

## بررسی تأثیر آرد سورگوم اکستروودشده و هیدروکلوئیدها بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کوکی فاقد گلوتن

نسیم حسن پور<sup>۱</sup>، آرش کوچکی<sup>۲\*</sup>، محبت محبی<sup>۳</sup>، الناز میلانی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران  
۲و۳- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران  
\* نویسنده مسئول (koocheki@um.ac.ir)  
۴- استادیار، گروه پژوهشی فرآوری مواد غذایی، جهاددانشگاهی مشهد، مشهد، ایران

### چکیده

بیماری سلیاک یک بیماری خودایمن گوارشی است که در اثر هضم پروتئین گلوتن ایجاد می‌شود و تنها راه درمان آن استفاده از یک رژیم غذایی فاقد گلوتن است. از این رو هدف از انجام این پژوهش بررسی امکان استفاده از آرد سورگوم (اکستروودشده و نشده) و صمغ‌های زانتان و قدومه شهری با غلظت‌های صفر، ۰/۳، ۰/۶ و ۱/۰ درصد به منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کوکی فاقد گلوتن بود. ویژگی‌های محصول نهایی مانند نسبت گسترش پذیری، خصوصیات بافتی، دمای ژلاتیناسیون و آنتالپی کل، رنگ، درصد تخلخل، ضخامت پوسته و ارزیابی حسی در قالب یک طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که کوکی حاوی آرد سورگوم اکستروودشده و ۰/۳ درصد صمغ قدومه شهری کمترین میزان  $L^*$  را دارا بود. نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکستروودنشده بالاترین میزان چسبندگی و سفتی بافت خمیر را داشت و میزان سفتی بافت کوکی‌ها بعد از پخت در نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکستروودشده از سایر نمونه‌ها کمتر بود و کوکی به دست آمده از آن بافت نرم‌تری داشت. همچنین کوکی‌های حاوی آرد سورگوم اکستروودشده و صمغ قدومه شهری بالاترین میزان نسبت گسترش پذیری، درصد تخلخل و ضخامت پوسته را دارا بودند و با افزایش غلظت صمغ‌ها این ویژگی‌ها بهبود یافتند. پذیرش کلی کوکی‌های حاوی آرد سورگوم اکستروودشده به طور معنی داری از کوکی‌های حاوی آرد سورگوم اکستروودنشده بیشتر بود ( $P \leq 0.05$ ). بنابراین آرد سورگوم اکستروودشده می‌تواند ترکیب مناسبی برای تولید کوکی فاقد گلوتن باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۵

### واژه‌های کلیدی

زانتان

سلیاک

سورگوم اکستروود

قدومه شهری

کوکی

### مقدمه

بیماری سلیاک، نوعی بیماری گوارشی است که به پرزهای روده کوچک آسیب می‌رساند و سبب اختلال در جذب مواد مغذی می‌شود. افرادی که به بیماری سلیاک مبتلا هستند پروتئین‌هایی مانند گلیادین

گندم<sup>۱</sup>، سکالین<sup>۲</sup> چاودار، هوردنین<sup>۳</sup> جو و آویدین<sup>۴</sup> یولاف را نمی‌توانند، مصرف کنند (Gallagher et al., 2004). زمانی که بیماران مبتلا به سلیاک، غذاهای حاوی گلوتن مصرف می‌کنند، سیستم ایمنی بدن آنها

<sup>1</sup> Gliadin

<sup>2</sup> Secalin

<sup>3</sup> Hordein

<sup>4</sup> Avidin

خام مانند غلات است (Riha *et al.*, 1996). از جمله مزایای اکستروژن کردن هزینه پایین، زمان کوتاه، بهره‌وری بالا و صرفه‌جویی در مصرف انرژی است (Faraj *et al.*, 2004). فرایند اکستروژن کردن سبب تولید محصولی با خصوصیات بافتی و تغذیه‌ای بهتر می‌شود به‌عنوان مثال پاستای حاصل از آرد برنج اکستروژن شده و سایر مواد افزودنی دیگر بافت و خصوصیات تغذیه‌ای بهتری داشتند همچنین فرایند اکستروژن در محصولات فاقد گلوتن سبب بهبود سطح پروتئین، فیبر و تولید نشاسته مقاوم در این نوع محصولات از طریق کنترل شرایط اکستروژن مانند درجه حرارت، سرعت خوراک‌دهی و دور ماریج می‌شود (Paykary *et al.*, 2012). همچنین عنوان شده است که فرایند اکستروژن کردن در محصولات فاقد گلوتن مانند نان حاوی آرد ذرت اکستروژن شده رطوبت بالاتر و بافت نرم‌تر و همگن‌تری نسبت به نان بدون گلوتن حاوی آرد ذرت غیراکستروژن داشته است (Ozola *et al.*, 2011). نشاسته منبع مهم‌ترین کربوهیدرات در رژیم غذایی محسوب می‌شود. بخشی از نشاسته توسط آنزیم‌های موجود در دستگاه گوارش هضم نمی‌شود که به این بخش، نشاسته مقاوم<sup>۱</sup> (RS) گفته می‌شود. فاکتورهای مختلفی شکل‌گیری (RS) را تحت تأثیر قرار می‌دهند از آن جمله می‌توان به ویژگی‌های مربوط به نشاسته، حرارت و رطوبت، واکنش با سایر ترکیبات و شرایط نگهداری و فراوری اشاره کرد. از اثرات نشاسته مقاوم بر سلامتی بدن جلوگیری از سرطان روده بزرگ و کاهش کلسترول و قند است. در حین فرایند اکستروژن، مورفولوژی و ساختار مولکولی گرانول‌های نشاسته باتوجه به رطوبت، درجه حرارت پخت و انرژی مکانیکی ورودی دچار تغییر می‌شود (Riha *et al.*, 1996). فرایند اکستروژن سبب تولید RS3 می‌شود. این نوع نشاسته بیشتر شامل آمیلوز رتروگراده<sup>۲</sup> شده است که طی سرد کردن نشاسته ژلاتینه شده حاصل می‌شود. گرانول‌های نشاسته در شکل‌گیری RS3 به‌صورت کاملاً هیدراته وجود دارند. شرایطی که در آن رتروگراداسیون<sup>۳</sup> رخ

پاسخی را به‌صورت تخریب روده کوچک صادر می‌کند (Fasano & Catassi, 2001). از این رو، امروزه باتوجه به اینکه تنها راه درمان این بیماری استفاده از یک رژیم غذایی بدون گلوتن است، مطالعه‌های پیرامون تولید مواد غذایی بدون گلوتن به‌ویژه محصولات صنایع پخت که قوت غالب افراد جامعه را تشکیل می‌دهد از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از غلاتی که قابلیت استفاده در رژیم غذایی این افراد را دارد، سورگوم می‌باشد.

سورگوم یکی از غلات مهم است و طبق آمار گزارش شده از ۴۴ میلیون هکتار زمین در سال ۲۰۰۴ حدود ۶ میلیون تن دانه سورگوم برداشت شده است (FAO, 2004) اغلب در مناطق نیمه‌خشک رشد می‌کند و به‌عنوان یک محصول مهم در آفریقا (نیجریه، سودان، بورکینافاسو و اتیوپی)، آسیا (هند، چین و ایران)، و قسمت‌های خشک مرکزی و جنوب آمریکا (Dendy, 1995) محسوب می‌شود. در مناطق جنوب خراسان، سیستان و بلوچستان، کرمان، اصفهان، یزد، گیلان، مازندران و بنادر جنوبی به‌طور پراکنده وجود دارد. برآورد شده است که حدود ۴۰ درصد از سورگوم تولیدشده در جهان، مصرف خوراکی برای انسان دارد (Rooney & Waniska, 2000).

دانه سورگوم به لحاظ ارزش تغذیه‌ای معادل ارزن، ذرت، گندم و برنج است و از لحاظ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مشابه گندم می‌باشد (Awika *et al.*, 2004)، از این رو، در تولید فراورده‌های نانویی می‌توان از سورگوم به‌عنوان جایگزین آرد گندم در تولید محصولات بدون گلوتن استفاده کرد. در این محصولات، به‌منظور بهبود طعم و بافت نان، از خمیر ترش استفاده می‌کنند و کیفیت محصولات نانویی حاوی سورگوم به میزان آمیلوز کل، آمیلوز محلول و همچنین محتوی پروتئین وابسته است. قدرت تورم و قابلیت انحلال نشاسته نیز بر کیفیت پخت سورگوم مؤثر است (Taylor *et al.*, 2006).

از سوی دیگر می‌توان خصوصیات غلات از جمله سورگوم را با استفاده از روش‌های فیزیکی و حرارتی اصلاح کرد از جمله این روش‌ها فرایند اکستروژن می‌باشد که یک فرایند حرارتی است که شامل استفاده از حرارت و فشار بالا و نیروهای برشی به توده مواد

<sup>1</sup> Resistant Starch

<sup>2</sup> Retrograded

<sup>3</sup> Retrogradation

### تهیه آرد سورگوم

سورگوم سفید، مورد استفاده در این مطالعه، از بازار محلی در زابل خریداری شد. دانه‌های سورگوم ابتدا به صورت دستی از لحاظ شکل، اندازه، شکسته و نابالغ بودن دانه، گردوغبار، شن و ماسه، سنگ و دیگر مواد خارجی تمیز می‌شوند. حدود ۱۰ کیلوگرم سورگوم را ابتدا با آب شسته شد و در آن (Memmert, 154 Beschickung-loading, Model ) 100-800 با دمای ۳۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۸/۲۷ درصد به مدت ۲ روز خشک شد. در مرحله بعد با استفاده از آسیاب سایشی آزمایشگاهی (آسیاب توس شکن خراسان، ساخت ایران) و مش ۰/۵۹۹ میلی‌متر عمل آردکردن صورت گرفت و در نهایت آرد سورگوم به دست آمده که حاوی ۹ درصد رطوبت، ۱۰/۵ درصد پروتئین، ۳/۲۵ درصد چربی و ۱/۶۴ درصد خاکستر بود در کیسه‌های پلی‌اتیلن بسته‌بندی و در یخچال نگهداری شدند. به منظور فرایند اکستروودکردن از دستگاه اکسترودر (دومارپیچ با چرخش هم‌جهت مدل DS56، ساخت شرکت Saxin Jinan، چین) با دمای ۱۶۰-۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۱۴ درصد، سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه، خوراک‌دهی ۴۰ گرم در دقیقه و ماتریس دایره‌ای به قطر ۵ میلی‌متر استفاده شد و در مرحله آخر با استفاده از آسیاب سایشی و مش ۰/۵۹۹ میلی‌متر عمل آردکردن صورت گرفت و در نهایت آرد سورگوم به دست آمده در کیسه‌های پلی‌اتیلن بسته‌بندی و در یخچال نگهداری شدند (Jafri et al., 2017).

### استخراج صمغ قدومه شهری

صمغ دانه قدومه شهری با استفاده از آب با دمای ۴۸ درجه سانتی‌گراد، pH=۸ و نسبت آب به دانه ۳۰ به ۱ در طی یک ساعت به وسیله دستگاه آب‌میوه‌گیر (پارس خزر مدل آووکادو، ساخت ایران) استخراج و به وسیله آن هوای داغ (گروک<sup>۱</sup> ساخت آلمان) (SO, 2005) در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شد (Koocheki et al., 2009).

می‌دهد، تعیین‌کننده ساختار کریستالی RS3 می‌باشد. RS3 به دلیل عملکردهای تغذیه‌ای، فیزیکی و پایداری حرارتی بالا به‌عنوان یک جزء غذایی عملگر در صنایع غذایی بسیار مطرح است (Riha et al., 1996). از جمله موارد کاربرد نشاسته مقاوم افزایش تردی غلات صبحانه‌ای و طولانی نمودن زمان پایداری آنها را پیش از نرم شدن در مجاورت مایعات (مانند شیر یا آب‌میوه) می‌باشد. به‌علاوه این نوع نشاسته بخصوص در تهیه غذاهای با حجم زیاد و کالری کم (رژیمی) هم قابل استفاده است (Seker & Hana, 2006). همچنین نشاسته یا آرد اکستروودشده باعث بهبود مواد غذایی ویژگی‌های می‌شوند.

به‌منظور جبران حذف گلوتن در کیفیت فراورده‌های پخت، باید از ترکیبات هیدروکلوئیدی و پلیمری استفاده نمود تا ویژگی‌های ویسکوالاستیک مورد نیاز گلوتن را تأمین نماید (Anton et al., 2008). در واقع هیدروکلوئیدها در فرمولاسیون نان‌های بدون گلوتن به‌عنوان اجزاء پلیمری عمل کرده و در آب متورم‌شده و ساختاری معادل شبکه گلوتن در خمیر گندم، ایجاد می‌کنند و در نتیجه ویسکوالاستیک ویژگی‌های گلوتن در خمیر نان گندم را تأمین می‌کنند (Gambus et al., 2007).

بنابراین باتوجه به مطالعه‌های صورت گرفته و نیاز جامعه به تولید محصولات بدون گلوتن صنایع پخت هدف از انجام این پژوهش بررسی امکان تولید کوکی بدون گلوتن آرد سورگوم (اکستروودشده و اکستروودنشده) و اثر صمغ‌های زانتان و قدومه شهری بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی این محصول بود.

### مواد و روش‌ها

سورگوم سفید از بازار محلی در زابل با رطوبت ۱۰/۳۴ درصد، دانه قدومه شهری از یک عطاری در مشهد، صمغ زانتان از شرکت سیگما (امریکا) و آرد گندم نول قنادی از شرکت آرد تجارت (تهران، ایران) با رطوبت ۱۴ درصد، پروتئین ۹ تا ۱۰/۵ درصد، خاکستر ۰/۴۵ درصد و گلوتن ۲۶ درصد و سایر مواد از بازار محلی مشهد خریداری شدند.

<sup>۱</sup> GROUC

## آماده‌سازی خمیر کوکی

ترکیبات تشکیل‌دهنده خمیر کوکی شامل آرد گندم با ۱۴ درصد رطوبت (۴۷/۶۱ درصد)، شکر (۲۷/۵۱ درصد)، شورتنینگ (مارگارین) (۱۳/۵۴ درصد)، محلول دکستروز (۶/۹۸ درصد، ۹/۸ گرم دکستروز در ۱۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر)، بی‌کربنات سدیم (۰/۵۳ درصد)، نمک (۰/۴۴ درصد)، آب به میزان لازم (براساس جذب آب فارینوگراف) بود (Guptaa et al., 2011). در این پژوهش از آرد سورگوم به صورت اکستروژده و غیراکستروژده با درصدهای صفر و ۱۰۰ درصد به جای آرد گندم استفاده شد. همچنین از ۲ صمغ قدومه شهری و زانتان به نسبت‌های صفر، ۰/۳، ۰/۶ و ۱/۰ درصد استفاده شد. کلیه مواد تشکیل‌دهنده فرمولاسیون به دقت وزن شدند و به کمک دستگاه مخلوط‌کن (مایسون مدل MFP-740S، ساخت چین) در دمای اتاق به خوبی مخلوط شدند. ابتدا شورتنینگ، نمک و سدیم کربنات با سرعت پایین به مدت ۳ دقیقه مخلوط و سپس محلول دکستروز و آب مقطر به مخلوط اضافه شد و به مدت ۱ دقیقه با سرعت پایین و ۱ دقیقه با سرعت متوسط مخلوط شدند و در نهایت آرد به صورت کامل به مخلوط اضافه شد و به مدت ۲ دقیقه با سرعت پایین مخلوط شدند. بعد از عمل مخلوط‌شدن، ۶ قسمت خمیر (۳۵ گرم) روی سینی تفلون چرب‌شده قرار گرفت و به کمک وردنه تا ضخامت ۰/۷ سانتی‌متر نازک شدند و در آخر به کمک قالب دایره‌ای شکل به قطر ۶ سانتی‌متر خمیر برش خورد و خمیر اضافی جدا و در نهایت وزن کوکی‌ها ثبت شد (Guptaa et al., 2011) و در دستگاه مایکروویو (ال‌جی مدل D-WCR3853، ساخت کره) با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۴ دقیقه عمل پخت صورت گرفت.

## اندازه‌گیری نسبت گسترش پذیری

نسبت گسترش کوکی با استفاده از روش AACC 10-52 اندازه‌گیری شد (AACC, 2000). برای این منظور ۶ عدد کوکی لبه‌به‌لبه در کنار هم قرار گرفتند و قطر کل آنها اندازه‌گیری شد، سپس کوکی‌ها ۹۰ درجه چرخانده شدند و مجدد قطر کوکی‌ها اندازه‌گیری شد و مقدار میانگین دو اندازه‌گیری محاسبه شد.

اندازه‌گیری اول میانگین قطر و اندازه‌گیری دوم میانگین ضخامت کوکی‌ها است. نسبت این دو نشان‌دهنده نسبت گسترش‌پذیری است (Jia et al., 2011).

## اندازه‌گیری خصوصیات بافتی خمیر و کوکی

مقدار سفتی و چسبندگی و قابلیت جویدن خمیر کوکی به وسیله دستگاه سنجش‌بافت (مدل TA.XTplus، ساخت انگلستان) اندازه‌گیری شد. آزمون TPA با استفاده از پروب استوانه‌ای به قطر ۶ میلی‌متر انجام شد. میزان نفوذ پروب به داخل بافت نمونه ۲ میلی‌متر بود. این عمل در ۳ تکرار در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد با میزان بارگذاری ۵ کیلوگرم، سرعت قبل آزمون ۱ میلی‌متر در ثانیه، سرعت آزمون ۲ میلی‌متر در ثانیه و سرعت بعد از آزمون ۱۰ میلی‌متر در ثانیه انجام شد و پارامترهای قابلیت جویدن، چسبندگی و سفتی بافت خمیر اندازه‌گیری شد (Walker et al., 2012). به منظور اندازه‌گیری سفتی بافت بعد از پخت از دستگاه سنجش‌بافت استفاده شد. برای این منظور از پروب استوانه‌ای به قطر ۵ میلی‌متر استفاده شد. سرعت قبل آزمون ۱ میلی‌متر در ثانیه، سرعت آزمون ۵/۰ میلی‌متر در ثانیه و عمق نفوذ ۵ میلی‌متر و میزان بارگذاری ۵۰ کیلوگرم بود (Bassinello et al., 2011).

## اندازه‌گیری دمای ژلاتیناسیون و آنتالپی کل

به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های حرارتی از دستگاه آنالیز گرماسنجی افتراقی (DSC<sup>۱</sup>) (DSC 204 F1، ساخت آلمان) استفاده شد. برای این منظور حدود ۱۲ میلی‌گرم نمونه ابتدا تا دمای ۷ درجه سانتی‌گراد سرد شد و سپس تا دمای ۱۵۷ درجه سانتی‌گراد با سرعت حرارت‌دهی ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه حرارت دید (Abboud & Hosene, 1984). با استفاده از ترموگرام‌های به دست آمده دمای گذار شیشه‌ای و آنتالپی ژلاتیناسیون<sup>۲</sup> اندازه‌گیری شد.

## اندازه‌گیری رنگ

رنگ و پارامترهای بافت تصویر با استفاده از پردازش

<sup>1</sup> Differential Scanning Calorimetry

<sup>2</sup> Gelatinization

استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد. همچنین آنالیز داده‌ها با ۳ تکرار و با استفاده از نرم‌افزار Spss 18 انجام شد.

### نتایج و بحث

#### نسبت گسترش‌پذیری

همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکستروودشده به‌طور معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) نسبت گسترش‌پذیری بیشتری نسبت به سایر آردها داشت و دلیل آن میزان رطوبت بالا و درصد تخلخل بالاتر نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکستروودشده است. در بین صمغ‌ها نمونه‌های حاوی صمغ قدومه شهری بیشترین میزان نسبت گسترش‌پذیری را دارا بود و با افزایش غلظت صمغ نسبت گسترش‌پذیری روند افزایشی داشت. آرد سورگوم غیراکستروود نسبت گسترش‌پذیری کمتری نسبت به آرد گندم و آرد سورگوم اکستروودشده داشت و علت آن می‌توان چسبندگی بالای خمیر کوکی حاصل از آن و میزان رطوبت پایین آن باشد. Suma و همکاران (۲۰۱۴) خصوصیات فیزیکی و تغذیه‌ای کوکی حاصل از آرد ارزن مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که اضافه‌کردن آرد ارزن برای تولید کوکی فاقد گلوتن سبب کاهش نسبت گسترش‌پذیر شده است در واقع گلوتن سبب افزایش قطر و نسبت گسترش‌پذیری بود و فقدان آن تأثیر منفی بر این ویژگی‌ها دارد و آنچه که در محصولات فاقد گلوتن می‌تواند بر قطر و نسبت گسترش‌پذیری مؤثر باشد مقدار آب در دسترس است (Suma et al., 2014) که با افزودن صمغ‌ها به فرمولاسیون محصولات فاقد گلوتن می‌توان این مشکل را جبران کرد. فرایند اکستروودکردن سبب افزایش جذب آب خمیر سورگوم شد و به همین علت نسبت گسترش‌پذیر کوکی حاصل از آن بیشتر بود.

تصویر اندازه‌گیری شد. روش کار شامل تنظیم سیستم نورپردازی و استفاده از دوربین با وضوح تصاویر بالا و نرم‌افزار فتوشاپ، ایمج جی<sup>۱</sup> برای به‌دست‌آوردن پارامترهای رنگ بود (Naji-Tabasi & Mohebbi, 2014).

#### اندازه‌گیری تخلخل و قطر پوسته کوکی

برای ارزیابی میزان تخلخل مغز کوکی از تکنیک پردازش تصویر استفاده شد. بدین‌منظور برشی به ابعاد ۲×۲ سانتی‌متر از مغز کوکی تهیه گردید و به‌وسیله دوربین با وضوح تصاویر بالا، تصویربرداری انجام شد. سپس تصویر تهیه‌شده در اختیار نرم‌افزار ایمج جی قرار گرفت. تصاویر موجود در این نرم‌افزار، مجموعه‌ای از نقاط تاریک و روشن است که با محاسبه نسبت نقاط روشن به تاریک به‌عنوان شاخصی از میزان تخلخل در نمونه‌ها برآورد می‌گردد (Haralick et al., 1973). جهت اندازه‌گیری ضخامت پوسته کوکی، ابتدا برش‌هایی از مقطع عرضی کوکی تهیه و عکس‌های دیجیتالی از آنها گرفته شد. به‌منظور تبدیل واحد پیکسل به میلی‌متر قبل از تهیه عکس‌ها، یک قطعه با ابعاد مشخص در کنار نمونه قرار گرفت. سپس عکس‌ها وارد نرم‌افزار ایمج جی شدند و ابتدا طول قطعه‌هایی که ابعاد مشخص داشت در واحد پیکسل اندازه‌گیری و نسبت تبدیل آن به میلی‌متر به‌دست آمد بعد از این مرحله، ضخامت پوسته نمونه‌های مختلف اندازه‌گیری شد (قیطران‌پور، ۱۳۹۲).

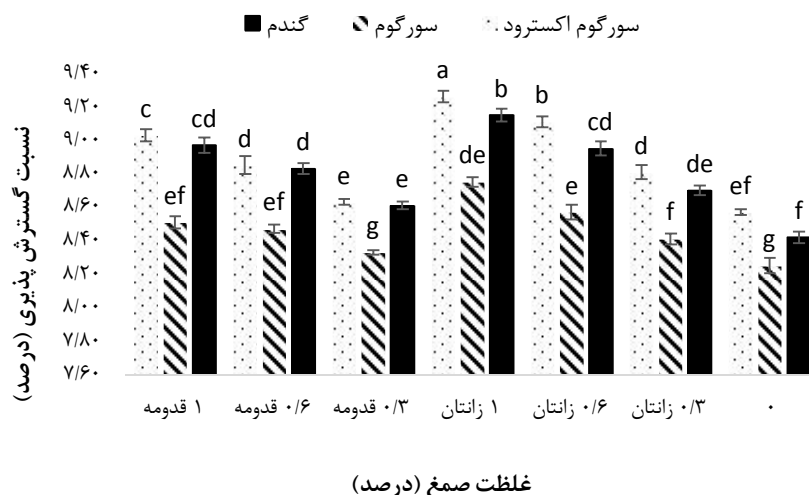
#### ارزیابی حسی

برای انجام ارزیابی حسی از ۲۰ نفر داور استفاده می‌شود و ارزیابی حسی به روش هدونیک ۵ نقطه انجام می‌شود. ویژگی‌های حسی مورد ارزیابی شامل رنگ، بو، سفتی، طعم و پذیرش کلی کوکی‌ها بود (Ronda et al., 2005).

#### تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری نتایج با استفاده از آزمون فاکتوریل طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با

<sup>1</sup> Image J

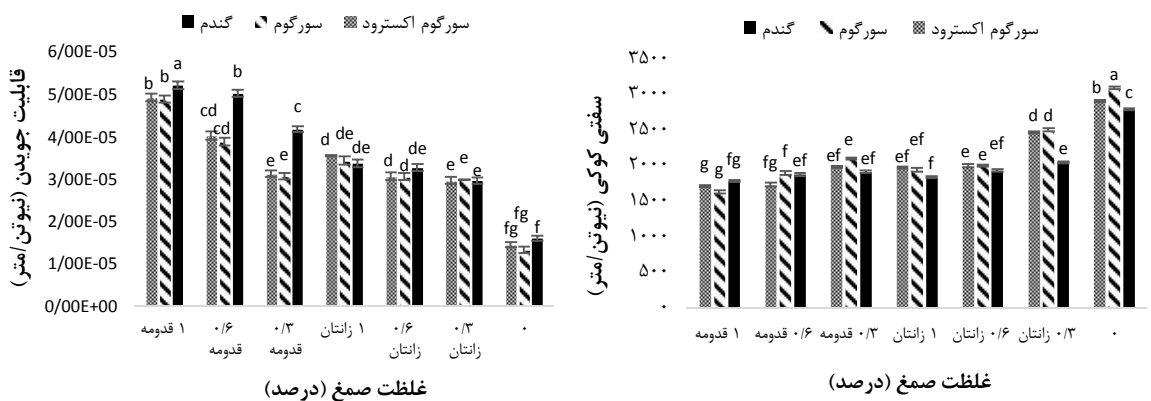
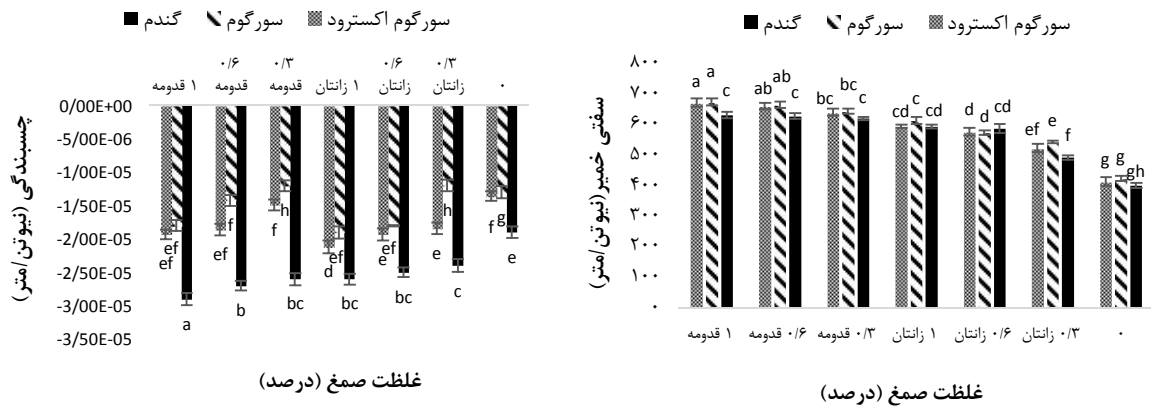


شکل ۱ - نسبت گسترش پذیری کوکی با تیمارهای مختلف. تیرک‌های ترسیم‌شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است. حروف آماری مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است.

داشتند. مطابق با جدول (۱) مشاهده شد که میزان سفتی بافت کوکی بعد از پخت در نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکستروده کمترین میزان بود و نمونه‌های حاوی صمغ قدمه شهری نیز میزان سفتی بافت کمتری نسبت به نمونه‌های حاوی صمغ زانتان داشتند. همچنین مشاهده شده که با افزایش غلظت صمغ‌ها به‌طور معنی‌داری ( $P \leq 0/05$ ) این پارامتر کاهش یافته است. این خصوصیات بافتی متفاوت می‌تواند ناشی از تفاوت در خصوصیات فیزیکی شیمیایی و خصوصیات گرانول‌های نشاسته آرد سورگوم و آرد گندم باشد (Singh et al., 2003). در این مطالعه همان‌طور که در شکل (۲) هیدروکلوئیدها مقدار رطوبت کوکی‌ها را به‌طور معنی‌داری ( $P \leq 0/05$ ) افزایش دادند و این بهبود در رطوبت محصول توسط هیدوکلوئیدها می‌تواند به توانایی احتباس آب این پلیمرها و خاصیت آب‌دوستی آنها نسبت داد (Bárcenas et al., 2005).

### خصوصیات بافتی

شکل (۲) خصوصیات بافتی خمیر و کوکی را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود میزان قابلیت جویدن خمیر کوکی با افزودن آرد سورگوم (اکستروده و نشده) کاهش یافت و نمونه‌های حاوی صمغ قدمه شهری بیشترین میزان قابلیت جویدن را دارا بودند و با افزایش غلظت صمغ‌ها این پارامتر نیز افزایش یافت. میزان چسبندگی و سفتی خمیر نیز به‌طور معنی‌داری ( $P \leq 0/05$ ) با افزایش آرد سورگوم (اکستروده و نشده) افزایش یافت و نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکستروده بالاترین میزان چسبندگی و سفتی بافت خمیر را دارا بودند البته همان‌طور که مشاهده می‌شود در سفتی خمیر کوکی بین تیمار سورگوم اکستروده و نشده تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. همچنین با افزایش غلظت صمغ‌ها میزان چسبندگی خمیر کاهش یافت ولی میزان سفتی بافت خمیر افزایش یافت و نمونه‌های حاوی صمغ قدمه شهری میزان سفتی بافت بیشتری



شکل ۲- خصوصیات بافتی خمیر کوکی و کوکی با تیمارهای مختلف. تیرک‌های ترسیم‌شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است. حروف آماری مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است.

رطوبت بالاتری را دارند و دیرتر بیات می‌شوند در واقع حضور مقدار بیشتر آب به هم پیوستن و رسوب زنجیره‌های آمیلوز که منجر به واپس‌گرایی نشاسته می‌شود را کاهش می‌دهد (Katina et al., 2006). میانگین آنتالپی که نشان‌دهنده کریستالیزاسیون مجدد نشاسته است در نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکسترو نشده از سایر تیمارها بیشتر بود و این نشان می‌دهد که واپس‌گرایی نشاسته در این نمونه‌ها بیشتر صورت گرفته است. تحقیق‌های انجام‌شده میزان آنتالپی را در آزمون DSC معادل میزان نشاسته واپس‌گرا شده دانسته و آن را مقدار انرژی لازم برای ذوب کریستال‌های نشاسته واپس‌گرا شده دانسته‌اند (Giovanelli et al., 1997). حضور مقدار بیشتر رطوبت در محیط در اثر فرایند اکسترو کردن و افزودن صمغ‌ها سبب کاهش پیوستن زنجیره‌های آمیلوز و رسوب آنها و در نهایت منجر به واپس‌گرایی

### دمای ژلاتیناسیون و آنتالپی

نتایج مربوط به دمای ژلاتیناسیون و آنتالپی در جدول (۱) مشاهده می‌شود. طبق نتایج به دست آمده دمای ژلاتیناسیون با افزودن آرد سورگوم (اکسترو شده و نشده) به طور معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) افزایش یافت و فرایند اکسترو کردن موجب افزایش دمای ژلاتیناسیون از  $73/7$  به  $111/2$  درجه سانتی‌گراد شد. همچنین نمونه‌های حاوی صمغ قدومه شهری دمای ژلاتیناسیون بالاتری داشتند و با افزایش غلظت صمغ دمای ژلاتیناسیون به طور معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) افزایش یافت. بررسی‌ها نشان می‌دهد که فرایند اکسترو کردن سبب افزایش جذب آب آرد می‌شود لذا کوکی‌هایی که از چنین آردی حاصل می‌شود رطوبت خود را مدت زمان بیشتری حفظ کرده و دیرتر سفت و بیات می‌شود. نمونه‌های حاوی هیدروکلوئیدها نیز به دلیل ماهیت فیزیکوشیمیایی این ترکیبات میزان

می‌شود به عبارتی علاوه بر نگهداری رطوبت و کاهش سفتی باعث کاهش واپس‌گرایی نیز می‌شود و در مجموع از بیاتی در طول نگهداری می‌کاهد (Gray & Bemiller, 2003).

جدول ۱- دمای ژلاتیناسیون و آنتالپی کوکی با تیمارهای مختلف

تیمار	گندم		سورگوم		سورگوم اکستروود	
	دمای ژلاتیناسیون (درجه سانتی‌گراد)	آنتالپی (ژول/گرم)	دمای ژلاتیناسیون (درجه سانتی‌گراد)	آنتالپی (ژول/گرم)	دمای ژلاتیناسیون (درجه سانتی‌گراد)	آنتالپی (ژول/گرم)
صفر درصد	۶۳/۸±۰/۸۹ <sup>c</sup>	۳۰۲/۶۵±۲۱/۱۴ <sup>f</sup>	۷۳/۷±۰/۴۸ <sup>c</sup>	۳۶۷/۳۶±۲۲/۵۶ <sup>f</sup>	۱۱۱/۲±۱/۱۳ <sup>c</sup>	۱۴۷/۷۹±۱۴/۷۸ <sup>d</sup>
۰/۳ درصد زانتان	۶۴/۹±۰/۷۵ <sup>d</sup>	۳۲۵/۲۱±۱۲/۴۳ <sup>e</sup>	۷۳/۷±۱/۳۲ <sup>c</sup>	۴۶۶/۲۹±۲۷/۵۴ <sup>e</sup>	۱۱۳/۹±۱/۷۵ <sup>d</sup>	۱۹۱/۹۹±۲۱/۳۳ <sup>b</sup>
۰/۶ درصد زانتان	۶۸/۹±۱/۰۵ <sup>c</sup>	۳۷۶/۹۴±۲۴/۵۱ <sup>c</sup>	۷۳/۹±۱/۱۷ <sup>c</sup>	۵۶۶/۲۹±۲۴/۲۵ <sup>b</sup>	۱۱۵/۸±۰/۷۳ <sup>c</sup>	۱۱۸/۶۰±۱۶/۴۵ <sup>e</sup>
۱ درصد زانتان	۶۹/۰±۱/۲۲ <sup>c</sup>	۱۲۴/۳۱±۱۳/۷۶ <sup>e</sup>	۷۴/۵±۰/۹۳ <sup>d</sup>	۵۲۰/۷۲±۱۴/۶۵ <sup>d</sup>	۱۱۶/۶±۰/۸۱ <sup>c</sup>	۱۸۱/۹۳ <sup>f</sup> ۱۲۹/۵۱±
۰/۳ درصد قدومه	۷۰/۷±۰/۶۴ <sup>b</sup>	۵۹۶/۴۰±۱۶/۷۹ <sup>a</sup>	۷۷/۳±۱/۴۶ <sup>c</sup>	۵۸۵/۷۶±۱۶/۳۵ <sup>a</sup>	۱۱۶/۷±۱/۲۴ <sup>c</sup>	۱۴۰/۲۲±۱۶/۳۶ <sup>e</sup>
۰/۶ درصد قدومه	۷۱/۹±۰/۹۴ <sup>b</sup>	۳۵۳/۱۶±۲۵/۶۱ <sup>d</sup>	۸۱/۵±۱/۵۸ <sup>b</sup>	۵۵۷/۳۸±۱۸/۴۷ <sup>c</sup>	۱۲۰/۵±۰/۹۲ <sup>b</sup>	۲۱۸/۶۲±۱۴/۹۵ <sup>a</sup>
۱ درصد قدومه	۷۳/۹±۰/۷۱ <sup>a</sup>	۴۲۰/۳۱±۱۳/۹۸ <sup>b</sup>	۱۰۴/۴±۰/۸۸ <sup>a</sup>	۱۳۱/۵۱±۲۱/۳۴ <sup>e</sup>	۱۲۵/۹±۱/۰۳ <sup>a</sup>	۱۸۲/۶۸±۱۹/۳۲ <sup>c</sup>

\* حروف نشان‌دهنده مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف است.

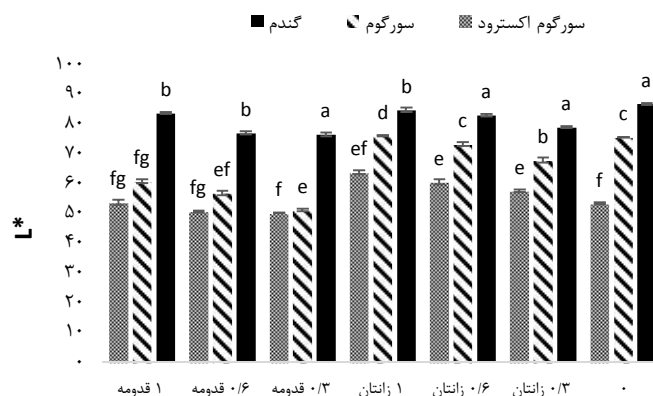
\*\* حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح ( $P \leq 0/05$ ) تفاوت معنی‌داری ندارند.

## رنگ

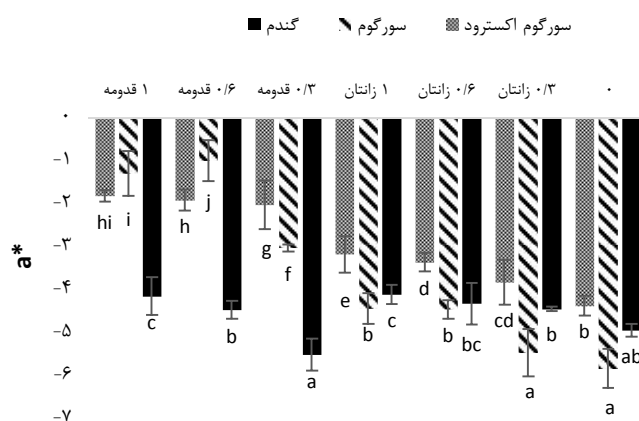
رنگ یکی از فاکتورهای مهم در پذیرش کلی محصول توسط مصرف‌کننده است. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود بیشترین میزان  $L^*$  مربوط به نمونه‌های حاوی آرد گندم است و نمونه‌های حاوی آرد سورگوم و آرد سورگوم اکستروود شده به ترتیب کمترین میزان  $L^*$  را دارا بودند و نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان می‌دهد که آرد سورگوم (اکستروود شده و نشده) به‌طور معنی‌داری ( $P \leq 0/05$ )  $L^*$  کوکی‌ها کاهش داده است و در مقابل میزان  $a^*$  و  $b^*$  روند افزایشی داشته است. علت کاهش  $L^*$  به‌وسیله آرد سورگوم (اکستروود شده و نشده) مربوط به ترکیبات و اجزاء موجود در پوسته و یا هسته دانه سورگوم است که هرچه عمل آسیاب کردن کامل‌تر انجام گیرد میزان این ترکیبات تیره نیز کمتر خواهد بود (Torres et al., 1993). همچنین واکنش‌های قهوه‌ای شدن مایلارد در حین فرایند اکستروود کردن و کاراملیزاسیون قند هم می‌تواند ایجاد پیگمان‌های رنگی در حین پخت کند (Sacchetti et al., 2004) و میزان روشنایی نمونه‌ها را کاهش دهد. نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌های حاوی

آرد سورگوم اکستروود و ۰/۳ درصد صمغ قدومه شهری کمترین میزان  $L^*$  را داشت و بیشترین مقدار  $a^*$  و  $b^*$  در کوکی‌های حاوی آرد سورگوم اکستروود شده و ۱ درصد صمغ قدومه شهری مشاهده شد. کوکی‌های حاوی صمغ زانتان میزان  $L^*$  بیشتری نسبت به نمونه‌های حاوی صمغ قدومه شهری داشتند. همان‌طور که در شکل (۳) دیده می‌شود مقادیر  $a^*$  و  $b^*$  به‌طور معنی‌داری ( $P \leq 0/05$ ) با افزایش غلظت صمغ‌ها افزایش یافتند. از طرفی با افزایش غلظت صمغ‌ها میزان  $L^*$  نمونه‌ها به دلیل افزایش ظرفیت بالای نگهداری آب توسط صمغ‌ها افزایش داشت. به‌طور کلی این دسته از مواد با حفظ رطوبت و ممانعت از خروج رطوبت در حین پخت سبب کاهش تغییرات سطح پوسته محصول می‌شوند که این امر می‌تواند در افزایش مقدار  $L^*$  مؤثر باشد به‌طوری‌که Purlis و Salvadori (۲۰۰۹) بیان کردند که تغییرات سطح محصول مسئول روشنایی است و سطوح منظم و صاف نسبت به سطوح چین‌دار توانایی بیشتری در انعکاس نور و افزایش  $L^*$  دارند.

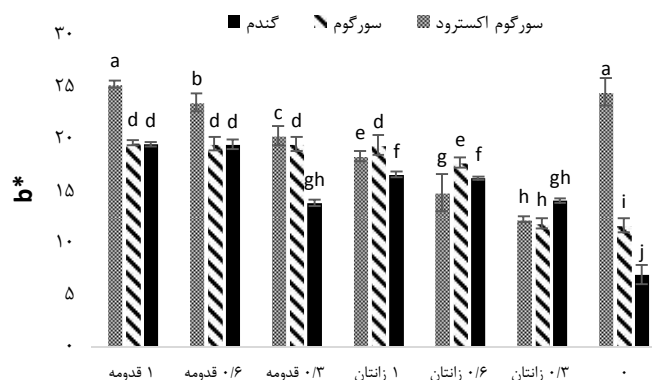




غلظت صمغ (درصد)



غلظت صمغ (درصد)



غلظت صمغ (درصد)

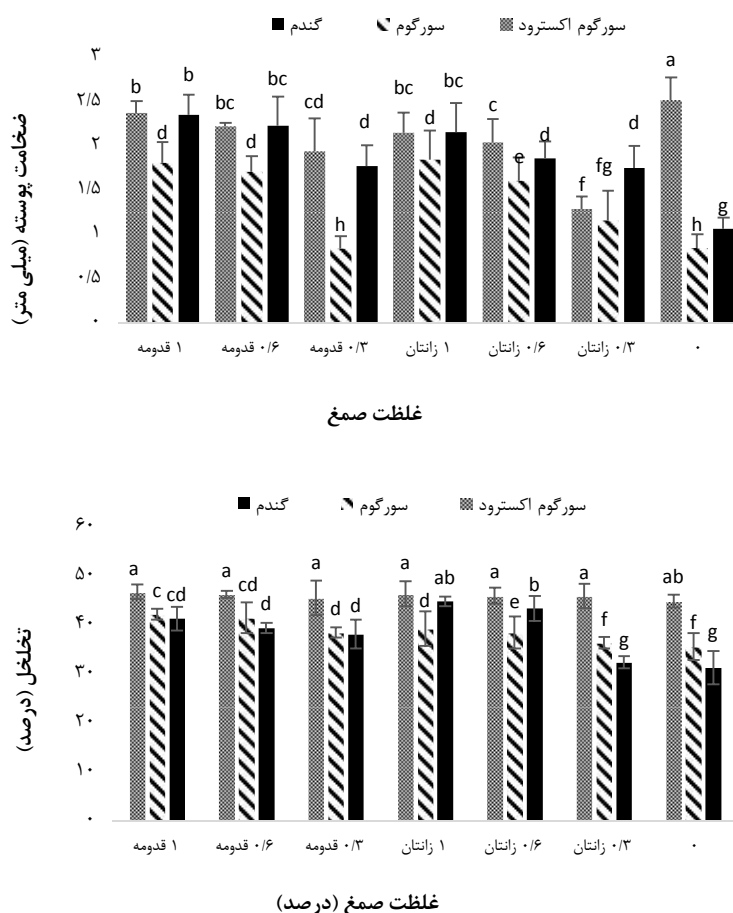
شکل ۳- ویژگی‌های رنگی کوکی با تیمارهای مختلف. تیرک‌های ترسیم‌شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است. حروف آماری مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است.

میزان تخلخل در نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکسترو شده به‌طور معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) از سایر

تخلخل و ضخامت پوسته نتایج مشاهده شده در شکل (۴) نشان می‌دهد که

تیمارهاست. شکل (۴) نشان می‌دهد که با افزایش غلظت صمغ‌های زانتان و قدومه شهری میزان ضخامت پوسته افزایش یافت و کوکی‌های حاوی صمغ قدومه شهری بیشترین میزان ضخامت پوسته را دارا بود. در بین آردها نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکستروده به‌طور معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) ضخامت پوسته بیشتری داشت و دلیل آن میزان رطوبت بالاتر آن نسبت به سایر تیمارهاست چرا که در حین پخت خروج آب به‌صورت بخار سریع‌تر و بیشتر صورت می‌گیرد و پوسته نیز سریع‌تر و بیشتر شکل می‌گیرد.

تیمارها بیشتر است و در بین صمغ‌ها، کوکی‌های حاوی صمغ قدومه شهری میزان تخلخل بیشتری داشتند و همچنین با افزایش غلظت صمغ‌ها درصد تخلخل روند افزایشی داشت. به‌طورکلی هرچه میزان رطوبت بالاتر باشد در حین پخت خروج رطوبت سریع‌تر و بیشتر صورت می‌گیرد و در نتیجه درصد تخلخل نیز افزایش می‌یابد و چون صمغ‌ها و فرایند اکستروژن موجب افزایش رطوبت نمونه‌ها می‌شود درصد تخلخل در نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکستروژن و غلظت‌های بالای صمغ‌ها بیشتر از سایر



شکل ۴- میزان تخلخل و ضخامت پوسته کوکی با تیمارهای مختلف. تیرک‌های ترسیم‌شده روی نقاط، نشان‌دهنده انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری شده است. حروف آماری مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است.

رطوبت، عطر و طعم و پذیرش کلی) را داشتند که علت آن می‌تواند مربوط به نسبت اندازه ذرات نامطلوب، آسیب ناشیافته، میزان چربی و آب در کوکی‌های فاقد گلوتن دانست. نتایج نشان دادند که پذیرش کلی نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکستروژن بالاتر از آرد

#### ارزیابی حسی

نتایج مربوط به آنالیز حسی در جدول (۲) مشاهده می‌شود. همان‌طور که دیده می‌شود کوکی‌های حاوی آرد سورگوم (اکستروژن و نشده) میزان نمره‌های پایین‌تری از نظر آنالیز حسی (رنگ، سفتی، میزان

صمغ‌ها میزان پذیرش کلی نمونه‌ها افزایش یافت و پذیرش کلی نمونه‌های حاوی صمغ زانتان از نمونه‌های حاوی صمغ قدومه شهری بیشتر بود.

سورگوم اکسترو نشده است. باین‌حال تمامی کوکی‌های فاقد گلوتن نمره‌های قابل قبولی برای تمامی ویژگی‌ها داشتند. همچنین با افزایش غلظت

جدول ۲- آنالیز حسی کوکی با تیمارهای مختلف

تیمار	رنگ	سفتی	طعم	آروما	پذیرش کلی
گندم صفر درصد	۴/۳±۰/۲۳ <sup>a</sup>	۴/۸±۱/۳۲ <sup>a</sup>	۴/۳±۰/۷۶ <sup>a</sup>	۴/۵±۰/۳۴ <sup>a</sup>	۴/۶±۰/۲۲ <sup>q</sup>
گندم ۰/۳ درصد زانتان	۴/۲±۰/۳۷ <sup>ab</sup>	۴/۶±۰/۹۸ <sup>b</sup>	۴/۲±۰/۵۲ <sup>ab</sup>	۴/۲±۰/۲۶ <sup>b</sup>	۴/۳±۰/۵۳ <sup>b</sup>
گندم ۰/۶ درصد زانتان	۴/۱±۰/۷۸ <sup>b</sup>	۴/۴±۰/۸۵ <sup>c</sup>	۴/۲±۰/۹۴ <sup>ab</sup>	۴/۱±۰/۸۴ <sup>b</sup>	۴/۲±۰/۶۴ <sup>b</sup>
گندم ۱ درصد زانتان	۴/۲±۰/۴۴ <sup>ab</sup>	۴/۲±۰/۷۵ <sup>d</sup>	۴/۱±۰/۲۳ <sup>b</sup>	۴/۲±۰/۲۴ <sup>b</sup>	۴/۲±۰/۵۴ <sup>b</sup>
گندم ۰/۳ درصد قدومه	۴/۰±۰/۵۲ <sup>c</sup>	۴/۱±۰/۴۸ <sup>de</sup>	۴/۲±۰/۵۳ <sup>ab</sup>	۴/۱±۰/۴۱ <sup>bc</sup>	۴/۱±۰/۶۱ <sup>c</sup>
گندم ۰/۶ درصد قدومه	۴/۱±۱/۰۴ <sup>b</sup>	۴/۰±۰/۸۶ <sup>e</sup>	۴/۱±۰/۷۴ <sup>b</sup>	۴/۰±۰/۳۶ <sup>c</sup>	۴/۰±۰/۵۲ <sup>cd</sup>
گندم ۱ درصد قدومه	۴/۱±۰/۹۷ <sup>b</sup>	۴/۰±۰/۴۷ <sup>e</sup>	۴/۰±۰/۸۱ <sup>bc</sup>	۴/۰±۰/۶۵ <sup>c</sup>	۴/۰±۰/۸۷ <sup>cd</sup>
سورگوم صفر درصد	۳/۵±۰/۷۳ <sup>fg</sup>	۳/۵±۱/۴۱ <sup>gh</sup>	۳/۲±۰/۹۳ <sup>c</sup>	۳/۱±۰/۸ <sup>g</sup>	۳/۰±۰/۹۷ <sup>g</sup>
سورگوم ۰/۳ درصد زانتان	۳/۷±۰/۵۱ <sup>de</sup>	۳/۸±۰/۷۵ <sup>f</sup>	۳/۴±۱/۳۴ <sup>de</sup>	۳/۴±۰/۸۷ <sup>ef</sup>	۳/۲±۱/۲۳ <sup>fg</sup>
سورگوم ۰/۶ درصد زانتان	۳/۸±۰/۸۸ <sup>d</sup>	۳/۸±۰/۴۳ <sup>f</sup>	۳/۵±۰/۹۶ <sup>d</sup>	۳/۵±۰/۹۹ <sup>e</sup>	۳/۵±۰/۹۲ <sup>ef</sup>
سورگوم ۱ درصد زانتان	۳/۸±۰/۹۱ <sup>d</sup>	۴/۰±۰/۷۵ <sup>e</sup>	۳/۸±۰/۴۴ <sup>c</sup>	۳/۷±۱/۱۵ <sup>d</sup>	۳/۷±۰/۳۲ <sup>de</sup>
سورگوم ۰/۳ درصد قدومه	۳/۶±۱/۲۳ <sup>e</sup>	۳/۵±۰/۸۸ <sup>gh</sup>	۳/۴±۰/۵۱ <sup>de</sup>	۳/۳±۰/۸۴ <sup>f</sup>	۳/۵±۰/۵۴ <sup>ef</sup>
سورگوم ۰/۶ درصد قدومه	۳/۶±۰/۳۵ <sup>e</sup>	۳/۶±۰/۶۱ <sup>g</sup>	۳/۵±۰/۹۱ <sup>d</sup>	۳/۴±۰/۵۶ <sup>ef</sup>	۳/۷±۰/۳۱ <sup>de</sup>
سورگوم ۱ درصد قدومه	۳/۸±۰/۴۵ <sup>d</sup>	۳/۶±۰/۴۴ <sup>g</sup>	۳/۵±۰/۴۲ <sup>d</sup>	۳/۵±۰/۳۴ <sup>e</sup>	۳/۸±۰/۸۹
سورگوم اکسترو صفر درصد	۳/۱±۰/۶۷ <sup>h</sup>	۴/۱±۰/۳۷ <sup>de</sup>	۳/۰±۰/۳۵ <sup>f</sup>	۳/۵±۰/۲۷ <sup>e</sup>	۳/۵±۰/۶۲ <sup>e</sup>
سورگوم اکسترو ۰/۳ درصد زانتان	۳/۰±۱/۲۲ <sup>ij</sup>	۴/۲±۰/۵۶ <sup>d</sup>	۳/۱±۰/۲۸ <sup>ef</sup>	۳/۶±۰/۶۳ <sup>de</sup>	۳/۳±۰/۹۱ <sup>c</sup>
سورگوم اکسترو ۰/۶ درصد زانتان	۳/۰±۰/۸۷ <sup>ij</sup>	۴/۲±۰/۷۴ <sup>d</sup>	۳/۲±۰/۷۱ <sup>e</sup>	۳/۷±۰/۸۸ <sup>d</sup>	۳/۷±۰/۷۴ <sup>de</sup>
سورگوم اکسترو ۱ درصد زانتان	۲/۹±۰/۶۲ <sup>j</sup>	۴/۳±۰/۹۱ <sup>cd</sup>	۳/۲±۰/۸۹ <sup>e</sup>	۳/۷±۰/۴۲ <sup>d</sup>	۳/۶±۰/۵۴ <sup>e</sup>
سورگوم اکسترو ۰/۳ درصد قدومه	۲/۸±۰/۸۱ <sup>k</sup>	۴/۱±۰/۴۵ <sup>de</sup>	۳/۰±۰/۷۰ <sup>f</sup>	۳/۵±۰/۷۱ <sup>e</sup>	۳/۲±۰/۳۵ <sup>fg</sup>
سورگوم اکسترو ۰/۶ درصد قدومه	۲/۵±۱/۳۱۱	۴/۰±۰/۸۳ <sup>c</sup>	۳/۰±۰/۶۱ <sup>f</sup>	۳/۶±۰/۶۳ <sup>de</sup>	۳/۳±۰/۷۲ <sup>f</sup>
سورگوم اکسترو ۱ درصد قدومه	۲/۵±۰/۹۶۱	۴/۰±۰/۵۲ <sup>c</sup>	۲/۹±۰/۲۳ <sup>g</sup>	۳/۶±۰/۳۹ <sup>de</sup>	۳/۳±۰/۸۲ <sup>f</sup>

\* حروف نشان‌دهنده مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف است.

\*\* حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح ( $P \leq 0.05$ ) تفاوت معنی‌داری ندارند.

### نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج نشان دادند که فرایند اکسترو کردن آرد سورگوم سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کوکی فاقد گلوتن شد و آرد سورگوم اکسترو شده می‌تواند جایگزین مناسبی برای آرد گندم نسبت به آرد سورگوم اکسترو نشده باشد زیرا با افزایش رطوبت کوکی‌ها منجر به افزایش دمای ژلاتیناسیون و آنتالپی شد و واپس‌گرایی نشاسته و در نتیجه بیاتی را به تأخیر انداخت و همچنین

خصوصیات بافتی کوکی فاقد گلوتن را بهبود بخشید. افزودن صمغ قدومه شهری نیز می‌تواند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کوکی فاقد گلوتن را بهبود بخشد و با افزایش غلظت صمغ‌ها این ویژگی‌ها بهبود یافتند. نتایج آنالیز حسی نیز نشان داد که تمامی کوکی‌های فاقد گلوتن نمره‌های قابل قبولی برای تمامی ویژگی‌ها داشتند، بنابراین آرد سورگوم می‌تواند ترکیب مناسبی برای تولید کوکی فاقد گلوتن باشد.

## منابع

- ۱- قیطران پور، آ. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر افزودن ایزوله پروتئین سویا بر کنتیک انتقال جرم، ویژگی‌های فیزیکی و روند انتقال جرم در آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- 2- Abboud, A.M., & Hosene, R.C. 1984. Differential scanning calorimetry of sugar cookies and cookie doughs. *American Association of Cereal Chemists*, 61(1):34-37.
- 3- Anton, A.A., Ross, K.A., Lukow, O.M., Fulcher, R.G., & Arntfield, S.D. 2008. Influence of added bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.) on some physical and nutritional properties of wheat flour tortillas. *Food Chemistry*, 109(1):33-41.
- 4- Awika, J.M., & Rooney, L.W. 2004. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 65(9):1199-1221.
- 5- Bárcenas, M.E., & Rosell, C.M. 2005. Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. *Food Hydrocolloids*, 19(6):1037-1043.
- 6- Bassinello, P.Z., Freitas, D.D.G.C., Ascherib, J.L.R., Takeitib, C.Y., Carvalho, R.N., Koakuzua, S.N., & Carvalhoc, A.V. 2011. Characterization of cookies formulated with rice and black bean extruded flours. *Procedia Food Science*, 1:1645-1652.
- 7- Dendy, D.A.V. 1995. Sorghum and the millets: Production and importance. Pages 11-26 in: *Sorghum and Millets: Chemistry and Technology*. AACC International: St. Paul, MN.
- 8- FAOSTAT Agriculture Statistics Database. 2004. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.
- 9- Faraj, A., Vasanthan, T., & Hoover, R. 2004. The effect of extrusion cooking on resistant starch formation in waxy and regular barley flours. *Food Research International*, 37(5):517-525.
- 10- Fasano, A., & Catassi, C. 2001. Current approaches to diagnosis and treatment of celiac disease: An evolving spectrum. *Gastroenterology*, 120(3):636-651.
- 11- Gallagher, E., Gormley, T.R., & Arendt, E.K. 2004. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science and Technology*, 15(3-4):143-152.
- 12- Gambus, H., Sikora, M., & Ziobro, R. 2007. The effect of composition of hydrocolloids on properties of gluten-free breads. *ACTA Scientiarum Polonorum-Technologia Alimentaria* 6(3):61-74.
- 13- Giovanelli, G., Peri, C., & Borri, V. 1997. Effects of baking temperature on crumbstaling kinetics. *Journal Cereal Chemistry*, 74(6):710-714.
- 14- Gray, J., & Bemiller, J. 2003. Bread staling: molecular basis and control. *Rev in Food Science and Food Safety*, 2(1):1-21.
- 15- Gupta, M., Bawa, A.S., & Abu-Ghannam, N. 2011. Effect of barley flour and freeze-thaw cycles on textural nutritional and functional properties of cookies. *Food and Bioproducts Processing*, 89(4):520-527.
- 16- Haralick, R.M., Shanmugam, K., & Dinstein, I. 1973. Textural features for image classification. *IEEE Transactions of ASAE*, 45(6):1995-2005
- 17- Jafari, M., Koocheki, A., & Milani, E. 2017. Effect of extrusion cooking on chemical structure, morphology, crystallinity and thermal properties of sorghum flour extrudates. *Journal of Cereal Science*, 75:324-331.
- 18- Jia, C., Huang, W., Abdel-Samie, M.A.S., Huang, G., & Huang, G. 2011. Dough rheological, Mixolab mixing, and nutritional characteristics of almond cookies with and without xylanase. *Journal of Food Engineering*, 105(2):227-232.
- 19- Koocheki, A., Mortazavi, S.A., Shahidi, F., Razavi, S.M.A., & Taherian, A.R. 2009. Rheological properties of mucilage extracted from *Alyssum homolocarpum* seed as a new source of thickening agent. *Journal of Food Engineering*, 91(3):490-496.

- 20- Katina, K., Salmenkallio-Marttila, M., Partanen, R., Forssell, P., & Autio, K. 2006. Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread. *LWT-Food Science & Technology*, 39(5):479-491.
- 21- Naji-Tabasi, S., & Mohebbi, M. 2014. Evaluation of cress seed gum and xanthan gum effect on macrostructure properties of gluten-free bread by image processing. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 9(1):110-119.
- 22- Ozola, L., Straumite, E., & Klava, D. 2011. Extruded maize flour effect on the quality of gluten- free bread. In: *Conference Proceedings of 6<sup>th</sup> Baltic Conference on Food Science and Technology "Innovations for food science and production" - FOODBALT 2011, 5-6 May 2011 (pp. 131-136)*. Latvia, Jelgava: Latvia University of Agriculture, Faculty of Food Technology.
- 23- Paykary, M., Karim, R., Aghazadeh, M., & Kazemi, M. 2012. Gluten- free extruded products: A review. *International Conference on Agricultural and Food Engineering for Life (Cafei2012)* 26-28 November. CAFEi2012-108.
- 24- Purlis, E., & Salvadori, V. 2009. Modelling the browning of bread during baking. *Food Research International*, 42(7):865-870.
- 25- Riha, W.E., Hwang, C.F., Karwe, M.V., Hartman, T.G., & Ho, C.T. 1996. Effect of cysteine addition on the volatiles of extruded wheat flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(7):1847-1850.
- 26- Ronda, F., GÃamez, M., Blanco, C.A., & Caballero, P.A. 2005. Effects of polynondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. *Food Chemistry*, 90(4):549-555.
- 27- Rooney, L.W., & Waniska, R.D. 2000. Sorghum food and industrial utilization. Pages 689-750 in: *Sorghum: Origin, History, Technology, and Production*. C.W. Smith and R. A. Frederiksen, eds. John Wiley and Sons: New York.
- 28- Sacchetti, G., Pinnavaia, G.G., Guidolin, E., & Dalla Rosa, M. 2004. Effects of extrusion temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and rice flour based snack-like products. *Food Research International*, 37(5):527-534.
- 29- Seker, M., & Hanna, M.A. 2006. Sodium hydroxide and trimetaphosphate levels affect properties of starch extrudates. *Industrial Crops and Products*, 23(3):249-255.
- 30- Singh, V., Moreau, R.A., & Hicks, K.B. 2003. Yield and phytosterol composition of oil extracted from grain sorghum and its wet-milled fractions. *Cereal Chemistry*, 80(2):126-129.
- 31- Suma, F., Urooj, A., MR, A., & Rajiv, J. 2014. Sensory, physical and nutritional qualities of cookies prepared from pearl millet (*Pennisetum typhoideum*). *Journal of Food Processing and Technology*, 5(10):2157-7110.
- 32- Taylor, J.R.N., Tilman, J.S., & Scott, R.B. 2006. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. *Journal of Cereal Science*, 44(3):252-271.
- 33- Torres, P.I., Ramirez-Wong, B., Serna-Saldivar, S.O., & Rooney, L.W. 1993. Effect of sorghum flour addition on the characteristics of wheat flour tortillas. *Cereal Chemistry*, 70:8-13.
- 34- Walker, S., Seetharaman, K., & Goldstein, A. 2012. Characterizing physicochemical changes of cookies baked in a commercial oven. *Food Research International*, 48(1):249-256.

## The Effect of Extruded Sorghum Flour and Hydrocolloids on the Physical and Chemical Properties of Gluten-free Cookie

Nasim Hasanpoor<sup>1</sup>, Arash Koocheki<sup>2\*</sup>, Mohebbat Mohebbi<sup>3</sup>, Elnaz Milani<sup>4</sup>

1- PhD Student, Food Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2,3- Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

\* Corresponding author (koocheki@um.ac.ir)

4- Assistant Professor, Department of Food Processing, Iranian Academic Centre for Education Culture and Research, Mashhad, Iran

### Abstract

Celiac disease is a digestive autoimmune disorder caused by the digestion of gluten. As of current, the only known treatment for this disease is to get a gluten-free diet. In this study, sorghum flour (extruded and non-extruded), xanthan and *Lepidium perfoliatum* seed gum were applied at three concentrations, namely 0, 0.3, 0.6 and 1.0%, to improve physical and chemical characteristics of gluten-free cookies. The cookies were subjected to physical and chemical characterization (spread factor, textural properties, gelatinization temperature, enthalpy, color, percent porosity, and crust thickness) and sensory evaluations. The results showed that, the cookies made from extruded sorghum flour (100%) containing *Lepidium perfoliatum* seed gum at 0.3% had the lowest L\* and the highest a\* and b\* contents. Moreover, the samples composed of non-extruded sorghum flour had the highest adhesiveness and stiffness, while post-baking stiffness of the cookies composed of extruded sorghum flour was lower than those of other cookies; i.e. the cookies made from extruded sorghum flour were of softer texture. These cookies had also the highest spread factor, percent porosity, and crust thickness, and these properties were observed to increase with increasing the gum concentration. Overall acceptability of the cookies made from extruded sorghum flour was significantly higher than those composed of non-extruded sorghum flour, indicating extruded sorghum flour as an appropriate ingredient for producing gluten-free cookies.

**Keywords:** Celiac, Cookie, Extruded Sorghum, *Lepidium Perfoliatum*, Xanthan