

مقاله پژوهشی

تأثیر شرایط فرایند و فرمولاسیون بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی مکمل فیبری بافت داده شده (تفاله گوجه‌فرنگی - سبوس برنج)

سارا نیاستی^۱، الناز میلانی^{۲*}، محمدحسین حداد خداپرست^۳ و آرش کوچکی^۲

۱. دانش آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. استادیار، گروه پژوهشی فراوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی

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

(تاریخ دریافت: ۹۷/۹/۵، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۷/۱۰/۱۶، تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۰)

چکیده

صنعت غذا سالانه حجم عظیمی از پسماند را در سرتاسر جهان تولید می‌نماید. این ترکیبات منبع ارزشمندی از پروتئین‌ها، فیبر رژیمی، آنتی‌اکسیدان‌ها و انواع ریز مغذی‌ها می‌باشند. از این رو مدیریت کاربرد مجدد پسماند حاصل از فراوری نهاده‌های کشاورزی با حداکثر راندمان، به‌منظور تولید فرآورده‌هایی با ارزش افزوده و ارزان قیمت، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اخیراً فراوری انواع پسماند توسط تکنولوژی پخت اکستروژن به عنوان فرایندی با کارایی بالا مورد توجه قرار گرفته است. از این رو در پژوهش حاضر، بر پایه طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر اثر متغیرهای فرمولاسیون شامل نسبت مختلف تفاله گوجه‌فرنگی: سبوس برنج ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ %w/w، میزان رطوبت خوراک ۱۸-۱۲٪ و شرایط فرایند اکستروژن شامل سرعت چرخش ماریپیچ ۱۶۰-۱۲۰ rpm بر ویژگی‌های عملکردی و فیزیکوشیمیایی مکمل فیبری اکستروژن شده تفاله گوجه‌فرنگی - سبوس برنج، شامل شاخص جذب روغن، دانسیته توده، مؤلفه‌های رنگی شامل روشنایی، قرمزی و زردی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آبی بررسی گردید. نتایج نشان داد ویژگی‌های فرآورده نهایی متأثر از فرمولاسیون خوراک و شرایط اکستروژن بود، به طوری که افزایش سرعت چرخش ماریپیچ، سبب افزایش شاخص جذب روغن فرآورده گردید. افزایش نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج به‌طور مستقل موجب افزایش مؤلفه‌های رنگی و کاهش میزان روشنایی و دانسیته توده شد. افزایش همزمان دو پارامتر رطوبت و سرعت چرخش ماریپیچ باعث کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گردید و فعالیت آبی نمونه‌ها با افزایش همزمان رطوبت و نسبت مکمل‌های فیبری، افزایش یافت. مطابق نتایج بهینه‌یابی به‌منظور ارائه مکمل فیبری اصلاح شده برای کاربرد در فرآورده‌های غذایی رژیمی دانسیته توده 0.6 gr/cm^3 ، فعالیت آبی ۱۷٪، شاخص جذب روغن $2/60 \text{ g/g}$ ، فعالیت آنتی‌اکسیدانی ۳۵/۱۴٪ و میزان روشنایی ۵۷/۱۸، با اعمال شرایط فرایند شامل میزان رطوبت خوراک ۱۳/۲۶٪، نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج ۲۵:۷۵٪ و سرعت چرخش ماریپیچ $137/63 \text{ rpm}$ ، تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: اکستروژن، مکمل فیبری، تفاله گوجه‌فرنگی، سبوس برنج

۱. مقدمه

دفع نهاده‌های کشاورزی و پسماندهای کارخانه‌های مواد غذایی از چالش‌های عمده تولیدکنندگان می‌باشد، زیرا منجر به افزایش هزینه‌ها، آلودگی فضای کارخانه و محیط‌زیست می‌شود. این در حالی است که اکثر پسماندها غنی از فیبرهای غذایی، آنتی‌اکسیدان-ها، اسیدهای چرب ضروری، ترکیبات ضد میکروبی، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی هستند که به دلیل خواص تغذیه‌ای و تکنولوژیکی مناسب می‌توانند در فرمولاسیون فرآورده‌های غذایی مورد استفاده قرار بگیرند.

تفاله گوجه‌فرنگی منبعی غنی از فیبر رژیمی است که پس از فراوری گوجه‌فرنگی تولید شده و شامل پوست، دانه گوجه‌فرنگی و مقداری پالپ است که حدود ۳٪ گوجه‌فرنگی اولیه می‌باشد، آنالیز شیمیایی تفاله نشان می‌دهد که دانه گوجه‌فرنگی حاوی پروتئین، چربی، خاکستر و ۵۳٪ فیبر رژیمی می‌باشد. پوست گوجه‌فرنگی نیز حاوی مقادیر مناسب پروتئین، خاکستر، ۳۰٪ فیبر رژیمی و ویتامین C می‌باشد [۱]. تفاله گوجه‌فرنگی ضمن دارا بودن ارزش غذایی و پتانسیل ایجاد ارزش افزوده به علت عدم دسترسی به فرایند مناسب به صورت فرآورده جنبی دفع می‌شود و تاکنون استفاده از آن در فرمولاسیون فرآورده‌های غذایی کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است.

سبوس برنج نیز یکی از فرآورده‌های جانبی حاصل از عملیات تبدیل شلتوک به برنج سفید است. سبوس برنج شامل پروتئین، چربی، فیبر رژیمی، کربوهیدرات و منبع سرشاری از ویتامین‌های گروه B و توکوفرول، اسیدهای چرب ضروری و هم‌چنین مواد معدنی مانند فسفر، پتاسیم، آهن، کبالت و روی می‌باشد [۲]. علی‌رغم تمام خواص سبوس برنج، غنی بودن سبوس برنج از نظر اسیدهای چرب آزاد باعث بروز مشکلاتی در مدت انبارمانی مفید آن می‌گردد. مطالعات گذشته نشان داده‌اند که می‌توان با فرایندهای حرارتی ترکیبات ضد تغذیه‌ای سبوس برنج را از بین برد [۳]. در سال‌های اخیر، فناوری اکستروژن به دلیل اعمال همزمان فشار و حرارت بالا در زمان کوتاه به روش منحصر به فردی در فراوری و استریل نمودن انواع سبوس در مقیاس صنعتی تبدیل شده است.

طی فرایند اکستروژن، اجزای فرمولاسیون یک ماده غذایی تحت فشار قرار می‌گیرد و به صورت یک سیال تحت عملیاتی نظیر مخلوط کردن، حرارت دادن و اعمال نیروی برشی به جریان درآمده و با عبور از یک قالب به صورت توده شکل داده شده یا حجیم خارج می‌شوند. ویژگی‌های فرآورده نهایی توسط عواملی نظیر دمای

قالب، سرعت پیچش، پیکربندی پیچ، شکل و هم‌چنین ترکیبات مواد اولیه نظیر رطوبت، پروتئین، نشاسته، و میزان چربی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. طی فرایند اکستروژن قابلیت هضم فرآورده در اثر ژلاتینه شدن نشاسته، دناتوره شدن پروتئین و غیرفعال شدن ترکیبات نامطلوب نظیر آنزیم‌ها، میکروارگانیزم‌های مولد فساد و عوامل غیرمغذی افزایش می‌یابد [۴]. در همین راستا، رشد و همکاران، به بررسی تأثیر شرایط اکستروژن بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی سبوس گندم پرداختند نتایج آن‌ها نشان داد که در فرایند پخت اکستروژن میزان فیبر رژیمی کل و فیبر محلول افزایش و فیبر نامحلول کاهش می‌یابد [۵]. هانگ و ما، در پژوهشی تفاله پرتقال را در یک اکسترودر تک مارپیچی فرایند کرده و ویژگی‌های حلالیت در آب، جذب آب، جذب روغن، تورم و دانسیته توده فرآورده نهایی را ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد اکسترودر تفاله پرتقال موجب بهبود تمامی ویژگی‌های عملکردی نظیر حلالیت در آب، جذب آب، تورم و دانسیته توده به استثنای جذب روغن در مقایسه با نمونه خام گردید [۶]. داست و همکاران، تأثیر شرایط اکستروژن را بر ویژگی‌های شیمیایی و قابلیت هضم سبوس گندم، سبوس جو، آرد سویا و فیبر موجود در آن‌ها بررسی نمودند نتایج نشان داد که فرایند پخت اکستروژن باعث تغییر در میزان پروتئین خام، فیبر و نشاسته مواد اولیه و بهبود ویژگی‌های ظاهری و افزایش فیبر رژیمی محلول در سبوس گندم و سبوس جو گردید؛ اما این شرایط برای تمام فرآورده‌ها یکسان نبوده و با توجه به نوع مواد اولیه اختلاف نشان می‌دهد [۷].

چارنوچ و همکاران، تأثیر افزودن سطوح مختلف سبوس برنج، دمای پخت اکسترودر و میزان رطوبت خوراک اولیه بر دانسیته توده، سختی، انبساط‌شوندگی، جذب آب و میزان فیبر رژیمی فرآورده غله‌ای را بررسی نمودند. مطابق نتایج آن‌ها سختی، فیبر رژیمی نامحلول و دانسیته توده با افزایش سطوح افزودن سبوس برنج، افزایش یافت. افزایش رطوبت نیز باعث کاهش جذب آب و میزان انبساط‌شوندگی گردید [۸].

هدف از انجام این پژوهش تولید مکمل فیبری اصلاح شده از فرآورده‌های جنبی کشاورزی و صنایع غذایی (سبوس برنج و تفاله گوجه‌فرنگی) دارای ویژگی‌های مطلوب تغذیه‌ای و ویژگی‌های بهبود یافته تکنولوژیکی نیز بوده که می‌تواند جایگزین مناسب انواع مکمل‌های فیبری وارداتی در صنعت غذا گردد.

۴.۲. شرایط فرایند اکستروژن

به منظور فرمولاسیون و تهیه مکمل فیبری اکستروژن شده از دستگاه اکستروژن دو مارپیچی مدل DS56 شرکت Jinan Saxin، ساخت چین با چرخش هم‌جهت و نسبت طول به قطر L/D: ۱:۱۵ میلی‌متر و قطر روزنه خروجی، ۴ mm استفاده گردید. دامنه سرعت چرخش مارپیچ ۱۶۰-۱۲۰ rpm، سرعت ورود خوراک و دمای فرایند ثابت و به ترتیب برابر ۴۰ kg/h و ۱۲۰ °C تعیین گردید. نمونه‌های اکستروژن شده تولیدی پس از جمع‌آوری، در آون هوای داغ (مدل Stal-Astra، ساخت آمریکا) به مدت ۲ h در ۴۰ °C تا رسیدن به تعادل رطوبتی ۳-۲٪، خشک و توسط آسیاب برقی مدل A11، ساخت آلمان، خرد شده و با عبور از الک با مش ۴۰ معادل ۴۲۰ μm، دانه‌بندی گردیدند و در کیسه‌های پلی اتیلنی بسته‌بندی و تا انجام آزمایش‌ها در یخچال نگهداری شدند [۱۵، ۱۶].

۵.۲. آزمایش‌های عملکردی و فیزیکوشیمیایی فرآورده نهایی

۱.۵.۲. اندازه‌گیری شاخص جذب روغن

جهت اندازه‌گیری جذب روغن ابتدا ۱ g نمونه با ۱۰ ml روغن ذرت تصفیه شده با دانسیته ۰/۹۲ در دمای ۲۵ °C در یک لوله سانتریفیوژ از قبل توزین شده به مدت ۱۰ min مخلوط گردید. سپس سوسپانسیون حاصله با دور ۳۰۰۰ g در دمای ۲۵ °C به مدت ۲۰ min سانتریفیوژ گردید، پس از سانتریفیوژ کردن، بخش فوقانی دور ریخته شده، سپس لوله‌ها دوباره توزین شدند و شاخص جذب روغن با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد. مقدار روغن جذب شده در رابطه زیر، از تفاضل وزن لوله و نمونه پس از سانتریفیوژ و لوله خالی به دست آمد [۱۷]:

$$(1) \quad \text{مقدار گرم روغن جذب شده} = \frac{\text{مقدار گرم روغن جذب شده}}{\text{مقدار گرم نمونه}} \times \text{شاخص جذب روغن}$$

۲.۵.۲. اندازه‌گیری دانسیته توده

برای اندازه‌گیری دانسیته توده، ۵۰ g از نمونه در استوانه مدرج ۱۰۰ ml ریخته شد و حجم اشغال شده توسط نمونه ثبت گردید. دانسیته توده بر حسب gr/cm^3 طبق رابطه (۲) به دست آمد [۱۸]:

$$(2) \quad d = \frac{m}{V}$$

d: دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب) m: جرم نمونه بر حسب گرم V: حجم اشغال شده توسط نمونه

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. مواد اولیه

سبوس برنج واریته هاشمی، از یکی از کارخانه‌های شالیکوبی شهر ستان رام سر (مازندران، ایران) خریداری شد. به منظور حذف اثرات احتمالی ناشی از انبارداری بر ویژگی‌های سبوس، از محصول تازه برداشت شده استفاده گردید. تفاله گوجه‌فرنگی از کارخانه رب گوجه‌فرنگی چین چین در مشهد تهیه گردید. هیدروکسید، اسید بوریک و اسید سولفوریک از شرکت مرک آلمان خریداری شدند.

۱.۱.۲. آماده‌سازی تفاله گوجه‌فرنگی و سبوس برنج

تفاله‌ها با ضخامت (۱cm) در آون (مدل Stal-Astra، ساخت آمریکا) با دمای 50 ± 5 درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ h با جریان هوای ۳ m/s تا رسیدن به رطوبت $5 \pm 3/5$ بر حسب درصد وزن مرطوب خشک شده سپس آسیاب مدل A11، ساخت آلمان و برای یکنواختی ابعاد از الک با مش ۲۰ معادل ۸۴۰ میکرون، عبور داده شدند و در کیسه‌های پلی اتیلنی مقاوم به نفوذ رطوبت، بسته‌بندی و تا انجام آزمایش‌ها در یخچال با دمای ۴ °C نگهداری شدند [۹]. باقی‌مانده دانه‌های برنج با استفاده از الک شماره ۲۰ از سبوس برنج جدا و سبوس حاصل در کیسه‌های پلاستیکی مقاوم به نفوذ رطوبت بسته‌بندی گردید و تا انجام آزمایش‌ها در دمای ۲۰ °C نگهداری شد [۱۰].

۲.۲. آنالیز ترکیبات شیمیایی

ویژگی‌های تفاله گوجه‌فرنگی و سبوس برنج شامل میزان چربی به روش سوکسله [۱۱]، پروتئین به روش کج‌لدال، خاکستر [۱۲]، رطوبت [۱۳] و فیبر رژیمی محلول، نامحلول و کل با روش پروسکی و همکاران و توسط کیت آنزیمی مگازایم Megazyme, Bray, Ireland اندازه‌گیری شد [۱۴].

۳.۲. تهیه فرمولاسیون مخلوط پایه برای اکستروژن

برای تهیه مخلوط پایه اکستروژن، تفاله گوجه‌فرنگی به نسبت‌های مشخص با سبوس برنج ۵۰:۵۰:۷۵ و ۲۵:۷۵:۷۵ w/w٪ مخلوط گردید. برای تنظیم رطوبت نمونه نهایی از فرمول مربع پیرسون استفاده شد. نمونه‌ها پس از مخلوط کردن، در کیسه‌های پلی اتیلنی بسته‌بندی و برای به تعادل رسیدن رطوبت، به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شدند [۱۵].

۳.۵.۲. آزمون رنگ‌سنجی

توسط دستگاه رنگ‌سنج هانت‌رلب مدل D25/DP9000، ساخت آمریکا، آنالیز رنگ نمونه‌های تولیدی از طریق تعیین سه شاخص L^* ، a^* ، b^* صورت پذیرفت. برای این منظور ابتدا نمونه‌های پودری در کاپ مخصوص دستگاه ریخته شد تا سطح آن کاملاً پوشانده شود. این آزمون برای هر نمونه در ۳ تکرار انجام و میانگین تکرارها، مبنای محاسبات قرار گرفت [۱۹].

۵.۵.۲. اندازه‌گیری فعالیت آبی (a_w)

برای تعیین میزان فعالیت آبی فراورده، حدود ۳ g از نمونه پودری درون سل دستگاه سنجش فعالیت آبی مدل msl Set a_w شرکت Novasina، سوئیس قرار گرفت و فعالیت آبی پس از کالیبراسیون دستگاه در دمای ۲۵ °C گزارش گردید [۲۱].

۶.۲. طرح آماری

در این پژوهش طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر با ۳ متغیر مستقل و شش تکرار در نقطه مرکزی، جهت یافتن اثر متغیرهای مستقل شامل سرعت چرخش مارپیچ، میزان رطوبت و سطوح افزودن تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج، بر ویژگی‌های عملکردی و فیزیکی شیمیایی فراورده اکستروژنشده مورد استفاده قرار گرفت. سطوح متغیرهای مستقل به صورت حقیقی و کدشده در جدول (۱)، ارائه شده است. مدل‌های مختلفی بر داده‌های حاصل از آزمایش‌ها برازش داده شد و بهترین مدل با توجه به نتایج آنالیز واریانس انتخاب گردید. از نرم افزار Design Expert 7.1.6 جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات و رسم نمودارهای مربوط به روش سطح پاسخ استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. آنالیز ترکیبات شیمیایی

آنالیز ترکیب شیمیایی تفاله گوجه‌فرنگی و سبوس برنج، در جدول (۲) قابل مشاهده است.

مطابق با جدول (۲)، فیبر رژیمی در دو نمونه سبوس برنج و تفاله گوجه‌فرنگی دارای بالاترین مقدار بود. با این حال تفاله گوجه‌فرنگی علاوه بر فیبر رژیمی (۰.۵۹/۰۳٪) دارای مقادیر بیش‌تری از پروتئین (۰.۱۳/۰۵٪) و چربی (۰.۱۱/۱۴٪) در مقایسه با سبوس برنج بود.

۴.۵.۲. اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی

به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی فراورده، ابتدا عصاره-گیری انجام شد. به این ترتیب که ۱۰۰ mg از فراورده پودری با ۲/۵ ml محلول استون:آب به نسبت ۸۰:۲۰ مخلوط شده به مدت ۲ h در مخلوط‌کن چرخشی قرار داده شد. بعد از طی این زمان نمونه‌ها به مدت ۱۰ min با سانتریفیوژ سرعت ۳۰۰۰g گردید. مایع رویی جدا گردید و به وسیله فیلتر سر سرنگی ۰/۴۵ μm صاف شد، سپس ۲۰۰ μl از محلول عصاره استخراجی با ۳/۸ ml از محلول متانولی ۲و۲- دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل mmol مخلوط شد و به مدت ۳۰ min در درجه حرارت اتاق و در محیط تاریک قرار داده شد. پس از این مدت، میزان جذب نوری نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر JENWAY، انگلیس، در طول موج ۵۱۷ nm بر خلاف بلانک قرائت شد. محلول بلانک متانول و محلول شاهد حاوی ۲۰۰ ml استون و آب در ۳/۸ ml DPPH بود. نتایج بر اساس درصد رنگ‌بری ۲و۲- دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل طبق رابطه (۳) محاسبه گردید [۲۰]:

$$\% \text{ رنگ‌بری} = \left[1 - \left(\frac{\text{جذب نمونه}}{\text{جذب شاهد}} \right) \right] \times 100 \quad (3)$$

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

Table 1 displaying independent process variables and their values.

کد و سطح مربوطه			نماد ریاضی Math symbol	متغیرهای مستقل Independent variable
+1	0	-1		
160	140	120	$X_{1(B)}$	سرعت چرخش مارپیچ (دور بر دقیقه) Screw Speed
18	15	12	$X_{2(A)}$	رطوبت (%) Humidity
75	50	25	$X_{3(C)}$	نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج (%) Ratio

جدول ۲ آنالیز ترکیب شیمیایی تفاله گوجه‌فرنگی و سبوس برن (g/100g).

Table 2 Chemical composition of raw materials (germinated flour and corn grits) (g / 100g).

مواد اولیه Food composition	رطوبت (%) Humidity	چربی (%) Fat	پروتئین (%) Protein	خاکستر (%) Ash	فیبر رژیمی محلول % Soluble Fiber	فیبر رژیمی نامحلول % Unsoluble Fiber	فیبر رژیمی کل % Total Fiber
سبوس برنج Rice bran	6.04	10.99	8.45	11.87	1.2	47.8	49
تفاله گوجه‌فرنگی Tomato paste	5.77	11.14	13.05	3.44	2.73	56.3	59.03

* ترکیب شیمیایی مواد اولیه براساس وزن مرطوب (%) گزارش شده است.

از ماهیت آب‌گریزی فراورده اکستروژن می‌باشد و بیان‌کننده توانایی یک ترکیب در به دام انداختن روغن است [۱۷]. شاخص جذب روغن، به ویژگی‌های سطحی، چگالی کل بار و ماهیت آبدوست اجزای سازنده بستگی دارد [۳۱، ۳۲]. این ویژگی از یک سو موجب بهبود طعم و افزایش احساس دهانی ماده غذایی می‌گردد و از سوی دیگر فاکتور مهمی جهت تولید فراورده‌های پودری مانند سس، سوپ و پودر نوشیدنی است [۳۳]. این شاخص اطلاعات مفیدی در زمینه مدت ماندگاری و فسادهای اکسیداتیو در اختیار تولیدکننده قرار می‌دهد [۳۴]. استفاده از فیبرهایی با ظرفیت نگهداری روغن مناسب در فراورده‌های گوشتی پرچرب، از افت کیفیت فراورده طی سرخ کردن جلوگیری می‌کند. هم‌چنین فیبرهایی که ظرفیت جذب روغن بالایی دارند در پایدار کردن فراورده‌های پرچرب و امولسیون‌ها به کار می‌روند [۳۵]. فرضیه‌ای در زمینه ارتباط بین بالابودن این اندیس و بهبود ویژگی‌های امولسیفایری مطرح شده است؛ اما مقایسه این اندیس با اندیس جذب آب نشان‌دهنده نسبت ترکیبات لیپوفیل به هیدروفیل می‌باشد [۳۶]. از نظر آماری مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم افزار برای شاخص جذب روغن، مدل چندجمله‌ای درجه دوم بود ($p < 0.05$) و آزمون ضعف برازش معنی‌دار نبود که نشان‌دهنده برازش خوب داده‌ها با مدل بود. عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل اثر خطی نسبت تفاله-گوجه‌فرنگی به سبوس برنج، اثر درجه دوم نسبت تفاله-گوجه‌فرنگی به سبوس برنج و اثر متقابل رطوبت-سرعت چرخش ماریچ بودند ($p < 0.05$) (جدول ۳). میزان شاخص جذب روغن فراورده اکستروژن شده در این پژوهش، بین ۲/۸۲ - ۲/۴۱ g/g تعیین شد. در شکل ۱، اثر همزمان رطوبت و سرعت چرخش ماریچ در نسبت ثابت ۵۰ به ۵۰ تفاله-گوجه‌فرنگی به سبوس برنج بر شاخص جذب روغن نشان داده شده است. مطابق شکل، در پایین‌ترین میزان سرعت چرخش ماریچ ۱۲۰ rpm افزایش رطوبت به‌طور صعودی جذب روغن

نتایج به‌دست آمده برای میزان فیبر رژیمی سبوس برنج وارسته هاشمی (۴۹٪) در این پژوهش، کم‌تر از مقادیر گزارش شده توسط صالحی‌فر و همکاران برای سبوس برنج وارسته کاظمی (۶۷/۵۳-۳۳/۹۷) [۲۲] و در دامنه مقادیر اندازه‌گیری شده توسط ساندرز برای سبوس برنج وارسته باسماتی (۵۱-۲۰٪) بود [۲۳].

طبق تحقیقات، ترکیب شیمیایی و کیفیت غذایی دانه برنج به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر فاکتورهای ژنتیکی، اثرات محیطی، طبیعت خاک، نوع کود و شرایط انبارداری قرار می‌گیرد [۲۴]. این فاکتورها می‌توانند بر کیفیت سبوس برنج، تأثیرگذار باشند. هم‌چنین ماهیت و ترکیبات شیمیایی سبوس برنج به نوع سیستم آسیاب، درجه آسیاب کردن و اختلاط با پوسته نیز بستگی دارد [۲۵]. باتاچاریا مقدار چربی سبوس برنج چربی‌گیری نشده وارسته رکسما-نت را ۱۳-۲۳٪، پروتئین ۱۴-۱۷٪، خاکستر ۱۱/۵۵-۶/۶۸٪ و فیبر رژیمی را در محدوده ۱۴-۶٪ گزارش نمود [۲۶]. در حالی که کاهلون و همکاران میزان خاکستر، چربی، پروتئین و فیبر رژیمی سبوس برنج چربی‌گیری نشده وارسته جاسمین را به‌ترتیب از ۱۷/۷-۸، ۲۹/۶-۲۸/۱۲، ۱۷/۱۵-۱۱/۵ و ۳۱/۵-۲/۶٪ گزارش کردند [۲۷].

مقدار فیبر رژیمی تفاله گوجه‌فرنگی (۵۹/۰۳٪) در این پژوهش با مقدار اندازه‌گیری شده توسط دل‌واله و همکاران، ایزیک و توکایا و سیلوا و همکاران، که میزان فیبر رژیمی تفاله گوجه‌فرنگی را بالای ۵۰٪ (بر مبنای وزن خشک) گزارش نمودند مطابقت داشت. این محققان هم‌چنین زیاد بودن فیبر رژیمی محلول در تفاله گوجه-فرنگی را به‌واسطه حضور پکتین دانستند [۲۸-۳۰].

۲.۳. تأثیر متغیرهای شرایط فرایند و فرمولاسیون بر میزان شاخص جذب روغن فراورده نهایی

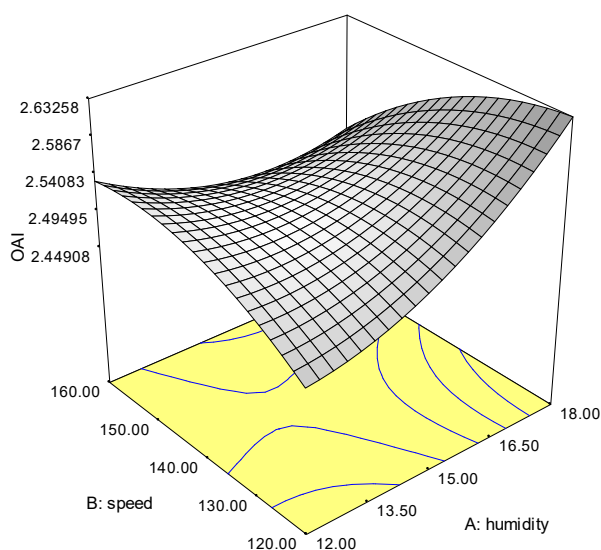
به‌طور کلی، شاخص جذب روغن، نشان‌دهنده میزان چربی جذب شده به‌وسیله ماتریکس ماده غذایی است و در واقع شاخصی

جدول (۳) نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ چندجمله‌ای درجه دوم برای شاخص جذب روغن (OAI).

Table 3 the results for analysis of variance of oil absorption index (OAI).

احتمال Probability	اندیس F value	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی Degree of freedom	مجموع مربعات Sum of square	منبع Source
0.005	5.83	0.023	9	0.21	مدل Model
0.0353	5.92	0.023	1	0.023	C
0.0022	16.57	0.066	1	0.066	C ²
0.0257	6.86	0.027	1	0.027	A×B
0.432	1.17	2	5	0.021	ضعف برازش Lack of feat
-	-	E4.264-0.001	5	0.018	خطا Error

**معنی دار در سطح ۰.۰۱٪، *معنی دار در سطح ۰.۰۵٪ و ^{ns} عدم معنی داری.



شکل (۱) نمایش سه بعدی اثر رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ در نسبت ثابت (۵۰:۵۰٪) تفاله گوجه‌فرنگی: سیوس برنج بر میزان شاخص جذب روغن فراورده اکستروژده

Fig.1. a three-dimensional effect of screw speed and humidity on absorption index of extrudates

(شکل ۲). یاقسی و گوگوس در پژوهشی که بر روی نمونه‌های تهیه شده از آرد فندق چربی‌گیری شده و تفاله میوه (پوست پرتقال، تفاله گوجه‌فرنگی و دانه انگور) انجام دادند نشان دادند حضور پکتین در پسماند میوه‌ها شکستگی دیواره‌های سلولی را کاهش می‌دهد و بنابراین با افزایش تفاله میوه و در نتیجه میزان پکتین، تخلخل افزایش و دانسیته کاهش می‌یابد [۴۱]. بدین ترتیب حضور پکتین در تفاله گوجه‌فرنگی سبب افزایش تخلخل و در نهایت کاهش دانسیته توده مکمل‌فیبری فرایند شده گردید.

فراورده بافت داده شده را افزایش داد با این حال با افزایش همزمان دو متغیر رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ به دلیل تأثیر بیش‌تر سرعت چرخش در کاهش جذب روغن، شاخص جذب روغن فراورده نهایی کاهش یافت. افزایش همزمان مقادیر رطوبت و سرعت چرخش به دلیل تأثیر بر میزان فیبر رژیمی محلول و ایجاد ساختار متخلخل در فیبر و به‌طور همزمان، جایگزینی میزان بیش‌تری از آب در خلل و فرج‌های ایجاد شده، سبب کاهش میزان جذب روغن فراورده بافت داده شده گردید [۳۷]. رالت و همکاران بیان کردند کاهش جذب روغن در شرایط زمان اقامت طولانی (سرعت چرخش مارپیچ پایین) و میزان رطوبت پایین به علت کاهش اندازه ذرات، ممکن است موجب تخریب گروه‌های آب‌گریز گردد [۳۸]. سسپدز و همکاران، نیز کاهش شاخص جذب روغن پالپ پرتقال اکستروژده را نسبت به نمونه خام گزارش دادند [۳۹].

۳.۳. تأثیر متغیرهای شرایط فرایند و فرمولاسیون بر دانسیته توده فراورده نهایی

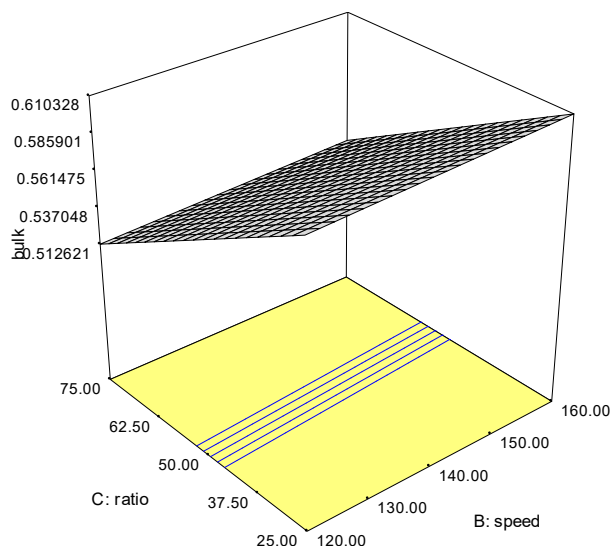
دانسیته توده فاکتوری مهم در بسته‌بندی فراورده‌های غذایی می‌باشد و به اندازه ذره و توزیع اندازه ذرات، شکل ذرات و ترکیب شیمیایی بستگی دارد. از این پارامتر در ذخیره‌سازی، انتقال و کنترل کیفیت مواد غذایی نیز استفاده می‌شود [۴۰]. دانسیته توده فراورده اکستروژده در این پژوهش بین $0.51-0.65 \text{ gr/cm}^3$ متغیر بود. نتایج آنالیزهای آماری نشان داد تنها عامل تأثیرگذار بر دانسیته توده فراورده، سطوح افزودن تفاله گوجه‌فرنگی به سیوس برنج بود ($p < 0.01$) (جدول ۴)، به‌طوری که با افزایش سطوح افزودن تفاله گوجه‌فرنگی، دانسیته توده به‌شدت کاهش یافت

جدول (۴) نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ خطی برای دانسیته توده.

Table 4 the results for analysis of variance of bulk density.

احتمال F Probability	اندیس F F value	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی Degree of freedom	مجموع مربعات Sum of square	منبع Source
<0.001**	18.84	0.01	3	0.021	مدل Model
<0.0001**	55.20	0.02	1	0.020	C
0.2105 ^{ns}	2.12	0.438	11	E4.881-0.03	ضعف برازش Lack of feat
-	-	0.0297	5	E1.048-0.03	خطا Error

** معنی دار در سطح ۰.۰۱٪، * معنی دار در سطح ۰.۰۵٪ و ^{ns} عدم معنی داری.



(شکل ۲) نمایش سه بعدی اثر سرعت چرخش مارپیچ و نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج در رطوبت ثابت ۱۵٪ بر دانسیته توده فراورده اکستروژده

Fig.2- a three-dimensional effect of screw speed and tomato paste-rice bran ratio on bulk density of extrudates

نشان دهنده تناسب بین مدل انتخاب شده و داده‌های مورد بررسی بوده است. آزمون ضعف برازش مربوط به مدل برازش یافته بر پاسخ معنی دار نبوده که نشان از برازش خوب داده‌های مورد بررسی بود. عبارت‌های معنی دار برای میزان روشنایی یا شاخص L^* مکمل فیبری اکستروژده شامل اثرات خطی نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج، سرعت چرخش مارپیچ، اثر درجه دوم سرعت چرخش مارپیچ و اثرات متقابل رطوبت- سرعت چرخش مارپیچ ($p < 0.05$) و رطوبت- نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج بود. برای میزان قرمزی فراورده یا شاخص a^* شامل اثرات خطی متغیرهای نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج، سرعت چرخش مارپیچ، اثر درجه دوم رطوبت، اثر درجه دوم سرعت چرخش مارپیچ و اثرات متقابل رطوبت- نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج، رطوبت- سرعت چرخش مارپیچ و برای میزان زردی (شاخص b^*) شامل اثر مستقل نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج و اثر درجه دوم نسبت بود

۴.۳. تأثیر متغیرهای شرایط فرایند و فرمولاسیون بر مؤلفه‌های رنگی فراورده نهایی

رنگ یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفی فراورده اکستروژده می‌باشد و می‌تواند اطلاعات مهمی درباره شدت تأثیر فرایند اکستروژن بر تغییرات شیمیایی یا ترکیبات مغذی مواد غذایی ارائه نماید [۴۲]. به‌طور کلی، تغییرات رنگ در فراورده‌های اکستروژده می‌تواند در نتیجه فعل و انفعالات شیمیایی نظیر واکنش میلارد، خروج آب، خشک شدن بافت و نیز تشکیل و رشد حباب‌های هوا در ساختار آن‌ها باشد [۴۳]. محدوده روشنایی شاخص L^* فراورده اکستروژده تولیدی در این پژوهش بین ۴۸/۵۴ تا ۵۹/۵۵، میزان قرمزی شاخص a^* از ۷/۱۴ تا ۱۳/۵۱ و میزان زردی (شاخص b^*) آن بین ۳۵/۸۳ تا ۴۳/۸۵ به‌دست آمد.

بر اساس جدول آنالیز واریانس مدل چند جمله‌ای درجه دوم با $p < 0.01$ برای برازش مؤلفه‌های رنگ L^* ، a^* و b^* انتخاب شد که

سبوس برنج، میزان شاخص L^* فرآورده اکستروژده را کاهش داد؛ افزایش نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج سبب کاهش شاخص L^* گردید. کوآر و همکاران طی اکستروژن سبوس برنج مشاهده نمودند با افزایش رطوبت و دما، شاخص L^* و b^* نمونه‌ها کاهش و میزان شاخص a^* افزایش یافت [۴۹].

در شکل ۴-a، اثر همزمان رطوبت- سرعت چرخش ماریچ در نسبت ثابت ۵۰٪ تفاله‌گوجه‌فرنگی به سبوس برنج بر میزان شاخص a^* فرآورده مشاهده می‌شود. بر این اساس، در پایین‌ترین سرعت چرخش ماریچ ۱۲۰ rpm، با افزایش رطوبت میزان قرمزی فرآورده اکستروژده افزایش یافت. در بالاترین سرعت چرخش ماریچ ۱۶۰ rpm، افزایش رطوبت، میزان قرمزی را کاهش داد. افزایش سرعت چرخش ماریچ باعث افزایش نیروی برشی شده و زمان ماند فرآورده در محفظه اکستروژر را کاهش می‌دهد. نیروی برشی بالاتر دمای فرآورده را افزایش داده که منجر به تشدید واکنش‌های قهوه‌ای شدن میلارد می‌شود. اما با کاهش زمان اقامت فرآورده در اکستروژر، زمانی که خمیر در معرض حرارت قرار می‌گیرد کاهش می‌یابد و در نتیجه فرآورده روشن‌تری تولید می‌شود [۵۰].

اثر همزمان رطوبت- نسبت تفاله‌گوجه‌فرنگی به سبوس برنج در سرعت چرخش ماریچ ثابت ۱۴۰ RPM بر میزان شاخص a^* فرآورده اکستروژده در شکل ۴-b نشان داده شده است. بر این اساس، با افزایش میزان رطوبت میزان قرمزی کاهش یافت که به علت کاهش دمای خمیر مذاب، محافظت بیش‌تر پیگمان‌ها در مقابل

(جدول ۵). در شکل ۳-a اثر متقابل رطوبت- سرعت چرخش ماریچ در نسبت ثابت ۵۰ به ۵۰ تفاله‌گوجه‌فرنگی به سبوس برنج بر میزان روشنایی فرآورده نشان داده شده است. بر این اساس، در پایین‌ترین سطح رطوبت ۱۲٪، افزایش سرعت چرخش ماریچ به صورت نمایی میزان روشنایی شاخص L^* فرآورده را کاهش داد. کاهش میزان روشنایی L^* به واسطه تنش برشی ناشی از افزایش سرعت چرخش ماریچ، واکنش‌های قهوه‌ای شدن میلارد و تخریب رنگدانه‌های کارتنوئید قابل توجه است [۴۶-۴۴]. در این مورد نتایج مشابهی توسط رویلی و همکاران برای فرآورده اکستروژده از پالپ چغندر قند و نیکرام و همکاران برای فرآورده اکستروژده (ذرت ودانه کنجد) گزارش شد [۴۸-۴۷]. افزایش رطوبت در بالاترین سطح سرعت چرخش ماریچ ۱۶۰ rpm سبب افزایش شاخص L^* فرآورده اکستروژده گردید. کیم و همکاران دلیل افزایش میزان شاخص L^* با افزایش میزان رطوبت را، به واسطه کاهش دمای خمیر مذاب داخل ماریچ، کاهش ویسکوزیته، افزایش سرعت انتقال مواد مذاب از داخل ماریچ و در نتیجه کاهش مقدار گرمای تولیدی ناشی از شدت اصطکاک توجه نمودند که سبب کاهش واکنش میلارد به عنوان عامل اصلی تیره شدن رنگ، می‌گردد [۴۴].

اثر متقابل رطوبت- نسبت تفاله‌گوجه‌فرنگی به سبوس برنج در سرعت چرخش ماریچ ثابت ۱۴۰ دور بر دقیقه بر میزان شاخص L^* فرآورده اکستروژده در شکل ۳-b نشان داده شده است. بر این اساس، افزایش رطوبت در نسبت بالای پودر تفاله گوجه‌فرنگی به

جدول (۵) نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ چندجمله‌ای درجه دوم برای شاخص‌های (L^*, a^*, b^*) .

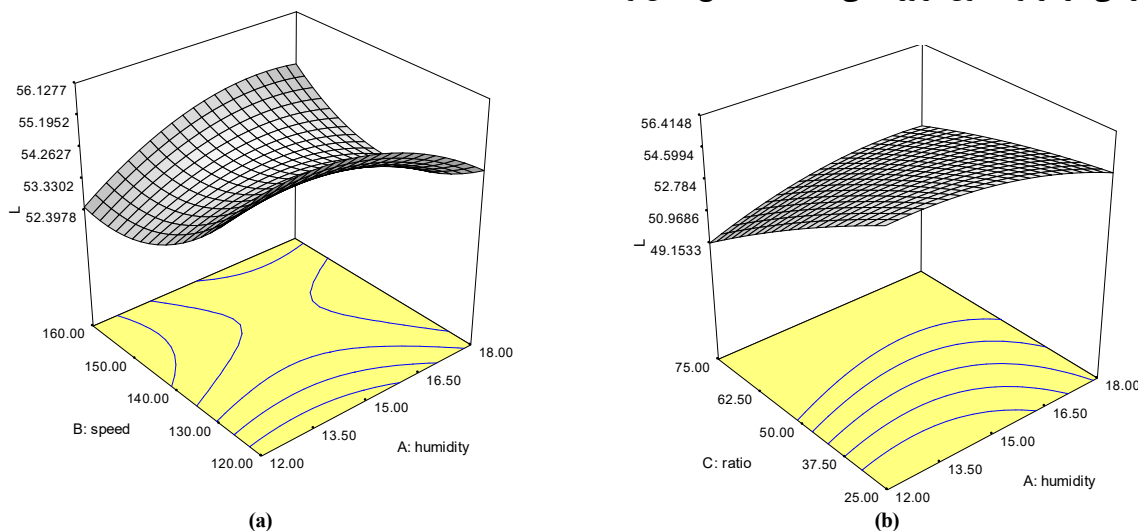
Table 5 the results for analysis of variance of antioxidant activity.

منبع Source	احتمال $(L^*)F$	احتمال $(a^*)F$	احتمال $(b^*)F$
مدل Model	**0.0001<	**0.0001<	**0.0001<
C	**0.0001<	**0.0001<	**0.0001<
B	*0.0055	*0.0004	-
A ²	-	*0.0376	-
B ²	*0.0150	*0.0437	-
C ²	-	-	*0.0056
A×B	*0.0024	*0.0063	-
A×C	*0.001	*0.0044	-
ضعف برازش Lack of feat	ns 0.879	ns 0.4214	ns 0.0631
ضریب تبیین R ²	0.9490	0.9877	0.9618

** معنی دار در سطح ۰.۰۱٪، * معنی دار در سطح ۰.۰۵٪ و ns عدم معنی داری.

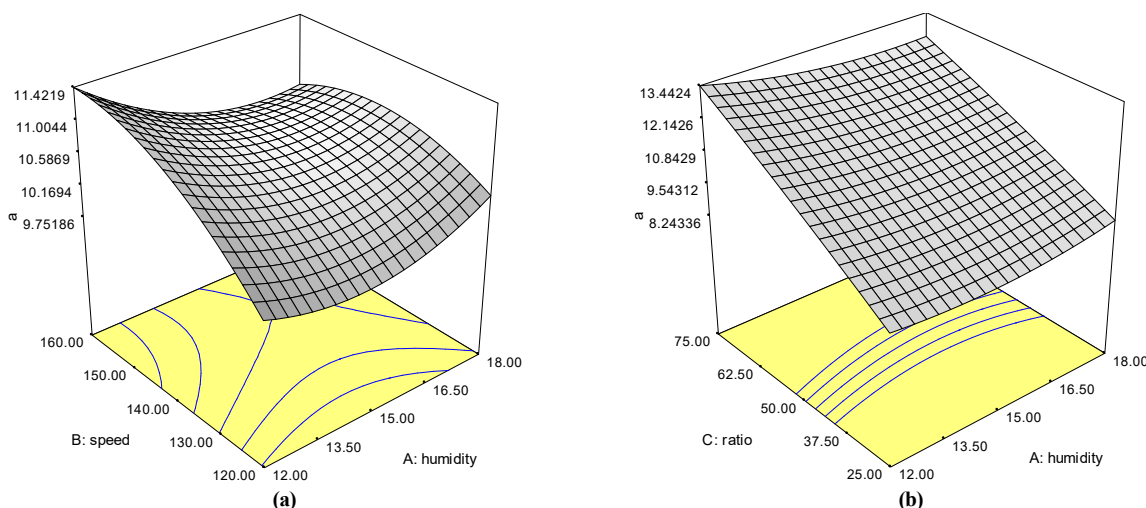
همکاران و اکبا و همکاران به ترتیب برای فرآورده‌های اکستروود شده حاوی آرد جو و تفاله گوجه‌فرنگی نیز مطابقت دارد [۵۱، ۵۲]. نتایج آنالیز آماری نشان داد تنها عامل تأثیرگذار بر میزان شاخص b^* فرآورده نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج بود. افزایش میزان پودر تفاله گوجه‌فرنگی منجر به افزایش معنی‌داری در زردی فرآورده گردید (شکل ۵). در نتایج آلتان و همکاران نیز میزان شاخص b^* فرآورده اکستروود شده حاوی آرد جو و تفاله گوجه‌فرنگی همبستگی مثبتی با سطوح افزودن تفاله گوجه‌فرنگی و هم‌چنین شاخص قرمزی a^* داشت [۵۱].

تخریب و پایین بودن انجام واکنش‌های قهوه‌ای شدن نسبت به محدوده رطوبتی بالاتر و دمای پایین‌تر است [۱۷ و ۴۱]. چنان‌که، با افزایش نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج میزان قرمزی فرآورده اکستروود شده افزایش یافت. طوری‌که بیش‌ترین مقدار قرمزی ۱۳/۴۴، در کم‌ترین میزان رطوبت ۱۲٪ و بیش‌ترین نسبت پودر تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج ۷۵٪ مشاهده شد. افزایش شاخص قرمزی a^* در نتیجه افزایش میزان پودر تفاله گوجه‌فرنگی به دلیل وجود رنگدانه‌های کاروتنوئید (لیکوپن) تفاله گوجه‌فرنگی در فرمولاسیون فرآورده می‌باشد که با نتایج آلتان و



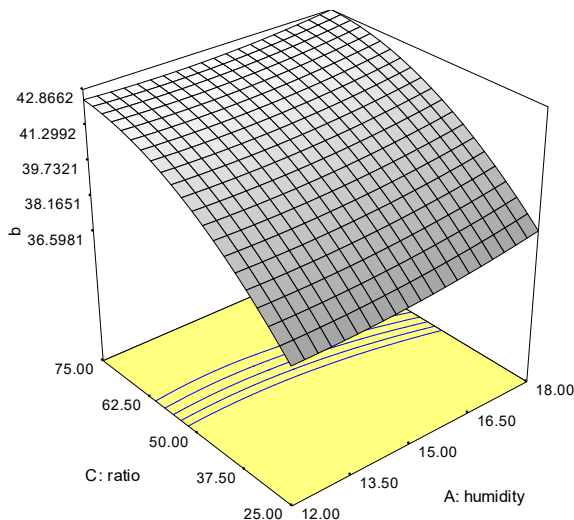
شکل (۳) (a) نمایش سه بعدی اثر رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ در نسبت ثابت (۵۰:۵۰٪) تفاله گوجه‌فرنگی: سبوس برنج بر میزان روشنایی (شاخص L^*) فرآورده اکستروود شده، (b) نمایش سه بعدی اثر رطوبت و نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج در سرعت چرخش مارپیچ ثابت ۱۴۰ دور بر دقیقه بر میزان روشنایی (شاخص L^*) فرآورده اکستروود شده.

Fig.3 a) three-dimensional effect of screw speed and humidity on lightness of extrudates, b) three-dimensional effect of tomato paste-rice bran ratio and humidity on lightness of extrudat



شکل (۴) (a) نمایش سه بعدی اثر رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ در نسبت ثابت (۵۰:۵۰٪) تفاله گوجه‌فرنگی: سبوس برنج و (b) رطوبت و نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج در سرعت چرخش مارپیچ ثابت ۱۴۰ دور بر دقیقه بر میزان قرمزی (شاخص a^*) فرآورده اکستروود شده.

Fig.4. a) Three-dimensional effect of screw speed and humidity and b) tomato paste-rice bran ratio and humidity on redness of extrudates



شکل (۵) نمایش سه بعدی اثر رطوبت و نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج در سرعت چرخش ماریچ ثابت ۱۴۰ دور بر دقیقه بر میزان زردی (شاخص b^*) فراورده‌هاکستروودشده

Fig.5. three-dimensional effect of tomato paste-rice bran ratio and humidity on yellowness of extrudates

اکستروودشده ابتدا افزایش ولی در سرعت‌های ۱۵۰ تا ۱۶۰ rpm کاهش یافت. دلیل افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی به واسطه شرایط سخت رطوبت پایین و نیروی برشی بالا که می‌تواند منجر به تخریب بیش‌تر دیواره سلولی و آزادسازی ترکیبات فنلی گردد قابل توجه است [۵۳، ۵۴].

کاهش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی با افزایش سرعت چرخش ماریچ در پژوهش‌های انجام شده توسط آلتان و همکاران و وانگ و همکاران به ترتیب در مورد فراورده‌های اکستروود شده حاوی جو و فراورده جانبی میوه‌ها و سبزی‌ها و دانه‌های غلات نیز گزارش شده است. این محققان بیان کردند با افزایش سرعت چرخش ماریچ، انرژی مکانیکی ورودی افزایش یافته، تنش وارد شده به توده مذاب نیز بیش‌تر شده در نتیجه تخریب آنتی‌اکسیدان‌ها (دکربوکسیله شدن فنل‌ها و پلیمریزه شدن) تشدید می‌شود [۵۱، ۵۵]. اثر همزمان رطوبت و نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی فراورده اکستروود شده در شکل ۶-b نشان داده شده است. براین اساس، در بالاترین سطح رطوبت ۱۸٪، با افزایش سطوح تفاله گوجه‌فرنگی فعالیت آنتی‌اکسیدانی فراورده کاهش یافت. افزایش رطوبت، سبب کاهش غلظت مواد جامد محلول و ویسکوزیته می‌گردد. در نتیجه فعالیت آنتی‌اکسیدانی به واسطه کاهش غلظت ترکیبات فنلی کاهش می‌یابد. افزایش رطوبت در پایین‌ترین سطح نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج ۲۵٪ سبب افزایش فعالیت

۵.۳. تاثیر متغیرهای شرایط فرایند و فرمولاسیون بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی فراورده نهایی

نتایج آنالیز واریانس نشان داد مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم افزار برای فعالیت آنتی‌اکسیدانی مکمل فیبری اکستروودشده، مدل چند جمله‌ای درجه دوم بود ($p < 0.01$). چنانچه مشاهده می‌شود آزمون عدم قطعیت برازش مدل بیانگر عدم معنی‌داری آن بود. عوامل اثرگذار بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی فراورده اکستروودشده، اثر مستقل نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج، اثر درجه دوم رطوبت، سرعت چرخش ماریچ و اثرات متقابل رطوبت-نسبت تفاله-گوجه‌فرنگی به سبوس برنج ($p < 0.01$) و رطوبت-سرعت چرخش ماریچ ($p < 0.05$) بود (جدول ۶). میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی فراورده اکستروودشده ۲۳/۸۵ تا ۳۶/۶۷٪ اندازه‌گیری گردید.

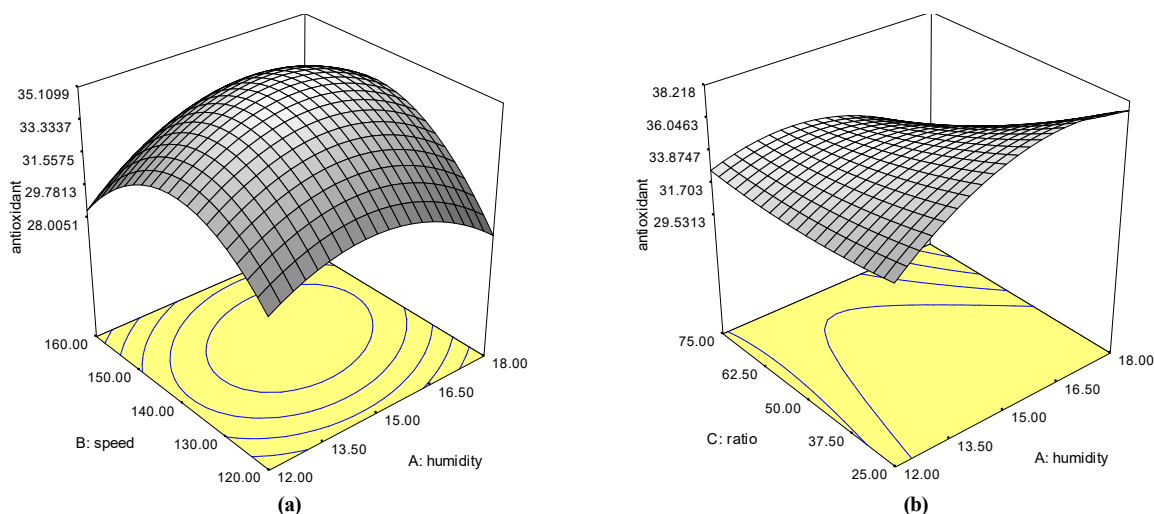
در شکل ۶-a، اثر متقابل متغیرهای رطوبت و سرعت چرخش ماریچ در نسبت ثابت ۵۰٪ تفاله گوجه‌فرنگی به سبوس برنج بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی فراورده نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد در پایین‌ترین سطح سرعت چرخش ماریچ ۱۲۰ rpm، با افزایش رطوبت تا ۱۵٪ فعالیت آنتی‌اکسیدانی ابتدا به علت اثر محافظتی رطوبت بر ترکیبات فنلی و جلوگیری از تشکیل آگلیکون‌ها افزایش و سپس با پلیمریزه شدن ترکیبات فنلی کاهش یافت. در پایین‌ترین سطح رطوبت ۱۲٪، با افزایش سرعت چرخش ماریچ از ۱۲۰ تا ۱۵۰ rpm فعالیت آنتی‌اکسیدانی فراورده

جدول (۶) نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ چندجمله ای درجه دوم برای فعالیت آنتی اکسیدانی.

Table 6 the results for analysis of variance of oil absorption index.

احتمال F Probability	اندیس F F value	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی Degree of freedom	مجموع مربعات Sum of square	منبع Source
<0.0001**	32.83	23.36	9	21.21	مدل Model
<0.0001**	63.66	45.29	1	45.29	C
0.001*	20.88	14.86	1	14.86	A ²
<0.0001**	47.56	33.84	1	33.84	B ²
<0.0001**	41.29	29.37	1	29.37	A×C
0.0064*	11.80	8.39	1	8.39	A×B
ns0.3821	1.33	0.81	5	4.06	ضعف برازش Lack of feat
<0.0001**	47.56	33.84	1	33.84	خطا Error

**معنی دار در سطح ۰.۰۱٪، *معنی دار در سطح ۰.۰۵٪ و ns عدم معنی داری.



شکل (۶) نمایش سه بعدی اثر رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ (a) و رطوبت و نسبت تفاله گوجه فرنگی به سیوس برنج (b) بر میزان فعالیت آنتی اکسیدانی فراورده اکستروژده

Fig.6. Three-dimensional effect of screw speed and humidity (a) and tomato paste-rice bran ratio and humidity (b) on antioxidant activity of extrudates

آنتی اکسیدانی نداشت [۵۷]. در حالی که افزایش میزان فعالیت آنتی اکسیدانی با شکستن دیواره سلولی و آزادسازی ترکیبات فنلی، و یا شکسته شدن ترکیبات پلی فنلی در اثر فشار بالا و تشکیل ملکول های فنل با وزن کم تر در فراورده های اکستروژده قابل توجهیه است [۵۴، ۵۵]. این نتایج مختلف می تواند به واسطه داشتن اختلاف در نوع ترکیبات فنلی، ساختار ماده تحت شرایط اکستروژن و ویژگی های فرمولاسیون و ترکیب ورودی که اثرات مختلفی بر فعالیت آنتی اکسیدانی می گذارند توضیح داده شود.

آنتی اکسیدانی فراورده گردید. مشابه این نتایج توسط یاقسی و گوگوس برای فراورده های اکستروژده با آرد فندق چربی گیری شده و تفاله میوه و بیشارت و همکاران برای فراورده های حاوی کلم بروکلی و تفاله زیتون نیز گزارش گردید [۴۱، ۵۴]. گزارش های متفاوتی از میزان ترکیبات فنلی کل و در نتیجه میزان فعالیت آنتی اکسیدان ها در طی پخت اکستروژن ارایه شده است. برخی گزارش ها نشان داد فرایند اکستروژن بر میزان ترکیبات فنلی کل و فعالیت آنتی اکسیدان مؤثر بوده و آن ها را کاهش می دهد [۵۶]. پژوهش دیگری نشان داد، فرایند اکستروژن اثر معنی داری بر فعالیت



۶.۳. تأثیر متغیرهای شرایط فرایند و فرمولاسیون بر میزان فعالیت آبی فراورده اکستروژنشده

فعالیت آب یا میزان آب در دسترس، یکی از خصوصیات مهم ترمودینامیکی می‌باشد. با توجه به این که آب از مهم‌ترین عوامل فساد میکروبی، آنزیمی و شیمیایی در مواد غذایی می‌باشد، کاهش و کنترل فعالیت‌های آب روش بسیار موثری برای افزایش زمان ماندگاری و جلوگیری از واکنش‌های نامطلوب در مواد غذایی بویژه مواد پودری نظیر مکمل فیبری می‌باشد [۵۸]. اگرچه بیش‌تر باکتری‌ها، کپک‌ها و مخمرها تحت شرایط اکستروژن نابود می‌شوند و لیکن بحث غیرفعال شدن اسپورها هنوز به‌طور قطع اثبات نشده است. فعالیت آب نه تنها بر فساد میکروبی مواد غذایی بلکه بر میزان فعالیت آنزیمی، تخریب ویتامین‌ها و اکسیداسیون چربی‌ها نیز اثرگذار است از این میان فراورده‌های اکستروژنشده با فعالیت آبی پایین بسیار مورد توجه می‌باشند [۵۹، ۶۰].

تغییرات میزان فعالیت آب در ماده غذایی متأثر از تغییرات ساختار میکروسکوپی و ماکروسکوپی ماده غذایی است که توانایی باندشدن آب با ذرات ماده غذایی و واکنش‌های رخ داده در ماتریکس ماده غذایی را مشخص می‌نماید [۵۹]. میزان فعالیت آبی نمونه‌های اکستروژنشده در این پژوهش در محدوده ۰/۳۸ - ۰/۱۲ بود. از آنجا که اغلب واکنش‌های میکروبی، شیمیایی و آنزیمی در فعالیت آب کم‌تر از ۰/۶ متوقف می‌شوند می‌توان اظهار داشت که فراورده اکستروژنشده در صورت نگهداری مناسب و عدم جذب رطوبت، دارای زمان ماندگاری بالایی خواهد بود [۵۸]. نتایج تجزیه واریانس میزان فعالیت آبی فراورده اکستروژنشده در این پژوهش، مطابق جدول ۷ نشان می‌دهد که، مدل چندجمله‌ای برای میزان فعالیت آبی نمونه‌ها معنی‌دار بوده است. عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل رطوبت و اثر متقابل رطوبت-نسبت تفاله‌گوجه‌فرنگی به سبوس برنج بودند. در شکل ۷، اثر هم‌زمان رطوبت-نسبت تفاله‌گوجه‌فرنگی به سبوس برنج در سرعت مارپیچ ثابت ۱۴۰ RPM بر فاکتور فعالیت آبی فراورده اکستروژنشده نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، با افزایش میزان رطوبت و نسبت پودر تفاله‌گوجه‌فرنگی به سبوس برنج میزان فعالیت آبی فراورده نهایی افزایش یافت. همان‌گونه که انتظار می‌رفت در نمونه‌هایی که رطوبت بالاتری داشتند میزان فعالیت آبی بالاتری نیز اندازه‌گیری شد. این نتایج منطبق بر گزارش‌های سایر محققان بود [۵۹، ۶۱]. اُشی و همکاران پس از تولید فراورده اکستروژنشده حاوی تفاله سیب دریافتند که درجه حرارت

پوسته و سرعت چرخش مارپیچ نقش مشابهی در کاهش مقدار رطوبت فراورده ایفا می‌نمایند. با افزایش این دو پارامتر دما و سرعت مارپیچ، میزان رطوبت نمونه‌های تولیدی به‌دلیل شدت نیروی برشی اعمال شده و تبخیر حاصل از دمای بالا، کاهش می‌یابد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که افزایش میزان فیبر نامحلول باعث باند شدن آب آزاد در ماتریکس و متعاقباً کاهش فعالیت آب برای انبساط بخار می‌شود و در نتیجه رطوبت توده مذاب و فراورده نیز کم‌تر می‌گردد [۶۲].

۷.۴. بهینه‌یابی فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن

شرایط عملیاتی بهینه با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی جستجو شد. این بهینه‌سازی به‌منظور ارائه مکمل فیبری اصلاح شده برای کاربرد در فراورده‌های غذایی رژیمی می‌باشد. تنظیمات اعمال شده برای فرایند بهینه‌سازی شامل متغیرهای فرایند و فرمولاسیون در محدوده آزمایش در نظر گرفته شد. ویژگی‌های فیزیکی شامل دانسیته توده و فعالیت آبی کمینه تنظیم گردید، ویژگی عملگری شاخص جذب روغن هم‌چنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و شاخص روشنایی *L بیشینه در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از بهینه‌یابی فرمولاسیون، جهت دستیابی به شرایط بهینه، شامل میزان رطوبت خوراک ۱۳/۲۶٪، نسبت تفاله‌گوجه‌فرنگی به سبوس برنج ۲۵:۷۵/w:w و سرعت چرخش مارپیچ ۱۳۷/۶۳ rpm، دانسیته توده ۰/۶gt/cm³، فعالیت آبی ۰/۱۷، شاخص جذب روغن ۲/۶۰ g/g، فعالیت آنتی‌اکسیدانی ۳۵/۱۴٪ و میزان روشنایی ۵۷/۱۸ تعیین گردید.

۴. نتیجه‌گیری

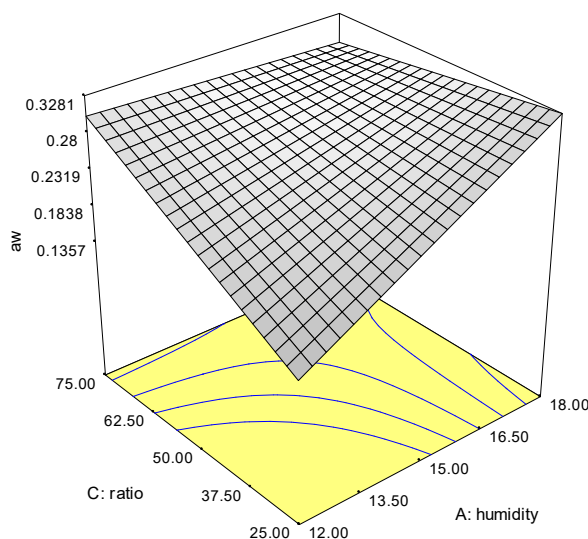
توسعه فناورانه، یک جنبه مهم از توسعه صنعتی است؛ از این رو، به‌کارگیری مؤثر فناوری‌های رایج برای توسعه صنعتی کشورهای در حال توسعه، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر قلمداد می‌گردد. براساس آمارهای بین‌المللی، سالانه حدود ۱۰ تا ۵۰٪ از تولیدات بخش کشاورزی در قالب پسماند از چرخه فناوری خارج می‌شود. محدودیت منابع کشاورزی، سیر صعودی رشد جمعیت و آلودگی زیست محیطی ناشی از انباشت پسماندهای کشاورزی، سبب افزایش رویکرد کارایی مجدد آن‌ها گردیده است. طی ۵۰ سال گذشته، فناوری اکستروژن به‌واسطه کیفیت مطلوب، عدم دارا بودن فاضلاب، راندمان بالا، مصرف کم آب در طول پروسه و بویژه طیف متنوع فراورده‌های تولیدی، انقلاب بزرگی در زمینه

جدول (۷) نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ چندجمله ای برای فعالیت آب.

Table 7 the results for analysis of variance of oil absorption index.

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال F
Source	Sum of square	Degree of freedom	Mean square	F	Probability > F
مدل	0.058	6	9.682 E-0.03	3.21	0.0369*
A	0.020	1	0.020	6.62	0.0231*
A×C	0.021	1	0.021	7.03	0.0199*
ضعف برازش	0.026	8	3.02E-0.03	1.18	ns0.4462
خطا	0.014	5	2.713E-0.03	-	-
Error					

**معنی دار در سطح ۰.۰۱، *معنی دار در سطح ۰.۰۵ و ns عدم معنی داری.



شکل (۷) اثر همزمان رطوبت و نسبت تفاله گوجه‌فرنگی به سیوس برنج در سرعت چرخش مارپیچ ثابت ۱۴۰ دور بر دقیقه بر فاکتور فعالیت آب فراورده اکستروژده

Fig.7. Three-dimensional effect of tomato paste-rice bran ratio and humidity on water activity of extrudates

پژوهش صنعت غذا و داروسازی ایجاد کرده است. متأسفانه در ایران استفاده از فناوری اکستروژن تنها در قالب تهیه اسنک ختم گردیده و سایر توانمندی‌های این فناوری مغفول مانده است. فراورده تهیه شده در این پژوهش در قالب مکمل فیبری بافت داده شده به دلیل افزایش جذب آب، فیبر رژیمی محلول و کاهش شاخص جذب روغن، فیبر رژیمی نامحلول و اسید فیتیک آن پتانسیل مطلوبی برای جایگزینی با انواع مکمل‌های فیبری وارداتی دارد. در مجموع، فرایند اکستروژن به دلیل کاهش فاکتورهای ضد تغذیه‌ای و افزایش فیبرهای محلول، قابلیت کاربردی بالایی در رژیم غذایی افراد و حتی به عنوان عامل پرکننده در فراورده‌های غذایی رژیمی و سلامت بخش دارد.

منابع

- properties of corn and con-lentil extrudates. *Food Res.Int.* 43(2), 609-616.
- [18] Prakongpan, T., Nitithamyong, A., Luangpituksa. P. (2002). Extraction and Application of Dietary Fiber and Cellulose from Pineapple Cores. *Food Chem.*, 67, 1308 – 1313.
- [19] Mesquita, C.B., Leonel, M., Mishan, M.M. (2013). Effect of processing on physical properties of extruded snacks with blends of sour cassava starch and flaxseed flour. *Food Sci.Tech.* 33(3), 404-410.
- [20] Chen, C.W., and Ho, C.T. (1995). Antioxidant properties of polyphenols extracted from green and black teas, *Food Lipids.*, 2, 35-46.
- [21] Roa, V., De Daza, M.S.T. (1991). Evaluation of water activity measurement with a dew point electronic humidity meter. *Lebensm Wiss Technol*, 24, 208-213.
- [22] Salehifar, M., Fadaei, V. (2011). Composition of some functional properties and chemical constituents of dietary fiber of Iranian rice bran extracted by chemical and enzymatic methods. *Afri.J. Biotechnol.*, 10(80), 18528-18531.
- [23] Sanders, T.A.B., and S.Reddy. (1992). the influence of rice bran on plasma lipids and lipoproteins in human volunteers. *Eur.J.Clin.Nurt.* 46,167-172.
- [24] Houston, D.F. and Kohler, G.O. (1970). Nutritional properties of rice. National Academy of Science, USA, Washington, DC, P.65.
- [25] Ammisah, J.G.N., Ellis, W.O., Oduro.I and Manful, J.T. (2003). Nutrient composition of bran from new rice varieties under study in Ghana. *Food Control.* 14, 21-24.
- [26] Bhattacharya, K.R. (1988). Rice Bran: Regional Extension Service centre (Rice Milling) Scientific Series No7.CFTRI, Mysore 570013.
- [27] Kahlon, T.S., Saunders, R.M., Chow, F.I., and Betschart, A.A. (1990). Influence of rice bran, oat bran and wheat bran on cholesterol and triglycerides in hamsters. *Cereal chem.*, 67,439-443.
- [28] Del Valle, M., Camara, M, and Torija, M.E. (2006). Chemical characterization of tomato pomace. *J. Agr. Food Chem.*, 86, 1232-1236.
- [29] Isik, F. and Topkaya, C. (2016). Effects of tomato pomacesupplementation on chemical and nutritional properties of crackers. *Ital. J. Food Sci.*, 28, 525-535.
- [30] Silva, Y.P.A., Borba, B.C., Reis, M.G., Caliar, M., Ferreira, T.A.P.C. 2016. Tomato industrial waste as potential source of nutrients. *Nutrition Science Conference.* 22-25.
- [31] Caprez, A., Arrigoni, E., Amado, R., and Zeukom, H. (1986). Influence of different types of thermal treatment on the chemical composition and physical properties of wheat bran. *J.cereal Sci.*, 4, 233-239.
- [32] Fleury, N., and Lahaye, M. (1991). Chemical and physico-chemical characterisation of fibres from *Lamaria digitata* (Kombu Breton): A physiological approach. *J.Sci. Food Agric.*, 55, 389-400.
- [1] Devries, J.W., Prosky, L., Li, B., & Cho, S. (1999). A historical perspective on dietary fiber. *Cereal Food world.* 44, 367-369.
- [2] Manilal, P.P. (2005). Super critical fluid extraction of rice bran with adsorption on rice hull ash. Thesis of Master of Science of Louisiana State University and Agricultural and Mechanical college. 1-170.
- [3] Hosensy, R.C. (1998). Principles of Cereals Sciences and Technology. AACCC, St Paul, M.N.
- [4] Guy, R. (2001). Extrusion cooking technologies and application. Florida, Wood head Publication. 50-100.
- [5] Rashid, S. (2015). Effect of extrusion cooking on the dietary fibre content and water solubility Index of wheat bran extrudates. *Food Sci. Tech.*, 50, 1533-1537.
- [6] Huang, Y., and Ma, Y. (2016). The effect of extrusion processing on the physicochemical properties of extruded orange pomace. *Food Chem.*, 192, 363- 369.
- [7] Dust, J.M., Gajda, A.M., Flickinger, E.A., Burkhalter, T.M., Merchen, N.R., Fahey, G.C. (2004) .Extrusion conditions affect chemical composition and in vitro digestion of select food ingredients. *J. Ag.Food Chem.*, 52(10), 2989-2996.
- [8] Charunuch, C., Limsangouan, N., Prasert, W. and Wongkrajang, K. (2014). Optimization of extrusion conditions for ready- to- eat breakfast cereal enhanced with defatted rice bran. *Food Res. Int.*, 21(2), 713-722.
- [9] Dhungana, P., Chauhan, A. and Sing, S. (2014) .Evaluation of extrudate from sweetpotato flour and tomato pomace blend by extrusion processing. *J. Food Sci.* 8(5), 246-277.
- [10] Kim, C.J., Byun, S.M., Cheigh, H.S. and Kwon, T.W. (1987). Optimization of Extrusion Rice bran stabilization process. *52(5)*, 1355- 1357.
- [11] Parvaneh, V. (1990). Quality Control & the Chemical Analysis of Food, Published by University of Tehran, 85-128.
- [12] AOAC. (2000) .Official methods of analyses. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- [13] American Association of cereal Chemist. (2000). Approved Methods of the AACCC (10th Ed). The Association, S.Paul, MN.
- [14] Prosky, L., Asp, N.G., Scheweizer, T.F., Devaries, J.W., & Furda, I. (1988). Determination of insoluble, soluble, and total dietary fibre in foods and food products: Interlaboratory study. *J.AoAc.* 71, 1017-1023.
- [15] Selan, M.M., Brazaca, S. (2014). Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. *Food Chem.* 163, 23-30.
- [16] Potter, R., Stojceska, V., Plunkett, A. (2013). The use of fruit powders in extruded snacks suitable for children's diets. *Food Sci.Tech*; 51(2), 537-544.
- [17] Lazou, A., Krokida, M. (2010). Functional

- Beiraghi-toosi, Sh., Goli-Movahhed, G.A. (2015). Production of high quality expanded corn extrudates containing sesame seed using response surface methodology. *QUAL ASSUR SAF CROP.*, 7 (5), 713-720.
- [49] Kaur, S., Sharma, S., Singh, B., Dar, B.N. (2013). Effect of extrusion variables (temperature, moisture) on the antinutrient components of cereal brans. *J Food Sci. Technol.*, 52(3), 1670-1676.
- [50] Liu, Y., Hsieh, F., Heymann, H., Huff, H.E. (2000). Effect of process conditions on the physical and sensory properties of extruded oat-corn puff. *J. Food Sci.*, 65, 1253-1259.
- [51] Altan, A., Mccarthy, K.L., and Maskan, M. (2008). Evaluation of snack foods from barley- tomato pomace blends by extrusion processing. *J.Food Eng.*, 84(2), 231-242.
- [52] Okba, M.A., Abdelrasol, E.A. and Gomaa, M.A. (2014). Production of snacks digestibility protein from barley and Tomato wastes. *J.Food Dairy Sci.*, 5(2), 139-151.
- [53] Kim, Y., Kim, W. Kim, D.O., Kim, H.Y., Kim, H.Y., Kim, B.Y., Baik, M.Y. & Lee, H. (2015). Effects of Moisture Content and Puffing Pressure on Extraction Yield and Antioxidant Activity of Puffed 21-year-old *Platycodon grandiflorum* Roots. *Food Sci. Biotechnol.*, 24(4), 1293-1299.
- [54] Bisharat, G.I., Elen, P.N., Panagiotou, N.M., Krokida, M.K. and Maroulis, Z.B. (2014). Thermal, textural, and physicochemical analysis of corn extrudates enriched with broccoli or olive paste, *Int. J. Food Prop.*, 17(9), 2100-2116.
- [55] Wang, T., He, F. and Chena, G. (2014). Improving bio accessibility and bioavailability of phenolic compounds in cereal grains through processing technologies: A concise review. *J.Funct.Food.* 7, 101-111.
- [56] Repo-Carrasco-Valencia, R., Pena, J., Kallio, H. and Salminen, S. (2009). Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*), *J.Cereal Sci.*, 49, 219-222.
- [57] Sensoy I., Rosen R.T., Ho C.-T., Karwe M.V. (2006). Effect of processing on buckwheat phenolics and antioxidant activity. *Food Chem.*, 99, 388-393.
- [58] Jangam, S.V. and Mujumdar, A.S. (2010). Basic concepts and definition. In: S.V. Jangam, C.L. Law, A.S. Mujumdar (Eds.), *Drying of Foods, Vegetables and Fruits*, vol.1, ISBN - 978- 981-08-6759.
- [59] Jenson, P.N. and Risbo, J. (2007). Oxidative stability of snack and cereal products in relation to moisture sorption, *Food Chem.*, 103(3), 717-724.
- [60] Fallahi, P., Muthukumarappan, K., Rosentrater, K.A. and Brown, M.L. (2012). Twin-screw extrusion processing of vegetable-based protein feeds for yellow perch (*perca flavescens*) containing distillers dried grains, soy protein concentrate, and fermented high protein soybean meal, *J.Food. Res.*, 1(3)230.
- [61] Foley, J.J., and Rosentrater, K.A. (2013). Physical properties of extruded corn coproducts, AN ASABE Meeting Presentation. Paper Number: 131594705.
- [33] Omohimi, C.I., Sobukola, O.P., Sarafadeen, K.O., Sanni, L.O. (2013). Effect of process parameters on the proximate composition, functional & sensory properties, *WASET.* 7 (4), 540-549.
- [34] Siddiq, M., Ravi, R., Harte, J.B. and Dolan, K.D. (2010). Physical & functional characteristics of selected dry bean (*Phaseolus vulgaris* L) flour, *Food Sci. Tech.*, 43, 232-237.
- [35] Carvalho, A.F.U., Portela, M.C.C, Sousa, M.B. (2009). Physiological and physicochemical characterization of dietary fiber from the green seaweed *Ulva fasciata* Delile, *Braz j Bio.* 69(3), 969-977.
- [36] Zapotoczny, P., Markowski, M., Majewska, K., Ratajski, A., and Konopko, H. (2006). Effect of temperature on the physical, functional and mechanical characteristics of hot-air-puffed amaranth seeds. *J. Food Eng.*, 76, 469-476.
- [37] Nelson, A. (2001). Defining high-fiber ingredient terminology. *High-Fiber Ingredients.* 1-83
- [38] Ralet, M.C., Della Valle, G & Thibault, J.F. (1993). Raw and extruded fiber from pea hulls. Part1: Composition and physicochemical properties. *Carbohydr Polym.* 20, 17-23.
- [39] Cespedes, M.A.L., Bustos, F.M., Chang, Y. (2010). The Effect of Extruded Orange Pulp on Enzymatic Hydrolysis of Starch and Glucose Retardation Index. *Food Bioprocess Technol.*, 3, 684-692.
- [40] Onimawo, I.A. and Egbekun, N.M. (1998). *Comprehensive food science and nutrition.* Benin city: Ambik press revised. Ed. In chandi, G.K. and Sogi, K.D. (2007). Functional properties of rice bran protein concentrates. *J.Food Eng.*, 79, 592-597.
- [41] 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.Food Eng.*, 86, 122-132.
- [42] Io, S. and Berghofer, E. (1999). Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits. *J.Food Eng.*, 39(1), 37-80.
- [43] Ding, Q.-B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G., Marson, H. (2005). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *J.Food Eng.*, 66, 283-289.
- [44] Kim, C.H. and Maga, J.A. (1987). Properties of extruded whey protein concentrate and cereal flour blends. *J. Food Sci. Technol.*, 20, 311-318.
- [45] Io, S., Tomschik, U., Berghofer, E. and Mundigler, N. (1996). The effect of extrusion operating conditions on the apparent viscosity and the properties of extrudates in twin-screw extrusion cooking of maize grits. *J. Food Sci. Technol.*, 29, 593-598.
- [46] Bhattacharya, S. and Prakash, M. (1994). Extrusion of blends of rice and chick pea flours: A response surface analysis. *J.Food Eng.*, 21(3), 315-330.
- [47] Rouilly, A., Jord, J., Rigal, L. (2006). Thermo-mechanical processing of sugar beet pulp. *Carbohydr Polym.*, 66, 81-87.
- [48] Nikmaram, N., Garavand, F., Elhamirad, A.H.,



[62] O She, N.Arent, E. and Gallagher, E. (2013). Enhancing an extruded puffed snack by optimizing die head temperature, screw speed and apple pomace inclusion, *Food Bioproc Tech.*, 7, 1767-1782.

*Research Article***Effect of Process Conditions and Formulation on Physicochemical and Functional Properties of Texturized Fiber Supplement (Tomato Pomace-Rice Bran)****Sara Niasti¹, Elnaz Milani^{2*}, Mohammad Hossein Haddad Khodaparast³, Arash Koocheki³**

1. PhD. Graduated, Department of Food Science & Technology, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
2. Associate Professor, Department of Food Processing, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran.
3. Professor, Department of Food Science & Technology, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.

Abstract

The food industry generate large amount of wastes annually around the world Food wastes are excellent source of nutritional compounds such as proteins, dietary fibers, antioxidants, and several types of micronutrients Therefore management of recycling food by-products is more valuable with maximum efficiency, in order to manufacture added value and low cost food products. Recently the processing of various types of by- products by extrusion cooking technology has been considered as a high- efficiency process. In this project, the rotatable central composite design was used to investigate the effects of formulation variables containing tomato pomace : rice bran ratio (25: 75-75: 25% w/w), feed moisture content (12-18%) and extrusion conditions including screw speed (120-160rpm) on functional and physicochemical properties of extruded fiber supplement from (tomato pomace- rice bran) including (oil absorption index, bulk density, color indexes (L^* , a^* , b^*), antioxidant activity and water activity (a_w)). The results showed that properties of extrudates were affected by formulation and extrusion conditions. Enhancement of screw speed increased oil absorption index. The addition of fiber supplement increased the color indexes (a^* , b^*) whereas lightness (L^*) and bulk density decreased. Increasing screw speed and moisture content caused a decrease in the antioxidant activity. By increasing moisture content and tomato pomace increased water activity (a_w) of extruded products. According to optimization results, to provide a modified fiber supplement for application in dietary foods optimum condition was found to be the tomato pomace : rice bran ratio of (25: 75% w/w), screw speed of (137/63 rpm) and moisture content of (13/26%) that required to obtain oil absorption index (2/60g/g), bulk density (0/6g/cm³), lightness (L^*)(57/18), antioxidant activity (35/14) and water activity (a_w)(0/17). pretreatment as a promising technique for intensification of oil extraction and tocopherols of oil from milk thistle seeds.

Keywords: Extrusion, Fiber supplement, Tomato pomace, Rice bran.

* Corresponding author: e.milani@jdm.ac.ir