

بررسی اثر صمغ‌های زانتان، گوار و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی و بافتی دونات فاقد گلوتن

آرزو فاضلی^۱، مصطفی مظاهری تهرانی^{۲*}، مهدی کریمی^۳، علیرضا صادقیان^۴، آرش کوچکی^۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

* نویسندهٔ مسئول (mmtehrani@um.ac.ir)

۳- دانشیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۴- استادیار، گروه فرآوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۹

واژه‌های کلیدی

آنزیم ترانس‌گلوتامیناز

دونات

سلیاک

فاقد گلوتن

هیدروکلوئید

در این پژوهش بهینه‌یابی فرمولاسیون دونات فاقد گلوتن و تأثیر افزودن صمغ‌های زانتان، گوار و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و اثرات متقابل آنها بررسی شد. ترکیبات متغیر هرکدام با مقدار صفر تا ۲ درصد وزنی آرد به فرمول دونات فاقد گلوتن اضافه شدند. با استفاده از طرح آماری مخلوط، نقطهٔ بهینهٔ فرمول براساس ویژگی‌های میزان جذب روغن، تخلخل، حجم مخصوص، رنگ پوسته و سفتی بافت بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین جذب روغن در بالاترین سطح آنزیم و در غیاب صمغ‌ها رخ داد، در کمینه مقادیر صمغ گوار و آنزیم و بیشینه مقدار صمغ زانتان کمترین جذب روغن اتفاق افتاد. ترانس‌گلوتامیناز با ایجاد اتصالات عرضی بین پروتئین‌های آرد برنج، آرد سیب‌زمینی و کنسانترهٔ پروتئینی سویا و تشکیل شبکهٔ پروتئینی، زانتان با ایجاد حالت ویسکوالاستیک و گوار با اعمال ویژگی‌های بین سطحی به‌ترتیب باعث افزایش تخلخل و حجم مخصوص دونات‌ها شدند. در برهم‌کنش بین ترکیبات، افزایش مقادیر صمغ گوار منجر به روشن‌تر شدن رنگ دونات‌ها شد. بررسی آزمون سفتی بافت نشان داد نمونهٔ بدون آنزیم حاوی هر دو صمغ دارای بیشترین سفتی است. این امر به افزایش ویسکوزیته توسط اثرات هم‌افزایی این دو صمغ برمی‌گردد. با افزودن آنزیم و ایجاد شبکهٔ پروتئینی نرمی بافت بیشتر شد. نتایج این پژوهش نشان داد که فرمول حاوی هر سه ترکیب به‌خوبی می‌تواند شبکهٔ پروتئینی را در دونات فاقد گلوتن شبیه‌سازی کند. طبق آنالیز آماری و بهینه‌یابی انجام‌شده، نمونهٔ حاوی ۰/۹۸ درصد صمغ زانتان، ۰/۴۴ درصد صمغ گوار و ۰/۵۸ درصد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بهترین فرمول شناخته شد.

مقدمه

جزء پروتئینی برخی غلات مانند گندم، چاودار و جو است

(Peshin, 2001). این بیماری با اختلال در واسطه‌گرهای

ایمنی و به‌دنبال آن ایجاد سوء‌هاضمه و عدم جذب مواد

بیماری سلیاک یک ضعف ایمنی روده‌ای است که از عدم

هضم گلوتن در افراد مستعد ژنتیکی ایجاد می‌شود. گلوتن

روش محصولات غذایی به منظور سرخ شدن وارد محیط روغنی با دمای بالاتر از نقطه جوش آب می‌شوند (Dueik *et al.*, 2010). میزان روغن یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی فراورده‌های سرخ‌کردنی می‌باشد. میزان جذب بالای روغن هم برای تولیدکننده گران تمام می‌شود و هم موجب چرب و بی‌مزه شدن محصول می‌گردد. باین وجود بافت محصول کم‌چرب نیز نامطلوب است. مواد غذایی سرخ‌شده به دلیل داشتن طعم مطبوع و بافت ویژه‌ای که دارند همواره مورد توجه مصرف‌کنندگان بوده‌اند. در صنعت مواد غذایی ویژگی‌های کیفی محصولات تولیدشده از اهمیت زیادی برخوردار است. رنگ و بافت از مهم‌ترین خصوصیات کیفی مواد غذایی هستند که تحت تأثیر سرخ کردن قرار می‌گیرند.

صمغ‌ها با موفقیت در تولید فراورده‌های نانویی با هدف حفظ و کنترل رطوبت، حفظ گاز خمیر، بهبوددهنده بافت و کندکننده بیاتی به کار برده می‌شوند (Guarda *et al.*, 2004; Bancenas *et al.*, 2004). افزودن انواع مختلف هیدروکلوئیدها به محصولات پخت به خواص عملکردی آنها مانند حلالیت، ویژگی‌های رئولوژیکی، برهم‌کنش با دیگر اجزاء بستگی دارد (Mandala *et al.*, 2008). علاوه بر صمغ‌ها، آنزیم‌ها نیز در مراحل مختلف تولید نان و فراورده‌های پخت به کار برده می‌شوند، چرا که در کاهش سفتی مغز نان، تأخیر در بیاتی و بهبود تشکیل خمیر و کیفیت نهایی فراورده مؤثر هستند (Gray & Bemiller, 2003).

در تحقیقی اثرات افزودن صمغ‌های زانتان و گوار بر بیاتی کیک‌های برنجی فاقد گلوتن طبخ‌شده در فر با دمای مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد که مخلوط صمغ زانتان-گوار منجر به کاهش سختی، افت وزن، آنتالپی برگشت و تغییر در مقادیر ویسکوزیته برگشتی کیک طی دوره نگهداری شده است. همچنین، مشخص شد که نوع فر (سنتی یا مایکروویو) در پارامترهای بیاتی کیک‌های فاقد گلوتن مؤثر می‌باشد (Sumnu *et al.*, 2010).

Kim و همکاران (۲۰۱۵) اثرات هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC^۳) بر جذب روغن و بافت دونات سویا فاقد گلوتن را بررسی کردند. نتایج نشان داد که دونات

غذایی و ویتامین‌ها و تحلیل ریزپرزها شناسایی می‌شود. پُرزها به‌طور طبیعی مواد مغذی را از غذاهای مصرفی جذب می‌نمایند. در پاسخ به گلوتن مصرفی سیستم ایمنی بدن بیمار باعث تخریب در سطح ریزپرزهای روده کوچک می‌گردد. زمانی که پُرزها تخریب می‌شوند، بدن نمی‌تواند مواد مغذی موردنیاز را دریافت کند. در نتیجه سوءجذب ایجاد می‌گردد و بیمار در اثر عدم جذب مواد موردنیاز دچار کاهش وزن و علائم مربوط به کمبود مواد مغذی می‌گردد (Blades, 1997; Murray, 1999; Schuppan *et al.*, 2009). طبق آخرین بررسی‌ها آمار افراد مبتلا به سلیاک به‌طور فزاینده‌ای در ایران روبه‌افزایش است.

یکی از مهم‌ترین مشکلات بیماران سلیاکی تأمین مواد غذایی موردنیازشان است. همچنین نبود تنوع، پایین بودن کیفیت و طعم نه‌چندان مطلوب منابع غذایی مورد استفاده این افراد مشکل بزرگی است که سال‌ها چالش بزرگ متخصصین صنعت غذا بوده است. از آنجاکه محصولات پخت^۱ عمده‌ترین منبع درگیر با گلوتن هستند، تهیه محصولات پخت بدون گلوتن در اولویت است.

دونات‌ها معروف‌ترین نان‌های حجیم و سرخ‌شده به روش غوطه‌وری هستند. برای اولین بار دونات در آلمان و هلند تهیه شد به این صورت که تکه‌های باقی‌مانده از خمیر نان را در روغن سرخ کرده و به آن اولیکوک^۲ می‌گفتند (Rehman *et al.*, 2007). دونات دارای دو بخش داخلی و خارجی است. بخش خارجی که در سطح قرار دارد سرخ‌شده و مستقیماً در تماس با روغن قرار می‌گیرد. این قسمت بیشترین دفع رطوبت و بیشترین جذب روغن را دارد و در حالت ایده‌آل رنگ قهوه‌ای طلایی و ساختار ترد دارد. بخش داخلی مشابه کیک است و اگر در طول سرخ‌کردن حرارت کافی دریافت نکند، ژلاتیناسیون نشاسته به تعویق می‌افتد و در نتیجه رطوبت در این قسمت بالاتر از سطح است که باعث می‌شود که در طول ذخیره‌سازی، رطوبت به بخش سرخ‌شده مهاجرت کند و تردی سطح را از بین ببرد (Tan & Mittal, 2006).

سرخ‌کردن فرایند پیچیده‌ای است که به‌طور گسترده در تهیه مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این

^۱ Bakery Products

^۲ Olykoek

^۳ Hydroxypropyl Methylcellulose

قرار دادند. برهم‌کنش بین پروتئین‌های برنج و سویا به‌وسیلهٔ تشکیل باندهای کووالانت درون‌مولکولی و به‌طور غیرمستقیم، باندهای دی‌سولفید بین پروتئین‌ها تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. افزودن پروتئین‌های سویا به آرد برنج تعادل اسیدهای آمینه را بهبود می‌بخشد.

هدف اصلی این پژوهش تولید دونات بدون گلوتن با بهره‌گیری از صمغ‌های زانتان و گوار در حضور آنزیم ترانس‌گلوتامیناز است. امید است با به‌کارگیری آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و توانایی این آنزیم در ایجاد پیوندهای عرضی بین پروتئین‌های کنسانترهٔ سویا، آرد برنج و آرد سیب‌زمینی، صمغ گوار با داشتن فعالیت بین سطحی و ویسکوزکنندگی مناسب، و زانتان با داشتن توانایی ایجاد شبکهٔ ویسکوالاستیک و ایجاد ویسکوزیتهٔ مطلوب به شبیه‌سازی شبکهٔ گلوتن و تثبیت آن در دونات بدون گلوتن برسیم.

مواد و روش‌ها

اجزاء فرمولاسیون شامل: آرد گندم، آرد برنج، آرد سیب‌زمینی، تخم‌مرغ و شکر از بازار محلی شهر مشهد خریداری شدند. مخمر از نوع پودر خشک فعال بود و از کارخانهٔ خمیرمایهٔ فریمان تهیه شد. صمغ‌های گوار، زانتان و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز از شرکت (Eliot, Modernist Pantry، ساخت آمریکا) تهیه شد. کنسانترهٔ پروتئین سویا با ۷۰ درصد پروتئین (Shandong Sanwei، ساخت چین) و شورتنینگ (برند Crisco، ساخت آمریکا) مورد استفاده قرار گرفت.

روش تهیهٔ دونات

برای تهیهٔ خمیر از همزن حرفه‌ای کیچن‌اید (مدل Artisan، ساخت آمریکا) استفاده شد. ابتدا مواد خشک شامل: آرد برنج، آرد سیب‌زمینی، شکر، مخمر، آنزیم، زانتان و گوار با هم مخلوط شدند. تخم‌مرغ به مدت ۳ دقیقه با استفاده از همزن برقی با دور تند زده شد. سپس، شورتنینگ به تخم‌مرغ افزوده و به مدت ۱ دقیقه با دور تند یکنواخت گردید. آنگاه، مواد خشک به مواد تر اضافه شده و با هوک خمیرگیر دستگاه هم‌زده شد. آب تدریجاً به‌طور هم‌زمان افزوده‌شده و به مدت ۵ الی ۸ دقیقه کاملاً

حاوی سویا در حدود دو برابر جذب روغن و آفت رطوبت بیشتری در مقایسه با نمونهٔ شاهد داشته و همچنین حجم مخصوص کمتر و بافت سفت‌تری دارد. همچنین، نتایج نشان داد که افزودن هیدروکسی‌پروپیل متیل سلولز کیفیت دونات‌های فاقد گلوتن را همراه با آرد سویا به‌طور زیادی بهبود بخشد.

اثر افزودن آردهای نخودفرنگی و اویار سلام زرد^۱ بر نان‌های فاقد گلوتن نشان داد که آرد نخودفرنگی حجم مخصوص نان را افزایش و آرد اویار سلام زرد حجم را کاهش داد. همچنین، مشخص شد که نان حاوی هر دو آرد خواص پخت (آفت پخت، حجم مخصوص، رنگ مغز و پوسته و سختی مغز) را حتی زمانی که شورتنینگ یا امولسیفایر کاهش یا حذف گردید به‌خوبی حفظ کردند (Aguilar et al., 2015).

Sirichokworakit و همکاران (۲۰۱۶) برای تولید دونات، آرد گندم را با مقادیر صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آرد برنج سیاه (نوعی برنج تایلندی) جایگزین کردند. آنها دریافتند با افزایش مقادیر آرد برنج سیاه، خاکستر، رطوبت و محتوی فیبر افزایش درحالی‌که چربی و مقادیر پروتئین کاهش یافت. همچنین با افزایش درصد آرد برنج سیاه سفتی و قابلیت جویدن دونات‌ها افزایش و به‌هم‌پیوستگی و فنریت و حجم مخصوص کاهش یافت. درنهایت پذیرش کلی دونات‌هایی که با مقادیر ۲۰ و ۴۰ درصد از آرد برنج سیاه تهیه شدند با نمونه‌های تهیه‌شده از ۱۰۰ درصد آرد گندم برابری می‌کرد.

ترانس‌گلوتامیناز^۲ یک نوع آنزیم میکروبی می‌باشد که با تشکیل پیوندهای عرضی بین گروه آمینو زنجیرهٔ جانبی لایزین از یک پروتئین و گروه کربوکسیل‌آمید زنجیرهٔ جانبی گلوتامین از پروتئین دیگر، پروتئین‌های جدید با ویژگی‌های خاص و منحصربه‌فرد ایجاد می‌کند. Marcoa و Rosell (۲۰۰۸)، اثر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی را بر الگوی الکتروفورز برنج، سویا و مخلوط سویا-برنج موردبررسی قرار دادند. آنها برهم‌کنش‌های بین پروتئین‌های آرد برنج و سویا (۵ درصد وزنی/وزنی) که در حضور آنزیم ترانس‌گلوتامیناز اتفاق می‌افتد را مورد مطالعه

¹ Tigernut Flour

² Transglutaminase (TGase)

که محاسبه نسبت نقاط روشن به تاریک به عنوان شاخصی از میزان تخلخل نمونه‌ها برآورد می‌شود. بدیهی است که هر چقدر این نسبت بیشتر باشد بدین معناست که میزان حفره‌های موجود در بافت دونات (میزان تخلخل) بیشتر است. در عمل با فعال کردن قسمت آنالیز نرم‌افزار، این نسبت محاسبه و درصد تخلخل نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (Haralick et al., 1973).

حجم مخصوص

جهت انجام این آزمون از استاندارد شماره ۰۵-۱۰ (AACC, 2000) استفاده شد. برای این منظور در فاصله زمانی ۲ ساعت پس از پخت، قطعه جدا شده از هر نمونه دونات به ابعاد ۲×۲ سانتی‌متر را با ترازوی دیجیتال (مدل Bosch PE 626) و دقت ۱ میلی‌گرم توزین گردید. سپس در داخل یک استوانه مدرج ۱۰۰۰ سی‌سی دانه ارزن ریخته شد، پس از آن دانه‌های موجود داخل یک بشر، خالی شدند. نمونه دونات داخل استوانه قرار داده شد و از دانه‌های ارزن موجود داخل بشر روی آن ریخته شد تا اینکه حجم استوانه به ۱۰۰۰ سی‌سی برسد. از روی میزان ارزن باقی‌مانده در داخل بشر حجم مخصوص دونات اندازه‌گیری و گزارش شد. نهایتاً حجم ویژه دونات‌ها از تقسیم حجم بر جرم آنها به دست آمد.

تعیین رنگ پوسته

آنالیز رنگ پوسته دونات از طریق تعیین سه شاخص L^* ، a^* و b^* صورت پذیرفت. جهت اندازه‌گیری این فاکتورها تصویری با وضوح ۱۲۰۰ پیکسل از سطح نمونه‌ها به وسیله اسکنر تهیه گردید. سپس مربعی به ابعاد ۸۰۰×۸۰۰ پیکسل از تصویر دونات بریده شد و در اختیار نرم‌افزار Image J قرار گرفت. با فعال کردن فضای Lab در بخش Plugins، شاخص‌های فوق محاسبه گردیدند (Sun, 2011).

سفتی بافت

آزمون بافت‌سنجی با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (QTS Texture analyzer، CNS Farnell، Essex، ساخت ایالات متحده آمریکا) و آنالیز داده‌ها توسط نرم‌افزار

با مابقی مواد مخلوط شد. پس از شکل‌گیری، خمیر به مدت ۱۵ دقیقه در گرم‌خانه با دمای ۳۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد قرار گرفت. پس از طی زمان تخمیر اولیه، سطح کار با آرد برنج آردپاشی شد. خمیر به ضخامت ۱ سانتی‌متر پهن و قالب‌زنی با قالب استاندارد صورت گرفت. به منظور پهن کردن خمیر با ضخامت یکسان از وردنه قابل تنظیم (Roll Matic، ساخت ایتالیا) استفاده شد. وزن هر چانه خمیر قالب‌زده شده 50 ± 1 گرم تنظیم شد. خمیرهای قالب‌زده شده به مدت ۴۵ دقیقه درون گرم‌خانه با دمای ۳۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد قرار گرفتند. پس از طی این مدت حجم خمیرها دو برابر شد. سپس، خمیرها توسط سرخ‌کن دیجیتال مولینکس (مدل Moulinex DR5، ساخت فرانسه) در روغن با دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد به روش غوطه‌وری تا رسیدن به رنگ قهوه‌ای سرخ شدند. به منظور تهیه دونات شاهد آرد گندم، تخم‌مرغ، شکر، مخمر و شورتنینگ مورد استفاده قرار گرفت. مراحل آماده‌سازی همانند مراحل تولید دونات بدون گلوتن انجام شد.

جذب روغن

به منظور اندازه‌گیری درصد جذب روغن از روش علیپور و همکاران (۱۳۸۸) و فرمول طراحی شده توسط آنها (رابطه ۱) استفاده شد (علیپور و همکاران، ۱۳۸۸).

رابطه (۱)

$$(\text{درصد روغن خمیر} - \text{درصد روغن دونات}) = \text{جذب روغن (درصد)}$$

تخلخل

به منظور ارزیابی میزان تخلخل مغز دونات از تکنیک پردازش تصویر استفاده شد. بدین منظور به وسیله اسکنر (مدل HP Scanjet G3010) تصویری به ابعاد ۸۰۰×۸۰۰ پیکسل از مغز دونات‌ها با وضوح ۱۲۰۰ پیکسل تهیه گردید. سپس تصاویر در اختیار نرم‌افزار Image J قرار گرفت. با فعال کردن قسمت ۸ بیت، تصاویر سطح خاکستری^۱ ایجاد شد. جهت تبدیل تصاویر خاکستری به تصاویر دودویی^۲، قسمت دودویی نرم‌افزار فعال گردید. این بخش از نرم‌افزار مجموعه‌ای از نقاط روشن و تاریک است

^۱ Gray Scale Image

^۲ Binary Image

نتایج و بحث

میزان جذب روغن

باتوجه به اهمیت میزان جذب روغن در نمونه‌های دونات، پاسخ میزان جذب روغن از لحاظ آماری مورد مقایسه قرار گرفت (شکل ۱). در مقایسه تیمارهای مختلف مشخص گردید بیشترین میزان جذب روغن در نمونه شماره ۲ (۰ درصد زانتان، ۰ درصد گوار و ۲ درصد ترانس گلوتامیناز) و کمترین میزان جذب روغن در نمونه شماره ۵ (۱/۳۳ درصد زانتان، ۰/۳۳ درصد گوار و ۰/۳۳ درصد ترانس گلوتامیناز) مشاهده گردید. معادله پیشگویی جذب روغن نیز نشان می‌دهد بیشترین ضریب جذب مربوط به ترانس گلوتامیناز می‌باشد. به نظر می‌رسد عدم حضور صمغ‌های زانتان و گوار تأثیر زیادی در افزایش میزان جذب روغن دارد. از آنجایی که در نبود صمغ‌ها رطوبت خمیر (آب آزاد) بسیار بالا بود، با خروج رطوبت در حین سرخ کردن، روغن بیشتری وارد نمونه دونات شد. طبق یافته‌های Sakhale و همکاران (۲۰۱۱) نیز هرچه آفت رطوبت ماده غذایی در حین سرخ کردن بیشتر باشد، جذب روغن بیشتر می‌شود. براساس نتایج Kaur و همکاران (۲۰۱۵) افزودن صمغ‌های عربی، گوار، زانتان و کتیرا به فرمول بیسکویت بدون گلوتن به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0.05$) خصوصیات کیفی از جمله ظرفیت جذب آب، ظرفیت جذب روغن و فعالیت امولسیون‌ی نمونه‌ها را تحت تأثیر قرار داد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر متقابل صمغ‌های زانتان-گوار اختلاف معنی‌داری در کاهش جذب روغن دارد ($P \leq 0.1$). صمغ زانتان و گوار به دلیل ظرفیت نگهداری بالای آب و افزایش ویسکوزیته، مانع خروج رطوبت و جذب روغن شدند. همان‌طور که از ضرایب معادل پیشگویی (جدول ۲) مشخص است، تلفیق صمغ زانتان-ترانس گلوتامیناز به‌طور موفق‌تری در برابر جذب روغن ایستادگی کردند. این در حالی است که هر یک از صمغ‌ها به تنهایی نتوانستند جذب روغن را کاهش دهند. در نهایت اثر هم‌افزایی هر سه ترکیب در شرایطی که مقدار زانتان بیشتر از گوار و ترانس گلوتامیناز بود منجر به کاهش بیشتر جذب روغن شد. به عبارتی در برهم‌کنش بین این سه جزء مؤثرترین ترکیب در کاهش جذب روغن، صمغ زانتان بود.

(TexturePro V2.0) دستگاه انجام شد. بدین‌منظور نمونه‌های دونات در زیر پروب استوانه‌ای از جنس آلومینیوم و با قطر ۲۵ میلی‌متر تحت آنالیز پروفایل بافت^۱ (TPA) قرار گرفتند. نمونه‌ها تحت آزمون فشردگی یک‌طرفه با میزان نیروی ۵ گرم با سرعت پروب ۶۰ میلی‌متر در دقیقه و میزان فشردگی ۵۰ درصد قرار گرفتند و پارامتر سفتی بافت گزارش شد. سرعت برگشت پروب ۲ میلی‌متر در ثانیه در نظر گرفته شد (Karim et al., 2000).

آنالیز آماری

در این پژوهش از طرح آماری مخلوط مرکز هندسی سادک^۲ با کمک نرم‌افزار آماری مینی‌تب^۳ نسخه ۱۶ استفاده شد. به‌منظور ارزیابی صحت مدل‌های برازش‌داده‌شده، مقادیر R^2 و P ضرایب تعیین گردید. منحنی‌های سطح نشان‌دهنده بیشترین میزان پاسخ (وقوع) متغیرهای مستقل هستند و به‌این‌ترتیب بهترین حالت ممکن برای تمام متغیرهای آن به‌عنوان بهینه معرفی شد. جدول تیمار بندی شامل مقادیر مختلف زانتان، گوار و آنزیم در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- تیمارهای تعیین‌شده با استفاده از طرح آماری مخلوط

ردیف	زانتان	گوار	ترانس گلوتامیناز
۱	۱/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰
۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۰۰
۳	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۶۶
۴	۰/۰۰	۲/۰۰	۰/۰۰
۵	۱/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳
۶	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰
۷	۰/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
۸	۰/۳۳	۰/۳۳	۱/۳۳
۹	۰/۳۳	۱/۳۳	۰/۳۳
۱۰	۲/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

مقادیر متغیرها برحسب درصد آرد در نظر گرفته شده است.

^۱ Texture Profile Analysis

^۲ Simplex Centroid Mixture Design

^۳ Minitab

جدول ۲- مدل‌های پیشگو برای ویژگی‌های دونات براساس متغیرهای ترکیب

ویژگی	مدل پیشگو	R ²
جذب روغن	$7/0.2 X + 8/38 G + 10/81 T - 12/00 XG^* - 6/17 XT - 3/21 GT - 2/38 XGT$	۶۷/۱۷
تخلخل	$5/84 X + 3/59 G + 6/12 T - 0/48 XG - 1/14 XT - 1/43 GT + 8/65 XGT$	۶۲/۸۰
حجم مخصوص	$0/79 X + 0/82 G + 0/49 T + 0/27 XG + 0/34 XT + 0/15 GT + 0/85 XGT$	۷۳/۹۹
L* پوسته	$11/90 X^{**} + 24/02 G^{**} + 18/94 T^{**} + 15/75 XG^{**} + 22/23 XT^{**} - 4/06 GT^{**} - 9/93 XGT$	۹۴/۸۹
a* پوسته	$4/33 X + 2/92 G + 4/48 T + 0/54 XG + 2/01 XT + 4/04 GT - 12/12 XGT^*$	۷۵/۴۶
b* پوسته	$7/79 X^{**} + 14/71 G^{**} + 8/96 T^{**} + 3/29 XG + 4/07 XT - 1/49 GT + 4/52382 XGT$	۸۸/۴۸
سفتی	$421/27 X^* + 357/98 G^* + 223/69 T^* + 974/22 XG^{**} + 149/19 XT - 15/08 - GT - 150/825 XGT^*$	۹۸/۳۰

صمغ زانتان (X)، صمغ گوار (G) و آنزیم ترانس گلوتامیناز (T)

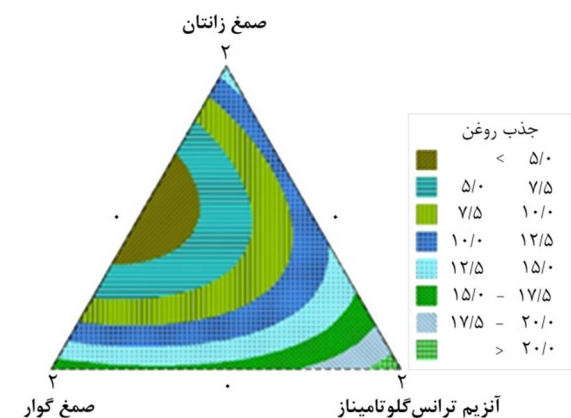
** ($P \leq 0.05$) و * ($P \leq 0.1$)

تخلخل

براساس جدول (۲) ملاحظه می‌شود درخصوص پارامتر تخلخل بیشترین ضریب تأثیرگذاری مربوط به حضور هر سه ترکیب و برهم‌کنش بین آنها می‌باشد به عبارت دیگر هر سه ترکیب اثرات هم‌افزایی بر تخلخل داشتند (ناحیه مرکزی مثلث-شکل ۲). اثر صمغ‌ها به صورت ترکیبی سبب ضخامت بیشتر حباب‌های هوا شد. حباب‌های هوا با دیواره ضخیم در برابر انبساط در حین فرایند پخت مقاومت نموده و به سادگی پاره نمی‌شوند و در نتیجه تعداد سلول‌های گازی در محصول نهایی افزایش می‌یابد. افزایش تخلخل به دلیل افزایش تعداد سلول‌های گازی و توزیع یکنواخت آنها در محصول می‌باشد (Ziobro et al., 2012). همان‌طور که انتظار می‌رفت در حضور آنزیم ترانس گلوتامیناز و با افزایش سطوح آن اتصالات عرضی بیشتر بین منابع پروتئینی (کنسانتره سویا، لیزین آرد برنج و سیب‌زمینی) شبکه پروتئینی گسترده‌تری تشکیل داد. در نتیجه این امر حباب‌های گاز دی‌اکسید کربن منبسط‌شده در حین سرخ‌کردن به سرعت در ساختار شبکه‌ای پروتئینی محبوس و بافت نهایی پوک تر و متخلخل تر شد، اما این فاکتور نمی‌تواند به تنهایی مؤید کیفیت بالای نمونه یادشده (نمونه شماره ۲) باشد.

نتایج پژوهش حاضر با پژوهش Shin و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت داشت. این محققین به بررسی اثر پروتئین و آنزیم ترانس گلوتامیناز روی نان برنج بدون گلوتن پرداختند. آنها دریافتند این آنزیم به افزایش حجم نان‌ها، تشکیل حباب‌های یکنواخت هوا و بهبود کیفیت نان‌ها کمک کرده و میزان تخلخل را بالا می‌برد.

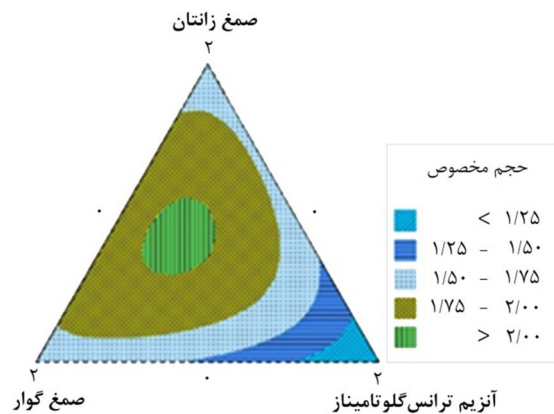
صمغ زانتان به دلیل خاصیت آنیونی که دارد به شدت آب‌دوست بوده و پیوند قوی با مولکول‌های آب برقرار می‌کند. به همین دلیل در حین فرایند سرخ‌کردن مولکول‌های آب نمی‌توانند از زانتان جدا شده و از پوسته دونات خارج شوند. از این جهت صمغ زانتان با ایجاد مقاومت در برابر افت رطوبت به طور مؤثرتری در کاهش جذب روغن نسبت به گوار شرکت می‌کند. این نتایج مشابه دستاورد Garmakhany و همکاران (۲۰۱۴) بود. آنها نشان دادند با استفاده از زانتان به مقدار ۱ درصد میزان جذب روغن خلال‌های سیب‌زمینی ۶۲/۳ درصد کاهش و با استفاده از ۱ درصد گوار ۶۰/۲ درصد کاهش یافت. Kim و همکاران (۲۰۱۵) نیز دریافتند با اضافه کردن هیدروکسی پروپیل متیل سلولز به فرمولاسیون دونات افت رطوبت و به دنبال آن جذب روغن در مقایسه با نمونه شاهد کاهش پیدا کرد.



شکل ۱- نمودار کانتور اثر نسبت‌های مختلف صمغ زانتان، گوار و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر میزان جذب روغن دونات برحسب درصد

می‌شود.

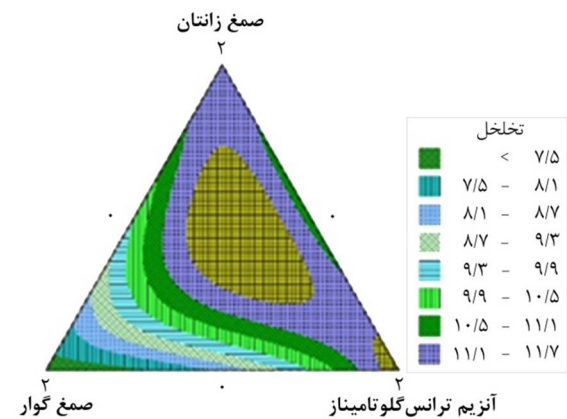
باتوجه به شکل (۳) مشخص شد که کمترین میزان حجم مخصوص مربوط به نمونه حاوی ۲ درصد ترانس گلوتامیناز بود. دلیل این امر این است که در نبود صمغ‌ها به دلیل نبود شبکه ویسکوالاستیک و ویسکوزیته پایین خمیر، حباب‌های هوا در حین سرخ‌شدن نمی‌توانند درون شبکه پروتئینی به اندازه کافی منبسط و بزرگ‌شده و منجر به افزایش حجم محصول گردند. با افزایش نسبت صمغ‌ها به مقدار ترانس گلوتامیناز میزان حجم مخصوص افزایش یافت. این امر مؤید آن است که تنها به دام‌اندختن حباب‌های هوا درون شبکه پروتئینی نمی‌تواند بر افزایش حجم محصول مؤثر باشد بلکه پایداری این حباب‌ها نیز فاکتور بسیار مهمی است. به عبارتی دیگر این شبکه هیدروکلوئیدی و برهم‌کنش بین پلی‌ساکاریدها با پروتئین‌هاست که پایدارترین ماتریکس را ایجاد می‌کند.



شکل ۳- نمودار کانتور اثر نسبت‌های مختلف صمغ زانتان، گوار و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر حجم مخصوص برحسب میلی‌لیتر بر گرم

رنگ پوسته دونات

طبق جدول (۲) بیشترین تأثیر مستقل بر روشنایی پوسته را به ترتیب گوار، ترانس گلوتامیناز و زانتان داشتند. برهم‌کنش دوتایی زانتان-گوار و زانتان-ترانس گلوتامیناز اثر افزایشی بر میزان روشنایی داشت. برهم‌کنش سه‌تایی متغیرها موجب کاهش فاکتور روشنایی پوسته شد اما این تغییر معنی‌دار نبود. درباره افزایش میزان مؤلفه رنگی L^* با افزایش مستقل هر یک از صمغ‌ها در فرمولاسیون (شکل ۴) باید گفت که صمغ‌ها با حفظ رطوبت و ممانعت از



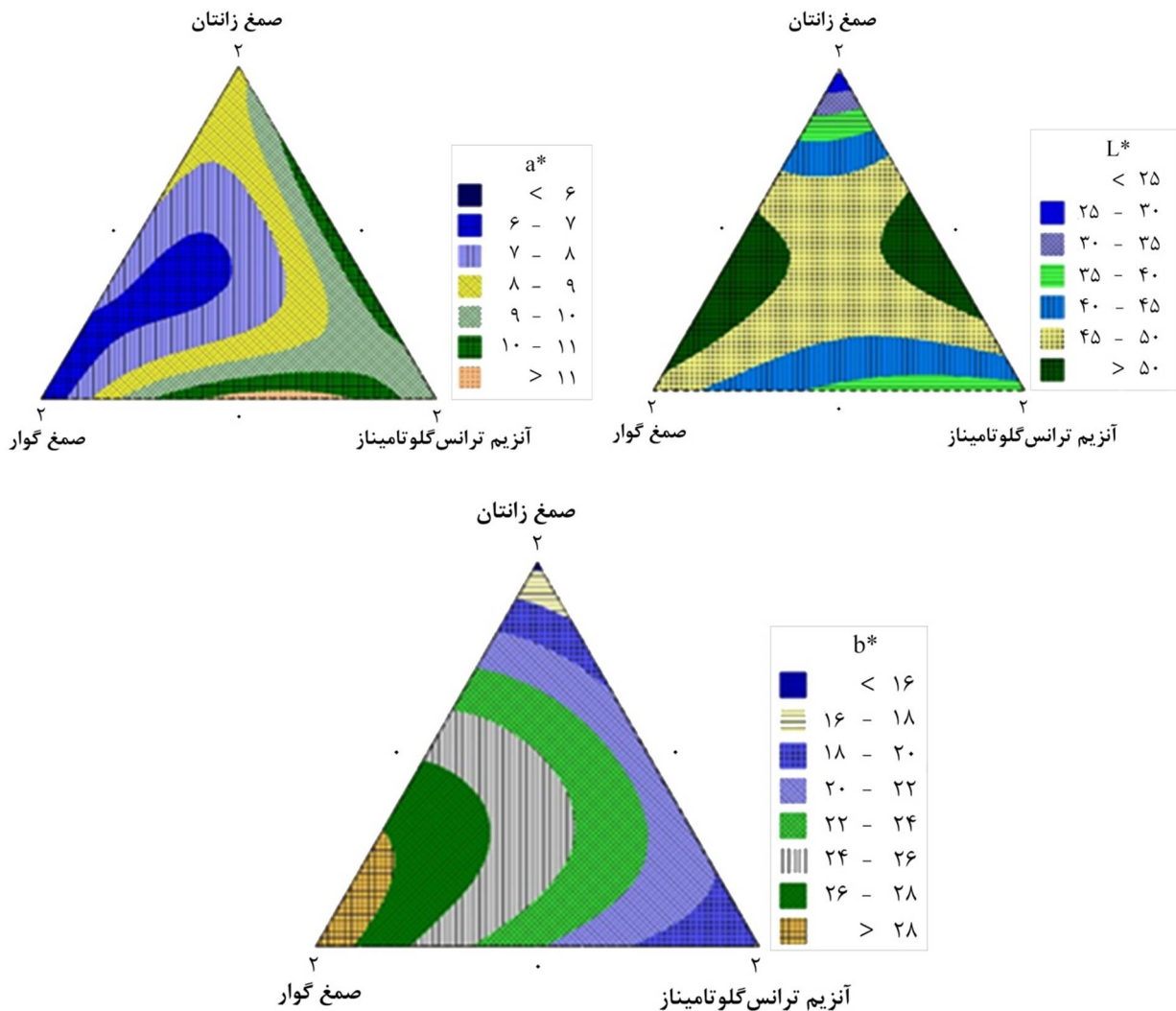
شکل ۲- نمودار کانتور اثر نسبت‌های مختلف صمغ زانتان، گوار و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر تخلخل برحسب درصد

حجم مخصوص

در بررسی حجم مخصوص (جدول ۲) مشخص شد که بیشترین میزان حجم مخصوص در نمونه حاوی هر سه متغیر دیده می‌شود (ناحیه میانی-شکل ۳). ضریب اثر مستقل زانتان و گوار بسیار به هم نزدیک بود و مؤید این است که هر دو صمغ در افزایش حجم مخصوص مؤثر بودند. همان‌طور که قبلاً اشاره شد زانتان ظرفیت نگهداری آب بالایی دارد، در نتیجه در مقادیر بیشتر از زانتان رطوبت خمیر بیشتر می‌شود. رطوبت بالا در طول پخت منجر به افزایش فشار داخلی بافت دونات شده و بدین ترتیب حجم محصول افزایش می‌یابد. یافته‌های Rodge و همکاران (۲۰۱۲) مؤید این نتایج می‌باشد. از طرفی زانتان به دلیل توانایی در ایجاد خواص ویسکوالاستیک مشابه گلوتن و با حفظ حباب‌های دی‌اکسیدکربن در افزایش حجم مؤثر است. به علاوه گوار با داشتن بخش پروتئینی و ایجاد برهم‌کنش‌های الکترواستاتیکی به پایداری حباب‌های هوا در امولسیون خمیر کمک می‌کند. فاضلی (۱۳۹۱) نیز دریافت همانند گوار، بخش پروتئینی صمغ شاهی مسئول ایجاد خصوصیات بین سطحی در امولسیون مدل بود. Rosell و Barcenase (۲۰۰۵) به این نتیجه رسیدند هیدروکلوئیدها به‌عنوان یک مانع در برابر پراکنده‌شدن گاز عمل کرده و حجم محصولات پخت را افزایش می‌دهند. این نتایج با یافته‌های Guarda و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت داشت. طبق یافته‌های این محققین با افزودن صمغ زانتان حجم مخصوص نان زیاد

بیان نمودند تغییرات سطح پوسته، مسئول روشنایی آن است و سطوح منظم و صاف نسبت به سطوح چین‌دار توانایی بیشتری در افزایش میزان مؤلفه L^* داشت.

خروج آب در حین فرایند پخت سبب کاهش تغییرات سطح پوسته محصول نهایی و در نتیجه افزایش مؤلفه L^* می‌شوند. این نتایج با یافته‌های ذوالفقاری (۱۳۹۰) مطابقت داشت. در این زمینه Salvadori و Purlis (۲۰۰۹)



شکل ۴- نمودار کانتور اثر نسبت‌های مختلف صمغ زانتان، گوار و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر فاکتورهای رنگی الف) L^* ، ب) a^* و ج) b^* پوسته

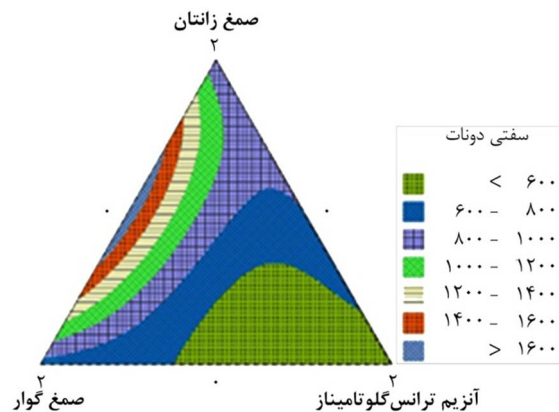
پوسته تأثیر بگذارد (Gerrard *et al.*, 1998; Lorenzen *et al.*, 2002).

نتایج به‌دست‌آمده از رنگ‌سنجی نمونه‌های دونات از نظر شاخص a^* در این پژوهش حاکی از آن بود که بیشترین اثر معنی‌دار بر کاهش فاکتور a^* مربوط به اثر متقابل سه‌تایی صمغ گوار، زانتان و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بود. مابقی برهم‌کنش‌ها و اثرات مستقل متغیرها سبب افزایش این فاکتور شدند. این امر احتمالاً، به‌دلیل تفاوت

علاوه‌بر این اثر هم‌افزایی متقابل دوتایی صمغ آنزیم را می‌توان به بهبود ظرفیت نگهداری آب در ژل‌ها به علت فعالیت ترانس‌گلوتامیناز (Kuraishi *et al.*, 2001) و همچنین در سیستم‌های بدون گلوتن (Moore *et al.*, 2006) دانست. پیشنهاد شده است که آمیدزدایی از گلوتامین و ایجاد پیوند عرضی بین اسیدهای آمینه گلوتامین و لیزین می‌تواند در بهبود ظرفیت نگهداری آب و کاهش واکنش‌های قهوه‌ای شدن مایلارد مؤثر و بر رنگ

گوار داشت به ترتیب باعث افزایش و کاهش سفتی شد. اثرات هر سه ترکیب با هم به طور معنی‌داری باعث کاهش سفتی محصول شد ($P \leq 0/1$). این تفاوت در نتایج، احتمالاً به دلیل وزن مولکولی پروتئین‌های تولیدشده توسط پیوندهای عرضی ایجادشده با این آنزیم می‌باشد (Marco *et al.*, 2007; Marcoa & Rosell, 2008).

طبق نتایج به دست آمده مهم‌ترین فاکتوری که در نبود شبکه گلوتهی روی سفتی محصول تأثیر می‌گذارد ویسکوزیته و وزن مولکولی اجزای تشکیل‌دهنده بافت است و این فاکتور تابعی از غلظت، نوع صمغ، نوع پروتئین و نشاسته و برهم‌کنش بین آنهاست.



شکل ۵- نمودار کانتور اثر نسبت‌های مختلف صمغ زانتان، گوار و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر سفتی بر حسب گرم

بهینه‌یابی فرمولاسیون

طبق نتایج به دست آمده (آنالیز داده‌های نمونه شاهد در این مقاله آورده نشده است)، میزان جذب روغن، تخلخل، حجم مخصوص، فاکتورهای L^* ، a^* و b^* و سفتی برای نمونه شاهد به ترتیب ۱۰ و $17/43$ درصد، $3/5$ (میلی‌لیتر/گرم) و $51/64$ ، $6/39$ ، $24/16$ و 489 (گرم) به دست آمد. به منظور بهینه‌یابی فرمول دونات بدون گلوتهن براساس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حد بالا، پایین و مطلوب هریک از ویژگی‌ها و وزن و اهمیت آنها با توجه به پاسخ‌های به دست آمده از نمونه شاهد، تعیین شد (جدول ۳). براساس بهینه‌یابی انجام شده بهترین فرمول حاوی $0/98$ درصد صمغ زانتان، $0/44$ درصد صمغ گوار و $0/58$ درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز به دست آمد. در این فرمول پاسخ‌های پیش‌بینی شده به ترتیب $6/607$ درصد، $12/228$

ساختار شیمیایی متغیرها در جذب و حفظ رطوبت است. همان‌گونه که در جدول (۲) مشاهده می‌شود بیشترین تأثیر معنی‌دار بر افزایش میزان فاکتور b^* ناشی از اثر مستقل متغیرها بود. همانند فاکتور روش‌نایی، گوار بیشترین تأثیر بر افزایش b^* را داشت. طبق معادله رگرسیونی تنها برهم‌کنش گوار-ترانس گلوتامیناز منجر به کاهش فاکتور b^* شد. اثر سه‌تایی متغیرها افزایش این فاکتور را در پی داشت.

سفتی دونات

سفتی از مهم‌ترین فاکتورهای بافتی در ارزیابی کیفی محصولات پخت می‌باشد. به همین جهت تنها آزمون سفتی در این مقاله آورده شده است. با توجه به نتایج آنالیز واریانس (جدول ۲) هر سه متغیر به طور معنی‌داری بر سفتی اثر گذاشتند که در این میان اثر مستقل زانتان بیشتر از دو متغیر دیگر بود. بیشترین مقدار سفتی در نمونه شماره ۶ حاوی ۱ درصد صمغ زانتان، ۱ درصد صمغ گوار و فاقد آنزیم به مقدار $1714/29$ گرم نیرو به دست آمد ($P \leq 0/05$). از جمله محققین دیگری که به نتایج مشابه رسیدن می‌توان به تحقیق‌های Arunepanlop و همکاران (۱۹۹۶) در خصوص اثر صمغ زانتان در کیک فرشته و Arozarena و همکاران (۲۰۰۱) در کیک زرد اشاره کرد. آنها نیز دریافتند با افزایش سطوح صمغ زانتان سفتی بافت افزایش می‌یابد. در حضور صمغ‌ها حباب‌های هوا پایدار شده و دیواره سلولی آنها تقویت می‌شود، بنابراین مقاومت نمونه‌های حاوی هر دو صمغ در برابر فشار وارد شده از طرف دستگاه بیشتر شده و سفتی بافت افزایش یافت. از طرفی باید در نظر داشت این دو صمغ اثر هم‌افزایی بر ویسکوزیته داشته که خود منجر به افزایش سفتی می‌شود. طبق نتایج به دست آمده (شکل ۵) دو صمغ زانتان و گوار از روند مشابهی در افزایش سفتی بافت پیروی کردند. زانتان می‌تواند نان با بافتی مشابه آرد گندم در نان‌های بدون گلوتهن ایجاد کند اما این مستلزم استفاده از مقادیر مناسب از این صمغ است زیرا در مقادیر بیشتر از ۲ درصد منجر به سفتی مغز نان می‌شود (Kokelaar, 1994). آنزیم ترانس گلوتامیناز خود به تنهایی تأثیر کمی بر افزایش سفتی داشت اما با اثرات متقابلی که با زانتان و

درصد، ۱/۸۰۸ (میلی لیتر/گرم) و ۴۹/۲۲۵، ۷/۳۳۵، ۲۴/۱۰۹ و ۴۹۷/۷۶۴ (گرم) برای آزمون‌های جذب روغن، تخلخل، حجم مخصوص، L^* ، a^* ، b^* و سفتی خواهد بود.

جدول ۳- پارامترهای بهینه‌یابی دونات بدون گلوتن براساس آزمون‌های انجام‌شده

ویژگی	هدف	حد پایین	حد مطلوب	حد بالا	وزن	اهمیت
جذب روغن	کمینه	۶	۱۲	-	۵	۱۰
تخلخل	بیشینه	۱۳	۱۵	-	۵	۱۰
حجم مخصوص	بیشینه	۲	۳/۵۰	-	۵	۱۰
L^* پوسته	بیشینه	۴۸	۵۲	-	۵	۱۰
a^* پوسته	بیشینه	۵	۷	-	۵	۱۰
b^* پوسته	کمینه	-	۲۴	۲۶	۵	۱۰
سفتی	کمینه	-	۴۹۰	۵۵۰	۵	۱۰

نتیجه‌گیری

طبق مطالعه‌های انجام‌شده با افزودن ترکیبات هیدروکلوئیدی می‌توان به فرمول مناسب برای تهیه فرآورده‌های آردی بدون گلوتن با مدت ماندگاری مناسب دست یافت. از این رو صمغ‌های زانتان و گوار و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز انتخاب شدند. براساس آزمون‌های انجام‌شده مشخص گردید آنزیم ترانس‌گلوتامیناز به تنهایی اثر مطلوبی در برابر کاهش جذب روغن نداشته و بالعکس بیشترین جذب در حضور این آنزیم رخ داد. صمغ زانتان و گوار به دلیل ظرفیت نگهداری بالای آب و افزایش ویسکوزیته مانع خروج رطوبت و جذب روغن شدند. در برهم‌کنش بین این سه جزء مؤثرترین ترکیب در کاهش جذب روغن، صمغ زانتان بود. بیشترین ضریب تأثیرگذاری بر میزان تخلخل مربوط به حضور هر سه ترکیب و برهم‌کنش بین آنها بود. اثر صمغ‌ها به صورت ترکیبی سبب ضخامت بیشتر حباب‌های هوا و پایداری آنها شد. همچنین در حضور آنزیم ترانس‌گلوتامیناز شبکه پروتئینی گسترده‌ای در نتیجه ایجاد پیوندهای عرضی بین کنسانتره پروتئینی سویا، لیزین آرد برنج و آرد سیب‌زمینی شد.

در نتیجه این امر حباب‌های دی‌اکسیدکربن منبسط‌شده در حین سرخ‌کردن به سرعت در ساختار شبکه‌ای پروتئینی محبوس و بافت نهایی پوک‌تر و متخلخل‌تر شد. از طرفی در حضور آنزیم حباب‌های ایجادشده به صورت یکنواخت در بافت توزیع شد. بیشترین میزان حجم مخصوص در نمونه حاوی هر سه متغیر دیده شد، صمغ زانتان با ایجاد خواص ویسکوالاستیک و صمغ گوار با فعالیت بین سطحی بر افزایش حجم مخصوص مؤثر بودند. آنزیم به تنهایی اثر منفی بر میزان حجم مخصوص داشت. صافی سطح و رطوبت مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر فاکتورهای رنگی بودند. بر اثر برهم‌کنش هر دو صمغ سفتی بسیار زیاد شده و از کیفیت نمونه کاسته شد. به‌طور کلی براساس نتایج به‌دست‌آمده هر یک از این ترکیبات به تنهایی نتوانستند محصول با کیفیت تولید کنند و این اثرات متقابل این سه ترکیب است که منجر به تولید محصول قابل قبول می‌شود. بنابراین براساس بهینه‌یابی انجام‌شده، نمونه حاوی هر دو صمغ با مقادیر ۰/۹۸ درصد صمغ زانتان، ۰/۴۴ درصد صمغ گوار و ۰/۵۸ درصد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز به‌عنوان بهترین فرمول شناخته شد.

منابع

ذوالفقاری، ز.س. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر فرمولاسیون و پیش‌تیمارهای سرخ‌کردن بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی دونات و کاربرد منطق فازی در ارزیابی ویژگی‌های حسی محصول. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

- علیپور، م.، کاشانی‌نژاد م.، مقصدلو ی. و جعفری م. ۱۳۸۸. بررسی اثر کاراگینان، دمای روغن و زمان سرخ‌کردن بر میزان جذب روغن در فراورده‌های سرخ‌شده سیب‌زمینی. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی ایران، ۵(۱): ۲۷-۲۱.
- فاضلی، آ. ۱۳۹۱. بررسی خصوصیات امولسیون‌های روغن در آب تهیه‌شده به‌وسیله صمغ دانه شاهی (*Lepidium Sativum*) و پروتئین آب‌پنیر تغلیظ‌شده. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد قوچان.
- AACC. 2000. Approved methods of the American association of cereal chemists. 10th ed. Minn: American Association of Cereal Chemists, USA.
- Aguilar, N., Albanell, E., Miñarro, B. & Capellas, M. 2015. Chickpea and tiger nut flours as alternatives to emulsifier and shortening in gluten-free bread. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1,1):225-232.
- Arozarena, I., Bertholo, H., Empis, j., Bunger, A., & Sousa, I. 2001. Study of the total replacement of egg by white lupine protein, emulsifiers and xanthan gum in yellow cakes. *European Food Research and Technology*, 213(4-5):312-316
- Arunepanlop, B., Morr, C.V., Karleskind, D. & Laye, I. 1996. Partial replacement of egg white proteins with whey proteins in angel food cakes. *Journal Food Science*, 61(5):1085-1093.
- Bancenas, M.E., Benedito, C., & Rosell, C.M. 2004. Use of hydrocolloids as bread improvers in interrupted baking process with frozen storage. *Food Hydrocolloids*, 18(5):769-774.
- Bárcenas, M.E., & Rosell, C.M. 2005. Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. *Food Hydrocolloids*, 19(60):1037-1043.
- Blades, M. 1997. Food allergies and intolerances: an update. *Nutrition & Food Science*, 97(4):146-151.
- Dueik, V., Robert, P., & Bouchon, P. 2010. Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters of carrot crisps. *Food Chemistry*, 119(3):1143-1149.
- Garmakhany, A.D., Mirzaei, H.O., Maghsudlo, Y., Kashaninejad, M., & Jafari, S.M. 2014. Production of low fat french-fries with single and multi-layer hydrocolloid coatings. *Journal of Food Science and Technology*, 51(7): 1334-1341.
- Gerrard, J.A., Fayle, S.E., Wilson, A.J., Newberry, M.P., Ross, M., & Kavale, S. 1998. The effect of microbial transglutaminase on dough properties and crumb strength of white pan bread. *Journal of Food Science*, 63(3):472-475.
- Gray, J.A., & Bemiller, J.N. 2003. Bread staling: molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2: 1-21
- Guarda, A., Rosell, C.M., Benedito, C., & Galotto, M.J. 2004. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids*, 18(2):241-247.
- Haralick, R.M., Shanmugam, K., & Dinstein, I.H. 1973. Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 6(3):610-621.
- Karim, A.A., Norziah, M.H., Seow, C.C. 2000. Methods for the study of starch retrogradation. *Food Chemistry*, 71(1):9-36.
- Kaur, M., Sandhu, K.S., Arora, A., & Sharma, A. 2015. Gluten free biscuits prepared from buckwheat flour by incorporation of various gums: physicochemical and sensory properties. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1):628-632.
- Kim, J., Choi, I., Shin, W.-K., & Kim, Y. 2015. Effects of HPMC (hydroxypropyl methylcellulose) on oil uptake and texture of gluten-free soy donut. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1):620-627.

- Kokelaar, J.J. 1994. Physics of Breadmaking. PhD thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.
- Kuraishi, C., Yamazaki, K., & Susa, Y. 2001. Transglutaminase: its utilization in the food industry. *Food Reviews International*, 17(2):221-246.
- Lorenzen P.C., Neve, H., Mautner, A., & Schlimme, E. 2002. Effect of enzymatic cross-linking of milk proteins on functional properties of set-style yoghurt. *International Journal of Dairy Technology*, 55(3):152-157.
- Mandala, I., Kapetanakou, A., & Kostaropoulos, A. 2008. Physical properties of breads containing hydrocolloids stored at low temperature: II-effect of freezing. *Food Hydrocolloids*, 22(80):1443-1451.
- Marco, C., Perez, G., Ribotta, P., & Rosell, C.M. 2007. Effect of microbial transglutaminase on the protein fractions of rice, pea and their blends. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(14):2576-2582.
- Marco, C., & Rosell, C.M. 2008. Effect of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties. *Journal of Food Engineering*, 84(1):132-139.
- Moore, M.M., Heinbockel, M., Dockery, P., Ulmer, H.M., & Arendt, E.K. 2006. Network formation in gluten-free bread with the application of transglutaminase. *Cereal Chemistry*, 83(1):28-36.
- Murray, J.A. 1999. The widening spectrum of celiac disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 69(30):354-365.
- Peshin, A. 2001. Characterization of starch isolated from potato tubers (*solanum tuberosum* L.). *Journal of Food Science and Technology*, 38(5):447-449.
- Purlis, E., & Salvadori, V.O. 2009. Modelling the browning of bread during baking. *Food Research International*, 42(7):865-870.
- Rehman, S., Paterson, A., Hussain, S., Murtaza, M.A., & Mehmood, S. 2007. Influence of partial substitution of wheat flour with vetch (*lathyrus sativus* L) flour on quality characteristics of doughnuts. *LWT-Food Science and Technology*, 40(1):73-82.
- Rodge, A.B, Sonkamble, S.M, Salve, R.V., & Hashmi, S.I. 2012. Effect of hydrocolloid (guar gum) incorporation on the quality characteristics of bread. *Journal Food Processing & Technology*, 3(2):133-120.
- Sakhale, B.K., Badgujar, J.B., Pawar, V.D., & Sananse, S.L. 2011. Effect of hydrocolloids incorporation in casing of *samosa* on reduction of oil uptake. *Journal of Food Science and Technology*, 48(6):769-772.
- Schuppan, D., Junker, Y., & Barisani, D. 2009. Celiac disease: from pathogenesis to novel therapies. *Gastroenterology*, 137(6):1912-1933.
- Shin, M., Gang, D.O., & Song, J.Y. 2010. Effects of protein and transglutaminase on the preparation of gluten-free rice bread. *Food Science and Biotechnology*, 19(4):951-956.
- Sirichokworrakit, S., Intasen, P. & Angkawut, C., 2016. Quality of donut supplemented with hom nin rice flour. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Nutrition and Food Engineering*, 10(7): 443-446.
- Sumnu, G., Koksel, F., Sahin, S., Basman, A., & Meda, V. 2010. The effects of xanthan and guar gums on staling of gluten-free rice cakes baked in different ovens. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(1):87-93.
- Sun, D.W. 2011. Computer vision technology for food quality evaluation. Academic Press.

Tan, K.J., & Mittal, G.S. 2006. Physicochemical properties changes of donuts during vacuum frying. *International Journal of Food Properties*, 9(1):85-98.

Ziobro, R., Korus, J., Witzak, M., & Juszczak, L. 2012. Influence of modified starches on properties of gluten- free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten- free bread. *Food Hydrocolloids*, 29(1):68-74.

The Effect of Xanthan, Guar and Transglutaminase on the Physicochemical and Textural Properties of Gluten-free Doughnut

Arezo Fazeli¹, Mostafa Mazaheri Tehrani^{2*}, Mahdi Karimi³, Alireza Sadeghian⁴,
Arash Koochaki²

- 1- PhD. Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
 - 2- Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
- *Corresponding author (mmtehrani@um.ac.ir)
- 3- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resource Research Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AEERO), Mashhad, Iran
 - 4- Assistant Professor, Department of Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

Abstract

The main objective of the current study was to optimize gluten free doughnuts formula for which the effect of xanthan, guar and Transglutaminase (TGase) enzyme were investigated. Xanthan, Guar and TGase were added from 0 to 2% of flour basis to the basic formula. Treatments were designed based on the mixture design of the Minitab software. The optimum conditions were selected based on the oil absorption, hardness, color, porosity and specific volume. The results showed that the high oil absorption occurred at the high level of TGase in absence of gums and the minimum oil absorption happened at the triple point. TGase caused cross linkage between rice flour protein, potato flour protein, and soy protein concentrate, which led to making protein network, xanthan gum, creating viscoelastic properties and guar gum, generating inter-surface properties, finally resulting in the increase of porosity and specific volume of doughnuts respectively. The interaction between the components showed that increasing the amount of guar gum improved the lightness of doughnuts. Texture parameters showed that samples with just gums without TGase showed the highest hardness. The synergistic effects of these gums increased viscosity. Hardness was decreased by protein network induced by TGase. The results of this study showed that the formula containing all three components could simulate the protein network in the gluten-free doughnut. The optimum point was 0.98% of xanthan, 0.44% of guar and 0.58% TGase which showed the best responds.

Keywords: Celiac, Doughnut, Gluten-free, Hydrocolloids, Transglutaminase