



ارزیابی تاثیر فرایند اکستروژن بر خصوصیات فراورده اکستروژن شده خلر (*Lathyrus Sativus*)

نسترن اکبرزاده^۱، محمدجواد وریدی^{۲*}، فخری شهیدی^۳، الناز میلانی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲. دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳. استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴. استادیار، گروه پژوهشی فناوری مواد غذایی جهاددانشگاهی مشهد

(تاریخ دریافت: 95/10/30، تاریخ پذیرش: 96/1/16)

چکیده

خلر، ماده اولیه سرشار از پروتئین می‌باشد که موارد استفاده آن در برنامه غذایی کم است. این گیاه در مقایسه با شبدر، یونجه، اسپرس و سایر گیاهان علوفه‌ای ارزش غذایی یکسانی داشته و پروتئین آن با توجه به مرحله رشد در هنگام برداشت بین 12 تا 22 درصد متغیر می‌باشد. با استفاده از فرایند پخت اکستروژن می‌توان تغییرات زیادی در ویژگی‌های خلر ایجاد نمود و آن را به صورت مستقل یا جایگزین در فرمولاسیون مختلف به کار برد. در این پژوهش با استفاده از روش سطح پاسخ و نرم افزار Design expert اثر متغیرهای اکستروژن شامل میزان رطوبت ورودی، 20-12 درصد، دما 120-160 درجه سانتی‌گراد و سرعت چرخش مارپیچ، 120-180 دور در دقیقه، بر برخی خصوصیات فراورده اکستروژن شده از جمله سختی، تخلخل و آزمون حسی و خصوصیات آرد حاصل از آن مانند رنگ و جذب روغن مورد ارزیابی قرار گرفت. با افزایش میزان رطوبت، سختی افزایش ولی تخلخل، میزان روشنایی، میزان زردی و قرمزی، جذب روغن و پذیرش کلی کاهش یافت. با افزایش دما میزان قرمزی و جذب روغن افزایش و میزان سختی، زردی و پذیرش حسی کاهش پیدا کرد نشان داد. با افزایش سرعت مارپیچ میزان قرمزی، جذب روغن، پذیرش کلی افزایش و میزان سختی و زردی کاهش یافت. شرایط فرایند به منظور تولید محصولی با تخلخل، بافت، رنگ، جذب روغن و پذیرش کلی مناسب شامل رطوبت 12 درصد، دمای 137 درجه سانتی‌گراد و سرعت چرخش مارپیچ 137 دور در دقیقه می‌باشد. در این شرایط مناسب‌ترین تخلخل، سختی، رنگ، بیش‌ترین میزان پذیرش کلی و کم‌ترین میزان جذب روغن را خواهیم داشت.

واژه‌های کلیدی: اکستروژن، حسی، خلر، جذب روغن، تخلخل، رنگ.

1- مقدمه

مواد معدنی موجود در آن‌ها می‌شوند [6]. سال 2016 از سوی FDA به‌عنوان سال جهانی حبوبات اعلام شد که این امر نشان دهنده اهمیت مصرف حبوبات در سبد خانوار می‌باشد. تلاش برای افزایش سهم حبوبات در برنامه غذایی، منجر به استفاده وسیعی از فناوری‌هایی مانند جوانه زنی، پوست گیری، پختن، برشته کردن، اتوکلاو گذاری، تخمیر و تکنولوژی پخت اکستروژن شد [7]. فرایند پخت اکستروژن، یک فرایند دما بالا- زمان کوتاه می‌باشد که طی آن ماده غذایی حالت پلاستیکی و نرم یافته و سپس به‌وسیله اعمال حرارت، فشار و نیروی برش مکانیکی پخته می‌شود. فاکتورهای ذکر شده بر روی انتقال جرم و برهمکنش‌های شیمیایی اثرگذار هستند و منجر به اصلاح ویژگی‌های عملکردی و تغذیه‌ای ماده غذایی می‌شوند. در بین حبوبات نخود به‌عنوان یک منبع پروتئین، فیبر و نشاسته بیش‌تر از سایر حبوبات مورد استفاده قرار گرفته است. این محصول برای تفکیک و بررسی ترکیبات مختلف از جمله پروتئین و نشاسته بسیار اقتصادی است، در سراسر جهان به‌طور گسترده رشد می‌یابد و پوست آن به راحتی جدا می‌شود [8]. در بین انواع واریته‌های نخود، نخود خلر (*Lathyrus Sativus*) در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. میزان پروتئین در دانه خلر 25-27 درصد است. این مقدار در سویا 42 درصد و در نخود فرنگی 25/27 - 20/9 درصد می‌باشد [9]. آلومین، گلوبولین، گلوپولین و گلوپولین و پرولامین از پروتئین‌های عمده خلر می‌باشند. با وجود این که خلر دارای منبع غنی از پروتئین، چربی و کربوهیدرات‌ها است، اما باید دانست که دارای ترکیبات غیرمفیدی نیز می‌باشد. از جمله این ترکیبات می‌توان اسید فیتیک، اولیگوساکاریدها، بازدارنده‌های پروتئاز، تانن‌ها، لکتین‌ها و بازدارنده‌های آمیلاز را نام برد. با استفاده از فرایند اکستروژن می‌توان تغییرات زیادی در ویژگی‌های خلر ایجاد نمود و آن را به‌صورت مستقل یا جایگزین در فرمولاسیون‌های مختلف به‌کار برد [10]. منگ و همکاران، نشان دادند که با استفاده از فرایند اکستروژن می‌توان محصول با ویژگی‌های مطلوب شامل میزان انبساط بالا، دانسیته ظاهری و سختی کم، در محتوای رطوبتی پایین، سرعت ماریج بالا و دمای محفظه متوسط رو به بالا به دست آورد این امر نشان می‌دهد که می‌توان از نخود به‌منظور تولید فراورده اکستروژن‌شده با خصوصیات تغذیه‌ای

کمبود مواد غذایی به‌خصوص مواد پروتئینی یکی از چالش‌های اصلی در بسیاری از کشورهای جهان به‌شمار می‌آید. حبوبات با داشتن محتوای پروتئینی به‌نسبت بالا تا حدودی کمبود پروتئین حیوانی را جبران می‌کنند. با این حال حبوبات در بسیاری از مناطق دنیا به دلایلی از جمله زمان‌بر بودن پخت و همچنین وجود ترکیبات ضد تغذیه‌ای و نفاخ در آن‌ها کم‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرند [1]. حبوبات می‌توانند به‌صورت دانه کامل، پخته شوند و مورد استفاده قرار گیرند یا به آرد و مشتقات مختلف مانند نشاسته، فیبر، کنسانتره پروتئین و ایزوله پروتئینی تفکیک گردند. این دسته از مواد غذایی دارای ترکیبات زیست فعال می‌باشند [2] که دارای اثرات سلامتی بخش هستند، همچنین دارای مقادیر بالایی از پروتئین، فیبرهای رژیمی، کمپلکس‌های کربوهیدراتی و ایزوفلاوون‌ها نیز می‌باشند و مقادیر چربی و سدیم آن‌ها پایین است [3]. این ترکیبات ویژگی‌های عملکردی منحصر به فردی از خود نشان می‌دهند. پروتئین انواع حبوبات در واریته‌های مختلف بر مبنای وزن خشک در محدوده 20-30 درصد قرار دارد. غلات که در سبد غذایی خانواده‌ها بیش از حبوبات مورد استفاده قرار می‌گیرند، از نظر اسیدهای آمینه ضروری به‌ویژه لیزین کمبود دارند، در حالی که پروتئین انواع حبوبات حاوی مقدار کافی از لیزین می‌باشد [4]. لذا با اضافه کردن حبوبات به غلات می‌توان فراورده غنی سازی شده جدیدی تولید نمود. به‌منظور بهبود کیفیت تغذیه‌ای، بافتی و سایر ویژگی‌های عملکردی محصول و یا به دلایل اقتصادی از این پروتئین‌ها در تولید فراورده‌های جدید استفاده می‌شود. از جمله کاربردهای آرد حبوبات و مشتقات مختلف آن می‌توان به استفاده از آن‌ها در فراورده‌های نانوبی، سوپ، پاستا، نودل، فراورده‌های کنسروی و گوشتی، غلات صبحانه و فراورده اکستروژن‌شده‌ها اشاره نمود [2]. تولید و استفاده از مشتقات حبوبات شامل آرد، فیبر، نشاسته و پروتئین در حال رشد می‌باشد. مصرف حبوبات منجر به کاهش ریسک ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی، دیابت و سرطان‌های مربوط به دستگاه گوارش می‌شود [5]. وجود برخی فاکتورهای ضد تغذیه‌ای در حبوبات مانند اسید فیتیک، بازدارنده‌های تریپسین و تانن‌ها منجر به کاهش دسترسی به

در این پژوهش اثر متغیرهای اکستروژن شامل میزان رطوبت ورودی، 20-12 درصد، دما، 160-120 درجه سانتی‌گراد و سرعت چرخش ماریچ، 180-120 دور در دقیقه بر برخی ویژگی‌های فرآورده اکستروژن شده با هدف تولید فرآورده‌ایی با ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی و حسی مطلوب جهت جایگزینی پایه غلات در فرآورده‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت.

2- مواد و روش‌ها

2-1- تهیه مواد اولیه

دانه‌های خلر از بازار محلی مشهد تهیه و پس از پاک‌سازی و جداسازی مواد بیگانه توسط آسیاب صنعتی (مدل 3000، شرکت توس شکن خراسان، ساخت ایران) آسیاب و سپس از الک با مش 70 عبور داده شد و به‌صورت بلغور با اندازه یکنواخت درآمد. سپس در کیسه‌های زیپ‌دار به‌منظور عدم تبادل رطوبت نگهداری شدند.

2-2- انجام فرایند اکستروژن و تولید نمونه‌ها

رطوبت اولیه خلر اندازه‌گیری و سپس به‌منظور رسیدن به رطوبت مورد نظر مقادیر لازم آب به نمونه‌ها اضافه شد. پس از 15 دقیقه مخلوط کردن، نمونه در کیسه‌های پلی اتیلنی بسته بندی شد و به‌منظور یکنواخت سازی رطوبت به مدت 24 ساعت در دمای یخچال قرار گرفت. جهت تعیین رطوبت آرد خلر از روش AACCC استفاده شد [16] و رطوبت نمونه توسط رابطه (1) برحسب وزن خشک محاسبه شد:

(1)

(وزن نمونه خشک‌شده - وزن نمونه اولیه) = درصد رطوبت
 $100 \times (\text{وزن نمونه اولیه})$

جهت تعیین میزان آب مورد نیاز برای رسیدن به رطوبت مطلوب از مربع پیرسون استفاده گردید. نمونه‌های نگهداری شده در یخچال یک ساعت قبل از فرایند اکستروژن به‌منظور رسیدن به دمای محیط از یخچال خارج شدند. آرد خلر با رطوبت تنظیم شده، توسط دستگاه اکستروژن جفت ماریچی مدل DS-III، شرکت جینان ساکسیان، ساخت کشور چین اکستروژن گردید. ابتدا نمونه‌هایی که به دما و سرعت ماریچ

مناسب استفاده کرد [11]. هود نیفر و همکاران با مطالعه بر آرد نخود سبز مشاهده کردند که با افزایش محتوای پروتئین یا محتوای رطوبت ضریب انبساط کاهش، دانسیته ذره و توده و سختی افزایش یافت. میزان از دست رفتن لیزین در مقادیر بالاتری از پروتئین و رطوبت به تناسب کم‌تر بود [12]. اوشن و همکاران، اثر پخت اکستروژن با رطوبت بالا را بر همکنش‌های پروتئین-پروتئین در ایزوله پروتئین نخود مورد بررسی قرار دادند. بررسی‌ها نشان داد که اکستروژن بر درجه هیدرولیز هیچ اثری ندارد و ترکیب اسید آمینه نشان می‌دهد که انرژی حرارتی و مکانیکی در طی اکستروژن منجر به تشکیل باندهای پپتیدی یا از بین رفتن اسید آمینه در اثر واکنش میلارد نمی‌شود [13]. داندامرون‌گراک و همکاران، فرآورده اکستروژن‌شده بر پایه مخلوط آرد برنج و ماش تولید کردند. سه سطح رطوبت اولیه مختلف شامل 15، 17/5 و 20% در نظر گرفته شد. کم‌ترین میزان رطوبت ویژگی‌های بهتری از نظر میزان انبساط ایجاد کرد و میزان دانسیته ظاهری و سختی کم‌تر بود. در نتیجه میزان رطوبت مناسب در شرایط بهینه کم‌تر از 17/5% برای تولید فرآورده اکستروژن‌شده مناسب می‌باشد [14]. ساکسومبون و همکاران اثر شرایط اکستروژن را بر ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی فرآورده اکستروژن‌شده بر پایه مخلوط برنج بنفش (Hom Nil) و آرد سویا مورد بررسی قرار دادند. آرد سویا در سطوح 5، 10 و 15% به آرد برنج بنفش اضافه شد و در دمای 190 درجه سانتی‌گراد و سرعت ماریچ 350 دور در دقیقه اکستروژن گردید. کیفیت فرآورده اکستروژن‌شده تولیدی با افزایش میزان آرد سویا، کاهش یافت با این حال کیفیت محصول زمانی که سطح آرد سویای استفاده شده، 5% بود بهینه گردید. اثر محتوای رطوبت (15، 17 و 19% بر اساس وزن مرطوب)، دمای محفظه (150، 170 و 190 درجه سانتی‌گراد) و سرعت ماریچ (350، 400 و 450 دور بر دقیقه) بر ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی فرآورده اکستروژن‌شده‌های تولیدی مورد بررسی قرار گرفت. این ویژگی‌ها شامل میزان انبساط، دانسیته، شاخص جذب روغن و سختی می‌باشد. فرآورده اکستروژن‌شده که در رطوبت 15%، دمای 170 درجه سانتی‌گراد و سرعت ماریچ 450 دور در دقیقه تولید شد، از نظر پذیرش مصرف کننده بالاترین امتیاز را داشت [15].

در نهایت دانسیته توده فراورده از تقسیم جرم بر حجم آن محاسبه گردید.

اندازه‌گیری دانسیته ظاهری با تعیین ابعاد واقعی محصول اکستروود شده انجام شد. ابعاد محصول با یک کولیس، مدل CD-6CSX، شرکت میتوتویو، کشور ژاپن، اندازه‌گیری گردید. ابعاد 10 عدد فراورده اکستروود شده اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها محاسبه گردید. در نهایت محاسبات با استفاده از رابطه (6) انجام پذیرفت [18].

$$\rho = 4.m / \pi.d^2.L \quad (6)$$

m: جرم نمونه بر حسب گرم، ρ : دانسیته ظاهری، d: قطر بر حسب سانتی متر، L: طول بر حسب سانتی متر

2-3-2- سختی

پس از انجام تنظیمات دستگاه تکسچر آنالایزر، مدل QTS-25، شرکت بروکفیلد، ساخت کشور آمریکا، از هر تیمار 5 نمونه به صورت کاملاً تصادفی انتخاب و روی محل مورد نظر در دستگاه قرار داده شد. پروب مورد استفاده در این آزمون از نوع استوانه‌ای و به قطر 2 میلی‌متر انتخاب گردید. عمق نفوذ 5 میلی‌متر برای پروب در نظر گرفته شد. به محض رسیدن پروب به عمق مورد نظر، پروب از نمونه خارج و نمودار نیرو برای نفوذ پروب در فراورده اکستروود شده رسم گردید. ماکزیمم نیروی وارده به فراورده اکستروود شده محاسبه گردید و در نهایت میانگین ماکزیمم نیروی وارد شده به فراورده اکستروود شده به عنوان میزان سفتی اعلام شد [19].

2-3-3- رنگ سنجی

رنگ نمونه‌های تولید شده با استفاده از دستگاه هانتربل، مدل CR-410، شرکت مینولتا، کشور ژاپن، اندازه‌گیری گردید. ابتدا نمونه‌ها توسط آسیاب خانگی مدل A11، شرکت IKA، ساخت کشور آلمان، خرد شده و با عبور از الک با مش 18 دانه بندی شدند و در ظرف مخصوص ریخته شد به اندازه‌ای که کف ظرف به‌طور کامل پوشیده شود. در این آزمون مقادیر L^* ، a^* و b^* تعیین گردید. مقادیر L^* که بین صفر (سیاه) تا 100 (سفید) متغیر است، شاخص روشنی، مقادیر مثبت a^* شاخص

کم‌تری نیاز داشتند وارد دستگاه شدند و سایر نمونه‌ها بر اساس افزایش دما و سرعت مارپیچ به اکستروودر اضافه شدند. محصول پس از خروج از قسمت قالب اکستروودر بر روی نوار نقاله خشک کن تونلی با دمای 40 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا خشک شوند. در انتهای قسمت خشک کن تونلی نمونه برداری انجام شد. نمونه‌های جمع آوری شده سپس به منظور حفظ رطوبت و عطر و طعم تا هنگام انجام آزمایش در کیسه‌های زیپ دار کدگذاری شده در دمای محیط نگهداری گردید. در این پژوهش اثر متغیرهای رطوبت ورودی (20-12 درصد)، دما (120-160 درجه سانتی‌گراد) و سرعت چرخش مارپیچ (120-180 دور در دقیقه) بر برخی ویژگی‌های فراورده بررسی گردید.

2-3-3- روش‌ها

2-3-1- تخلخل

تخلخل با استفاده از رابطه (2) محاسبه شد [17].

(2)

دانسیته توده / (دانسیته ظاهری - دانسیته توده) = تخلخل

دانسیته محصول اکستروود شده از روش جابه‌جایی با دانه‌های ارزن طبق روش استاندارد AAC [16] به دست آمد. ابتدا با استفاده از یک مزور 500 میلی‌لیتری دانسیته توده ارزن تعیین شد. مقداری ارزن با جرم معین تا یک حجم ثابت در مزور پر گردید. در مرحله بعد 5 عدد فراورده اکستروود شده از هر تیمار ابتدا توزین و سپس در داخل مزور قرار گرفت. سپس مزور تا یک حجم معین و سطحی بالاتر از سطح اشغال شده توسط فراورده اکستروود شده‌ها از ارزن پر شد. با مشخص بودن جرم مزور و 5 عدد فراورده اکستروود شده که از قبل توزین شده بودند، جرم ارزن اضافه شده به مزور با رابطه (3) محاسبه گردید:

(3)

سپس حجم ارزن موجود در مزور و حجم 5 عدد فراورده اکستروود شده با استفاده از روابط (4) و (5) تعیین شد:

(4)

دانسیته توده ارزن / جرم ارزن = حجم ارزن

(5)

= حجم 5 عدد فراورده اکستروود شده

حجم ارزن - حجم کل

مرکب مرکزی چرخش پذیر جهت بررسی اثر متغیرهای آزمایش استفاده شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار Design Expert 6.0.2 انجام شد. متغیرهای مستقل شامل رطوبت ورودی، 20-12 درصد، دما 120-160 درجه سانتی‌گراد و سرعت چرخش مارپیچ، 120-180 دور در دقیقه بودند که در جدول (1) آمده است. تعداد 20 تیمار در این طرح مد نظر قرار گرفت که از این بین شش تیمار شامل تکرار در نقطه مرکزی، به منظور تعیین خطای آزمایش انتخاب گردید.

3- نتایج و بحث

3-1- اثر بر تخلخل

مدل خطی با $p \leq 0/0001$ بر پاسخ معنی‌دار بود که نشان دهنده تناسب بین مدل انتخاب شده و داده‌های مورد بررسی بوده است. ضعف برازش مربوط به مدل برازش یافته بر پاسخ معنی‌دار نبوده است که نشان از برازش خوب داده‌های مورد بررسی دارد و نشان دهنده این است که نقاط به خوبی اطراف مدل قرار گرفته‌اند و می‌توان از مدل برای پیشگویی متغیرهای تابع استفاده نمود. عبارت‌های معنی‌دار شامل اثر مستقل محتوای رطوبت مقادیر بالای (R^2) و $R^2_{(adj)}$ که به ترتیب برابر 0/8102 و 0/7997 می‌باشند نشان دهنده برازش خوب مدل با داده‌های مورد بررسی می‌باشد. هرچه مقدار R^2 به عدد یک نزدیک‌تر باشد، قدرت مدل برازش یافته در توصیف تغییرات پاسخ به‌عنوان تابعی از متغیرهای مستقل بیش‌تر می‌باشد. مقدار CV^1 که نشان از دقت مراحل آزمون می‌باشد، در این قسمت برابر 2/43 بود (جدول 3). با توجه به شکل (1) نتایج نشان دادند که محتوای رطوبت اثر معنی‌داری بر تخلخل نمونه‌ها داشت. محتوای رطوبت در طی اکستروژن به دلیل نقش روان کنندگی، کمک به ژلاتیناسیون و عامل افزایش حجم بسیار مهم است. رطوبت بالا میزان ویسکوزیته ماده ذوب شده را کاهش می‌دهد، ماده ذوب شده تحت تأثیر انرژی مکانیکی و در نتیجه دمای کم‌تری قرار می‌گیرد. میزان رطوبت بالاتر، ماده ذوب شده را در معرض دمای گذار شیشه‌ای قرار می‌دهد که منجر به تغییر شکل ماتریس و در نتیجه فروپاشی ساختار نشاسته می‌شود [22] و در نهایت میزان تخلخل را کاهش می‌دهد. معادله حاصل برای تخلخل در رابطه (8) ارائه گشت (A علامت رطوبت می‌باشد).

1. Coefficient of Variation (CV)

قرمزی و مقادیر منفی آن شاخص سبزی محصول می‌باشد. همچنین مقادیر مثبت b^* شاخص زردی و مقادیر منفی آن شاخص میزان آبی بودن محصول است [20].

2-3-4- شاخص جذب روغن (OAI)¹

این شاخص بیانگر میزان چربی دوستی نمونه و در حقیقت نشان دهنده گروه‌های هیدروفوب محصول است. برای این منظور 0/5 گرم از نمونه آسیاب شده با 6 میلی لیتر از روغن ذرت در یک لوله سانتی‌فیوژ که از قبل توزین شده بود، ریخته و به‌منظور توزیع نمونه در روغن با یک مفتول هم زده شد. بعد از 30 دقیقه، لوله‌ها به مدت 25 دقیقه در 3000 سانتی‌فیوژ گردیدند. روغن جدا شده توسط یک پیپت خارج و لوله به مدت 25 دقیقه به‌صورت وارونه نگاه‌داری شد [21]. شاخص جذب روغن بر اساس رابطه (7) اندازه‌گیری شد:

$$(7) \text{ شاخص جذب روغن} = \frac{\text{وزن نمونه داخل لوله بعد از تخلیه روغن} - \text{وزن لوله خالی}}{\text{وزن نمونه اولیه}}$$

2-3-5- آزمایش حساس

ده دانشجوی نیمه آموزش دیده برای ارزیابی محصول اکستروژن شده انتخاب گردیدند. این افراد محصول را از نظر ظاهر، طعم، بافت، مزه و پذیرش کلی در سه تکرار ارزیابی نمودند. نحوه خوردن و بلعیدن به پنلیست‌ها آموزش داده شد. سپس با استفاده از آزمون هدونیک 5 نقطه‌ای ارزیابی شدت هر صفت انجام پذیرفت (1= خیلی بد، 5= خیلی خوب) (ISO 11136:2014). کل آزمون در یک روز انجام پذیرفت. در فواصل مصرف هر نمونه به پنلیست آب داده شد. نمونه‌ها در پلیت‌های کد گذاری شده قرار گرفتند. هر پارامتر به یک ارزش عددی تبدیل و مطابق طرح آزمایشی آنالیز گردید [6].

2-4- آنالیز و تحلیل آماری

در این پژوهش از روش سطح پاسخ² (RSM) و طرح

1. Oil Absorption Index
2. Response Surface Methodology

$$(8) \quad \text{میزان تخلخل} = 0/051 A - 0/75 +$$

مارپیچ و محتوای رطوبت (شکل 3) تغییر می‌کند. علاوه بر این سختی تحت تأثیر اثرات متقابل رطوبت-دما (شکل 2)، رطوبت-سرعت مارپیچ (شکل 3) و سرعت مارپیچ-دما (شکل 4) نیز قرار دارد. نمودارهای سطح پاسخ نشان دادند که با افزایش محتوای رطوبت ورودی میزان سختی افزایش یافت در حالی که با افزایش سرعت مارپیچ و دمای محفظه میزان سختی کاهش یافت. میزان سختی فرآورده اکسترود شده بین 4/528 تا 23/492 نیوتون به دست آمد. میزان سختی پایین که از ویژگی‌های مطلوب فرآورده اکسترود شده می‌باشد، در محتوای رطوبت پائین، سرعت مارپیچ و دمای بالا مشاهده شد.

3-2- اثر بر سختی

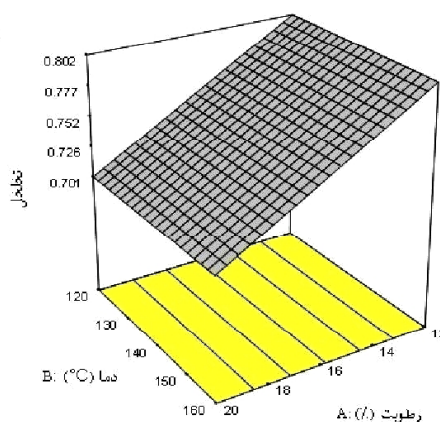
مدل 2FI با مقدار $p \leq 0/0001$ بر پاسخ معنی‌دار بوده که نشان دهنده تناسب بین مدل انتخاب شده و داده‌های مورد بررسی بوده است. عبارت‌های معنی‌دار در سطح 5 درصد شامل اثرات مستقل محتوای رطوبت، دمای محفظه و سرعت چرخش مارپیچ و اثرات متقابل رطوبت-دما، رطوبت-سرعت مارپیچ و دما-سرعت مارپیچ بوده است (جدول 2). سختی فرآورده اکسترود شده به صورت خطی با افزایش دما (شکل 2)، سرعت

جدول (1) نمایش متغیرهای مستقل فرایند و مقادیر آنها

| شماره ران | محتوای رطوبت (%) | دما (درجه سانتی‌گراد) | سرعت مارپیچ (rpm) | شماره ران | محتوای رطوبت (%) | دما (درجه سانتی‌گراد) | سرعت مارپیچ (rpm) |
|-----------|------------------|-----------------------|-------------------|-----------|------------------|-----------------------|-------------------|
| 1 | 16 | 160 | 150 | 11 | 12 | 160 | 180 |
| 2 | 16 | 140 | 120 | 12 | 16 | 140 | 180 |
| 3 | 16 | 120 | 150 | 13 | 16 | 140 | 150 |
| 4 | 20 | 120 | 180 | 14 | 20 | 140 | 150 |
| 5 | 20 | 160 | 180 | 15 | 16 | 140 | 150 |
| 6 | 16 | 140 | 150 | 16 | 16 | 140 | 150 |
| 7 | 12 | 140 | 150 | 17 | 12 | 120 | 180 |
| 8 | 16 | 140 | 150 | 18 | 16 | 120 | 150 |
| 9 | 20 | 160 | 120 | 19 | 12 | 120 | 120 |
| 10 | 20 | 120 | 120 | 20 | 12 | 160 | 120 |

DESIGN-EXPERT Plot

procity
X = A: moisture
Y = B: temperature
Actual Factor
C: speed = 150



شکل (1) روند اثر محتوای رطوبت بر تخلخل

جدول (2) نتایج آنالیز واریانس

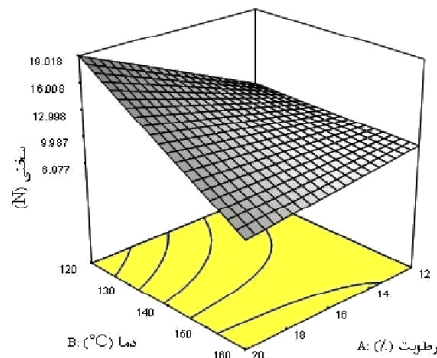
| منبع | احتمال p (تخلخل) | احتمال p (سختی) | احتمال (p)*L | احتمال *a (p) | احتمال *b (p) | احتمال OAI (p) |
|---------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| مدل | <0/0001** | <0/0001** | <0/0001** | <0/0001** | <0/0001** | <0/0001** |
| رطوبت A | <0/0001** | <0/0001** | <0/0001** | <0/0001** | <0/0001** | <0/0001** |
| دما B | - | <0/0001** | - | <0/0001** | <0/0001** | 0/0059* |
| سرعت مارپیچ C | - | <0/0001** | - | <0/0001** | 0/0640 | <0/0001** |
| A ² | - | - | - | - | 0/0281* | - |
| B ² | - | - | - | - | 0/0014* | - |
| AB | - | <0/0001** | - | - | 0/0962 | - |
| AC | - | 0/0047* | - | - | <0/0001** | <0/0001** |
| BC | - | 0/0005* | - | <0/0001** | - | - |
| ضعف برازش | 0/0648 ^{ns} | 0/0828 ^{ns} | 0/9510 ^{ns} | 0/9510 ^{ns} | 0/1470 ^{ns} | 0/1627 ^{ns} |
| مدل معنی دار | مدل خطی | 2FI | خطی | 2FI | چند جمله ای درجه دوم | 2FI |
| R ² | 0/8102 | 0/9701 | 0/8628 | 0/9762 | 0/9449 | 0/9268 |
| R ² _(adj) | 0/7997 | 0/9583 | 0/8552 | 0/9699 | 0/9127 | 0/9083 |
| CV | 2/43 | 7/89 | 1/35 | 3/25 | 0/93 | 4/39 |

* معنی داری در سطح 95%
 ** معنی داری در سطح 99%
 ns عدم معنی داری

DESIGN-EXPERT Plot

Hardness
 X = A: moisture
 Y = B: temperature

Actual Factor
 C: speed = 150

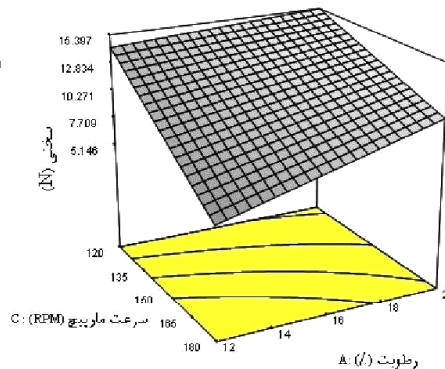


شکل (2) اثر متقابل دما-رطوبت بر سختی

DESIGN-EXPERT Plot

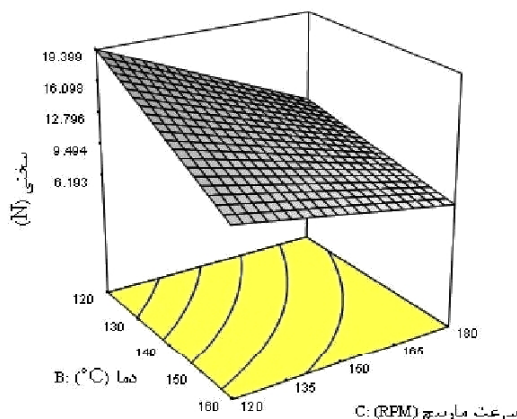
Hardness
 X = C: speed
 Y = A: moisture

Actual Factor
 B: temperature = 140



شکل (3) اثر متقابل رطوبت-سرعت مارپیچ بر سختی

DESIGN-EXPERT Plot

Hardness
X = B: temperature
Y = C: speedActual Factor
A: moisture = 18

شکل (4) اثر متقابل دما-سرعت ماریچ بر سختی

معنی‌دار، معادله (9) در مورد سختی به صورت زیر می‌باشد (B) علامت دما و C علامت سرعت ماریچ است):

$$(9) \quad \text{Hardness} = 11/35 + 1/65 A - 3/12 B - 3/48 C - 2/90 AB + 1/08 AC + 1/44 BC$$

3-3- اثر بر رنگ

مدل‌های خطی، 2FI و چند جمله‌ای درجه دوم با $p < 0/0001$ به ترتیب برای L^* ، a^* و b^* انتخاب شدند که نشان دهنده تناسب بین مدل انتخاب شده و داده‌های مورد بررسی بوده است. عبارت‌های معنی‌دار در سطح 5 درصد برای L^* شامل اثر خطی محتوای رطوبت، برای a^* شامل اثرات خطی هر سه متغیر محتوای رطوبت، دمای محفظه و سرعت ماریچ و نیز اثر متقابل دما-سرعت ماریچ و برای b^* شامل اثرات خطی هر سه متغیر محتوای رطوبت، دمای محفظه و سرعت ماریچ، اثر مضاعف رطوبت و دما و اثر متقابل محتوای رطوبت-دما و محتوای رطوبت-سرعت ماریچ می‌باشد (جدول 2). عبارت‌های مربوط به اثرات مضاعف حالت منحنی شکل را به وجود می‌آورند (جدول 2). همان‌طور که در شکل (5)، مشاهده می‌شود با افزایش میزان رطوبت میزان روشنایی (شاخص L^*) کاهش یافت، زیرا با افزایش محتوای رطوبت میزان انبساط فراورده اکسترود شده کاهش می‌یابد [27]. هم‌چنین با افزایش محتوای رطوبت میزان قرمزی فراورده (شاخص a^*) (شکل 6) و میزان زردی (شاخص b^*) (شکل 7) کاهش یافت که این امر به دلیل کاهش واکنش‌های قهوه‌ای

حداقل میزان سختی (4/528 نیوتن) در رطوبت 12 درصد، سرعت ماریچ 120 دور در دقیقه و دمای محفظه 180 درجه سانتی‌گراد به دست آمد. سختی فراورده اکسترود شده نوعی ادراک انسانی است و به میزان انبساط و ساختار سلول‌های محصول بستگی دارد. سختی مقدار بیشینه نیروی مورد نیاز پروب برای نفوذ به داخل فراورده می‌باشد. هرچه میزان بیشینه نیرو بیش‌تر باشد میزان سختی بیش‌تر است. سختی با افزایش محتوای رطوبت افزایش یافت. سایر محققان هم به نتایج مشابه دست یافتند [23، 24]. این امر ممکن است به دلیل کاهش میزان انبساط در اثر افزایش رطوبت باشد. افزایش دمای محفظه با کاهش ویسکوزیته ماده ذوب شده ممکن است میزان رشد حباب‌های هوایی که در حال شکل‌گیری هستند را کاهش داده باشد و محصولی نرم‌تر با انبساط بیش‌تر و دانسیته و سفتی کم‌تر تولید کند [25]. محصولی با دانسیته پایین‌تر به صورت طبیعی سختی کم‌تری دارد. همبستگی زیادی بین دانسیته توده و سختی مشاهده شده است [25، 26]. تأثیر سرعت ماریچ بر سختی ممکن است به دلیل تأثیر آن بر میزان انبساط فراورده اکسترود شده باشد. دلیل دیگر می‌تواند این باشد که افزایش سرعت ماریچ با کاهش ویسکوزیته ماده ذوب شده و افزایش حجم منجر به تولید حباب‌های یکنواخت با دیواره نازک می‌شوند که منجر به کاهش سختی بافت می‌شود [25]. کاهش میزان سختی با افزایش سرعت ماریچ در پژوهش‌های انجام شده در مورد فراورده‌های اکسترود شده ذرت [22] و جو [27] نیز گزارش شده است. با توجه به پارامترهای دارای اثر

با توجه به این که آرد خلر زرد رنگ است، با افزایش دما (شکل 7) به دلیل تخریب و از بین رفتن رنگدانه میزان زردی فراورده (شاخص b^*) کاهش یافت. روابط 10-12، معادله مدل‌های برازش داده شده در مورد شاخص‌های رنگ می‌باشند.

$$L^* = 63/28 - 2/88 A \quad (10)$$

$$a^* = 5/07 - 0/81 A + 0/72 B + 0/64 C - 0/31 BC \quad (11)$$

$$b^* = 31/15 - 0/65 A - 0/76 B - 0/19 C + 0/40 A^2 - 0/67 B^2 - 0/19 AB - 0/80 AC \quad (12)$$

3-4- اثر بر شاخص جذب روغن (OAI)

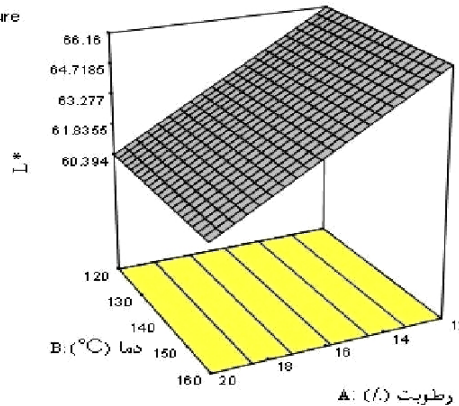
برای OAI مدل چند جمله‌ای درجه یک با $p < 0/0001$

شدن (واکنش میلارد) می‌باشد. سرعت ماریپیج اثر معنی‌داری بر میزان روشنایی نداشت، اما به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش قرمزی (شکل 8) و کاهش زردی (شکل 9) فراورده شد. افزایش سرعت ماریپیج باعث افزایش نیروی برشی می‌شود، اما مدت زمانی را که محصول در محفظه اکسترودر باقی می‌ماند کاهش می‌دهد. نیروی برشی بالاتر دمای فراورده را افزایش داده که منجر به واکنش‌های قهوه‌ای شدن میلارد می‌شود. اما با کاهش زمان ماندن محصول در اکسترودر، زمانی که خمیر در معرض اعمال حرارت قرار می‌گیرد کاهش می‌یابد و در نتیجه محصول روشن‌تری تولید می‌شود [27]. افزایش دما با توجه به شکل (6) منجر به اکسید شدن رنگدانه‌های حبوبات شد و در نتیجه با ایجاد رنگدانه‌های قهوه‌ای بر شاخص a^* تأثیر گذاشته و منجر به افزایش قرمزی محصول گردید [28].

DESIGN-EXPERT Plot

L*
X = A: moisture
Y = B: temperature

Actual Factor
C: speed = 150

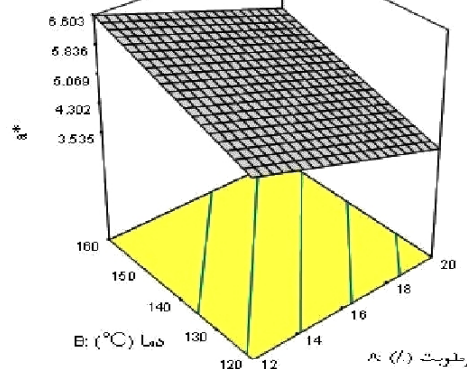


شکل (5) اثر رطوبت بر شاخص L^*

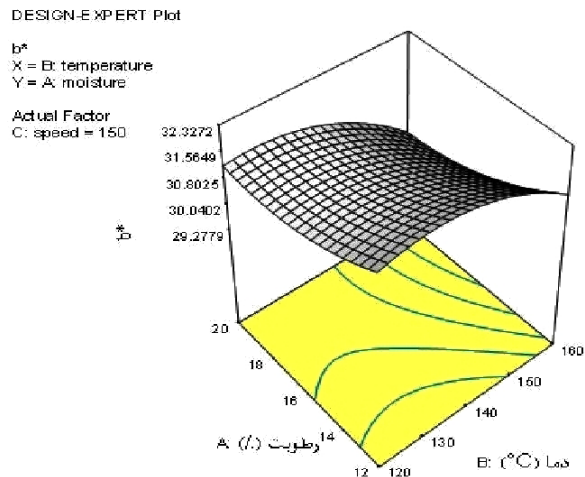
DESIGN-EXPERT Plot

a^*
X = A: moisture
Y = B: temperature

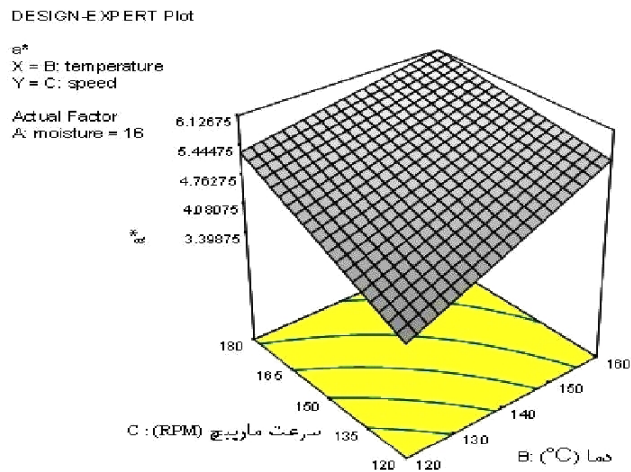
Actual Factor
C: speed = 150



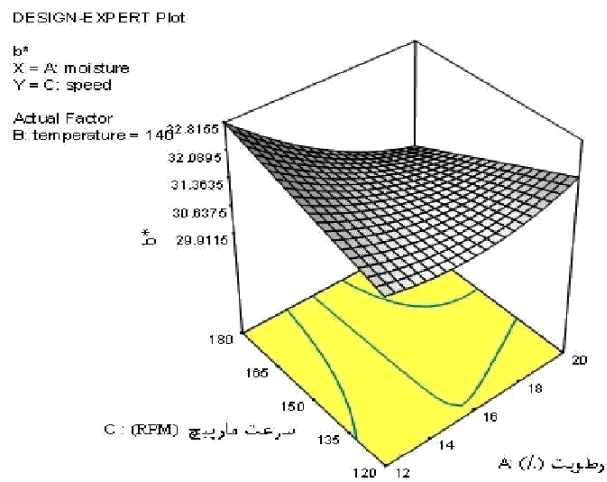
شکل (6) اثر رطوبت و دما بر شاخص a^*



شکل (7) اثر متقابل رطوبت-دما بر شاخص b*



شکل (8) اثر متقابل دما-سرعت مارپیچ بر شاخص a*



شکل (9) اثر متقابل رطوبت-سرعت مارپیچ بر شاخص b*

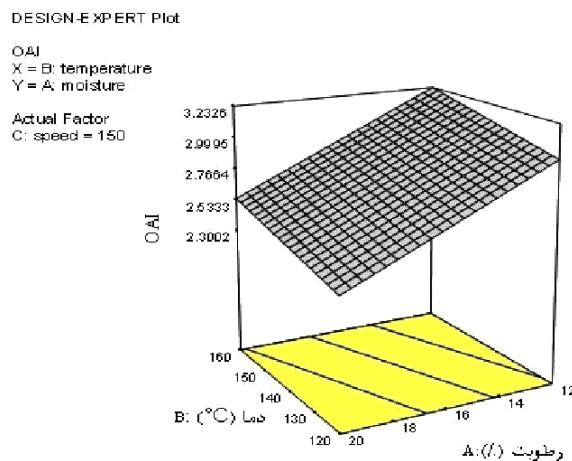
تجزیه مولکولی و در نتیجه اندیس جذب روغن را کاهش می‌دهد. در سوی مقابل افزایش سرعت مارییج (شکل 11) نیز ممکن است به دلیل افزایش تنش برشی و افزایش دکستریته کردن نشاسته موجب افزایش اندیس جذب روغن شود. نتایج مشابهی نیز در مطالعه بر روی آرد ذرت و آرد ذرت-عدس [18] اکستروود شده مشاهده شد. با توجه به پارامترهای دارای اثر معنی‌دار، رابطه (13) معادله مدل برازش داده شده در مورد OAI می‌باشد:

$$OAI = +2/77 - 0/34 A + 0/12 B + 0/32 C - 0/24 AC \quad (13)$$

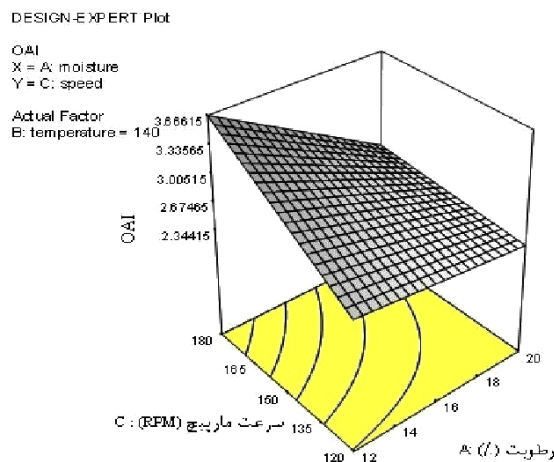
3-5- آزمایش حسی

بر اساس جدول (3) مدل‌های چند جمله‌ای درجه دوم برای پذیرش ظاهر، پذیرش بافت، طعم و پذیرش کلی و مدل خطی برای پذیرش رنگ معنی‌دار شدند. در مورد پذیرش ظاهر، با

پاسخ معنی‌دار بوده است (جدول 2). میزان OAI با افزایش دما و کاهش محتوای رطوبت افزایش یافت (شکل 10). افزایش دمای اکستروژن میزان پخت را افزایش می‌دهد که با دکستریته کردن نشاسته منجر به تشکیل مولکول‌های کوچک‌تر می‌گردد. حضور این مولکول‌ها می‌تواند مسئول افزایش OAI باشد [29]. در حالت کلی OAI می‌تواند به عنوان شاخص آنگریزی فرآورده اکستروود شده مورد استفاده قرار گیرد. نتایج حاصل با نتایج به دست آمده برای فرآورده‌های اکستروود شده حاصل از برنج و لوبیا هم‌خوانی داشت [31, 30]. افزایش رطوبت به دلیل نقش پلاستی‌سایزری سبب کاهش اثر دما بر ماده شده و در نتیجه درجه پخت و میزان دکستریته شدن را کاهش می‌دهد و به دلیل کم‌تر شدن مولکول‌های کوچک مسئول جذب روغن، اندیس جذب روغن کاهش می‌یابد [18]. همچنین افزایش رطوبت به دلیل کاهش ویسکوزیته و زمان ماند ماده در داخل اکستروودر،



شکل (10) اثر رطوبت و دما بر شاخص OAI



شکل (11) اثر متقابل رطوبت-سرعت مارییج بر شاخص OAI

آمد. پذیرش طعم با افزایش رطوبت کاهش، با افزایش دما تا 140 درجه سانتی‌گراد و افزایش سرعت مارپیچ افزایش یافت. داده‌های حاصل از آزمون‌های حسی (جدول 4) با داده‌های حاصل از آزمون بافت، تخلخل و رنگ مطابقت داشت. معادلات 14-17 مربوط به آزمون‌های حسی می‌باشد:

$$(14) \quad \text{پذیرش طعم} = + 3/68 + 0/17 A - 0/39 B - 0/080 C - 0/93 A^2 - 0/74 BC$$

$$(15) \quad \text{رنگ} = + 3/62 - 0/30 B + 0/45 C - 0/60 B^2 - 0/35 C^2 - 0/57 BC$$

$$(16) \quad \text{بافت} = + 3/05 + 0/35 A + 0/25 B + 0/95 C$$

$$(17) \quad \text{طعم} = + 3/37 - 0/22 A - 0/036 B + 0/29 C - 0/72 B^2 - 0/29 AC - 0/46 BC$$

جدول (3) آنالیز واریانس مربوط به آزمایش حسی

| منبع | احتمال p (پذیرش ظاهر) | احتمال p (پذیرش رنگ) | احتمال p (پذیرش بافت) | احتمال p (پذیرش طعم) | احتمال p (پذیرش کلی) |
|---------------------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| مدل | <0/0001** | <0/0001** | <0/0001** | <0/0001** | <0/0001** |
| رطوبت A | 0/0925 | - | 0/0028* | 0/0001* | 0/4948 |
| دما B | 0/0012* | 0/0008* | 0/0228* | 0/3882 | 0/4620 |
| سرعت مارپیچ C | 0/4150 | <0/0001** | <0/0001** | <0/0001** | 0/0040* |
| A ² | <0/0001** | - | - | - | - |
| B ² | - | - | * | 0/0003 | - |
| C ² | - | 0/0136 | - | - | - |
| AB | - | - | - | - | 0/0003* |
| AC | - | - | - | <0/0001** | - |
| BC | <0/0001** | <0/0001** | - | <0/0001** | <0/0001** |
| ضعف برازش | 0/9116 ^{Sn} | 0/7799 ^{Sn} | 0/3570 ^{Sn} | 0/3355 ^{Sn} | 0/7821 ^{Sn} |
| مدل معنی‌دار | مدل چند جمله‌ای درجه دوم | چند جمله‌ای درجه دوم | خطی | چند جمله‌ای درجه دوم | چند جمله‌ای درجه دوم |
| R ² | 0/8922 | 0/9311 | 0/8735 | 0/9673 | 0/9296 |
| R ² _(adj) | 0/8537 | 0/9065 | 0/8498 | 0/9522 | 0/8971 |
| CV | 9/38 | 6/99 | 10/29 | 4/24 | 5/97 |

* معنی‌داری در سطح 95%

** معنی‌داری در سطح 99%

^{ns} عدم معنی‌داری

افزایش رطوبت تا 16 درصد پذیرش ظاهر از جانب ارزیاب افزایش یافت این امر می‌تواند به دلیل تخلخل مناسب فرآورده اکستروود شده‌ها باشد و در رطوبت‌های بالای 16 درصد میزان پذیرش کاهش یافت. با افزایش دما و سرعت مارپیچ نیز میزان پذیرش ظاهر کاهش یافت. با افزایش دما تا 140 درجه سانتی‌گراد، میزان پذیرش رنگ از طرف ارزیابان به دلیل افزایش شاخص زردی و نزدیک بودن رنگ فرآورده به رنگ فرآورده اکستروود شده‌های رایج در بازار افزایش یافت و در دماهای بالاتر امتیازات حسی کم‌تری دریافت نمود. هم‌چنین با افزایش سرعت مارپیچ به دلیل افزایش شاخص زردی و قرمزی، میزان پذیرش رنگ افزایش یافت. با افزایش دما و سرعت مارپیچ میزان سختی فرآورده کاهش پیدا کرد به همین دلیل پذیرش مصرف‌کننده روند افزایشی از خود نشان داد. زیرا سختی کم از ویژگی‌های مناسب فرآورده اکستروود شده‌ها محسوب می‌شود. با افزایش رطوبت، میزان سختی با شیب ملایمی افزایش پیدا کرد که این سختی ملایم به دلیل ایجاد بافت دهانی مناسب، مطلوب

$$(18) \quad \begin{aligned} &= 3/19 - 0/038 A \\ &- 0/041 B + 0/19 C - 0/65 B^2 + 0/30 AB - 0/48 BC \end{aligned}$$

4- نتیجه گیری

فناوری پخت اکستروژن در مجموع منجر به ایجاد ویژگی‌های مطلوب در آرد خلر شد. با توجه به این که فراورده اکستروود شده از لحاظ ظاهری ساختاری مشابه فراورده اکستروود شده‌ها دارد لذا از نظر بافت و تخلخل باید ویژگی مناسبی داشته باشد. با توجه به مطالعات انجام شده تخلخل فراورده با افزایش رطوبت کاهش یافت و محصول بافتی متراکم به خود گرفت و سختی افزایش یافت. افزایش دما و سرعت چرخش مارپیچ منجر به کاهش میزان سختی فراورده شد. در این بین اثرگذاری سرعت چرخش مارپیچ بر کاهش سختی بیش‌تر از سایر متغیرها بود. پارامترهای مربوط به رنگ نیز با تغییر رطوبت، سرعت چرخش مارپیچ و دما تغییرات محسوسی از خود نشان دادند. شاخص روشنایی، زردی و قرمزی با افزایش رطوبت ورودی کاهش یافت. سرعت چرخش مارپیچ و دما بر شاخص‌های زردی و قرمزی تأثیرگذار بودند. بیش‌ترین میزان تأثیرگذاری مربوط به دما بود. میزان روشنایی رنگ فراورده از ویژگی‌های مهم مورد نظر به‌منظور استفاده در فرمولاسیون‌ها می‌باشد که رطوبت بیش‌ترین تأثیر را بر آن دارد. در کم‌ترین میزان رطوبت (12 درصد) بیش‌ترین میزان روشنایی حاصل شد. لذا می‌توان

با کنترل دما و رطوبت محصول مناسب با رنگ مطلوب ایجاد کرد. آرد خلر با توجه به خصوصیات عملکردی مناسب می‌تواند به‌عنوان پرکننده مطلوب در فراورده‌های گوشتی استفاده شود. فراوری آرد خلر به کمک روش اکستروژن سبب بهبود خصوصیات فیزیکی‌کوشیمیایی و حسی آن شد. شاخص جذب روغن یکی از خصوصیات مهم آرد می‌باشد. میزان شاخص جذب روغن با افزایش دما، سرعت چرخش مارپیچ و کاهش محتوای رطوبت افزایش یافت. در این بین بیش‌ترین اثر مربوط به میزان رطوبت بود. آزمون حسی بخش بسیار مهمی برای تصمیم‌گیری در ارتباط با انتخاب دما، رطوبت ورودی و سرعت چرخش مارپیچ به‌منظور تولید محصول می‌باشد. به این دلیل که سلیقه مصرف‌کننده سهم بسیار مهمی در تولید محصول جدید دارد. فراورده اکستروود شده خلر امتیازات حسی مناسبی از سوی ارزیابان دریافت کرد، اما می‌توان با کنترل متغیرها محصول مناسب‌تری از نظر خصوصیات حسی تولید کرد. شرایط فرایند به‌منظور تولید محصولی با تخلخل، بافت، رنگ، جذب روغن و پذیرش کلی مناسب شامل رطوبت 12 درصد، دمای 137 درجه سانتی‌گراد و سرعت چرخش مارپیچ 137 دور در دقیقه می‌باشد. در این شرایط مناسب‌ترین تخلخل، سختی، رنگ، بیش‌ترین میزان پذیرش کلی و کم‌ترین میزان جذب روغن را خواهیم داشت.

جدول (4) میزان امتیاز حسی برای تیمارهای مختلف

| شماره ران | پذیرش ظاهری | پذیرش رنگ | پذیرش بافت | پذیرش طعم | پذیرش کلی | شماره ران | پذیرش ظاهری | پذیرش رنگ | پذیرش بافت | پذیرش طعم | پذیرش کلی |
|-----------|-------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 1 | 3/11 | 2/5 | 3/5 | 2/5 | 2/5 | 11 | 1/5 | 2/53 | 4 | 3 | 2 |
| 2 | 3/59 | 3 | 2 | 3/15 | 3 | 12 | 3/92 | 3/5 | 4 | 3/5 | 3/5 |
| 3 | 3/97 | 3/5 | 2/5 | 2/5 | 2/5 | 13 | 3/1 | 3/5 | 3 | 3/5 | 3 |
| 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 14 | 3/12 | 3/5 | 3/5 | 3 | 3 |
| 5 | 1/5 | 2/21 | 4 | 2/39 | 2 | 15 | ¼ | 4 | 3/5 | 3/5 | 3/44 |
| 6 | 4 | 3/5 | 3 | 3/23 | 3/5 | 16 | 3/5 | 3/5 | 3/5 | 3/29 | 3 |
| 7 | 2/33 | 3/5 | 2/5 | 2/97 | 3/5 | 17 | 3/45 | 4 | 4 | 3/5 | 3/5 |
| 8 | 3/5 | 3/5 | 3 | 3/29 | 3/5 | 18 | 3/98 | 4 | 3/5 | 3/28 | 3/45 |
| 9 | 3/5 | 2/5 | 2/5 | 2/89 | 3/1 | 19 | 2/59 | 2 | 1 | 1/92 | 2/4 |
| 10 | 2/48 | 1/71 | 2/5 | 2 | 1/5 | 20 | 3/01 | 2/5 | 2 | 2/67 | 2/5 |

- [9] Ravindran, G., Carr, A., Hardacre, A. (2011). A comparative study of the effects of three galactomannans on the functionality of extruded pea-rice blends. *Food Chem.*, 124(4), 1620-1626.
- [10] Kasprzak, M., Rzedzicki, Z. (2008). Application of everlasting pea wholemeal in extrusion-cooking technology. *Int. Agrophys*, 22, 339-347.
- [11] Meng, X., Threinen, D., Hansen, M., Driedger, D. (2010). Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. *Food Res. Int.*, 43(2): 650-658.
- [12] Hood-Niefer, S. D., Tyler, R. T. (2010). Effect of protein, moisture content and barrel temperature on the physicochemical characteristics of pea flour extrudates. *Food Res. Int.*, 43(2): 659-663.
- [13] Osen, R., Toelstede, S., Eisner, P., Schweiggert-Weisz, U. (2015). Effect of high moisture extrusion cooking on protein-protein interactions of pea (*Pisum sativum L.*) protein isolates. *Int. J. Food Sci. Tech.*, 50(6): 1390-1396.
- [14] Dandamrongrak, R., Young, G., Senadeera, W. (2011). Experimental investigation on extruded snack products from rice and mung bean: Optimization of parameters. In Proceedings of the 5th Nordic Drying Conference, 1-5.
- [15] Suksomboon, A., Limroongreungrat, K., Sangnark, A., Thititumjariya, K., Noomhorm, A. (2011). Effect of extrusion conditions on the physicochemical properties of a snack made from purple rice (Hom Nil) and soybean flour blend. *Int. J. Food Sci. Tech.*, 46(1): 201-208.
- [16] AACC. (2000). Approved methods of the American association of cereal chemists. 10th ed. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- [1] Ravindran, G., Carr, A., Hardacre, A. (2011). A comparative study of the effects of three galactomannans on the functionality of extruded pea-rice blends. *Food Chem.*, 124(4), 1620-1626.
- [2] Tiwari, B.K., Gowen, A. McKenna, B. eds. (2011). *Pulse foods: Processing, quality and nutraceutical applications*. Academic Press. 214-216
- [3] Nayak, B., Berrios, J.D.J., Powers, J.R., Tang, J. (2011). Effect of extrusion on the antioxidant capacity and color attributes of expanded extrudates prepared from purple potato and yellow pea flour mixes. *J. Food Sci.*, 76(6), C874-C883.
- [4] Qayyum, M.M.N., Butt, M.S., Anjum, F.M., Nawaz, H. (2012). Composition analysis of some selected legumes for protein isolates recovery. *J. Anim Plant Sci.*, 22(4). 222-242
- [5] Simons, C.W., Hall, C., Tulbek, M., Mendis, M., Heck, T., Ogunyemi, S., (2014). Acceptability and characterization of extruded pinto, navy and black beans. *J. Sci. Food Agr.*
- [6] Rathod, R.P., Annature, U.S. (2016). Effect of extrusion process on antinutritional factors and protein and starch digestibility of lentil splits. *LWT-Food Sci Technol.*, 66, 114-123.
- [7] Alonso, R., Orue, E., Marzo, F. (1998). Effects of extrusion and conventional processing methods on protein and antinutritional factor contents in pea seeds. *Food Chem.*, 63(4), 505-512.
- [8] Osen, R., Toelstede, S., Wild, F., Eisner, P., Schweiggert-Weisz, U. (2014). High moisture extrusion cooking of pea protein isolates: Raw material characteristics, extruder responses, and texture properties. *J. Food Eng.*, 127, 67-74.

- based expanded snacks. *J. Food Eng.*, 73(2), 142-148.
- [26] Bhattacharya, S. (1997). Twin-screw extrusion of rice-green gram blend: Extrusion and extrudate characteristics. *J. Food Eng.*, 32(1), 83-99.
- [27] Liu, Y., Hsieh, E., 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(7), 1253-1259.
- [28] Estrada-Girón, Y., Aguilar, J., Morales-del Rio, J.A., Valencia-Botin, A.J., Guerrero-Beltrán, J.A., Martínez-Preciado, A.H., Macías, E.R., Soltero, J.F.A., Solorza-Feria, J., Fernández, V.V.A. (2014). Effect of moisture content and temperature, on the rheological, microstructural and thermal properties of masa (dough) from a hybrid corn (*Zea mays sp.*) variety. *Rev. Mex. Ing. Quim.*, 13(2), 429-446.
- [29] Drago, S.R., Velasco-González, O.H., Torres, R.L., González, R.J., Valencia, M.E. (2007). Effect of the extrusion on functional properties and mineral dialyzability from *Phaseolus vulgaris* bean flour. *PlantFood Hum. Nutr.*, 62(2), 43-48.
- [30] Gujska, E., Khan, K. (1990). Effect of temperature on properties of extrudates from high starch fractions of navy, pinto and garbanzo beans. *J. Food Sci.*, 55, 466-469.
- [31] Kadan, R.S., Bryant, R.J., Pepperman, A.B. (2003). Functional properties of extruded rice flours. *J. Food Sci.*, 68(5), 1669-1672.
- [17] Yağcı, S., Göğüş, 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(1), 122-132.
- [18] Lazou, A., Krokida, M. (2010). Structural and textural characterization of corn-lentil extruded snacks. *J. Food Eng.*, 100(3): 392-408
- [19] Bourne, M.C. (2002). Food Texture and Viscosity: Concept and measurement. Academic Press, 2thed. New York, 50-70.
- [20] Siddiq, M., Kelkar, S., Harte, J.B., Dolan, K.D., Nyomba, G. (2013). Functional properties of flour from low-temperature extruded navy and pinto beans (*Phaseolus vulgaris L.*). *LWT-Food Sci. Technol.*, 50(1), 215-219.
- [21] Maninder, K., Sandhu, K.S., Singh, N. (2007). Comparative study of the functional, thermal and pasting properties of flours from different field pea (*Pisum sativum L.*) and pigeon pea (*Cajanus cajan L.*) cultivars. *Food Chem.*, 104(1), 259-267.
- [22] Giannini, A.N., Krokida, M.K., Bisharat, G.I., (2013). Structural properties of corn-based extrudates enriched with plant fibers. *Int. J. Food Prop.*, 16(3), 667-683.
- [23] Altan, A., McCarthy, K. L., Maskan, M. (2008). Evaluation of snack foods from barley-tomato pomace blends by extrusion processing. *J. Food Eng.*, 84(2), 231-242.
- [24] Ding, Q.-B., Ainsworth, P., Plonkell, A., Tucker, G., Marson, H. (2005). The effect of extrusion on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice based expanded snacks. *J. Food Eng.*, 66, 283-289.
- [25] Ding, Q. B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G., Marson, H. (2006). The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-