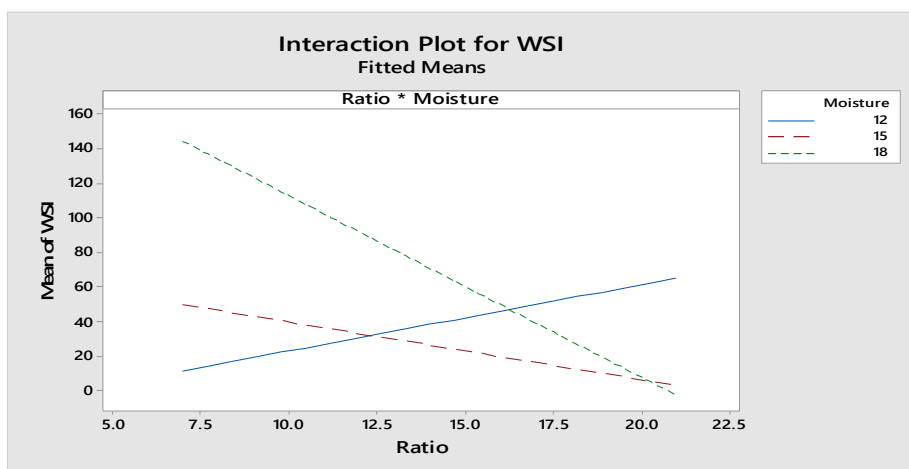
با توجه به مدل ارائه شده، با اضافه شدن ۱ واحد به سرعت چرخش مارپیچ، به ترتیب به میزان ۰/۲۴۷۲، ۰/۷۳۵ و ۲/۰۶۳ از درصد پسته، رطوبت و جذب آب کاسته می‌شود. در طی فرآیند اکستروژن، نشاسته تجزیه می‌شود. هرچه میزان دکسترینه شدن نشاسته بیشتر باشد، باعث ایجاد شرایط سخت اکستروژری و ایجاد بافت چسبنده می‌شود (۳۴). افزایش سرعت چرخش مارپیچ باعث افزایش سرعت برشی و افزایش میزان تخریب پروتئین و نشاسته می‌گردد. با تخریب نشاسته، میزان جذب آب کاهش می‌یابد (۳). بیشتر بودن سرعت چرخش مارپیچ منجر به تخریب آمیلوز و آمیلوپکتین با ایجاد شکاف در زنجیره می‌گردد. علاوه بر این تشکیل دکسترین در حین اکستروژن و اثرات متقابل مولکولی بین نشاسته تخریب شده، پروتئین و چربی ممکن است انحلال پذیری و به تبع آن شاخص جذب آب را کاهش دهد.

اکسترودر اعلام نمودند (۵). همچنین، نتایج این پژوهش مشابه یافته‌های میلانی و همکاران (۱۳۹۲) و لیو (۲۰۰۲) بود (۲۶،۳۱).

شاخص انحلال در آب (WSI): نتایج آنالیز واریانس نشان داد که درصد پسته، درصد رطوبت و سرعت چرخش ماریچ بر میزان حل در آب تأثیر نداشت ($P > 0.05$)؛ درحالی‌که تأثیر همزمان میزان درصد پسته و سرعت رطوبت بر میزان حل در آب تأثیر معنی‌دار داشت ($P < 0.05$). شکل ۶ اثر همزمان درصد رطوبت و درصد پسته بر میزان انحلال در آب نمونه را نشان می‌دهد. می‌توان اظهار داشت که در رطوبت ثابت ۱۲ درصد، با افزایش میزان درصد پسته، میزان شاخص انحلال در آب افزایش یافته؛ در حالی‌که در رطوبت ثابت ۱۵ و ۱۸ درصد با افزایش درصد پسته میزان انحلال در آب کاهش یافته است.

افزایش رطوبت، سرعت چرخش ماریچ و درصد پسته به تنهایی بر میزان جذب آب تأثیر ندارد؛ درحالی‌که افزایش همزمان این سه عامل باعث تأثیر بر میزان ضریب جذب آب می‌گردد. این امر احتمالاً به دلیل کم بودن میزان تأثیر این سه عامل به تنهایی می‌باشد درحالی‌که اثر همزمان این سه عامل با هم بر میزان جذب آب تأثیر معنی‌دار دارد.

نتایج حاصل از این تحقیق با یافته بادری و ملووس (۱۹۹۱) روی محصول اکسترودر شده بر پایه ذرت حاوی کاساوا مطابقت دارد که در آن با افزایش سرعت چرخش ماریچ، میزان شاخص جذب آب کاهش یافت و علت آن را به افزایش میزان برش و تغییر در ساختار مولکولی مخلوط خمیری در اکسترودر و کاهش زمان تماس مواد با دما در



شکل ۶ - تأثیر همزمان درصد پسته و رطوبت بر ضریب انحلال در آب اسنک

Figure 6. Simultaneous effect of pistachio percentage and moisture on the water dissolution coefficient of snack

با توجه به مدل ارائه شده، با اضافه شدن ۱ واحد به درصد پسته، $32/5$ واحد به میزان حل در آب نمونه افزوده می‌شود. با افزایش یک واحد رطوبت، به میزان $55/2$ واحد از حل در آب نمونه کاسته می‌شود. اندیس حلالیت در آب به میزان ترکیبات محلول در آب بعد از اکستروژن گفته می‌شود. افزایش میزان

مدل خطی برای نسبت انبساط از نظر آماری معنی‌دار بود. به‌علاوه، آزمون ضعف برآزش معنی‌دار نبوده است. بنابراین می‌توان عنوان کرد که مدل خطی در این نتایج مناسب بوده و مدل برآزش شده به صورت زیر می‌باشد:

$$WSI = 195 + 32/5 \text{ Ratio} - 55/2 \text{ Moisture} - 2/392 \text{ Ratio} * \text{Moisture}$$

هیدرولوژی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. توانایی غذا برای جذب روغن می‌تواند به بهبود ویژگی حسی و دهانی غذا کمک کند (۲۲). درصد پسته بر میزان جذب روغن تأثیر معنی‌دار ($P < 0/05$) داشته است؛ درحالی‌که تأثیر افزودن رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ بر جذب روغن معنی‌دار نبود ($P > 0/05$). مدل خطی جذب روغن از نظر آماری معنی‌دار بوده و آزمون ضعیف برازش معنی‌دار نبوده است. بنابراین می‌توان عنوان کرد که مدل خطی در این نتایج مناسب بوده و مدل برازش شده به صورت زیر می‌باشد:

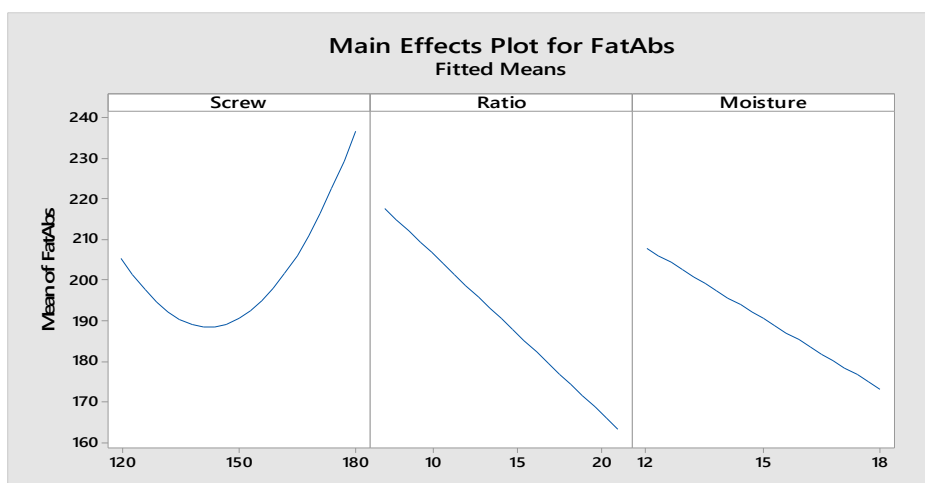
$$\text{FatAbs} = 1020 - 9/71 \text{ Screw} - 3/88 \text{ Ratio} - 5/76 \text{ Moisture}$$

با توجه به مدل ارائه شده، با اضافه شدن ۱ واحد به سرعت چرخش مارپیچ، درصد پسته و رطوبت به ترتیب به میزان ۹/۷۱، ۳/۸۸ و ۵/۷۶ واحد از میزان جذب روغن کاسته می‌شود. بیشترین میزان روغن جذب شده مربوط به نمونه دارای سرعت مارپیچ ۱۸۰، رطوبت ۱۸ درصد و پسته ۱۴ درصد می‌باشد. کم‌ترین میزان روغن جذب شده مربوط به نمونه دارای سرعت مارپیچ ۱۵۰، رطوبت ۱۵ درصد و پسته ۱۴ درصد می‌باشد.

انحلال در آب بر بافت اثر نامطلوب دارد (۳۴). در طول پخت اکستروژن، پروتئین محلول به سبب دنا توره شدن کاهش می‌یابد که منجر به تغییر ساختار می‌شود و گروه‌های هیدروفیل قادر می‌شوند با نشاسته پیوند عرضی برقرار کنند (۱۱).

با توجه به اینکه تأثیر درصد رطوبت، سرعت چرخش مارپیچ و درصد پسته به تنهایی بر ضریب انحلال در آب تأثیر نداشته است، می‌توان عنوان نمود که اثر این عوامل بر میزان جذب آب ناچیز می‌باشد. به‌عنوان مثال برای داشتن تأثیر معنی‌دار به جای استفاده از رطوبت‌های ۱۲، ۱۵ و ۱۸ درصد باید از رطوبت‌هایی با فاصله‌های بیشتر استفاده نمود. برای داشتن تأثیر معنی‌دار استفاده از پسته بر میزان حل در آب باید اختلاف مابین درصدهای پسته، بیشتر از ۷ درصد باشد. با این حال تأثیر همزمان درصد رطوبت و درصد پسته بر میزان انحلال در آب نمونه تأثیر کاهشی دارد. این امر احتمالاً به دلیل افزایش پروتئین (۱۱) و همزمان کاهش پروتئین محلول در طی اکستروژن می‌باشد. این عوامل باعث کاهش در میزان حل در آب می‌گردد.

جذب روغن (OAI): جذب روغن به عنوان شاخص



شکل ۷- تأثیر سرعت چرخش مارپیچ، درصد پسته و میزان رطوبت بر جذب روغن اسنک

Figure 7. The effect of spiral rotation speed, pistachio percentage and moisture content on snack oil absorption

L^* و b^* به ترتیب کاهش و افزایش یافت. در این پژوهش با افزایش درصد پسته میزان a^* و b^* نمونه کاهش یافت که احتمالاً به دلیل سرعت چرخش ماریچ بالا و از بین رفتن رنگدانه‌های کاروتنوئیدی ذرت می‌باشد. ایچسه و همکاران (۱۹۹۳) در پژوهش خود بیان نمودند که با افزایش میزان سرعت چرخش ماریچ از ۲۰۰ به ۳۰۰ دور بر دقیقه، میزان رنگ زرد نمونه تغییری نکرد اما سرعت چرخش ماریچ بالاتر باعث افزایش روشنایی و کاهش میزان رنگ سبز نمونه شد (۲۱).

با توجه به اینکه افزایش رطوبت باعث افزایش میزان سختی بافت و چروکیدگی و کاهش نسبت انبساط نمونه‌ها می‌گردد، کاهش میزان روشنایی نمونه‌ها را نیز به دنبال دارد. زیرا که سختی بافت و چروکیدگی یکی از عوامل مؤثر بر روشنایی نمونه‌ها می‌باشد. همچنین افزایش سرعت چرخش ماریچ باعث افزایش دما در حین اکستروژن شده و این موضوع ارتباط زیادی با ویژگی‌های محصول از قبیل شفافیت و تردی دارد (۲۶).

لی و همکاران (۲۰۰۸) نیز دریافتند که با افزودن آرد برنج میزان a^* ، b^* و L^* به طور معنی‌داری تغییر کرده و میزان روشنایی نمونه‌های حاوی آرد برنج نسبت به نمونه شاهد حاوی ذرت کاهش یافت. رطوبت پایین، سرعت چرخش ماریچ و درجه حرارت بالا، باعث کاهش میزان روشنایی و افزایش میزان a^* و b^* می‌گردد (۳۰). در این پژوهش افزایش سرعت چرخش ماریچ باعث کاهش a^* و افزایش b^* شد.

آزمون حسی پذیرش کلی از طرف مصرف‌کننده:

نتایج آنالیز ANOVA نشان می‌دهد که میزان رطوبت اسنک بر روی میزان سختی نمونه تأثیر معنی‌دار داشته است ($P < 0/05$). اثر متقابل دوتایی در آزمون ANOVA معنی‌دار بوده و نشان می‌دهد که اثر

افزایش سرعت چرخش ماریچ از ۱۲۰ به ۱۵۰ میزان جذب روغن کاهش یافت؛ درحالی‌که با افزایش سرعت از ۱۵۰ میزان جذب روغن افزایش یافت. این امر احتمالاً به دلیل افزایش خلل و فرج بین ذره‌ای و افزایش قابلیت جذب روغن می‌باشد. با افزایش درصد پسته و رطوبت، میزان جذب روغن کاهش یافت.

میالانی و همکاران (۲۰۱۳) اثر افزودن آرد خللر جوانه زده را بر میزان جذب روغن اندازه‌گیری کرده و بیان نمودند که افزایش میزان آرد خللر باعث کاهش در میزان جذب روغن می‌شود (۳۱). لازو و کروکیدا (۲۰۱۰) عنوان نمودند افزایش پروتئین در فرآورده اکستروود شده موجب کاهش در میزان جذب روغن می‌گردد (۲۴). در این پژوهش می‌توان عنوان نمود که علاوه بر افزایش میزان پروتئین در محصول، میزان روغن نهایی نیز به دلیل وجود روغن بالا در پسته زیاد می‌باشد. این افزایش پروتئین و همچنین زیاد بودن روغن در محصول، باعث کاهش در میزان جذب روغن می‌گردد.

ارزیابی رنگ: رنگ و طعم مهم‌ترین فاکتور در جذب مصرف‌کننده می‌باشد (۲۴). با توجه به نتایج آنالیز واریانس هر سه عامل سرعت ماریچ، درصد پسته و رطوبت بر میزان روشنایی نمونه تأثیر معنی‌داری ندارد ($P > 0/05$)؛ درحالی‌که سرعت چرخش ماریچ و درصد پسته و هم چنین اثر متقابل این دو بر میزان a^* نمونه‌ها تأثیر معنی‌دار داشت ($P < 0/05$). همچنین هر سه عامل سرعت چرخش ماریچ، درصد پسته و رطوبت به طور معنی‌داری بر b^* نمونه تأثیر داشت ($P < 0/05$).

به‌طور کلی در این پژوهش با افزایش سرعت چرخش ماریچ، میزان L^* ، a^* و b^* به ترتیب کاهش، کاهش و افزایش یافت. با افزایش درصد پسته، میزان L^* ، a^* و b^* کاهش یافته و با افزایش رطوبت، میزان

میزان پذیرش رنگ و پذیرش کلی کاهش یافت. با افزایش سرعت چرخش مارپیچ، از میزان پذیرش بافت، عطر و طعم و پذیرش کلی کاسته شد.

نمونه بهینه: با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی، شرایط عملیاتی بهینه اکسترودر برای تولید نمونه بهینه بررسی شد. در صورت داشتن شرایط بهینه می‌توان از آن در صنایع غذایی و تهیه محصولات اکسترودر شده استفاده نمود. ویژگی‌های مهم که در انتخاب شرایط بهینه مورد استفاده قرار گرفت شامل نسبت انبساط، شاخص L^* ، سختی و چگالی بود. جدول ۲ نشان دهنده شرایط فرآیند در تهیه نمونه بهینه می‌باشد. بر اساس نتایج در صورت استفاده از سرعت چرخش مارپیچ با ۱۵۰ دور بر دقیقه، ۱۴ درصد پسته و ۱۵ درصد رطوبت، نمونه‌هایی با بیشترین میزان انبساط و روشنایی و کم‌ترین میزان سختی و چگالی تولید خواهد شد.

همزمان سرعت چرخش مارپیچ و درصد پسته بر میزان پذیرش کلی نمونه تأثیر معنی‌داری داشته است. مدل خطی پذیرش کلی از نظر آماری معنی‌دار بود. به علاوه، آزمون ضعیف برازش معنی‌دار نبوده است. بنابراین می‌توان عنوان کرد که مدل خطی در این نتایج مناسب بوده و مدل برازش شده به صورت زیر می‌باشد:

$$SO_{\text{Overall}} = -12/19 + 0/0280 \text{ Screw} + 0/313 \text{ Ratio} + 1/994 \text{ Moisture} - 0/002143 \text{ Screw} * \text{Ratio}$$

مدل ارائه شده بیان می‌کند که تأثیر سرعت چرخش مارپیچ و درصد رطوبت و میزان پسته به صورت مثبتی بر میزان پذیرش کلی اسنک‌ها تأثیر دارد. با افزایش یک واحد به هر کدام از متغیرهای سرعت چرخش مارپیچ، درصد پسته و رطوبت، به ترتیب میزان ۰/۰۲۸، ۰/۳۱۳ و ۱/۹۹۴ واحد به پذیرش کلی نمونه افزوده می‌شود.

در این پژوهش با افزایش میزان پسته میزان پذیرش بافت، عطر و طعم و ظاهر افزایش یافته اما

جدول ۲- انتخاب شرایط بهینه فرآیند اکستروژن

Table 2. Selection of optimum extrusion process conditions

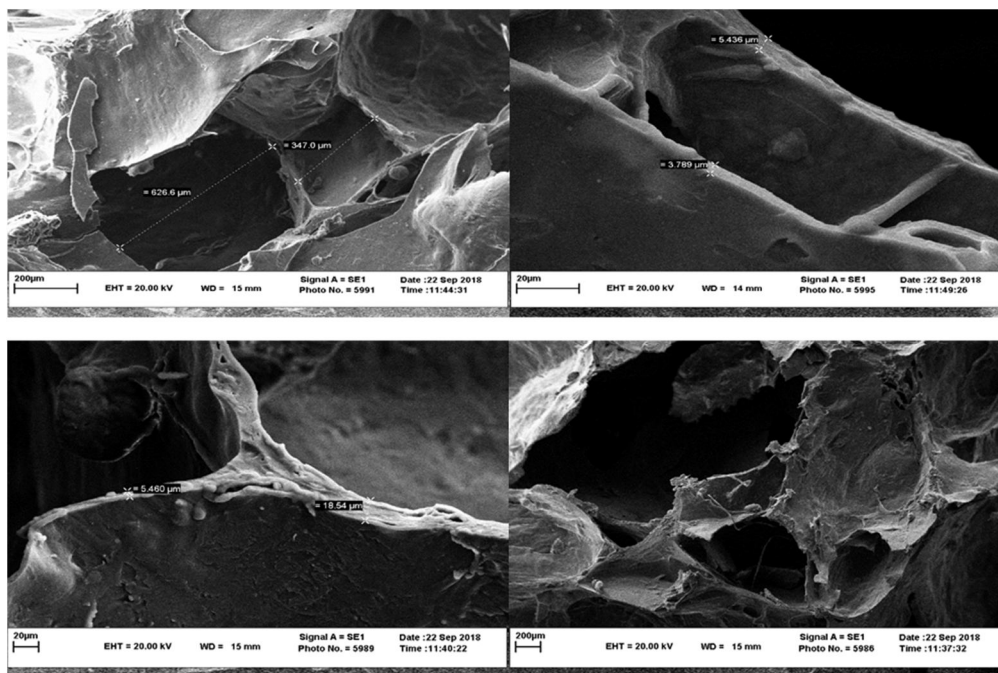
مقادیر بهینه انتخاب شده	شرایط انتخاب نمونه بهینه	متغیرهای مستقل/پاسخ
Optimal values selected	Optimal sample selection conditions	
۱۵۰	در محدوده In the range	سرعت چرخش مارپیچ (rpm) Spiral rotation speed (rpm)
۱۴	در محدوده In the range	پسته (%) pistachios (%)
۱۵	در محدوده In the range	رطوبت (%) feed moisture (%)
۴۲۹/۶۸	بیشترین Maximum	نسبت انبساط (میلی‌متر) Expansion ratio (mm)
۶۹/۲۲	بیشترین Maximum	شاخص L^* Index of L^*
۲/۲	کم‌ترین Minimum	سختی (نیوتن) Hardness (Newton)
۰/۰۵۹	کم‌ترین Minimum	چگالی (گرم بر سانتی متر مکعب) Density (g/cm^3)

تشکیل شده کم‌تر از ۱۷ میکرومتر می‌باشد. همچنین دیواره حباب‌ها صاف بوده که نشان می‌دهد مخلوط

ویژگی‌های ریزساختاری نمونه بهینه: تصویر برداری الکترونی از نمونه بهینه نشان داد که دیواره حباب‌های

گزارش شده است (۲۳). نتایج پژوهش لو و همکاران (۱۹۹۰) در تأثیر افزودن جو و سیوس گندم بر ریز ساختار محصولات اکستروژن شده نشان داد که افزودن این ترکیبات باعث تولید محصولی متراکم با اندازه حفرات کوچکتر می‌شود (۲۸).

شدن مواد اولیه به خوبی انجام شده است. حفره‌های بزرگ و کوچک موجود نشان دهنده پف‌کردگی مناسب می‌باشد. این تصاویر نشان می‌دهد که گویچه‌های چربی با آرد به خوبی مخلوط شده است. در تحقیقات بر روی اسنک حاوی دانه انار، کاهش قابلیت انبساط دیواره حباب‌ها و ایجاد بافت متراکم،



شکل ۸- ویژگی‌های ریزساختاری نمونه اکستروژن شده بهینه

Figure 8. Microstructural features of the optimal extruded sample

تغذیه‌ای بالا در تهیه اسنک استفاده شود. برای داشتن اسنک ذرت و پسته با شرایط و ویژگی‌های مطلوب اعم از سختی و چگالی حداقل، نسبت انبساط و شاخص L^* حداکثر، بهتر است از میزان ۱۴ درصد پسته با ۱۵ درصد رطوبت و اکستروژن با دور ۱۵۰ (دور بر دقیقه) به‌عنوان شرایط بهینه استفاده نمود.

نتیجه گیری

اسنک‌ها یکی از مواد غذایی پرطرفدار در میان اکثر افراد جامعه می‌باشد. در این پژوهش از پسته در تهیه اسنک اکستروژن شده استفاده گردید. بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان عنوان نمود که پسته به‌خوبی می‌تواند به‌عنوان ماده ای دارای ارزش

منابع

1. AL-Saghir, M.G., and Porter, D.M. 2012. Taxonomic revision of the genus Pistacia L. (*Anacardiaceae*). American J. of Plant Sciences, 3: 12-32
2. Altan, A., McCarthy, K.L., and Maskan, M. 2008. Evaluation of snack foods from

- barley-tomato pomace blends by extrusion processing. J. of Food Engineering, 84: 2. 231-242.
3. Anderson, R.A., Conway, H.F., Pfeifer, V.F., and Griffin, E.L.J. 1996. Gelatinization of corn grits dry roll-and

- extrudates-cooking. *Cereal Science Today*, 14. 4e12.
4. Arshad, M.U., Anjum, F.M., and Zahoor, T. 2010. Nutritional assessment of cookies supplemented with defatted wheat germ. *Food Chemistry*, 102: 123-128. (In Persian)
 5. Badrie, N., & Mellowes, W.A. 1991. Effect of extrusion variables on cassava extrudates. *J. of Food Science*, 56: 5. 1334-1337.
 6. Bawa, A.S. and Sishu, J.S. 2003. Snack foods Range on the market, In: Benjamin Caballero, Editor (s) – in - Chief. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. 5322-5332.
 7. Beiraghi-Toosi, Sh., Mohebbi, M. Varidi, M. 2017. Effect of feed composition and process variables on physicochemical properties of solid foams composed of corn starch and sesame seeds by extrusion method. *Iranian J. of Food Science and Technology Research*, 4:5. 865-876
 8. Brennan, M., Narciso, J., Guan, J., Zhang, J., Yuan, L., Serventi, L. and Brennan, C. 2020. Correlations between the phenolic and fibre composition of mushrooms and the glycaemic and textural characteristics of mushroom enriched extruded products. *LWT*. 118
 9. Camire, M.E., & King, C.C. 1991. Protein and fiber supplementation effects on extruded cornmeal snack quality. *J. of Food Science*, 56:3. 760-763.
 10. Carvalho, C.W.P., Ascheri, J.L.R., Ascheri, D.P., and Felberg, I. 2005. High-fiber expanded snacks extruded from soybean hull fine maize grits, 2nd mercosur congress on chemical engineering.
 11. Chanlat, N., Songsermpong, S., Charunuch, C., and Naivikul, O. 2011. Twin-Screw Extrusion of Pre-Germinated. Brown Rice: Physicochemical Properties and Aminobutyric Acid Content (GABA) of Extruded Snacks. *International J. of Food Engineering*. 7: 4.
 12. Charunuch, C., Limsangouan, N., Prasert, W. and Wongkrajang, K.T. 2014. Optimization of extrusion conditions for ready-to-eat breakfast cereal enhanced with defatted rice bran. *International Food Research J.* 21: 2. 713-722.
 13. Dehghan-Shoar Z., Allan, K., Hardacre, Charles, and Brennan, S. 2010. The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene, *Food Chemistry* 123 1117–1122 (In Persian).
 14. 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. *J. of Food Engineering*, 66:3. 283-289
 15. Fiuzi, B., Varidi, M., Milani, A., and Shahidi, F. 2018. Optimization of formulation variables and process conditions for extrusion of bulk snack products containing coriander meal flour. *Research and Innovation in Food Science and Technology*. 7:3. 35-17 (In Persian)
 16. Garcia, J.M. Agar, I.T. and Streif, J. 1992. Fat content and fatty acid composition individual seed of pistachio varieties grown in Turkey. *Garten bauwissenschaft*. 57.130-137
 17. Goga, M., Hansen, C.L. and Hwang, S. 1997. Twin-screw extrusion performance of non-fat dry milk & cream in a corn-flour based system.
 18. Grasso, S. 2020. Extruded snacks from industrial by-products: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 99: 274-294
 19. Guy, R. 2001. *Extrusion cooking technologies and application*. Florida, Wood head Publication. P. 50-100.
 20. Hagenimana, A., Ding, X., and Fang, T. 2006. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *J. of Cereal Science*, 43:1. 38-46.
 21. Hsieh, F., Grenus, K.M., Hu, L. and Huff, E.T. 1993. Twin-screw extrusion of rice flour with salt & sugar. *Cereal Chem*. 70: 5. 493-498.
 22. Hutton, C.W. and Campbell, A.M. 1981. Water and fat absorption In *Protein Functionality in Foods*, 147, Cherry, J.P. (ed.), American Chemical Society, Washington D.C.
 23. Kakaei, K., Noshad, M., Nasehi, B., Hojjati, M., Beiraghi- Toosi, SH. 2018.

- Effect of storage time on physicochemical properties of extruded snacks containing pomegranate powder. (In Persian). *Iranian Food Science and Technology*, 15:1. 211-221
24. Koxsel, H., Ryu, G.H., Ozboy-Ozbas, O., Basman, A., and Ng, P.K.W. 2003. Development of a bulgur-like product using extrusion cooking. *J. of the Science of Food and Agriculture*, 83:7. 630-636.
 25. Lazou, A., Krokida, M., and Tzia, C. 2010. Sensory properties and acceptability of corn and lentil extruded puffs. *J. of sensory studies*. 25:6. 838-860.
 26. Lei, H., Ruan, R., Fulcher, R.G. and Lengerich, B.V.T. 2008. Color development in an extrusion-cooked model system. *Int. J of Agric & Biol Eng.*
 27. Liu, S.L., Lin, X., Shi, D.Y., Cheng, J., Wu, C.Q., and Zhang, Y.D. 2002. Reactive oxygen species stimulated human hepatoma cell proliferation via cross-talk between PI3-K/PKB and JNK signaling pathways. *Arch Biochem Biophys*. Oct; 406:2. 173-82.
 28. Lue, S., Hsieh, F., Peng, I. and Huff, H. 1990. Expansion of corn extrudes containing dietary fiber a microstructure study. *Lebensmitte I- Wissenschaft & Technology*, 23:2. 165-173.
 29. Mardani Toroghi, P., Basiri, A., Milani, E., and Goli Movahed, Q. 2016. The effect of bran content and extrusion process variables on the functional properties of instant wheat flour powder. *New food technologies*. 3:3. 23-13 (In Persian)
 30. Maskan, M. and Karatas, S. 1998. Fatty acid oxidation pistachio nuts stored under various atmospheric conditions and different temperatures. *J. Sci. Food Agri*. 77. 334-340.
 31. Milani, A., Hesarinejad, M., Movahed, Q., Kochaki, A. and Tousi, Sh. 2013. Evaluation of the effect of extrusion process variables on the functional characteristics of bulk snacks based on sprouted khalar flour. 21st National Congress of Food Science and Technology. (In Persian)
 32. Mohammadifard, N., Salehi-Abargouei, A; Salas-Salvadó, J., Guasch-Ferré, M., Humphries, K. and Sarrafzadegan, N. 2015. "The effect of tree nut, peanut, and soy nut consumption on blood pressure: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled clinical trials". *The American Journal of Clinical Nutrition (Systematic Review & Meta-Analysis)*. 101: 5. 966–82 (In Persian)
 33. Moraru, C.I. and Kokini, J.L. 2003. Nucleation & Expansion During Extrusion & Microwave Heating of Cereal Foods. *Comprehensive Reviws In Food SCI. & Food Safety*.
 34. Najafzadeh, M., Bolandi, M., and Milani, A. 2015. The effect of formulation variables and extrusion process conditions on the properties of bulky snacks containing fiber supplement (sesame and wheat bran meal), *J. of Food Science and Technology*, 13: 1.127-137. (In Persian)
 35. Nakhon, P. Jangchud, K., Jangchud, A. Charunuch, C. 2018. Optimization of pumpkin and feed moisture content to produce healthy pumpkin-germinated brown rice extruded snacks. 52: 6. 550-556
 36. Onwulata, C., Smith, P., Konstance, R., and Holsinger, V.H. 2001. Coextrusion of dietary fiber and milk proteins in expanded corn products. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, 34. 424-429
 37. Potter, R., Stojceska, V. and Plunkett, A. 2013. The use of fruit powders in extruded snacks suitable for Children's diets. *Food Science and Technology*. 51: 537-544
 38. Saeleaw, M., Dürschmid, K. and Schleining, G. 2012. The effect of extrusion conditions on mechanical-sound and sensory evaluation of rye expanded snack. *J. of Food Engineering* 110. 532-540.
 39. Sarawong, C., Schoenlechner, R., Sakiguchi, K., Berghofer, E. and Ng, P. 2014. Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. *Food Chemistry*. 143. 33-39.
 40. Silva, E., Ascheri, J., Carvalho, C., Takeiti, C. and Berrios, J. 2014. Physical characteristics of extrudates from corn

- flour and dehulled carioca bean flour blend. LWT - Food Science and Technology, 58: 620-626.
41. Suknark K, Philips RD, Chinnan MS. 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.
42. Yagci, S., & Gogus, F. 2008. Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products. J. of Food Engineering, 86:1. 122-132.

Effect of extrusion and formulation conditions on physicochemical properties of corn and pistachio snack

Nooshin Noorafshan¹, Shahram Beiraghi-Toosi^{2*}, Qulamali Goli-Movahhed²

¹Department of Food Science and Technology, ACECR Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran.

²Food Processing Department, Food Science and Technology Research Institute, ACECR, Mashhad, Iran.

Received: 2020/09/14; Accepted: 2020/11/29

Abstract

Background and objectives: Snacks are referred to food that are eaten between main meals in lower amount than the main meal. In order to increase the nutritional value of this popular snack, additives such as dairy products, meat, fish, vegetables, fruits, legumes, various cereals and snacks such as pistachios, walnuts, almonds and peanuts, etc. can be used. Pistachios are rich in copper, magnesium and a variety of B vitamins, so in order to increase the nutritional value of snacks, pistachios can be used in its preparation.

Materials and methods: In this study, variable ratios of pistachios (7, 14 and 21% in bulk cereal formulations based on corn flour), moisture contents (12, 15 and 18%), and different spiral rotation speed (120, 150 and 180 rpm) were selected for extrusion operation. The constant temperature of extruder was 120°C in the second region and 145 °C in the third region, and the constant feed rate was 40 kg/h. Physical characteristics (mass density, expansion ratio and tissue hardness), functional properties (water absorption index, water solubility index, oil absorption index, peroxide number), colorimetric and sensory analyses were done. Also, the microstructures of the extruded product were examined. The statistical part of the study was conducted using response surface methodology (RSM), Box-Behnken design, and Minitab statistical software version 17.

Results: The most important issue in preparing snacks are its taste and texture. With the increase of pistachios in snack production samples, the amount of tissue hardness increased, while the satisfaction with the taste of snacks increased. In addition, increasing pistachios reduced a* and b*, and the colors tended to be green and yellow. Increasing the humidity increased the expansion ratio, mass density, hardness, and water absorption of the snack. Increasing the rotation speed of the spiral reduced the brightness and water absorption of the snack. Examination of the microstructural properties of the snack performed on the optimal sample showed that the amount of snack puffiness was appropriate and the wall diameter of the bubbles formed was less than 17 micrometers. The walls of the bubbles are almost smooth, which indicates that the pistachios are well mixed with the corn, as well as the good mixing of fat globules with flour.

Conclusion: According to the results, the optimal process conditions including screw speed, pistachio kernel and feed moisture were 150 rpm, 14% and 15%, respectively.

Keywords: Snack, Extrusion, Pistachio, Screw speed

*Corresponding author: toosi@acecr.ac.ir