www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۶، جلد ۶، شماره ۴، صفحات ۳۸۸-۳۷۵
Doi: 10.22101/JRIFST.2018.02.12.645

JRIFST

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

نسیم حسن‌پور[۱]، آرش کوچکی[۲*]، محبت محبی[۳]، الناز میلانی[۴]

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۵

واژه‌های کلیدی
زانتان
سلیاک
سورگوم اکسترود
قدومهٔ شهری
کوکی

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. ازاین‌رو هدف از انجام این پژوهش بررسی امکان استفاده از آرد سورگوم (اکسترودشده و نشده) و صمغ‌های زانتان و قدومهٔ شهری با غلظت‌های صفر، ۰/۳، ۰/۶ و ۱/۰ درصد به‌منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کوکی فاقد گلوتن بود. ویژگی‌های محصول نهایی مانند نسبت گسترش‌پذیری، 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 اکسترودشده و ۰/۳ درصد صمغ قدومهٔ شهری کمترین میزان L^* را دارا بود. نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکسترودنشده بالاترین میزان چسبندگی و سفتی بافت خمیر را داشت و میزان سفتی بافت کوکی‌ها بعد از پخت در نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکسترودشده از سایر نمونه‌ها کمتر بود و کوکی به‌دست‌آمده از آن بافت نرم‌تری داشت. همچنین کوکی‌های حاوی آرد سورگوم اکسترودشده و صمغ قدومهٔ شهری بالاترین میزان نسبت گسترش‌پذیری، درصد تخلخل و ضخامت پوسته را دارا بودند و با افزایش غلظت صمغ‌ها این ویژگی‌ها بهبود یافتند. پذیرش کلی کوکی‌های حاوی آرد سورگوم اکسترودشده به‌طور معنی‌داری از کوکی‌های حاوی آرد سورگوم اکسترودنشده بیشتر بود ($P\leq$۰/۰۵). بنابراین آرد سورگوم اکسترودشده می‌تواند ترکیب مناسبی برای تولید کوکی فاقد گلوتن باشد.

مقدمه

بیماری سلیاک، نوعی بیماری گوارشی است که به پرزهای رودهٔ کوچک آسیب می‌رساند و سبب اختلال در جذب مواد مغذی می‌شود. افرادی که به بیماری سلیاک مبتلا هستند پروتئین‌هایی مانند گلیادین گندم[۱]، سکالین[۲] چاودار، هوردنین[۳] جو و آودین[۴] یولاف را نمی‌توانند، مصرف کنند (Gallagher *et al.*, 2004). زمانی که بیماران مبتلابه سلیاک، غذاهای حاوی گلوتن مصرف می‌کنند، سیستم ایمنی بدن آنها

[1] Gliadin
[2] Secalin
[3] Hordein
[4] Avidin

پاسخی را به‌صورت تخریب رودۀ کوچک صادر می‌کند (Fasano & Catassi, 2001). ازاین‌رو، امروزه باتوجه‌به اینکه تنها راه درمان این بیماری استفاده از یک رژیم غـذایی بـدون گلـوتن است، مطالعه‌های پیرامون تولید مواد غذایی بدون گلوتن به‌ویژه محصولات صنایع پخت که قوت غالب افراد جامعه را تـشکیل 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 گزارش‌شده از ۴۴ میلیون هکتار زمین در سال ۲۰۰۴ حدود ۶ میلیون تن دانۀ 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 امریکا (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).

دانۀ 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)، ازاین‌رو، در تولید فراورده‌های نانوایی 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 نانوایی 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).

ازسوی‌دیگر می‌توان خصوصیات غلات ازجمله سورگوم را با استفاده از روش‌های فیزیکی و حرارتی اصلاح کرد ازجمله این روش‌ها فرایند اکستروژن می‌باشد که یک فرایند حرارتی است که شامل استفاده از حرارت و فشار بالا و نیروهای برشی به تودۀ مواد خام مانند غلات است (Riha *et al.*, 1996). ازجمله مزایای اکسترودکردن هزینۀ پایین، زمان کوتاه، بهره‌وری بالا و صرفه‌جویی در مصرف انرژی است (Faraj *et al.*, 2004). فرایند اکسترودکردن سبب تولید محصولی با خصوصیات بافتی و تغذیه‌ای بهتر می‌شود به‌عنوان مثال پاستای حاصل از آرد برنج اکسترودشده 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 نشاستۀ مقاوم در این نوع محصولات ازطریق کنترل شرایط اکستروژن مانند درجه‌حرارت، سرعت خوراک‌دهی و دور مارپیچ می‌شود (Paykary *et al.*, 2012). همچنین عنوان شده است که فرایند اکسترودکردن در محصولات فاقد گلوتن مانند نان حاوی آرد ذرت اکسترودشده رطوبت بالاتر و بافت نرم‌تر و همگن‌تری نسبت به نان بدون گلوتن حاوی آرد ذرت غیراکسترود 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، نشاستۀ مقاوم[1] (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 نشاستۀ مقاوم بر سلامتی بدن جلوگیری از سرطان رودۀ بزرگ و کاهش کلسترول و قند است. در حین فرایند اکستروژن، مورفولوژی و ساختار مولکولی گرانول‌های نشاسته باتوجه‌به رطوبت، درجه‌حرارت 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[2] شده است که طی سردکردن نشاستۀ ژلاتینه‌شده حاصل می‌شود. گرانول‌های نشاسته در شکل‌گیری RS3 به‌صورت کاملاً هیدراته وجود دارند. شرایطی که در آن رتروگراداسیون[3] رخ

[1] Resistant Starch
[2] Retrograded
[3] Retrogradation

می‌دهد، تعیین‌کنندهٔ ساختار کریستالی RS3 می‌باشد. RS3 به‌دلیل عملکردهای تغذیه‌ای، فیزیکی و پایداری حرارتی بالا به‌عنوان یک جزء غذایی عملگر در صنایع غذایی بسیار مطرح است (Riha *et al*., 1996). ازجمله موارد کاربرد نشاستهٔ مقاوم افزایش تردی غلات صبحانه‌ای و طولانی نمودن زمان پایداری آنها را پیش از نرم‌شدن در مجاورت مایعات (مانند شیر یا آب‌میوه) می‌باشد. به‌علاوه این نوع نشاسته بخصوص در تهیهٔ غذاهای با حجم زیاد و کالری کم (رژیمی) هم قابل استفاده است (Seker & Hana, 2006). همچنین نشاسته یا آرد اکسترودشده 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 شبکهٔ گلوتن در خمیر گندم، ایجاد می‌کنند و درنتیجه ویسکوالاستیک ویژگی‌های گلوتن در خمیر نان گندم را تأمین می‌کنند (Gambus *et al.*, 2007).

بنابراین باتوجه‌به مطالعه‌های صورت‌گرفته و نیاز جامعه به تولید محصولات بدون گلوتن صنایع پخت هدف از انجام این پژوهش بررسی امکان تولید کوکی بدون گلوتن آرد سورگوم (اکسترودشده و اکسترودنشده) و اثر صمغ‌های زانتان و قدومهٔ شهری بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی این محصول بود.

مواد و روش‌ها

سورگوم سفید از بازار محلی در زابل با رطوبت ۱۰/۳۴ درصد، دانهٔ قدومهٔ 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.

تهیهٔ آرد سورگوم

سورگوم سفید، مورد استفاده در این مطالعه، از بازار محلی در زابل خریداری شد. دانه‌های سورگوم ابتدا به‌صورت دستی از لحاظ شکل، اندازه، شکسته و نابالغ‌بودن دانه، گردوغبار، شن و ماسه، سنگ و دیگر مواد خارجی تمیز می‌شوند. حدود ۱۰ کیلوگرم سورگوم را ابتدا با آب شسته شد و در آون (Memmert, 154 Beschickung-loading, Model 100-800) با دمای ۳۸ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۸/۲۷ درصد به مدت ۲ روز خشک شد. در مرحلهٔ بعد با استفاده از آسیاب سایشی آزمایشگاهی (آسیاب توس شکن خراسان، ساخت ایران) و مش ۰/۵۹۹ میلی‌متر عمل آردکردن صورت گرفت و درنهایت آرد سورگوم به‌دست‌آمده 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. به‌منظور فرایند اکسترودکردن از دستگاه اکسترودر (دومارپیچ با چرخش هم‌جهت مدل DS56 ، ساخت شرکت Saxin Jinan، چین) با دمای ۱۶۰-۱۵۰ درجهٔ 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 مرحلهٔ آخر با استفاده از آسیاب سایشی و مش ۰/۵۹۹ میلی‌متر عمل آردکردن صورت گرفت و درنهایت آرد سورگوم به‌دست‌آمده در کیسه‌های پلی‌اتیلن بسته‌بندی و در یخچال نگهداری شدند (Jafri *et al.*, 2017).

استخراج صمغ قدومهٔ شهری

صمغ دانهٔ قدومهٔ شهری با استفاده از آب با دمای ۴۸ درجهٔ سانتی‌گراد، pH=۸ و نسبت آب به دانه ۳۰ به ۱ در طی یک ساعت به‌وسیلهٔ دستگاه آب‌میوه‌گیر (پارس خزر مدل آووکادو، ساخت ایران) استخراج و به‌وسیلهٔ آون هوای داغ (گروک[1] ساخت آلمان) (SO, 2005) در دمای ۵۵ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شد (Koocheki *et al*., 2009).

[1] GROUC

آماده‌سازی خمیر کوکی

ترکیبات تشکیل‌دهندهٔ 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 آب‌مقطر)، 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 به‌صورت اکسترودشده و غیراکسترود با درصدهای صفر و ۱۰۰ درصد به‌جای آرد گندم استفاده شد. همچنین از ۲ صمغ قدومهٔ شهری و زانتان به نسبت‌های صفر ، ۰/۳، ۰/۶ و ۱/۰ درصد استفاده شد. کلیهٔ مواد تشکیل‌دهندهٔ فرمولاسیون به دقت وزن شدند و به کمک دستگاه مخلوط‌کن (مایسون مدل MFP-740S، ساخت چین) در دمای اتاق به‌خوبی مخلوط شدند. ابتدا شورتنینگ، نمک و سدیم‌کربنات با سرعت پایین به مدت ۳ دقیقه مخلوط و سپس محلول دکستروز و آب‌مقطر به مخلوط اضافه شد و به مدت ۱ دقیقه با سرعت پایین و ۱ دقیقه با سرعت متوسط مخلوط شدند و درنهایت آرد به‌صورت 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 دایره‌ای‌شکل به قطر ۶ سانتی‌متر خمیر برش خورد و خمیر اضافی جدا و درنهایت وزن کوکی‌ها ثبت شد (Guptaa *et al.*, 2011) و در دستگاه مایکروویو (ال‌جی مدل D–WCR3853، ساخت کره) با دمای ۱۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۱۴ دقیقه عمل پخت صورت گرفت.

اندازه‌گیری نسبت گسترش‌پذیری

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 نشان‌دهندهٔ نسبت گسترش‌پذیری است (Jia *et al.*, 2011).

اندازه‌گیری خصوصیات بافتی خمیر و کوکی

مقدار سفتی و چسبندگی و قابلیت جویدن خمیر کوکی به‌وسیلهٔ 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 درجهٔ 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). به‌منظور 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

به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های حرارتی از دستگاه آنالیز گرماسنجی افتراقی (DSC[1]) (DSC 204 F1 Phoenix، ساخت آلمان) استفاده شد. برای این منظور حدود ۱۲ میلی‌گرم نمونه ابتدا تا دمای ۷ درجهٔ سانتی‌گراد سرد شد و سپس تا دمای ۱۵۷ درجهٔ سانتی‌گراد با سرعت حرارت‌دهی ۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد در دقیقه حرارت دید (Abboud & Hoseney, 1984). با استفاده از ترموگرام‌های به‌دست‌آمده دمای گذار شیشه‌ای و آنتالپی ژلاتیناسیون[2] اندازگیری شد.

اندازه‌گیری رنگ

رنگ و پارامترهای بافت تصویر با استفاده از پردازش

[1] Differential Scanning Calorimetry
[2] Gelatinization

تصویر اندازه‌گیری شد. روش کار شامل تنظیم سیستم نورپردازی و استفاده از دوربین با وضوح تصاویر بالا و نرم‌افزار فتوشاپ، ایمج جی[1] برای به‌دست‌آوردن پارامترهای رنگ بود (Naji-Tabasi & Mohebbi, 2014).

اندازه‌گیری تخلل و قطر پوستهٔ 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 به‌وسیلهٔ 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 محاسبهٔ نسبت نقاط روشن به تاریک به‌عنوان شاخصی از میزان تخلخل در نمونه‌ها برآورد می‌گردد (Haralick *et al.*, 1973). جهت اندازه‌گیری ضخامت پوستهٔ کوکی، ابتدا برش‌هایی از مقطع عرضی کوکی تهیه و عکس‌های دیجیتال از آنها گرفته شد. به‌منظور تبدیل واحد پیکسل به میلی‌متر قبل از تهیهٔ 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 پوستهٔ 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).

تجزیه‌وتحلیل آماری

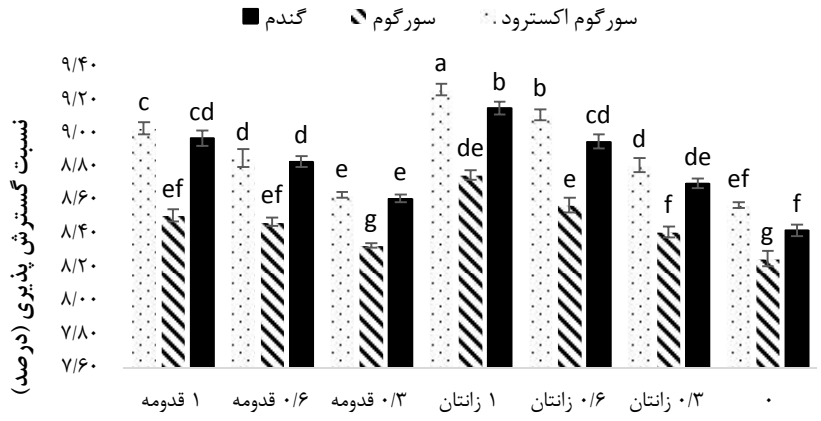
تجزیه‌وتحلیل آماری نتایج با استفاده از آزمون فاکتوریل طرح کاملاً تصادفی و مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد. همچنین آنالیز داده‌ها با ۳ تکرار و با استفاده از نرم‌افزار Spss 18 انجام شد.

نتایج و بحث

نسبت گسترش‌پذیری

همان‌طورکه در شکل (۱) مشاهده می‌شود نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکسترودشده به‌طور معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) نسبت گسترش‌پذیری بیشتری نسبت به سایر آردها داشت و دلیل آن میزان رطوبت بالا و درصد تخلخل بالاتر نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکسترودشده است. در بین صمغ‌ها نمونه‌های حاوی صمغ قدومهٔ شهری بیشترین میزان نسبت گسترش‌پذیری را دارا بود و با افزایش غلظت صمغ نسبت گسترش‌پذیری روند افزایشی داشت. آرد سورگوم غیراکسترود نسبت گسترش‌پذیری کمتری نسبت به آرد گندم و آرد سورگوم اکسترودشده 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 اکسترودکردن سبب افزایش جذب آب خمیر سورگوم شد و به همین علت نسبت گسترش‌پذیر کوکی حاصل از آن بیشتر بود.

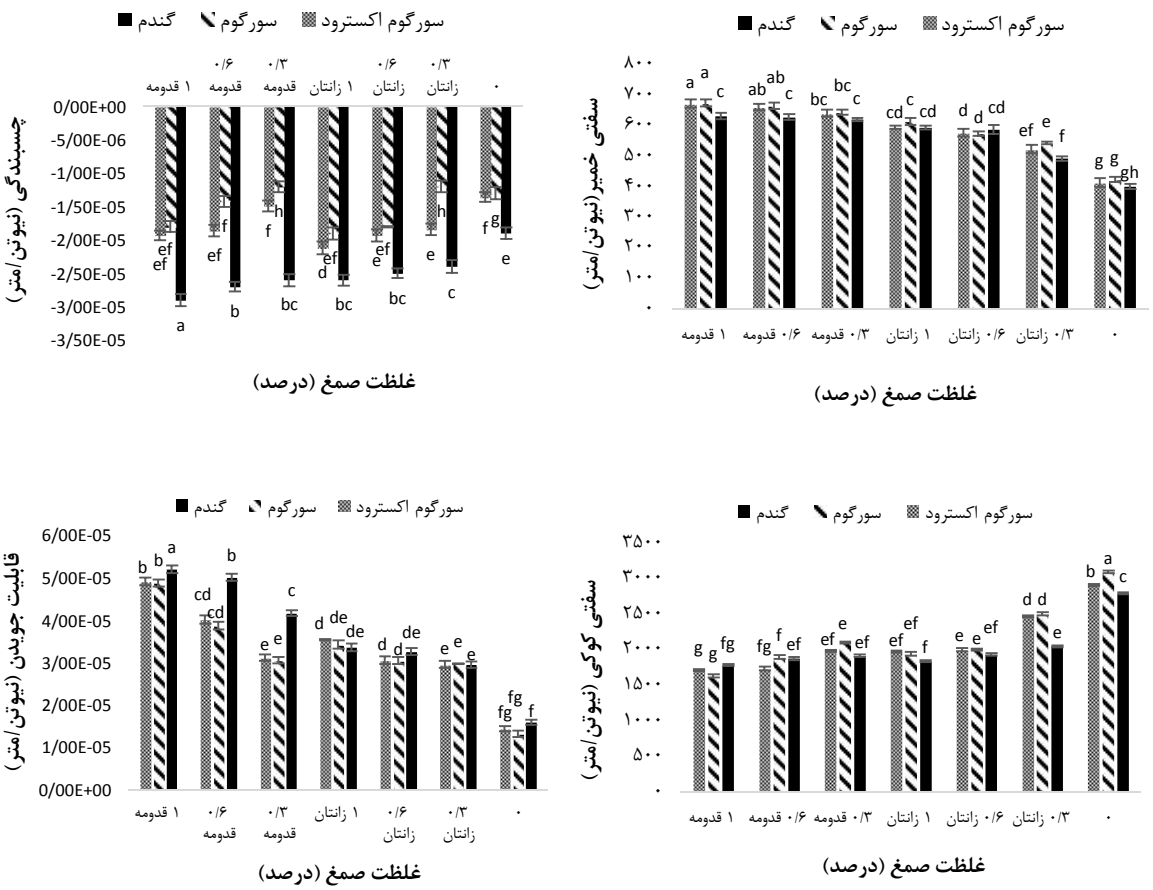
[1] Image J



شکل ۱ - نسبت گسترش‌پذیری کوکی با تیمارهای مختلف. تیرک‌های ترسیم‌شده روی نقاط، نشان‌دهندهٔ انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری‌شده است. حروف آماری مختلف نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است.

خصوصیات بافتی

شکل (۲) خصوصیات بافتی خمیر و کوکی را نشان می‌دهد. همان‌طورکه دیده می‌شود میزان قابلیت جویدن خمیر کوکی با افزودن آرد سورگوم (اکسترودشده و نشده) کاهش یافت و نمونه‌های حاوی صمغ قدومهٔ 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$۰/۰۵) با افزایش آرد سورگوم (اکسترودشده و نشده) افزایش یافت و نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکسترودنشده بالاترین میزان چسبندگی و سفتی بافت خمیر را دارا بودند البته همان‌طورکه مشاهده می‌شود در سفتی خمیر کوکی بین تیمار سورگوم اکسترودشده و نشده تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. همچنین با افزایش غلظت صمغ‌ها میزان چسبندگی خمیر کاهش یافت ولی میزان سفتی بافت خمیر افزایش یافت و نمونه‌های حاوی صمغ قدومهٔ شهری میزان سفتی بافت بیشتری داشتند. مطابق با جدول (۱) مشاهده شد که میزان سفتی بافت کوکی بعد از پخت در نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکسترودشده کمترین میزان بود و نمونه‌های حاوی صمغ قدومهٔ شهری نیز میزان سفتی بافت کمتری نسبت به نمونه‌های حاوی صمغ زانتان داشتند. همچنین مشاهده‌شده که با افزایش غلظت صمغ‌ها به‌طور معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) این پارامتر کاهش یافته است. این خصوصیات بافتی متفاوت می‌تواند ناشی از تفاوت در خصوصیات فیزیکی شیمیایی و خصوصیات گرانول‌های نشاستهٔ آرد سورگوم و آرد گندم باشد (Singh *et al.*, 2003). در این مطالعه همان‌طورکه در شکل (۲) هیدروکلوئیدها مقدار رطوبت کوکی‌ها را به‌طور معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) 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).



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

دمای ژلاتیناسیون و آنتالپی

نتایج مربوط به دمای ژلاتیناسیون و آنتالپی در جدول (۱) مشاهده می‌شود. طبق نتایج به‌دست‌آمده دمای ژلاتیناسیون با افزودن آرد سورگوم (اکسترودشده و نشده) به‌طور معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) افزایش یافت و فرایند اکسترودکردن موجب افزایش دمای ژلاتیناسیون از ۷۳/۷ به ۱۱۱/۲درجهٔ سانتی‌گراد شد. همچنین نمونه‌های حاوی صمغ قدومهٔ شهری دمای ژلاتیناسیون بالاتری داشتند و با افزایش غلظت صمغ دمای ژلاتیناسیون به‌طور معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) افزایش یافت. بررسی‌ها نشان می‌دهد که فرایند اکسترودکردن 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 به‌دلیل ماهیت فیزیکوشیمیایی این ترکیبات میزان رطوبت بالاتری را دارند و دیرتر بیات می‌شوند در واقع حضور مقدار بیشتر آب به‌هم‌پیوستن و رسوب زنجیره‌های آمیلوز که منجربه واپس‌گرایی نشاسته می‌شود را کاهش می‌دهد (Katina *et al*., 2006). میانگین آنتالپی که نشان‌دهندهٔ کریستالیزاسیون مجدد نشاسته است در نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکسترودنشده 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 نشاستهٔ واپس‌گراشده دانسته و آن را مقدار انرژی لازم برای ذوب کریستال‌های نشاستهٔ واپس‌گراشده دانسته‌اند (Giovanelli *et al*., 1997). حضور مقدار بیشتر رطوبت در محیط در اثر فرایند اکسترودکردن و افزودن صمغ‌ها سبب کاهش پیوستن زنجیره‌های آمیلوز و رسوب آنها و درنهایت منجربه واپس‌گرایی

می‌شود به‌عبارتی علاوه‌بر 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

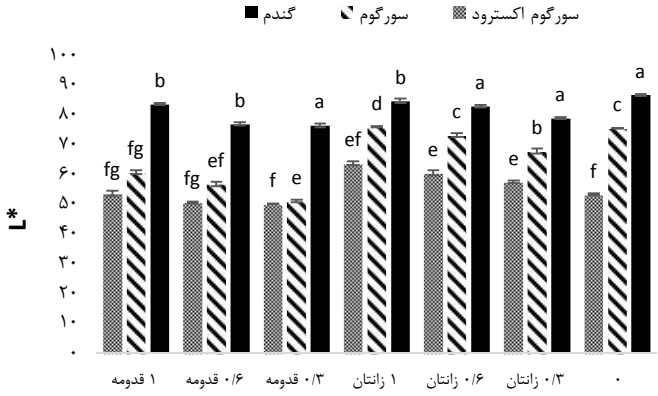
تیمار	گندم		سورگوم		سورگوم اکسترود	
	دمای ژلاتیناسیون (درجهٔ سانتی‌گراد)	آنتالپی (ژول/گرم)	دمای ژلاتیناسیون (درجهٔ سانتی‌گراد)	آنتالپی (ژول/گرم)	دمای ژلاتیناسیون (درجهٔ سانتی‌گراد)	آنتالپی (ژول/گرم)
صفر درصد	۶۳/۸±۰/۸۹^{e}	۳۰۲/۶۵±۲۱/۱۴^{f}	۷۳/۷±۰/۴۸^{e}	۳۶۷/۳۶±۲۲/۵۶^{f}	۱۱۱/۲±۱/۱۳^{e}	۱۴۷/۷۹±۱۴/۷۸^{d}
۰/۳ درصد زانتان	۶۴/۹±۰/۷۵^{d}	۳۲۵/۲۱±۱۲/۴۳^{e}	۷۳/۷±۱/۳۲^{e}	۴۶۶/۲۹±۲۷/۵۴^{e}	۱۱۳/۹±۱/۷۵^{d}	۱۹۱/۹۹±۲۱/۲۳^{b}
۰/۶ درصد زانتان	۶۸/۹±۱/۰۵^{c}	۳۷۶/۹۴±۲۴/۵۱^{c}	۷۳/۹±۱/۱۷^{e}	۵۶۶/۲۹±۲۴/۲۵^{b}	۱۱۵/۸±۰/۷۳c^{d}	۱۱۸/۶۰±۱۶/۴۵^{g}
۱ درصد زانتان	۶۹/۰±۱/۲۲^{c}	۱۲۴/۳۱±۱۳/۷۶^{g}	۷۴/۵±۰/۹۳^{d}	۵۲۰/۷۲±۱۴/۶۵^{d}	۱۱۶/۶±۰/۸۱^{c}	۱۸/۹۳^{f}۱۲۹/۵۱±
۰/۳ درصد قدومه	۷۰/۷±۰/۶۴^{b}	۵۹۶/۴۰±۱۶/۷۹^{a}	۷۷/۳±۱/۴۶۶^{c}	۵۸۵/۷۶±۱۶/۳۵^{a}	۱۱۶/۷±۱/۲۴^{c}	۱۴۰/۲۲±۱۶/۳۶^{e}
۰/۶ درصد قدومه	۷۱/۹±۰/۹۴^{b}	۳۵۳/۱۶±۲۵/۶۱^{d}	۸۱/۵±۱/۵۸^{b}	۵۵۷/۳۸±۱۸/۴۷^{c}	۱۲۰/۵±۰/۹۲^{b}	۲۱۸/۶۲±۱۴/۹۵^{a}
۱ درصد قدومه	۷۳/۹±۰/۷۱^{a}	۴۲۰/۳۱±۱۳/۹۸^{b}	۱۰۴/۴±۰/۸۸^{a}	۱۳۱/۵۱±۲۱/۳۴^{g}	۱۲۵/۹±۱/۰۳^{a}	۱۸۲/۶۸±۱۹/۳۲^{c}

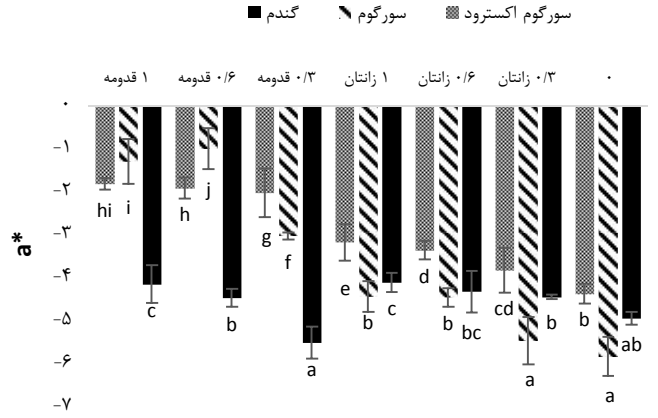
* حروف نشان‌دهندهٔ مقایسهٔ میانگین بین تیمارهای مختلف است.

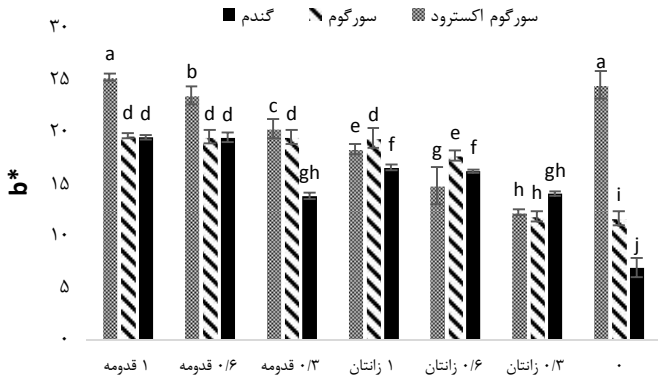
** حروف مشابه در هر ستون ازنظر آماری در سطح ($P\leq$۰/۰۵) تفاوت معنی‌داری ندارند.

رنگ

رنگ یکی از فاکتورهای مهم در پذیرش کلی محصول توسط مصرف‌کننده است. همان‌طورکه در شکل (۳) مشاهده می‌شود بیشترین میزان L* مربوط به نمونه‌های حاوی آرد گندم است و نمونه‌های حاوی آرد سورگوم و آرد سورگوم اکسترودشده به‌ترتیب کمترین میزان L* را دارا بودند و نتایج تجزیه‌وتحلیل آماری نشان می‌دهد که آرد سورگوم (اکسترودشده و نشده) به‌طور معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) L* کوکی‌ها کاهش داده است و در مقابل میزان a* و b* روند افزایشی داشته است. علت کاهش L* به‌وسیلهٔ آرد سورگوم (اکسترودشده و نشده) مربوط به ترکیبات و اجزاء موجود در پوسته و یا هستهٔ دانهٔ سورگوم است که هرچه عمل آسیاب‌کردن کامل‌تر انجام گیرد میزان این ترکیبات تیره نیز کمتر خواهد بود (Torres *et al.*, 1993). همچنین واکنش‌های قهوه‌ای‌شدن مایلارد در حین فرایند اکسترودکردن و کاراملیزاسیون قند هم می‌تواند ایجاد پیگمان‌های رنگی در حین پخت کند (Sacchetti *et al.*, 2004) و میزان روشنایی نمونه‌ها را کاهش دهد. نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکسترود و ۰/۳ درصد صمغ قدومهٔ شهری کمترین میزان L* را داشت و بیشترین مقدار a* و b* در کوکی‌های حاوی آرد سورگوم اکسترودشده و ۱ درصد صمغ قدومهٔ شهری مشاهده شد. کوکی‌های حاوی صمغ زانتان میزان L* بیشتری نسبت به نمونه‌های حاوی صمغ قدومهٔ شهری داشتند. همان‌طورکه در شکل (۳) دیده می‌شود مقادیر a* و b* به‌طور معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) با افزایش غلظت صمغ‌ها افزایش یافتند. ازطرفی با افزایش غلظت صمغ‌ها میزان L* نمونه‌ها به‌دلیل افزایش ظرفیت بالای نگهداری آب توسط صمغ‌ها افزایش داشت. به‌طورکلی این دسته از مواد با حفظ رطوبت و ممانعت از خروج رطوبت در حین پخت سبب کاهش تغییرات سطح پوستهٔ 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.





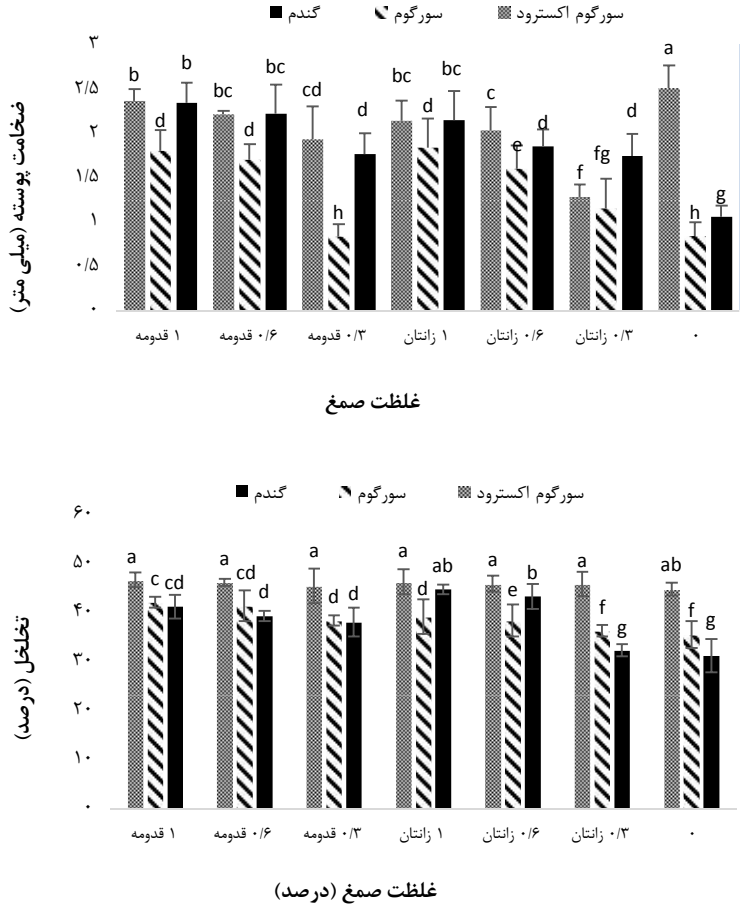


شکل ۳- ویژگی‌های رنگی کوکی با تیمارهای مختلف. تیرک‌های ترسیم‌شده روی نقاط، نشان‌دهندهٔ انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری‌شده است. حروف آماری مختلف نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است.

تخلخل و ضخامت پوسته

نتایج مشاهده‌شده در شکل (۴) نشان می‌دهد که میزان تخلخل در نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکسترودشده به‌طور معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) از سایر

تیمارها بیشتر است و در بین صمغ‌ها، کوکی‌های حاوی صمغ قدومهٔ 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 درنتیجه درصد تخلخل نیز افزایش می‌یابد و چون صمغ‌ها و فرایند اکسترودکردن موجب افزایش رطوبت نمونه‌ها می‌شود درصد تخلخل در نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکسترود و غلظت‌های بالای صمغ‌ها بیشتر از سایر تیمارهاست. شکل (۴) نشان می‌دهد که با افزایش غلظت صمغ‌های زانتان و قدومهٔ شهری میزان ضخامت پوسته افزایش یافت و کوکی‌های حاوی صمغ قدومهٔ شهری بیشترین میزان ضخامت پوسته را دارا بود. در بین آردها نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکسترودشده به‌طور معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) ضخامت پوستهٔ 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.



شکل ۴- میزان تخلخل و ضخامت پوستهٔ کوکی با تیمارهای مختلف. تیرک‌های ترسیم‌شده روی نقاط، نشان‌دهندهٔ انحراف استاندارد داده‌های اندازه‌گیری‌شده است. حروف آماری مختلف نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف است.

ارزیابی حسی

نتایج مربوط به آنالیز حسی در جدول (۲) مشاهده می‌شود. همان‌طورکه دیده می‌شود کوکی‌های حاوی آرد سورگوم (اکسترودشده و نشده) میزان نمره‌های پایین‌تری ازنظر آنالیز حسی (رنگ، سفتی، میزان رطوبت، عطروطعم و پذیرش کلی) را داشتند که علت آن می‌تواند مربوط به نسبت اندازهٔ ذرات نامطلوب، آسیب نشاسته، میزان چربی و آب در کوکی‌های فاقد گلوتن دانست. نتایج نشان دادند که پذیرش کلی نمونه‌های حاوی آرد سورگوم اکسترودشده بالاتر از آرد

سورگوم اکسترودنشده است. بااین‌حال تمامی کوکی‌های فاقد گلوتن نمره‌های قابل قبولی برای تمامی ویژگی‌ها داشتند. همچنین با افزایش غلظت صمغ‌ها میزان پذیرش کلی نمونه‌ها افزایش یافت و پذیرش کلی نمونه‌های حاوی صمغ زانتان از نمونه‌های حاوی صمغ قدومهٔ شهری بیشتر بود.

جدول ۲- آنالیز حسی کوکی با تیمارهای مختلف

تیمار	رنگ	سفتی	طعم	آروما	پذیرش کلی
گندم صفر درصد	۴/۳±۰/۲۳^{a}	۴/۸±۱/۳۲^{a}	۴/۳±۰/۷۶^{a}	۴/۵±۰/۳۴^{a}	۴/۶±۰/۲۲^{q}
گندم ۰/۳ درصد زانتان	۴/۲±۰/۳۷^{ab}	۴/۶±۰/۹۸^{b}	۴/۲±۰/۵۲^{ab}	۴/۲±۰/۲۲^{b}	۴/۳±۰/۵۳^{b}
گندم ۰/۶ درصد زانتان	۴/۱±۰/۷۸^{b}	۴/۴±۰/۸۵^{c}	۴/۲±۰/۹۴^{ab}	۴/۱±۰/۸۴^{b}	۴/۲±۰/۶۴^{b}
گندم ۱ درصد زانتان	۴/۲±۰/۴۴^{ab}	۴/۲±۰/۷۵^{d}	۴/۱±۰/۲۳^{b}	۴/۲±۰/۲۴^{b}	۴/۲±۰/۵۴^{b}
گندم ۰/۳ درصد قدومه	۴/۰±۰/۵۲^{c}	۴/۱±۰/۴۸^{de}	۴/۲±۰/۵۳^{ab}	۴/۱±۰/۴۱^{bc}	۴/۱±۰/۶۱^{c}
گندم ۰/۶ درصد قدومه	۴/۱±۱/۰۴^{b}	۴/۰±۰/۸۶^{e}	۴/۱±۰/۷۴^{b}	۴/۰±۰/۳۶^{c}	۴/۰±۰/۵۲^{cd}
گندم ۱ درصد قدومه	۴/۱±۰/۹۷^{b}	۴/۰±۰/۴۷^{e}	۴/۰±۰/۸۱^{bc}	۴/۰±۰/۶۵^{c}	۴/۰±۰/۸۷^{cd}
سورگوم صفر درصد	۳/۵±۰/۷۳^{fg}	۳/۵±۱/۴۱^{gh}	۳/۲±۰/۹۳^{e}	۳/۱±۰/۸^{g}	۳/۰±۰/۹۷^{g}
سورگوم ۰/۳ درصد زانتان	۳/۷±۰/۵۱^{de}	۳/۸±۰/۷۵^{f}	۳/۴±۱/۳۴^{de}	۳/۴±۰/۸۲^{ef}	۳/۲±۱/۲۳^{fg}
سورگوم ۰/۶ درصد زانتان	۳/۸±۰/۸۸^{d}	۳/۸±۰/۴۳^{f}	۳/۵±۰/۹۶^{d}	۳/۵±۰/۹۹^{e}	۳/۵±۰/۹۲^{ef}
سورگوم ۱ درصد زانتان	۳/۸±۰/۹۱^{d}	۴/۰±۰/۷۵^{e}	۳/۸±۰/۴۴^{c}	۳/۷±۱/۱۵^{d}	۳/۷±۰/۳۲^{dc}
سورگوم ۰/۳ درصد قدومه	۳/۶±۱/۲۳^{e}	۳/۵±۰/۸۸^{gh}	۳/۴±۰/۵۱^{de}	۳/۳±۰/۸۴^{f}	۳/۵±۰/۵۴^{ef}
سورگوم ۰/۶ درصد قدومه	۳/۶±۰/۳۵^{e}	۳/۶±۰/۶۱^{g}	۳/۵±۰/۹۱^{d}	۳/۴±۰/۵۶^{ef}	۳/۷±۰/۳۱^{dc}
سورگوم۱ درصد قدومه	۳/۸±۰/۴۵^{d}	۳/۶±۰/۴۴^{g}	۳/۵±۰/۴۲^{d}	۳/۵±۰/۳۴^{e}	۳/۸±۰/۸۹
سورگوم اکسترود صفر درصد	۳/۱±۰/۶۷^{h}	۴/۱±۰/۳۷^{de}	۳/۰±۰/۳۵^{f}	۳/۵±۰/۲۷^{e}	۳/۵±۰/۶۲^{e}
سورگوم اکسترود ۰/۳ درصد زانتان	۳/۰±۱/۲۲^{ij}	۴/۲±۰/۵۶^{d}	۳/۱±۰/۲۸^{ef}	۳/۶±۰/۶۳^{de}	۳/۳±۰/۹۱^{e}
سورگوم اکسترود ۰/۶ درصد زانتان	۳/۰±۰/۸۷^{ij}	۴/۲±۰/۷۴^{d}	۳/۲±۰/۷۱^{e}	۳/۷±۰/۸۸^{d}	۳/۷±۰/۷۴^{dc}
سورگوم اکسترود ۱ درصد زانتان	۲/۹±۰/۶۲^{j}	۴/۳±۰/۹۱^{cd}	۳/۲±۰/۸۹^{e}	۳/۷±۰/۴۲^{d}	۳/۶±۰/۵۴^{e}
سورگوم اکسترود ۰/۳ درصد قدومه	۲/۸±۰/۸۱^{k}	۴/۱±۰/۴۵^{de}	۳/۰±۰/۷۰^{f}	۳/۵±۰/۷۱^{e}	۳/۲±۰/۳۵^{fg}
سورگوم اکسترود ۰/۶ درصد قدومه	۲/۵±۱/۳۱۱	۴/۰±۰/۸۳^{e}	۳/۰±۰/۶۱^{f}	۳/۶±۰/۶۳^{de}	۳/۳±۰/۷۲^{f}
سورگوم اکسترود ۱ درصد قدومه	۲/۵±۰/۹۶۱	۴/۰±۰/۵۲^{e}	۲/۹±۰/۲۳^{g}	۳/۶±۰/۳۹^{de}	۳/۳±۰/۸۲^{f}

* حروف نشان‌دهندهٔ مقایسهٔ میانگین بین تیمارهای مختلف است.

** حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح ($P\leq$۰/۰۵) تفاوت معنی‌داری ندارند.

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج نشان دادند که فرایند اکسترودکردن آرد سورگوم سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کوکی فاقد گلوتن شد و آرد سورگوم اکسترودشده می‌تواند جایگزین مناسبی برای آرد گندم نسبت به آرد سورگوم اکسترودنشده باشد زیرا با افزایش رطوبت کوکی‌ها منجربه‌افزایش دمای ژلاتیناسیون و آنتالپی شد و واپس‌گرایی نشاسته و درنتیجه بیاتی را به تأخیر انداخت و همچنین خصوصیات بافتی کوکی فاقد گلوتن را بهبود بخشید. افزودن صمغ قدومهٔ 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- قیطران‌پور، آ. ۱۳۹۲ .بررسی تأثیر افزودن ایزولهٔ 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., & Hoseney, R.C. 1984. Differential scanning calorimety of suger cookies and cookie doughs. America 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., Freitasb, D.D.G.C., Ascherib, J.L.R., Takeitib, C.Y., Carvalhoa, 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- Guptaa, 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 6th 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., GÃmez, 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[1], Arash Koocheki[2*], Mohebbat Mohebbi[3], Elnaz Milani[4]

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