(مقاله پژوهشی)

بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی بیسکویت بدون گلوتن برپایه آرد برنج و ذرت حاوی نشاسته مقاوم

راحیل رضایی[1*]، معصومه مقیمی[2]، سید سهیل امیری عقدایی[3]

۱-گروه علوم و صنایع غذایی، واحد گنبدکاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبدکاووس، ایران.

۲-گروه شیمی، واحد گنبد کاووس، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس، ایران.

۳-دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم‌کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۱ تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۰۷/۱۱

DOI:10.30495/jfst.2022.1929299.1717

چکیده

با وجود سابقه نسبتاً زیاد تولید فرآورده‌های بدون گلوتن، هم‌چنان چالش‌های زیادی در تولید آن مطرح است زیرا ترکیبات بدون گلوتن معمولا به طورگسترده قابل دسترس نیستند، گران‌تر بوده و پذیرش کمتری نسبت به فرآورده‌های حاوی‌گلوتن دارند. دراین تحقیق، تاثیر نسبت‌های مختلف آرد ذرت و آرد برنج در محدوده ۱۰۰-۰ درصد و نشاسته مقاوم در محدوده ۲-۰ درصدبر بهبود ویژگی‌های بیسکویت مورد مطالعه قرار گرفت. ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر حاکی از آن بود که در تمامی نمونه‌ها، مدول ذخیره بالاتر از مدول افت بود که نشان دهنده آن است که رفتار خمیر بیسکویت حاوی نشاسته مقاوم شبه جامد بوده و نشاسته مقاوم بیشترین تاثیر را بر مدول افت و ذخیره داشت. اختلاط نشاسته مقاوم با آردها،میزان افزایش قطر در بیسکویت‌ها را کاهش داد اما سبب افزایش ضخامت گردید. هر سه متغیر اثرات مثبتی بر حجم داشتند و بیشترین حجم در نمونه‌هایی دیده شد که حاوی آرد ذرت بیشتری بودند. ترکیب نشاسته مقاوم با هر دو نوع آرد سبب کاهش ضریب گسترش شد. سفتی نمونه‌های بیسکویت بدون گلوتن تحت تاثیر نشاسته مقاوم کاهش یافت. بررسی رنگ نمونه‌ها نیز نشان داد که افزودن نشاسته مقاوم به آردها سبب کاهش روشنایی گردید. از نظر ارزیابی حسی مشخص‌گردید که افزودن نشاسته مقاوم به آردها، سبب کاهش پذیرش‌کلی بیسکویت‌ها گردید. نتایج حاصل از بهینه‌سازی نشان داد که مقادیر۸۸/۷۹ درصد آرد ذرت، ۹/۲۱ درصد آرد برنج و ۲ درصد نشاسته مقاوم، بهترین نتیجه را در بیسکویت حاصل می نمایند.

واژه های کلیدی: بیسکویت، بدون گلوتن، نشاسته مقاوم، رئولوژی.

*مسئول مکاتبات: rezaei.rahil@yahoo.com

۱-مقدمه

غلات اعم ازگندم، چاودار، جوو ... به میزان زیادی در فرآورده‌های غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نقش‌آن ها در رژیم غذایی روزانه در راهنماهای تغذیه ذکر شده است که درواقع به عنوان منبع تعادل ریزمغذی‌ها و درشت مغذیها مورد تاکید قرارگرفته است. پروتئین‌های غلات بیش از ۸۰ درصد ازگلوتن تشکیل شده است‌که نقش مهمی در صنعت نانوایی‌دارد (۱۲). گلوتن ازدو جزء پروتئینی مهم به نام گلیادین‌وگلوتنین‌تشکیل‌شده است. گلیادین در ویسکوزیته خمیر وگلوتنین در الاستیسیته خمیر نقش دارد (۳۷). بنابراین گلوتن باعث پیوستگی خمیر طی فرآیند پخت، حفظ گازها در بافت، تشکیل ساختار مغز نان و ایجاد الاستیسیته در بافت نان می‌شود (۱۰). با این وجود، بخش قابل ملاحظه‌ای از جمعیت جهانی باید از مصرف غلات خودداری‌کنند زیرا آن‌ها نمی‌توانند گلوتن را تحمل کنند. رژیم غذایی عاری از گلوتن روش اصلی درمان برای طیف وسیعی از اختلالات مربوط به‌گلوتن، بویژه بیماری سلیاک و آلرژی گندم است. شیوع سلیاک در ۵۰ سال اخیر ۲ تا ۴ برابر شده است (۱۳). در پاسخ به افزایش سریع تقاضا برای فرآورده‌های عاری از گلوتن، تولید مواد غذایی بدون گلوتن یکی از بخش‌های مهم و در حال رشد صنعت غذاست. محدودیت‌های رژیم سخت بدون گلوتن شامل عدم در دسترس بودن، قیمت بالاتر و ارزش غذایی و پذیرش حسی‌کمتری نسبت به محصولات دارای‌گلوتن می‌باشد. غلات بدون گلوتن مقدار کمتری ویتامین ب (تیامین، ریبوفلاوین، نیاسین) ، فولات، آهن و فیبرهای رژیمی دارند. در مقابل، مصرف‌کنندگان انتظار دارند ارزش‌غذایی و کیفیت حسی فرآورده‌های بدون گلوتن به طورمداوم بهبود یابد و این فرآورده ها مشابه با انواع حاوی گلوتن بوده و همان طعم و بافت را داشته باشند. به خاطرکمبودهایی‌که در برخی از مواد غذایی وجود دارد، غنی‌سازی فرمولاسیون‌های بدون گلوتن مثل افزودن آرد گندم سیاه[1]به فرآورده‌هایی مانند نان و پاستای بدون گلوتن به عنوان راهکاری جهت افزایش ارزش غذایی آنها پیشنهاد شده است(۱۹). به‌طورکلی‌فرآورده‌های پخت بدون گلوتن، عمدتاً از مواد خامی مثل آرد و/یا نشاسته برنج، ذرت، گندم سیاه، کاساوا و سیب زمینی تهیه می‌شوند. در حال حاضر، تاج خروس و کینوآ نیز مورد استفاده قرارمی‌گیرند که نسبت به آردهای ذکر شده، جدیدتر بوده و کمتر در بازار فرآورده های بدون گلوتن دیده می‌شوند (۱۱). برنج[2] یکی از مهم‌ترین مواد غذایی در بسیاری از کشورها به‌ویژه آسیا است. آرد برنج‌خواص‌تغذیه‌ای منحصر به فردی دارد. این آرد، ، بی رنگ و دارای مزه خنثی بوده و سدیم کمی دارد. این ویژگی‌ها به همراه آلرژی‌زایی کم، آرد برنج را یکی از مناسب‌ترین‌گزینه‌ها جهت تولید فرآورده‌های بدون گلوتن ساخته است(۱۵،۳۳). یکی از نقاط ضعف آرد برنج این است که پروتئین‌های آن توانایی کمی برای تشکیل شبکه لازم برای حفظ گازهای تولید شده طی تخمیر دارد (۱۵). در واقع پروتئین‌های آرد برنج شبکه ویسکوالاستیک محکم همانند گلوتن تشکیل نمی‌دهند و به همین دلیل درتولید فرآورده‌های تخمیری به تنهایی موفقیت چندانی ندارند و افزودن عوامل تقویت‌کننده مختلف مثل انواع صمغ‌ها و نشاسته‌ها جهت پوشاندن این ضعف می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند (۲۲).ذرت گیاهی است که منشا آن به ۷۰۰۰ سال قبل در مکزیک برمی‌گردد. ذرت از نظر میزان تولید اصلی‌ترین غله است اما از نظر اهمیت بعد از گندم و برنج، در رتبه سوم قرار می‌گیرد. آرد حاصل از ذرت نیز به عنوان یکی از مواد اولیه بدون‌گلوتن در فرآورده های تولید شده برای‌افرادسلیاکی‌مورداستفاده قرارمی‌گیرد. تحقیقات‌مختلفی به منظورمرتفع نمودن نواقص ساختاری و بافتی فرآورده‌های دون‌گلوتن‌وتاثیرهیدروکلوئیدهای مختلف از جمله نشاسته مقاوم انجام شده است. نشاسته مقاوم ترکیبی‌است که در برابر هضم توسط آمیلاز انسانی در روده کوچک مقاوم بوده و بنابراین به کلون می‌رسد. رفتار کلی نشاسته مقاوم از نظر فیزیولوژیکی مشابه با فیبرهای محلول قابل تخمیر است. نتیجه مصرف نشاسته مقاوم افزایش حجم مدفوع، کاهش pH، کنترل اندیس‌گلایسمیک و کاهش بیماری‌های قلبی

1- Buckwheat

2- *Oryza sativa* L.

عروقی است (۱۱). هم‌چنین این ترکیب را می‌توان یک پری‌بیوتیک به شمار آورد که سبب تقویت رشد باکتری پروبیوتیک‌ومشخصاافزایش تعداد بیفید وباکترها در انسان می‌شود(۱۵). ساتسارگو و همکاران(۳۴) ویژگی نان بدون گلوتن تهیه شده از آرد برنج و نشاسته مقاوم را مطالعه نموده و مشاهده کردند وجود نشاسته مقاوم تاثیر کمی‌برسفتی مغز نان داشت اما به طور قابل ملاحظه‌ای الاستیسیته آن را افزایش‌داد.کروس‌وهمکاران(۱۹)ضمن‌بررسی اثر جایگزینی نشاسته‌سیب‌زمینی‌وذرت در فرمولاسیون نان بدون گلوتن را بررسی‌کردند. افزودن نشاسته مقاوم سبب افزایش در مقدارکل‌فیبررژیمی، فیبرهای‌رژیمی‌نامحلول و کمی افزایش در فیبرهای رژیمی محلول گردید. همچنین مشاهده شد که این تغییر تاثیر معنی‌داری بر رئولوژی خمیر داشت. نان دارای نشاسته مقاوم، مغز نرمتری در مقایسه با نمونه کنترل داشت. این تحقیق به بررسی ویژگی‌های فیزیکی، رئولوژیکی و حسی بیسکویت بدون گلوتن حاوی نشاسته مقاوم و بر پایه آرد برنج و آرد ذرت پرداخته است تا در صورت تاییدکیفیت بیسکویت، از فواید تغذیه‌ای نشاسته مقاوم هم در تولید فرآورده‌های بدون گلوتن استفاده گردد.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱- تولید نمونه‌هایبیسکویت

نمونه‌های‌بیسکویت مطابق با فرمولاسیون کروس و همکاران (۱۸) تهیه شد. ترکیبات خمیر بیسکویت شامل ۱۰۰گرم آرد (نسبت‌های مختلف آرد ذرت، آرد برنج و ترکیب آنها مطابق با جدول ۱)، ۵۰/۳ گرم شکر، ۲۶/۸ گرم مارگارین، ۱۷/۹ شیر و ۷/۳ گرم تخم مرغ، ۴/۵ گرم نشاسته، ۰/۳ گرم نمک و ۳/۶ گرم پودر نانوایی[1]بود. نشاسته مقاوم در مقادیر ۰، ۱و ۲ درصد به این مخلوط افزوده شد. برای آماده‌سازی بیسکویت تمامی ترکیبات ذکر شده به مدت ۵ دقیقه با هم مخلوط شدند. سپس خمیر بیسکویت با ضخامت مشخص پهن شده و با کاترهای گرد بریده شد. بیسکویت ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد و با برنامه حرارت همزمان بالا و پایین آون برقی، پخته شد. در پایان، نمونه‌ها درکیسه‌های‌پلی‌اتیلنی‌بسته‌بندی شده و تا زمان انجام آزمون در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید.

۲-۲- تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر بیسکویت

جهت بررسی ویژگی‌های رئولوژیک خمیر بیسکویت، از دستگاه رئومتر MCR 301 ساخت کشور اتریش استفاده گردید. ارزیابی تمام نمونه‌ها در دمای اتاق انجام گرفت. سیستم مورد استفاده از نوع صفحه- صفحه به قطر۴۰ میلیمترواسپیندل ازنوع سنباده ای بوده وفاصله بین دو صفحه معادل یک میلی‌متر درنظرگرفته شد. نمونه‌های تهیه شده بر روی صفحه زیرین قرارگرفته و به مدت ۵ دقیقه استراحت داده تا ساختار نمونه به طور مجدد بازیابی شود(۲۴). جهت انجام روبش کرنش، فرکانس در مقدار ثابت یک هرتز تنظیم شد و مقدار کرنش از ۰/۰۱ تا ۱۰۰۰ تعیین گردید. با این آزمون ناحیه خطی ویسکوالاستیک تعیین شد. پس از تعیین ناحیه ویسکوالاستیک خطی، آزمون روبش فرکانس جهت‌تعیین‌مولفه‌های ویسکوز و الاستیک وابسته به فرکانس انجام شد و شاخص‌های زیر بدست آمد :

۲-۲-۱- مدول الاستیک

نشان‌دهنده ویژگی الاستیک جسم ویسکوالاستیک است و بیانگرمیزان انرژی ذخیره شده در هر دوره تغییر شکل می‌باشد. هرچه این مدول بیشتر باشد، ویژگی الاستیک جسم در مقایسه با ویژگی ویسکوز بیشتر است.

۲-۲-۲- مدول افت

نشانگر ویژگی ویسکوز یا اتلاف جسم ویسکوالاستیک است و بیانگر میزان انرژی تلف شده در هر دوره تغییر شکل است. افزایش این مدول، نشان‌دهنده افزایش وفتار ویسکوز در مقایسه با رفتار ویسکوالاستیک است.

۲-۲-۳- تانژنت افت

نشان‌دهنده این است که در جسم ویسکوالاستیک کدام ویژگی رئولوژیکی ویسکوز یا الاستیک بر خاصیت دیگر برتراست یا به عبارتی‌دیگربیان‌گرانرژی هدر رفته به صورت

1- Baking powder

ویسکوزبه نسبت انرژی ذخیره‌شده به صورت الاستیک (G''/G') است.

۲-۳- ابعاد، دانسیته و حجم بیسکویت

قطر و ضخامت (ضخامت) خمیر و بیسکویت با استفاده از کولیس اندازه گیری شد (۳). ضریب گسترش نیز از تقسیم قطر به ضخامت به دست آمد. افزایش ضخامت بیسکویت در حین پخت، از طریق محاسبه اختلاف ضخامت خمیر و بیسکویت تعیین شد (۱).حجم بیسکویت از روش جابجایی با دانه های کلزا بر طبق روش مصوب AACC(۴) به شماره ۷۲ تعیین شد. با دانستن جرم نمونه و تقسیم آن بر حجم نمونه، دانسیته تعیین شد.

۲-٤- سفتی

جهت ارزیابی میزان سفتی نمونه‌های بیسکویت، از دستگاه بافت سنج TA.XT stable micro system ساخت کشور انگلستان و با روش آزمون خمش سه نقطه‌ای استفاده شد. در این آزمون از سلول بارگذاری۵۰ کیلوگرم و سرعت حرکت ۱۰میلی متر در دقیقه استفاده گردید. نیروی بیشینه به عنوان سفتی نمونه ها ثبت گردید (۳۳).

۲-۵- رنگ سنجی

به منظور بدست آوردن ویژگی‌های رنگی نمونه‌ها از اسکنر (Canon-LID 110) و نرم افزار پردازش تصویر Image J و بر اساس سیستم هانترلب (a*, b*, L*) استفاده شد. نمونه‌های بیسکویت به صورت جداگانه در مرکز اسکنر قرار داده شدند. برای جلوگیری از تأثیر نور محیط بر عکس‌های به دست آمده از پوشش مشکی روی اسکنر استفاده شد. سپس تنظیم مشخصه‌هایی هم‌چون رنگ زمینه، درشت‌نمایی و روشنی، نمونه‌ها اسکن شدند و عکس‌ها در نرم‌افزار پردازش تصویر Image J مورد ارزیابی قرار گرفتند (۳).

۲-٦- ارزیابی حسی

خواص حسی بیسکویت با استفاده از تست هدونیک ۵ نقطه ای با تعداد ۱۰ ارزیاب زن و مرد در محدوده سنی۲۰ الی۲۵ در آزمایشگاه صنایع غذایی ارزیابی شد. بیسکویتهای بدون گلوتن از نظر رنگ، عطر، طعم و بافت مورد ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت پذیرش کلی آنها محاسبه و نمونه‌ها با هم مقایسه شدند. از ارزیاب‌ها خواسته شد به بدترین نمونه امتیاز ۱ و به بهترین نمونه امتیاز ۵ دهند (۱).

۲-۷- تجزیه و تحلیل داده ها

دراین‌پژوهش‌به منظور تعیین تیمارها، ازطرح مخلوط اپتیمال برای سه ترکیب آردبرنج، آردذرت ونشاسته مقاوم استفاده شدب طوری‌که مجموع آردبرنج، آردذرت و نشاسته مقاوم باسطوح غیرمشابه ۱۰۰ درنظرگرفته شد. این مقادیر براساس درصد آرد درترکیب کل محصول بود. ترکیب چندگانه از این متغیرها منجر به یک طرح‌آزمایشی با ۱۶ تیمارگردید (جدول ۱). برای طراحی آزمایش وتجزیه وتحلیل نتایج از نرم‌افزارDesign Expert استفاده شد. به این منظور از معادلات مناسب برای نشان دادن رابطه هریک ازمتغیرهای وابسته در مدل رگرسیون با متغیرهای مستقل، استفاده و نمودارهای کانتور مخلوط آن‌ها به‌وسیله این نرم‌افزار ترسیم شدند.

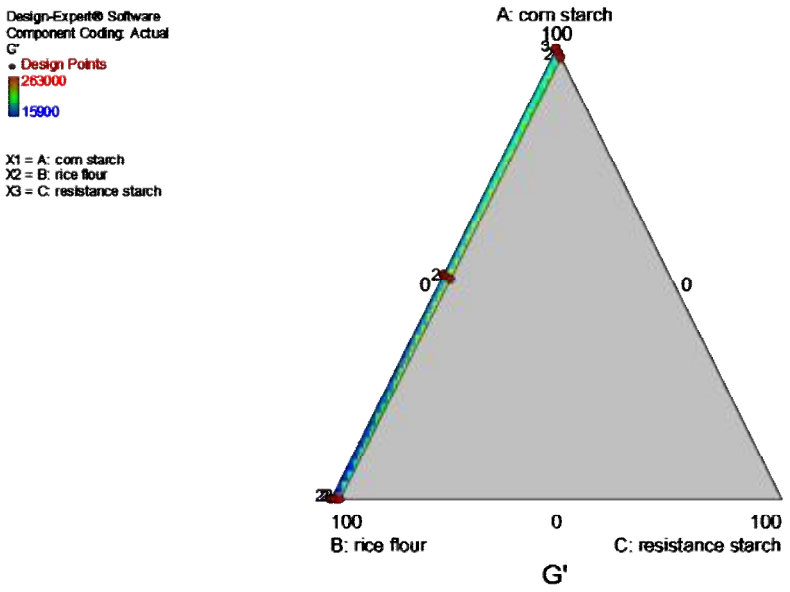
جدول۱- تیمارهای آزمایش بر اساس متغیرهای مستقل فرمولاسیون در طرح آماری مخلوط اپتیمال

شماره تیمار	اسامی اختصاری	آرد ذرت	آرد برنج	نشاسته مقاوم
۱	GF1	۰	۱۰۰	۰
۲	GF2	۱۰۰	۰	۰
۳	GF3	٤۹	٤۹	۲
٤	GF4	۵۰	۵۰	۰
۵	GF5	۰	۱۰۰	۰
٦	GF6	٤۹/۵	٤۹/۵	۱
۷	GF7	۰	۹۸	۲
۸	GF8	٤۹/۵	٤۹/۵	۱
۹	GF9	۱۰۰	۰	۰
۱۰	GF10	۹۸	۰	۲
۱۱	GF11	۰	۹۹	۱
۱۲	GF12	۹۹	۰	۱
۱۳	GF13	۹۸	۰	۲
۱٤	GF14	۰	۹۹	۱
۱۵	GF15	۱۰۰	۰	۰
۱٦	GF16	۰	۹۸	۲

۳-نتایج و بحث

۳-۱- رئولوژی خمیر

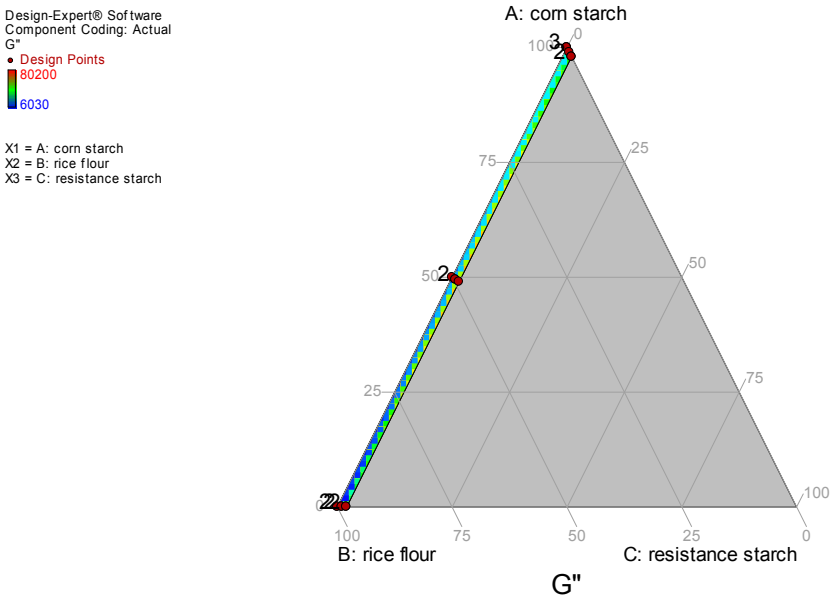
مدول ذخیره میزان رفتار الاستیک و مقدار انرژی بازیابی شده‌درواحدحجم‌رانشان‌می‌دهد. مطابق با شکل ۱بیسکویت، با افزایش‌مقدارنشاسته مقاوم‌درفرمولاسیون خمیربیسکویت، میزان‌مدول ذخیره افزایش یافت. بیشترین میزان مدول ذخیره در نمونه GF3 مشاهده شد. از طرفی با افزایش مقدار آرد برنج، میزان مدول ذخیره کاهش یافت که کمترین میزان در نمونه GF4 بدست آمد. به طورکلی در نمونه‌های ترکیبی دوآرد، میزان مدول الاستیک بیشتر از نمونه‌های حاوی یک نوع آرد بود. یکی از دلایل احتمالی افزایش مقدار مدول ذخیره در نمونه‌های حاوی نشاسته مقاوم، مربوط به قابلیت جذب آب نشاسته مقاوم و درنتیجه افزایش سفتی خمیر بوده است.نتایج تجزیه واریانس میزان مدول ذخیره نشان دادکه مدل مورد استفاده جهت برازش مدل‌ها،معنی‌دار و مدل درجه ۳ مدل مناسب جهت برازش داده‌های حاصل از مدول ذخیره بود. بررسی ضرایب نیز نشان داد که نشاسته مقاوم بیشترین‌تأثیر را بر افزایش مدول ذخیره داشت و اثر متقابل (درجه دوم) متغیرها بر یکدیگر بر میزان مدول ذخیره تأثیر منفی داشت(جدول۲). ضریب همبستگی بالای مدل (R^2=۰/۹۷۸) بیانگراین‌مطلب‌است‌که‌مدل‌به طور مطلوبی قادر به پیشگویی مدول ذخیره می‌باشد.کانالیس و همکاران (۹) نیزدرتحقیق‌خود،افزایش‌مدول‌الاستیک‌رادر خمیر بیسکویت حاوی فیبرهای محتلف از جمله نشاسته مقاوم گزارش کردند.



شکل۱- نمودار سطح مخلوط مدول الاستیک خمیر بیسکویت‌های بدون گلوتن

شکل۲نمودار سطح مخلوط مدول افت خمیرهای بیسکویت بدون‌گلوتن‌تهیه شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. مدول افت یا مدول ویسکوز در واقع بیانگر میزان رفتار جریانی و مقدار انرژی به هدر رفته در واحد حجم می باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در بین متغیرهای مستقل، بیشترین تأثیر مربوط به غلظت نشاسته مقاوم مورد استفاده در فرمولاسیون بود و افزایش میزان نشاسته مقاوم در نمونه‌ها موجب افزایش مدول افت در خمیر بیسکویت گردید، به گونه‌ای که نمونه GF3دارای‌بیشترین مقدار مدول افت بود. بالعکس با کاهش نشاسته مقاوم، مدول افت کاهش یافت به طوری که پایین‌ترین میزان مدول افت در نمونه GF4 مشاهده شد. کروس و همکاران (۱۹) نیز افزایش میزان مدول افت در خمیر بیسکویت را در نتیجه افزودن نشاسته مقاوم گزارش کردند. ریموند و همکاران (۲۷) نشان دادند افزایش فیبر

پسیلیوم حاصل از دانه اسفرزه در خمیر بیسکویت موجب افزایش قدرت ساختار خمیر و افزایش مدول ذخیره و مدول افت نمونه های خمیر بدون گلوتن شده است. در پژوهشی دیگرگزارش شد که افزودن پودر قارچ نیز سبب بروز رفتار ویسکوالاستیک‌جامددر نمونه ها گشت (۳۰). نتایج گزینش مدل‌ها نشان داد، مناسب ترین مدل جهت برازش داده‌ها مدل درجه سوم است ($p<۰/۰۵$)که دلیل آن ضریب تبیین بالای مدل در پیش‌گویی نتایج می‌باشد (R^2 = ۰/۹۷۲). بر اساس‌مقادیر P به‌دست‌آمده از جدول تجزیه واریانس، میزان مدول افت به طور معنی‌داری به اثرات خطی هر یک از متغیرها و همچنین اثرات متقابل متغیرها وابسته است. بررسی تغییرات مدول ذخیره و مدول افت در فرکانس های مختلف اعمال تنش نشان داد که در تمامی فرکانس‌ها مدول ذخیره بیشتر از مدول افت است که این امر نشان دهنده رفتار شبه جامد[1]نمونه‌های‌خمیر بدون گلوتن تهیه شده در این پژوهش است. از طرفی با افزایش فرکانس تنش، مقادیر مدول ذخیره و مدول افت هر دو افزایش یافت (شکل ۳).

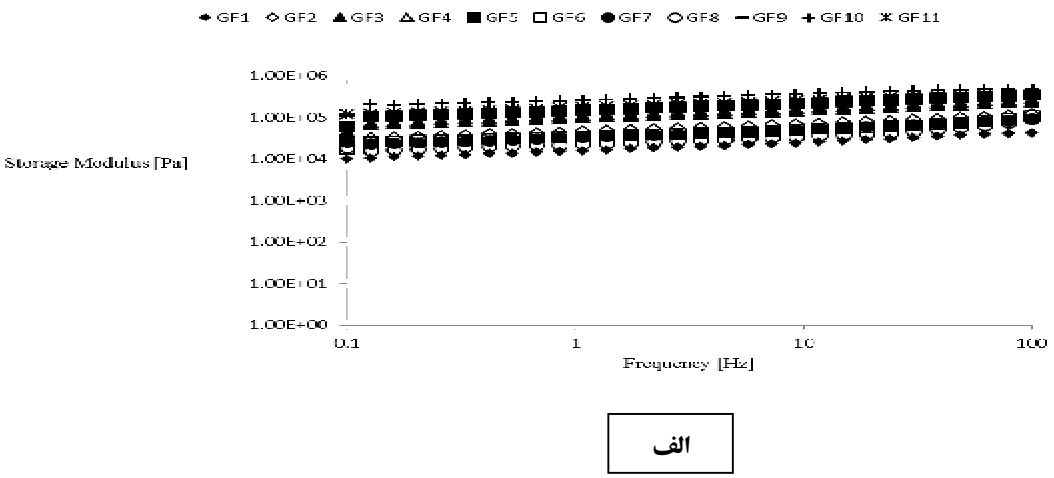


شکل ۲- نمودار سطح مخلوط مدول افت خمیر بیسکویت‌های بدون گلوتن

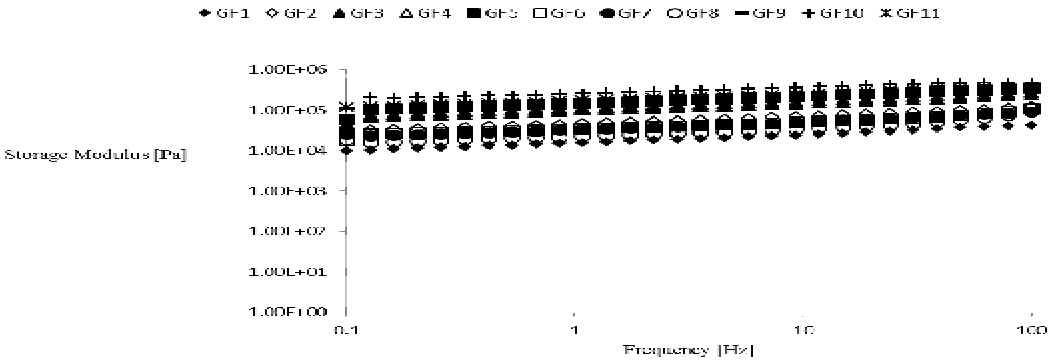
1-Solid-like

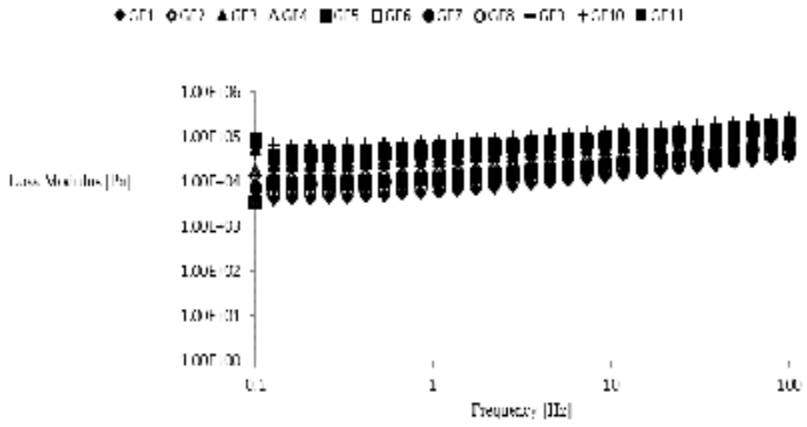
تانژانت افت بیانگر اینست که در مواد ویسکوالاستیک مورد آزمایش، کدام ویژگی رئولوژیکی ویسکوز یا الاستیک بر دیگری‌غلبه‌می‌کند. به عبارت دیگر نشان‌دهنده نسبت انرژی از دست رفته به صورت ویسکوز به انرژی ذخیره شده به صورت الاستیک است. از این رو زمانی‌که تانژانت افت بیشتر از یک باشد، نشان دهنده این امر است که ماده ویسکوالاستیک مایع است و چنان چه تانژانت افت‌کمتر از یک باشد، نشان‌دهنده رفتار ویسکوالاستیک جامد است. همان‌طورکه در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، در فرکانس‌های اندازه‌گیری شده، تانژانت افت تمام نمونه‌ها پایین‌تر از یک است و این امر نشان‌دهنده رفتار ویسکوالاستیک جامد در نمونه‌ها است. در فرکانس‌های پایین (۱تا ۹ هرتز) میزان تانژانت افت کاهش یافته اما در محدوده‌های بالای فرکانس با افزایش فرکانس اعمال تنش، میزان تانژانت افت نمونه‌ها افزایش یافت‌که بیانگر وابستگی تانژانت افت به فرکانس است که البته تفاوت‌هایی در میزان وابستگی نمونه‌ها به فرکانس مشاهده شد. با توجه به مقادیر p حاصل از جدول (جدول ۲) می‌توان‌گفت مقدارتانژانت افت به طور معنی دار تحت تأثیراثرات‌خطی هر سه متغیر بوده به طوری که نشاسته مقاوم بیشترین تأثیر را داشته و موجب کاهش تانژانت افت شد درحالی‌که‌آرد ذرت وآرد برنج موجب افزایش تانژانت افت شد ($p<۰/۰۵$). از طرفی اثر متقابل هر سه متغیر (آرد برنج، آرد ذرت و نشاسته مقاوم) نیز تأثیر معنی‌دار بر کاهش تانژانت افت داشت. نتایج آنالیز واریانس تانژانت افت خمیر بیسکویت نشان داد مناسب‌ترین مدل جهت گزارش تانژانت افت، مدل درجه سوم است ($p<۰/۰۵$). ضریب تبیین مدل نیز نشان‌دهنده این است که فقط ۱۶/۲درصد از نتایج با مدل درجه سوم قابل پیشگویی نیست ($R^2=۰/۸۳۸$). در شکل۴ تاثیر متغیرهای مستقل (مقادیر آرد ذرت، آرد برنج و نشاسته مقاوم) بر میزان تانژانت افت خمیر بدون گلوتن را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، با افزایش میزان نشاسته مقاوم در فرمولاسیون، مقدار تانژانت افت کاهش یافت، به طوری که بیشترین‌وکمترین تانژانت افت به ترتیب در نمونه های GF4 و GF3 مشاهده شد. دلیل این پدیده تاثیر نشاسته مقاوم بر ویسکوزیته خمیر و میل خمیر به حالت ویسکوالاستیک جامد است که در این حالت میزان مدول الاستیک افزایش و تانژانت افت کاهش می‌یابد. سرهاب آی و پارابحسنکار (۳۰) ضمن افزودن کنسانتره پروتئین‌آب پنیر و نشاسته سیب‌زمینی به آرد فندق آبی[1]کاهش میزان تانژانت افت را گزارش‌کردند.

[1]- water chestnut



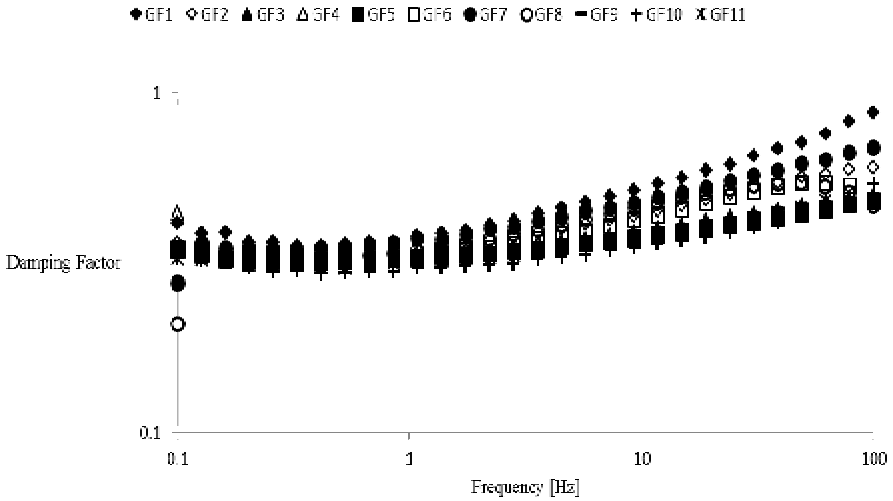
الف





ب

شکل۳- تغییرات مدول ذخیره (الف) و مدول افت (ب) خمیر بیسکویت بدون گلوتن‌تابع فرکانس‌اعمال تنش



شکل٤-تغییرات تانژانت افت خمیر بیسکویت بدون گلوتن‌تابع فرکانس‌اعمال تنش

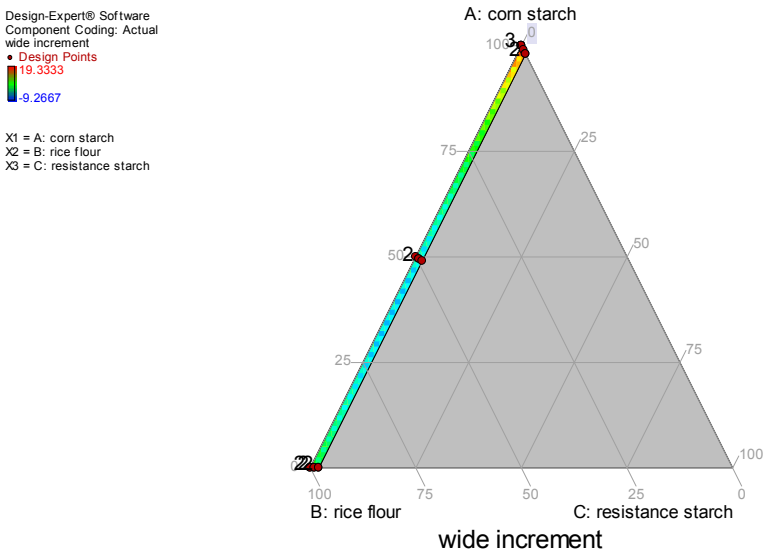
۳-۲- ابعاد بیسکویت

ابعاد به طورکلی تحت تاثیر نسبت‌های مختلف آرد، نشاسته و پروتئین است. در این پژوهش با توجه به نتایج اندازه‌گیری قطر خمیر و بیسکویت، میزان افزایش قطر از اختلاف قطر خمیر و بیسکویت به‌دست‌آمد. تمامی‌متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق اعم از آرد ذرت، آرد برنج و نشاسته مقاوم تاثیر معنی‌داری بر افزایش قطر خمیر داشتند. همچنین اثرات متقابل آرد ذرت و آرد برنجو آردها با نشاسته مقاوم نیز معنی‌دارارزیابی‌شد.باتوجه‌به‌این‌نتایج، افزایش قطر خمیرهای بیسکویت بین ۰ تا۱۹/۳۳ میلی‌متر متغیر بود. بیشترین افزایش قطرخمیر مربوط به نمونه GF2و کمترین افزایش قطر متعلق به نمونه GF6 بود. همان‌طورکه روند تغییرات افزایش قطر بیسکویت(شکل۵) نشان‌می‌دهد، در راس آرد ذرت بیشترین افزایش قطردیده شده و هرچه به سمت اختلاط با آرد برنج پیش می‌رود، از افزایش قطرکاسته شده است. آلتینداگ و همکاران (۶) نیز در گزارش خود بیان کردند آرد ذرت در مقایسه با آرد برنج قطر و ضخامت بیشتری را درکوکی‌ها نشان دادند. همچنین بیسکویت حاصل از نشاسته مقاوم و آرد ذرت، افزایش قطر بیشتری را نشان داد که در شکل ۵ مشهود است. با توجه به جدول مدل‌ها و ضرایب‌آن‌ها (جدول ۲) مشخص گردید که تاثیر هر سه پارامتر بر افزایش قطر بیسکویت‌ها مثبت‌بود. افزایش ضخامت و عرض کوکی درنتیجه افزودن نشاسته مقاوم در تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است (۲۰).فیبرهایی مثل نشاسته مقاوم، اینولین و غیره درخمیر به عنوان استابیلایزر عمل‌کرده و باعث می‌شوند خمیر طی پخت چروکیدگی‌کمتری داشته باشد و قطر خود را حفظ کند (۸). این نتایج در تطابق با نتایج برنان و ساموی (۸)، تجاسری و همکاران (۳۴) و کور و همکاران (۱۷) بود که درگزارش‌خودبیان‌کردندکه‌افزودن فیبر (از جمله نشاسته مقاوم) و هیدروکلویید به بیسکویت‌های بدون گلوتن، سبب افزایش قطر بیسکویت‌ها گردید. نتایج مربوط به افزایش ضخامت خمیر بیسکویت نشان دادکه ترکیب آرد برنج و آرد ذرت تاثیرمعنی‌داری‌برافزایش‌ضخامت‌بیسکویت داشت درحالی‌که‌سایراثرات معنی‌دار نبودند. شکل ۶ روند تغییرات افزایش ضخامت خمیر را تحت تاثیر اختلاط آرد برنج، آرد ذرت و نشاسته مقاوم نشان می‌دهد. مطابق شکل۶، در نسبت‌های‌میانه‌آرد ذرت و آرد برنج، بیشترین مقدار افزایش ضخامت خمیر دیده شده است. بیشترین افزایش ضخامت درنمونهGF3وکمترین‌مقداراین‌فاکتوردرنمونه GF16مشاهده گردید. ضرایب مدل پیشنهادی (جدول۲) نشان داد که تاثیر ترکیب آرد برنج –نشاسته مقاوم و آرد ذرت – نشاسته مقاوم برافزایش‌ضخامت خمیر مثبت بود. قابل ذکر است که اثرات متقابل تمامی فاکتورها تاثیر مثبتی بر ضخامت بیسکویت‌ها داشتند. راجش و همکاران (۲۷) و کور و همکاران (۱۷) نیز

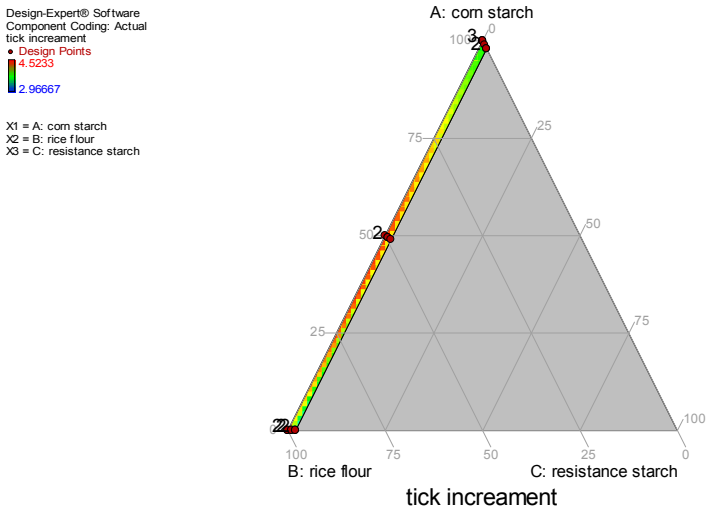
در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که افزودن ترکیبات هیدروکلوئیدی‌مثل‌صمغ‌ها، سبب‌افزایش‌ضخامت بیسکویت شد در حالی‌که لاگونا و همکاران (۲۰) و برنان و ساموی (۸) اعلام کردند نشاسته مقاوم تاثیری بر میزان ضخامت بیسکویت‌ها نداشت.

جدول ۲- ضرایب مدل‌های پیشنهادی برای متغیرهای وابسته مورد ارزیابی درخمیر و بیسکویت بدون گلوتن

متغیر وابسته	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	R^2
افزایش قطر	۰/۲	۰/۰۶	۵۵۴/۷۱	-۰/۰۰۰۴	-۵/۶۶	-۵/۶۶	-	۰/۸۸
افزایش ضخامت	۰/۰۳۶	۰/۴۲	-۷/۸	۰/۰۰۰۲	۰/۰۸	۰/۰۷	-	۰/۷
حجم	۳۴/۵۳	۲۴/۴۹	۳۳/۷۳	-	-	-	-	۰/۴۸
دانسیته	۳/۶۵	۰/۰۱۱	۶/۵۳	-۰/۰۰۱۲	-۰/۰۶	-۰/۰۷	۰/۰۰۰۱	۰/۹۷
ضریب گسترش	۰/۰۶	۰/۰۵	۳۰/۹	۰/۰۰۰۵	-۰/۳۱	-۰/۳۱	-	۰/۹۳
سفتی	۱۵/۱۳	۲۳/۴۷	۷۰۸۲۷/۳۳	۵۳/۸۱	-۷۲۴۵۵/۸۶	-۷۱۷۷۷/۹۳	-	۰/۸
پذیرش کلی	۰/۰۳	۰/۰۳	۲۳/۳۱	-۰/۰۰۰۱	-۰/۲۳	-۰/۲۳	-	۰/۷۵
روشنایی	۰/۷۸	۰/۷۵	-۶۵/۲۴	-۰/۰۰۲	۰/۷	۰/۶۷	-	۰/۹۱
مدولاستیک (G')	۹۲۶/۷۳	۲۴۴/۲۴	۵۰۰۰۰۰۰	-۱۲/۶	-۵۲۸۲۸/۳۸	-۵۲۸۲۸/۱۴	۳۱/۱۸	۰/۹۷
مدولویسکوز(G")	۲۹۷/۶۸	۷۶/۴۴	۱۵۵۰۰۰۰	-۳/۱۸	-۱۵۷۰۴/۶	-۱۵۶۱۴/۴۹	۸/۹۲	۰/۹۷
تانژانتافت	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	-۰/۱۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۰۰۱	۰/۸۳



شکل ۵- نمودار سطح مخلوط افزایش قطر بیسکویت‌های بدون گلوتن

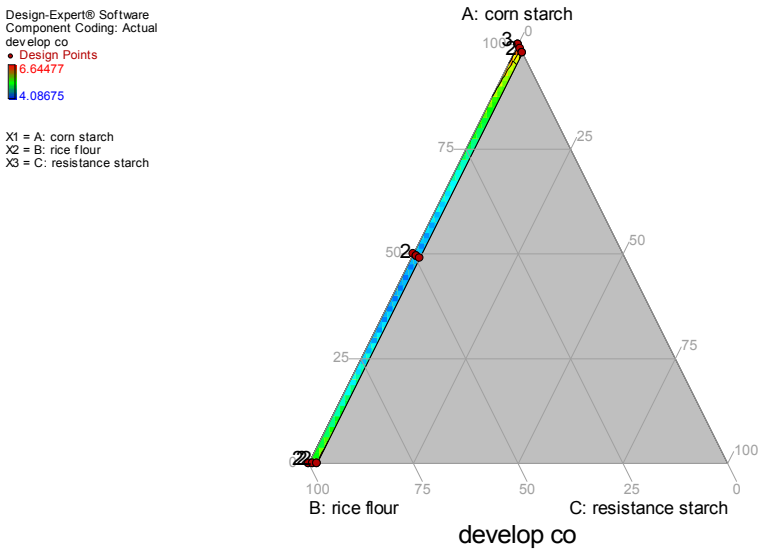


شکل٦- نمودار سطح مخلوط افزایش ضخامت بیسکویت‌های بدون گلوتن

۳-۳- ضریب گسترش

ضریب گسترش فاکتوری است که از تقسیم قطر بر ضخامت بیسکویت به دست می‌آید. از این ضریب، به عنوان یکی از فاکتورهای کیفیت محصول یاد می‌شود که باید تحت کنترل قرار بگیرد. بسته به نوع بیسکویت، ضریب گسترش مطلوب ممکن است بالا یا پایین باشد. به عنوان مثال در خمیر بیسکویت که حاوی مقدار چربی و قند زیاد باشد، ضریب گسترش بالا مورد انتظار است در حالی که در بیسکویت‌هایی که قند و چربی کمتری دارند،بیسکویت نباید پهن‌شده و یا چروک گردد (۱۵). نتایج نشان داد که محدوده این فاکتور از ۴/۰۸ تا ۶/۶۴ متغیر بود. ضریب گسنرش به طور خطی با میزان گلوتن تغییر می‌کند. در مقایسه با نمونه‌های حاوی گلوتن، ضریب گسترش در بیسکویت‌های بدون گلوتن و هر عاملی که بتواند میزان گلوتن را کاهش دهد (مانند جایگزینی آرد با نشاسته مقاوم)، کمتر است (۲۰). تجاسری و همکاران (۳۴) ضریب گسترش نمونه‌های بیسکویت بدون گلوتن را بین ۷/۶ تا ۸/۱ گزارش کردند. در این تحقیق، بیشترین ضریب گسترش مربوط به نمونه GF2 و کمترین ضریب گسترش مربوط به نمونه GF6 بود. جدول پیش بینی مدل (جدول ۲) نشان داد که تاثیر مجزا آرد ذرت، آرد برنج و نشاسته مقاوم بر ضریب‌گسترش مثبت اما اثرات متقابل آردها با نشاسته مقاوم منفی‌ارزیابی‌شد. همان‌طورکه درشکل ۷ مشاهده می‌گردد دررئوس‌مخلوط، ضریب‌گسترش‌دارای مقادیر بیشتری است و با اختلاط آرد ذرت و آرد برنج، این فاکتور کاهش پیدا کرده است. میزان ضریب گسترش در نمونه‌های حاوی آرد برنج‌کمترازنمونه‌های‌حاوی‌آرد ذرت بود (شکل ۷). پروتئین بیشترآرد برنج نسبت به آرد ذرت می‌تواند از دلایل این تفاوت‌باشد(۶). تطابق‌شکل ۶ و ۷ نشان میدهد در نقاطی‌که افزایش ضخامت(ضخامت) دیده می‌شود، ضریب گسترش کاهش یافته‌است این مورد می‌تواند به دلیل نگهداری آب و بخار درخمیر و به دنبال آن افزایش ضخامت و نهایتا کاهش ضریب‌گسترش باشد(۲). نشاسته مقاوم هم می‌تواند آب در دسترس‌خمیرراکاهش داده و در نتیجه ضریب‌گسترش را کاهش‌دهد(۵).لاگوناوهمکاران(۲۰)وازباس‌و همکاران(۲۵) نیزکاهش‌ضریب‌گسترش‌بیسکویت‌رادر نتیجه افزودن نشاسته مقاوم‌گزارش‌کردند. این نویسندگان بیان‌کردند افزایش قوام خمیر می‌تواند سبب کاهش گسترش خمیر شود چون ویسکوزیته‌خمیر عاملی است که ضریب گسترش بیسکویت راکنترل می‌کند و هرچه ویسکوزیته‌کمتر باشد، بیسکویت‌ها سریع‌ترپخش می‌شوند. به طور کلی افزودن هیدروکلوییدها، سبب‌کاهش ضریب گسترش می‌شود و این مسئله را می‌توان

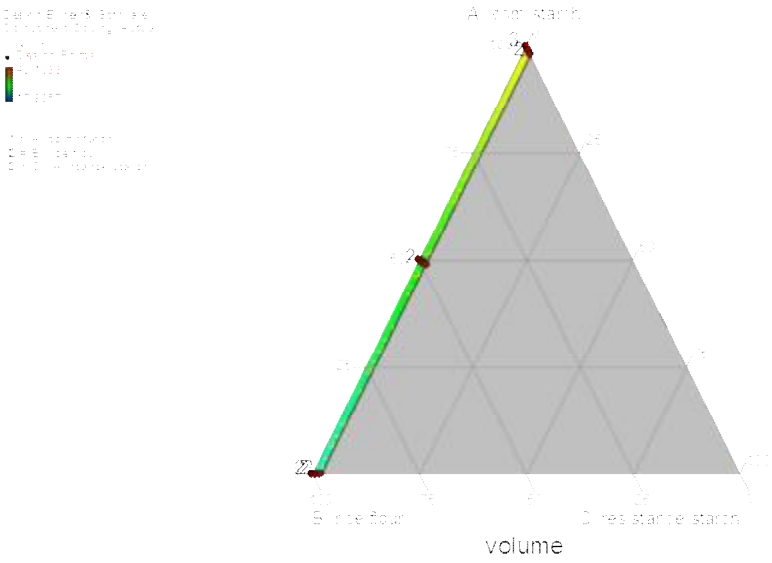
به تفاوت ظرفیت نگهداری آب هیدروکلوئیدها نسبت داد (۳۵). راجش و همکاران (۲۷) و کور و همکاران (۱۷) نیز کاهش‌ضریب‌گسترش‌رادراثرافزودن‌هیدروکلوئیدها گزارش کردند.



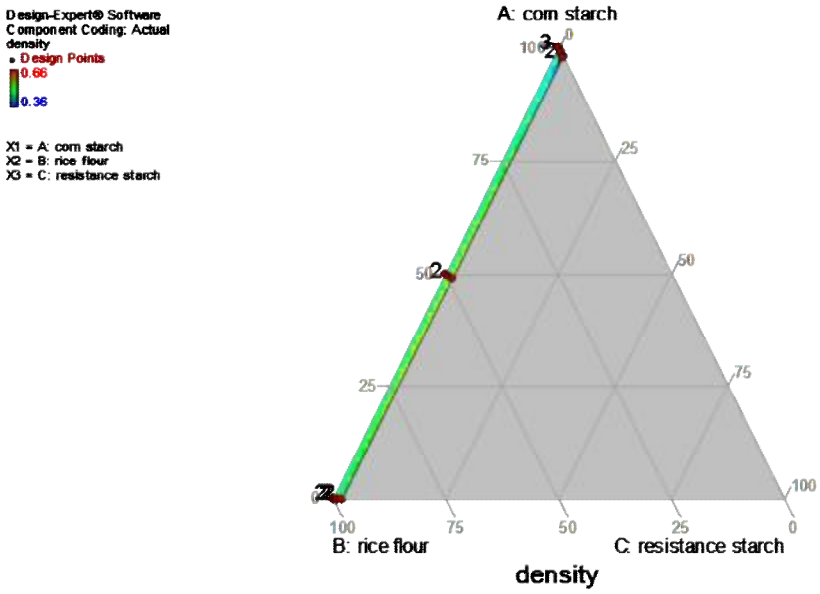
شکل۷- نمودار سطح مخلوط ضریب گسترش بیسکویت‌های بدون‌گلوتن

۳-٤- حجم و دانسیته

نتایج بیسکویت نشان داد که اثرات مجزا سه متغیر (آرد ذرت، آردبرنج و نشاسته مقاوم) برحجم بیسکویت‌معنی‌دار بود. محدوده حجم بیسکویت‌های تهیه شده بسته به نوع ترکیب از ۱۷/۸ تا ۴۰/۱۶ سانتی مترمکعب متغیر بود (شکل ۸). آرد ذرت بیشترین تاثیر و آرد برنج کمترین تاثیر را بر افزایش حجم داشتند چنان‌که حداکثر حجم مشاهده شده مربوط به نمونه GF10 و کمترین حجم مربوط به نمونه GF3بود. مطابق با ضرایب مدل به دست آمده، آرد ذرت، نشاسته مقاوم و آرد برنج به ترتیب بیشترین اثر مثبت را بر افزایش‌حجم بیسکویت داشتند. این نتایج مطابق با نتیجه پورمحمدی و همکاران (۲۷) در مورد نشاسته مقاوم وایوانوزیوا و همکاران (۱۶) در مورد فیبرکاسنی در بیسکویت بود. این نتیجه با نتایج ماریوتی‌و آلامپرز (۲۳) که بیان کردند افزودن فیبر سبب کاهش حجم شده است، مغایرت داشت. کاهش حجم بیسکویت دراثر افزودن فیبرمی‌تواند در نتیجه تضعیف فیبر، به هم ریختن ساختار خمیر و کاهش قدرت حفظ دی اکسیدکربن باشد(۱۵).کانالیس و همکاران (۹) نیز با بررسی تاثیرفیبرهای مختلف درفرمولاسیون بیسکویت، عنوان کردند فیبرهای مختلف اثرات متفاوتی در بیسکویت خواهند داشت. سابانیس و تی‌زیا (۲۹) در تطابق با نتایج این تحقیق اعلام کردند افزودن هیدروکلوئیدهای مختلف تاسطح ۱/۵درصد سبب افزایش حجم در نان شد. نتایج ارزیابی دانسیته در شکل ۹ نشان داده شده است. آنالیز واریانس نشان داد که مدل درجه سوم خاص، مدل معنی‌دار برای این فاکتور بوده است. در این مدل اثرات تک آرد ذرت، آرد برنج و نشاسته مقاوم، اثرمتقابل دوآرد و اثر متقابل سه‌گانه ترکیبات بر دانسیته معنی‌دار بود اما افزودن نشاسته مقاوم به آردها (ترکیب آرد ذرت- نشاسته مقاوم و آرد برنج -نشاسته مقاوم)تاثیرمعنی‌داری‌بر دانسیته نمونه‌ها نداشته است.بیشترین و کمترین دانسیته به ترتیب در GF1 و GF2 مشاهده شد که البته مطابقت نزدیکی با نتایج حجم دارد به طوری که آرد ذرت‌که بیشترین اثر را درافزایش‌حجم داشت، باعث کاهش دانسیته شد و نمونه‌حاوی آرد برنج دانسیته بیشتری داشت. تجاسری و همکاران (۳۴) تفاوت معنی‌داری را در دانسیته نمونه ها در اثر افزودن هیدروکلوئیدها مشاهده نکردند.



شکل ۸- نمودار سطح مخلوط حجم بیسکویت‌های بدون گلوتن

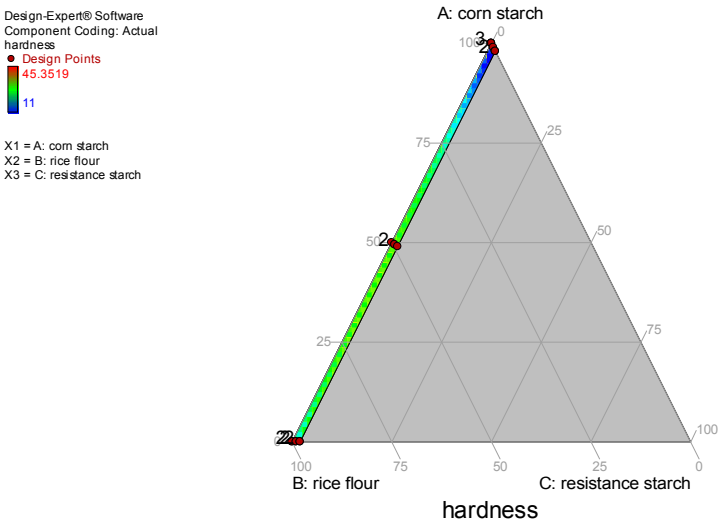


شکل ۹- نمودار سطح مخلوط دانسیته بیسکویت‌های بدون گلوتن

۳-۵-سفتی

سفتی بیسکویت بر اساس نیروی لازم برای شکست آن بیان می‌گردد. سفتی نمونه‌های بیسکویت از ۱۱ تا ۴۵/۳۵نیوتن متغیربود.شکل۱۰نیزنشان‌دهنده‌روندتغییرات سفتی بیسکویت تحت تاثیر ترکیب آرد برنج، آرد ذرت و نشاسته مقاوم می باشد. به طورکلی نمونه‌های حاوی آرد ذرت، سفتی کمتری نسبت به آرد برنج داشتند.کمترین مقدار سفتی مربوط به نمونهGF12 و بیشترین سفتی بیسکویت مربوط به نمونه

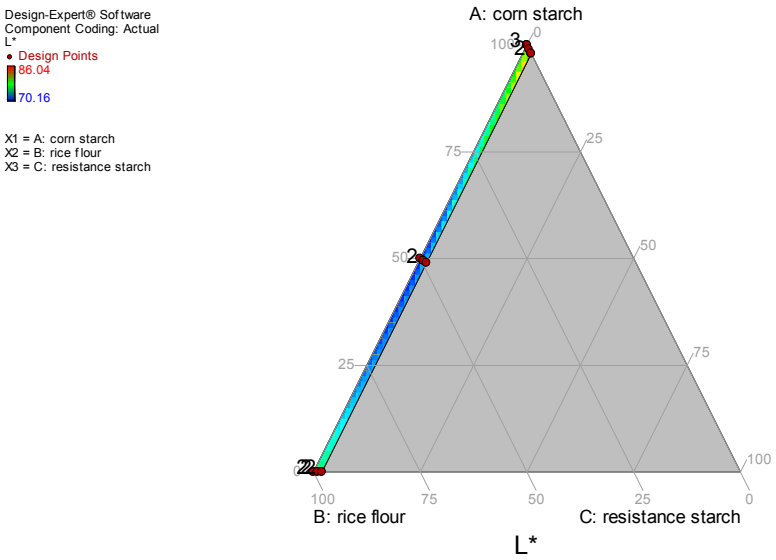
GF4 بود. این نتیجه مطابق با نتایج آلتینداگ و همکاران (۶) بود که گزارش کردند کوکی‌های حاوی آرد برنج به طور معنی‌داری سفت‌تر از کوکی‌های آرد ذرت هستند و این مسئله را به مقدار بیشتر پروتئین در آرد برنج نسبت دادند و بیان نمودند یه دلیل اتصال قوی بین پروتئین و نشاسته، میزان پروتئین با میزان سفتی رابطه مستقیم دارد. جدول پیش‌بینی مدل (جدول۲) نیز نشان داد که اثرات متقابل آردها با نشاسته مقاوم بر سفتی بیسکویت، منفی اما غیر معنی‌دار بود. وانگ و همکاران (۳۶)، برنان و ساموی (۸) و پورمحمدی و همکاران (۲۸) نیزگزارش کردند ارتباط منفی بین مقدار نشاسته مقاوم و سختی کوکی و بیسکویت وجود دارد. آرون و همکاران (۷) و کور و همکاران (۱۷) دلیل کاهش سفتی بیسکویت را با افزودن صمغ‌ها و فیبرها، حفظ بیشتر رطوبت ذکر کردند.



شکل ۱۰- نمودار سطح مخلوط سختی بیسکویت‌های بدون گلوتن

۳-۶- رنگ

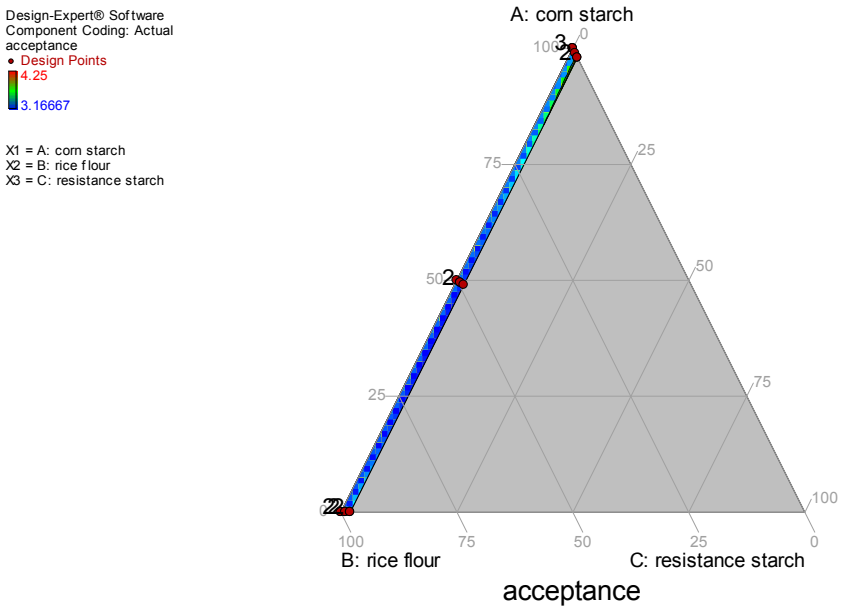
رنگ در کنار بافت و بو، از ویژگی‌های مهم در محصولات پخت است و نقش مهمی در ترجیح مصرف‌کنندگان دارد .روند تغییرات رنگی در شکل ۱۱ نشان داده شده است.تغییرات رنگ بیسکویت در طول پخت مربوط به واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی موسوم به میلارد و کاراملیزاسیون است (۱).تفاوت در رنگ بیسکویت‌ها همچنین می‌تواند در اثر قرار گرفتن نابرابر قسمت‌های سطحی بیسکویت در معرض حرارت باشد که منجر به واکنش‌های شیمیایی متفاوت می‌گردد (۱۴). شکل ۱۱ نشان می‌دهد که در نمونه‌های حاوی آرد ذرت با افزایش نشاسته مقاوم، شاخص L* افزایش یافته در حالی‌که در نمونه‌های آرد برنج، افزایشی در میزان روشنایی مشاهده نگردید.کمترین میزان روشنایی در مقادیر میانه آرد ذرت و آرد برنج دیده شد که می‌تواند مرتبط با رنگدانه آردهای مربوطه و تفاوت در نحوه متورم شدن و روان شدگی کریستالهای نشاسته باشد (۳۱). جدول پیش‌بینی مدل (جدول۲) نیز نشان داد که اثر ترکیبی نشاسته مقاوم با آردها بر میزان روشنایی مثبت و البته غیرمعنی‌دار بود. افزایش روشنایی کوکی با افزودن نشاسته مقاوم در مطالعات دیگر نیز گزارش شده استو دلیل آنبه کاهش غلظت پیگمان‌های موجود در فرمولاسیون در اثر افزودن نشاسته مقاوم نسبت داده شده است (۲۰؛ ۲۵).



شکل ۱۱ - نمودار سطح مخلوط L* بیسکویت های بدون گلوتن

۳-۷- ارزیابی حسی

ویژگی‌های حسی محصولات بدون گلوتن از فاکتورهای بسیار مهم در توسعه این‌گونه محصولات است. لذا در تعیین فرمولاسیون این‌محصولات توجه به این مهم، امری ضروری و غیرقابل اغماض می باشد. نتایج آنالیز واریانس مربوط به پذیرش‌کلی نمونه های بیسکویت نشان داد مدل درجه دوم مدل معنی دار و مناسب بود. هم چنین اثرات تک سه فاکتور مورد بررسی، معنی‌دار بود اما اثرات متقابل آردها با نشاسته مقاوم تاثیر معنی‌داری بر مدل نداشتند. با توجه به نتایج مشخص شد که میزان امتیاز نمونه‌های بیسکویت از ۳/۱۶ تا ۴/۲۵ متغیر بود که از این بین بیشترین امتیاز پذیرش کلی متعلق به نمونه GF10 بود. مطابق با جدول پیش‌بینی مدل، هرسه فاکتور به صورت مجزا تاثیر مثبت بر پذیرش‌کلی داشتند اما اثر متقابل آن‌ها تاثیر منفی داشت. شکل ۱۲نشان داد که درنمونه‌های حاوی‌آرد ذرت با افزایش مقدار نشاسته مقاوم امتیاز حسی افزایش می یابد اما این اثر در نمونه‌های تهیه شده از آرد برنج دیده نشد. در نمونه‌های تهیه شده از ترکیب این دوآرد به ویژه در مقادیر برابر، نیز افزایش نشاسته مقاوم‌منجر به افزایش پذیرش کلی گردید. ایوانوزیوا (۱۶) نیز در نتایج خود بیان کردند افزودن فیبرکاسنی تا ۳ درصد سبب افزایش پذیرش‌کلی بیسکویت گردید اما مقدار بیشترازآن،امتیازحسی‌راکاهش‌داد.آنالیزحسی بیسکویت‌های غنی‌شده بسیار مسئله مهمی است زیرا می‌تواند سبب تغییر نگرش‌مصرف‌کنندگان نسبت به محصولاتی‌گردد که ارزش تغذیه‌ای بالاتری دارند بنابراین باید مقادیر بهینه ترکیب افزودنی کاملا تعیین گردد.



شکل ۱۲– نمودار سطح مخلوط پذیرش کلی بیسکویت های بدون گلوتن

۳-۸- بهینه‌سازی

درتولید بیسکویت بدون گلوتن، حداکثرمقدار نشاسته مقاوم (به‌دلیل‌بهره‌مندی از اثرات مثبت آن)، حداکثر میزان پذیرش کلی، حداکثرروشنایی، سختی‌در محدودهمورد نظر، حداقل تغییر ابعاد، حداقل زردی و قرمزی مورد نظر قرار گرفت. ۴ فرمول بهینه از نظر مقدار آرد ذرت، آرد برنج و نشاسته مقاوم توسط نرم‌افزار ارائه شد. بنابراین فرمولاسیون مناسب براساس‌بالاترین‌درجه‌مطلوبیت[1] انتخاب گردید.درجه مطلوبیت شاخصی بین ۰ (خارج از محدوده) تا یک (هدف) است. بهینه‌سازی‌عددی‌نقاطی‌رامی‌یابدکه‌درآن‌هاشاخص مطلوبیت در حداکثر مقدار خود است. برای چندین متغیر و چندین پاسخ، همه محدوده‌های هدف با هم ترکیب می‌شوند تا در نهایت یک شاخص مطلوبیت بدست آید. در واقع هدف از بهینه‌سازی یافتن یک سری شرایط است که به همه اهداف نزدیک باشد نه اینکه مطلوبیت یک به‌دست آید. مطابق با نتایج بهینه‌یابی، در این‌فرمولاسیون بهینه مقدار۸۸/۷۹ درصد آرد ذرت، ۹/۲۱ درصد آرد برنج و ۲ درصد نشاسته مقاوم بهترین نتیجه را در بیسکویتبه دست داد.

٤-نتیجه‌گیری

در این پژوهش ویژگی‌های‌کیفی بیسکویت بدون‌گلوتن حاوی نشاسته مقاوم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که نمونه های حاوی نشاسته مقاوم رنگ تیره‌تر و پذیرش حسی کمتری را داشتند اما ویژگی‌های رئولوژی در نمونه‌های حاوی نشاسته مقاوم بهبود پیدا کرد. با توجه به اینکه ضعف ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر، یکی از عیوب اصلی در فرآورده‌های بدون گلوتن است بنابراین نشاسته مقاوم‌اثرمثبتی رادر این زمینه نشان داد. همچنین این نمونه ها سختی‌کمتری هم نسبت به نمونه‌های بدون نشاسته داشتند. در نهایت نتایج تحقیق حاکی از آن بود که فرمولاسیون با ترکیب ۸۸/۷۹ درصد آرد ذرت، ۹/۲۱ درصد آرد برنج و ۲ درصد نشاسته مقاوم، بهترین نتیجه را در بیسکویت بدون گلوتن حاصل می‌نمایند.

1 - Desirability

۵-سپاسگزاری

مولفین این مقاله از همکاری صمیمانه آقای مهندس امیر قره‌باشی‌وآقای‌مهندس ایمان بایندری در اجرای این تحقیق، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

٦- منابع

۱. مجذوبی، م.، منصوری، ح.، فلسفی، س.ر.، فرحناکی،ع.۱۳۹٤. تاثیرپودرهسته‌خرما بر برخی ویژگی‌های‌خمیر بیسکویت و بیسکویت سخت. *علوم غذایی و تغذیه*، سال دوازدهم، شماره۲، ۱٤-۵ .

۲. موسوی‌کلجاهی، س. ا.، صدر، ا. ب. ۱۳۹۸. بهینه‌سازی اثر غلظت‌های مهم گزانتان، گوار و کربوکسی‌متیل‌سلولزبرخصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی‌وارگانولپتیکی‌بیسکویت بدون گلوتن برپایه آرد برنج. *علوم و صنایع غذایی*، شماره ۹٤، دوره ۱٦، ۵۰-۳۹.

۳. وطن‌خواه، م.، الهامی‌راد، م.ح.، یقبانی، م.، نادیان، ن.، اکبریان، م.ج. ۱۳۹۳. بررسی امکان تولید بیسکویت رژیمی با استفاده از شیین کننده استویوزید. *پژوهش ونوآوری در علوم و صنایع غذایی*، جلد۳، شماره ۲، ۱۷۰-۱۵۷.

4. AACC. 2000. Approved Methods of the AACC American Association of Cereal Chemists, St Paul, Minnesota, Method, 72-10.
5. Aggarwal, D., Sabikhi, L., Kumar, M. H. S., Panjagari, N. R. 2018. Investigating the effect of resistant starch, polydextrose and biscuit improver on the textural and sensory characteristics of dairy-multigrain composite biscuits using response surface methodology. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12:1167-1176.
6. Altindag, G., Certel, M., Erem, F. and Konak, U. I. 2014. Quality characteristics of gluten-free cookies made of buckwheat, corn and rice flour with/without transglutaminase. *Food Science and Technology International*, 21(3): 213-220.
7. Arun, K. B., F. Persia, P. S. Aswathy, J. Chandran, M. S. Sajeev, P. Jayamurthy. and P. Nisha. 2015. Plantain peel-a potential source of antioxidant dietary fibre for developing functional cookies. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10): 6355-6364.
8. Brennan, C. S. and Samyue, E. 2014. Evaluation of starch degradation and textural characteristics of dietary fiber enriched biscuits. *International Journal of Food Properties*, 7(3): 647-657.
9. Canalis, M. S. B., Stefollani, M. E., Lion, L. E. and Ribotta, B. D. 2016. Effect of different fibers on dough properties and biscuit quality.*Journal of the Science of Food and Agriculture* 97(5). DOI:10.1002/jsfa.7909
10. Delcour, J. A., Joye, I. J., Pareyt, B., Wilderjans, E., Brijs, K., and Lagrain, B. 2011. Wheat gluten functionality as a quality determinant in cereal-based food products. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3: 469-492.
11. Donkor, O.,Nilmini, S. L. I., Stoilc, P. and Vasiljevic, T. 2007. Survival and activity of selected probiotic organisms in set-type yogurt during cold storage. *International Dairy Journal* 17(6):657-665.
12. Doporto, M. C., Sacco, F., Vina, S. Z. and Garcia, M. A. 2017. Quality and technological properties gluten free biscuits made with pachyrhizus ahipa flour as a novel ingredient. *Food and Nutrition Sciences*, 8: 70-83.
13. Drabinska, N., Zielinski, H. and Krupa-Kozak, U. 2016. Technological benefits of inulin type fructan aaplication in gluten free products-a review. *Trends in Food Science and Technology*, 56: 149-157.
14. Giuberti, G., Marti, A., Fortunati, P. and Gallo, A. 2017. Gluten free rice cookies with resistant starch ingredients from modified waxy rice starches: nutritional aspects and textural characteristics. *Journal of Cereal Science*, 76: 157-164.
15. Gujral, H.S. and Rosell, C.M.2004. Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase.

dough biscuits: multivariate effects of polydextrose and resistant starch on dough rheology and biscuit quality. *Journal of Cereal Science*, 81:171-178.

25. Ozbas, O., Seker, I. T. and Gokbulut, I. 2010. Effects of resistant starch. apricot kernel flour and fiber-rich fruit powders on low-fat cookie quality. *Food Science and Biotechnology*, 19: 979-986.
26. Paymundo, A., Fradinho, p., Nune, M. 2014. Effect of Psyllium fibre content on the textural and rheological characteristics of biscuit and biscuit dough. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*.

http://dx.doi.org/10.1016/j.bcdf.2014.03.001.

27. Pourmohammadi, K., Abedi, E., Farahmand, S., Mahmoudi, M. R., Hashemi, S. M. B. and Torri, L. 2018. Nodelling the effects of corn and wheat resistant starch on texture properties and quality of resistant starch-enrichment dough and biscuit. *Journal of Food Process Engineering*, 42(2): e12962.
28. Rajesh, D., R. Ravi, R., Bhattacharya, S. 2015. Effect of Hydrocolloids on Quality of Proso Millet Cookie. *Food Bioprocess Technology*. 8: 2298–2308.
29. Sabanis, D. and Tzia, C. 2011. Effect of hydrocolloids on selected properties of gluten-free dough and bread. *Food Science and Technology International*, 17(4): 279-291
30. Sarabhai, S., Prabhasankar, P. 2105. Influence of whey protein concentrate and potato starch on rheological properties and baking performance of Indian water chestnut flour based gluten free cookie dough, *Food Science and Technology*, 1-8.
31. Sarabhai, S, m., Sudha, M. L. and Prabhasankar, P. 2017. Rheological characterization and biscuit making potential of gluten free. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11: 1449-1461.
32. Sudha, M. L., Srivastava, A. K., Vetrimani, R., Leelavathi, K. 2006. Fat replacement in soft dough biscuit: its application on dough rheology and *Journal of Cereal Science*, 39:225–230.
16. Ivanisova, E., Drevkova, B., Tokar, M., Terentjeva, M., Krajcovic, T. and Kacaniova, M. 2019. Physicochemical and sensory evaluation of biscuit enriched with chicpry fiber. *Food Science and technology International*, 26(1):38-43.
17. Kaur, M., Sandhu, K. S., Arora, A., Sharma, A. 2015. Gluten free biscuit prepared from buckwheat flour by incorporation of various gums: physicochemical and sensory properties. *LWT-Food Science and Technology*, 61(1):628-632.
18. Korus, A., Gumul, D., Krystyjan, M., Juszczak, L., Korus, J. 2017. Evaluation of the quality, nutritional value and antioxidant activity of gluten-free biscuit made from corn-acron flour or corn-hemp flour composites. *European Food Research and Technology*.
DOI 10.1007/s00217-017-2853-y.
19. Korus, J., Witczak, M., Ziobro, R., Juszczak, L., 2009. The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough and bread. *Food Hydrocolloids*. 23 (3): 988e995.
20. Laguna, L., Salvador, A., Sanz, T. and Fiszman, S. M. 2011. Performance of a resistant starch rich ingredient in the baking and eating quality of short-dough biscuits. *LWT-Food Science and Technology*, 44: 737-746.
21. Mancebo, C. M., Rodriguez, P. and Gomez, M. 2015. Assessing rice flour-starch-protein mixtures to produce gluten free sugar-snap cookies, *LWT - Food Science and Technology*.
Doi: 10.1016/j.lwt.2015.11.045.
22. Marco, C. and Rossel, M. 2008. Effect of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties. *Journal of food engineering*, 48(1): 132-139.
23. Mariotti, M. & Alamprese, A. 2012. About the use of different sweeteners in baked goods. Influence on the mechanical and rheological properties of the doughs.*LWT- Food Science and Technology*, 48(1):9-15
24. Moriano, M. E., Cappa, C. and Alamprese, C. 2018. Reduced-fat

biscuit quality. *Journal of Food Engineering*: 80:922-930

33. Sulieman, A., Zhu, K., Peng, W., Hassan, H.A., Obadi, M., Siddeeg, A., Zhou, H. 2018. Rheological and quality characteristics of composite gluten-free dough and biscuit supplemented with fermented and unfermented Agaricus bisporus polysaccharide flour. *Food Chemistry*. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.189
34. Thejasri, V., Hymavathi, T. V., Roberts, T. P., Anusha, B. and Devi, S. 2017. Sensory, physicochemical and Nutritional properties of gluten free biscuits formulated with quinoa, foxtail millet and hydrocolloids. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 6(8): 1710-1721.
35. Tsatsaragkou, K., Gounaropoulos, G., Mandala, I., 2014a. Development of gluten free bread containing carob flour and resistant starch. *LWT Food Science and Technology*, 58(1): 124e129.
36. Wang, L., Li, S. and Gao, Q. 2014. Effect of resistant starch as dietary fiber substitute on cookies quality evaluation. *Food Science and Technology Research*, 20(2): 263-272.
37. Wieser, H. 2007. *Chemistry of gluten protein. Food Microbiology*, 24:115-119.

(Original Research Paper)

Study of Physicochemical, Rheological and Sensory Characteristics of Rice and Corn flour-based Gluten Free Biscuit Containing Resistant Starch

Rahil Rezaei[1*], Masoumeh Moghimi[2], Seyyed Soheil Amiri Aghdaei[3]

1-Department of Food Science and Technology, Gonbad Kavoos Branch, Islamic Azad University, Gonbad Kavoos, Iran.
2-Department of Chemistry, Gonbad Kavoos Branch, Islamic Azad University, Gonbad Kavoos, Iran.
3-Ph.D Student of Food Science and Technology, Gorgan university of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Received:01/05/2021 Accepted:03/10/2021

Abstract

The compliance with a strict GF diet is not easy, as GF products are generally not widely available, are more expensive and have lower palatability and nutritional value than their gluten containing counterparts. The aim of this research was gluten free biscuit enriched by resistant starch that compensate some of these defects. This study investigatedeffect of different proportions of corn flour and rice flour (0-100%) and resistant starch (0-2%). Combination of resistant starch with flours reduced biscuit diameter increment and increased height increment. All of independent variables affected volume positively and the highest volume was seen at samples with more corn flour. Resistant starch addition to flours decreased development coefficient. Firmness of biscuit samples was reduced by resistant starch. Investigation of color revealed that resistant starch addition decline L*. In terms of organoleptic evaluation, resistant starch reduced total acceptance of biscuits. Rheological results indicated that all of biscuit dough has solid-like behavior. Resistant starch had the greatest effect on the storage and loss modulus. Finally, optimization results revealed that 88.79% corn flour, 9.21% rice flour and 2% resistant starch established the best result in gluten free biscuit.

Keywords: Biscuit, Gluten Free, Resistant Starch, Rheology.

[*]Corresponding Author: rezaei.rahil@yahoo.com