



مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی-پژوهشی

تأثیر افزودن ایزوله پروتئین سویا و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بر خواص رئولوژیکی و کیفی نان بدون گلوتن بر پایه آرد ذرت

هانیه محله^۱، زهرا مظلوم^۲، مهدی قره‌خانی^{۳*} و کاظم علیرضالو^۴

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۲-مدیر کنترل کیفی و تحقیق و توسعه، شرکت آسمان بهرام علیشاه (ایسترم)، تبریز، ایران

۳-گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۴-گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰

تاریخ داوری: ۱۴۰۳/۱۰/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۴

کلمات کلیدی:

نان بدون گلوتن،

سلیاک،

آنزیم ترانس گلوتامیناز،

ایزوله پروتئین سویا،

ویژگیهای کیفی

DOI: 10.48311/fsct.2026.83926.0

* مسئول مکاتبات:

m.gharekhani@iau.ac.ir

هدف از این مطالعه بررسی ویژگیهای نان بدون گلوتن بر پایه ذرت دارای ایزوله پروتئین سویا و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بود. در این تحقیق برای تهیه نان بدون گلوتن بر پایه ذرت از سه سطح غلظت ایزوله پروتئین سویا (۰، ۳ و ۶ درصد) و سه سطح غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (۰، ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد) استفاده شد و تأثیر آنها بر ویژگیهای رئولوژیکی خمیر (مدول افت و ذخیره) و فیزیکی (میزان حجم مخصوص، افت پخت، تخلخل، روشنایی پوسته، سختی و رطوبت مغز نان) با آزمایشات فاکتوریل (۲×۳) در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش فرکانس زاویه‌ای در محدوده (۱۰۰^{۱/۵} - ۰) در رئومتر هردو مدول افت و ذخیره نمونههای نان بدون گلوتن بر پایه ذرت افزایش یافتند. بالاترین میزان دو مدول ذخیره و افت در مقایسه با نمونه شاهد، به ترتیب به نمونه‌ی TOSPI6 (نمونه فاقد آنزیم و ۶ درصد ایزوله پروتئین سویا) و TOSPI3 (نمونه فاقد آنزیم و ۳ درصد ایزوله پروتئین سویا) تعلق داشت. افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی تا سطح ۰/۷۵ درصد، منجر به افزایش حجم مخصوص و تخلخل نان‌ها گردید و با افزایش غلظت ایزوله پروتئین سویا در فرمولاسیون، حجم مخصوص نمونه‌ها کاهش یافت. بیشترین میزان افت پخت (۲۰/۷۹٪) زمانی به دست آمد که غلظت آنزیم و پروتئین در فرمولاسیون به ترتیب ۰/۷۵ و صفر درصد بود. تأثیر غلظت ایزوله پروتئین سویا بر شاخص L* نیز نشان داد که بیشینه میزان روشنایی مربوط به غلظت ۶ درصد ایزوله پروتئین سویا (۸۸/۶۰) بود که تفاوت معنی‌داری با غلظت ۳ درصد (۸۷/۹۵) آن نداشت. افزایش غلظت آنزیم تا سطح ۱/۵ درصد در فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه ذرت، ۷۱/۴۹ درصد سختی نان را افزایش داد. با توجه به اطلاعات به دست آمده می‌توان اذعان کرد که کاربرد آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (۰/۷۵٪) و ایزوله پروتئین سویا (۳٪) میتواند در تولید نان بدون گلوتن بر پایه ذرت با کیفیت بالا مورد استفاده قرار گیرد.

۱-مقدمه

نان به عنوان کالایی اساسی و ضروری دارای اهمیت ویژه‌ای در سبد مصرفی خانوارها بوده و غذای اصلی و پایه بسیاری از مردم در کشورهای مختلف جهان را تشکیل می‌دهد. ولی متأسفانه عده‌ای از افراد به دلیل بیماری سلپاک قادر به مصرف نان و محصولات دارای گلوتن نیستند [۱]. سلپاک یک بیماری ایجاد شده توسط مصرف گلوتن در افراد مستعد از لحاظ ژنتیکی است که قسمت پرولامین محلول در الکل شامل گلیادین در گندم، سکالین در جو، آونین در جو دو سر و هوردین در جو از عوامل مسبب این بیماری هستند. افراد مبتلا به سلپاک بعد از مصرف غذای حاوی گلوتن یک سری نشانه‌های بالینی ناشی از اختلال در هضم گلوتن نشان می‌دهند که در زمان‌های طولانی منجر به آسیب پرزهای ویلی موجود در روده‌ی کوچک می‌شود. کمبود ویتامین D و کلسیم به دلیل سوء جذب روده، پوکی استخوان، اختلالات عصبی و روانی، ناباروری، اختلالات جنسی و اختلالات گوارشی از علائم بیماری سلپاک می‌باشند [۲]. این بیماری همچنین باعث کاهش وزن، اسهال، کم‌خونی، خستگی، نفخ و کمبود فولات می‌گردد. برای این بیماری راه درمان وجود ندارد و تنها درمان ممکن این است که محصولات حاوی گلوتن به طور کامل از رژیم غذایی فرد حذف شده و فرد مبتلا از یک رژیم غذایی فاقد گلوتن در تمام عمر تبعیت کند. مصرف روزانه‌ی کل گلوتن برای بیماران سلپاکی نباید بیش از ۲۰ میلی گرم باشد [۱، ۲ و ۳]. آردی که برای تولید نان فاقد گلوتن استفاده می‌شود بایستی آردی غیر از آرد گندم باشد. آرد ذرت آردی است که فاقد گلوتن است و سطح پروتئین، انرژی و محتوی تغذیه‌ای آن بالاست. این آرد از آندوسپرم دانه که شامل ۷۵-۸۷ درصد نشاسته و ۶-۸ درصد پروتئین است تشکیل شده است [۴]. حذف گلوتن باعث مشکلات عمده در صنعت نانوائی می‌شود و در حال حاضر بسیاری از محصولات فاقد گلوتن در بازار از لحاظ کیفیت و طعم دهانی و عطر و طعم ضعیف هستند. این موضوع

باعث ایجاد چالش عمده در تکنولوژی غلات شده و منجر به تلاش برای جستجوی جایگزین مناسب برای گلوتن در محصولات بدون گلوتن ایجاد کرده است [۵]. برای بهبود کیفیت نان بدون گلوتن از موادی مانند: نشاسته‌ی اصلاح شده، هیدروکلوئیدها، آنزیمها و پروتئین‌ها استفاده می‌شود [۵ و ۶]. آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی جزء آنزیم‌های ترانسفراز می‌باشد که پلیمریزاسیون و اتصالات عرضی کوالانت پروتئین‌ها را کاتالیز کرده و ماده نسبتاً جدیدی است که در تولید محصولات نانوائی استفاده می‌شود. مطالعات نشان داده که استفاده از آنزیم ترانس گلوتامیناز همراه با پروتئین‌های تخم مرغ، شبکه‌ای با ثبات بیشتری را در سیستم نان بدون گلوتن ایجاد می‌کند. [۶]. همچنین مطالعات دیگر بیانگر این موضوع است که اگر یک شبکه‌ی پروتئینی از طریق اتصالات عرضی بین پروتئین‌های برنج و پروتئین‌های دیگر بوسیله‌ی آنزیم ترانس گلوتامیناز تشکیل شود، این ساختار می‌تواند مانند خمیر حاوی گلوتن گاز را درون خود نگه دارد [۷ و ۸]. لویای سویا متعلق به خانواده‌ی فاباسه^۱ می‌باشد که از لحاظ اسید آمینه‌ی گوگردی کمبود دارد. خواص و ویژگی‌های سویا آن را به عنوان یک ماده‌ی اولیه‌ی خوب برای غذاهای کاربردی تبدیل کرده است [۹ و ۱۰]. ایزوفلاوون موجود در سویا اثرات مثبتی در بافت استخوان نشان داده است، بنابراین از آن می‌توان در غذاهایی که هدفشان کاهش خطرات پوکی استخوان است، استفاده کرد. همچنین ایزوفلاوون موجود در سویا باعث کاهش ریسک بیماری‌های قلبی و عروقی و کاهش اکسیداسیون لیپوپروتئین‌ها با دانسیته‌ی کم و جلوگیری از سرطان سینه می‌شود [۱۱]. آرد سویا و دیگر محصولات سویا برای افزایش محتوی پروتئین و همچنین به منظور بهبود خواص ساختاری در محصولات بدون گلوتن استفاده می‌شوند. ایزوله پروتئینی سویا، خالص‌ترین فرم پروتئینی محصولات سویا است و به ویژه زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که مقدار پروتئین بالا و ویژگی‌های عملکردی ویژه مورد نیاز

1. Fabacea

نانوایی (صنایع پخت مشهد، ایران)، بافت سنج (لفرا^۵، آمریکا) و رئومتر (فیزیکا آنتورپار^۶، اتریش).

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- تهیه خمیر، پخت نان و آماده‌سازی نمونه‌ها

در این تحقیق برای تهیه نان از سه سطح غلظت ایزوله پروتئین سویا (۰، ۳ و ۶ درصد) و سه سطح غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (۰، ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد) استفاده شد و مطابق با روش عطای صالحی و همکاران [۱۷]، برای تهیه نان ابتدا تمامی ترکیبات خشک (به غیر از شکر) پس از توزین، با استفاده از الک با مش ۸۰ غربال گردید تا به خوبی با هم مخلوط و آب‌گیری مناسبی داشته باشند. سپس سوسپانسیون مخمر فعال شده که در طی ۱۵ دقیقه در ۲۰ سی‌سی آب حاوی نیمی از شکر مصرفی تهیه شده بود، به مواد فوق اضافه شد و در نهایت مابقی آب اضافه گردید. خمیر مورد نیاز توسط همزن برقی تهیه شد و مدت زمان مخلوط شدن با ارزیابی تجربی قوام خمیر حاصله، ۳ دقیقه محاسبه گردید. سپس خمیرها جداگانه در قالب‌هایی از جنس گالوانیزه در ابعاد ۱۰×۶/۵×۴ سانتی‌متر که دیواره‌ی آنها چرب شده بود ریخته شدند. به منظور انجام عمل تخمیر، خمیرها به مدت ۲۰ دقیقه، در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد در محفظه تخمیر (بن‌ماری) قرار گرفتند، سپس عملیات پخت نان‌ها در دستگاه فر در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد توسط شعله بالا و دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد توسط شعله پایین تنظیم شده بود به مدت ۳۵ دقیقه صورت گرفت. پس از پخت، نان‌ها از قالب خارج شده و در دمای اتاق به مدت یک ساعت خنک و در کیسه‌های بدون درز پلی‌پروپیلنی در ابعاد ۱۸×۲۰ سانتی‌متری بسته‌بندی شدند و تا زمان انجام آزمون‌های مربوطه در دمای اتاق نگهداری گردیدند.

۲-۲-۲- ویژگی‌های شیمیایی آرد ذرت

باشد [۱۰ و ۱۲]. ایزوله‌ی پروتئین سویا ارزش تغذیه‌ای و مدول الاستیک نان را افزایش می‌دهد و با افزایش مدول الاستیک و حفظ گاز در نان، حجم قرص آن نیز افزایش می‌یابد و اتصال با آب در قرص نان افزایش می‌یابد. محتوی پروتئین بالا و طعم خنثی ایزوله‌ی پروتئین سویا از عطر و طعم بد در نان‌های تولید شده با آرد سویا جلوگیری می‌کند [۱۲]. محققین مختلفی روی تولید نان‌های بدون گلوتن مطالعه کرده‌اند که می‌توان به مطالعات اوردونز-لاوینی و همکاران [۱۳] با افزودن پودر سنجد، طالبی و همکاران [۱۴] با افزودن پودر تفاله هویج، ارزن و گندم سیاه، عمار و همکاران [۱۵] با افزودن آرد دانه خرنوب، نخود و برنج و ایتو و آرای [۱۶] با افزودن پودر غده آپوس امریکانو^۲ اشاره نمود. هدف از این مطالعه تولید نان بدون گلوتن بر پایه ذرت دارای ایزوله پروتئین سویا و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی و بررسی خصوصیات آن می‌باشد که بر اساس آخرین بررسیها در این زمینه مطالعاتی صورت نگرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

در این مطالعه برای تهیه نان از آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی خالص شرکت آرتین شیمی، ایزوله پروتئین سویا شرکت ایساتیس سومه ایران، صمغ گوار، مخمر نانوایی شرکت دکتر اوتکر ترکیه، نمک و شکر استفاده گردید. همچنین مواد شیمیایی اتانول، اکسید سلنیوم، اسید سولفوریک و کلریدریک، سولفات پتاسیم، پودر سولفات مس، معرف متیل رد و هگزان از شرکت‌های معتبر تهیه شدند. تجهیزات مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از الک آزمایشگاهی، آون آزمایشگاهی (میمرت^۳، آلمان)، ترازوی دیجیتال (گک اوری^۴، ساخت انگلستان)، کج‌لدال (وی ۵۰، ایران)، مخلوط کن برقی خمیر (فیلیس، چین)، فر پخت

5. Lefra

6. Physica Anton Paar

2. Apios americana

3. Memert

4. Gec Avery

۲-۲-۶- ارزیابی میزان تخلخل نان

برای ارزیابی تخلخل نمونه‌ها از روش پردازش تصویر توسط عکس برداری با دوربین دیجیتال با وضوح ۱۲ مگا پیکسل و آنالیز با نرم افزار ایمج جی^{۱۰} استفاده شد [۲۳].

۲-۲-۷- ارزیابی میزان روشنایی (شاخص L*) پوسته نان

برای ارزیابی تغییرات روشنایی پوسته نان‌های تولیدی از روش پردازش تصویر، توسط عکس برداری با دوربین دیجیتال با وضوح ۱۲ مگا پیکسل و آنالیز با نرم افزار فتوشاپ استفاده شد [۲۴].

۲-۲-۸- آزمون سختی بافت نان

سفتی بافت داخلی نمونه‌های نان ذرت، در روز اول پس از پخت توسط دستگاه بافت سنج اندازه‌گیری و مورد ارزیابی قرار گرفتند. حداکثر نیروی لازم برای نفوذ پروپ استوانه‌ای با قطر ۳۸/۱ میلی‌متر با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه به مرکز برش‌های مغز نان بعنوان شاخص سفتی محاسبه گردید. زمان استراحت ۱/۵ ثانیه در نظر گرفته شد و ضخامت برشهای مغز نان ۲×۲×۲ سانتی‌متر مکعب و میزان فشردگی تا ۵۰ درصد ارتفاع اولیه تکه نان تعیین گردید. نقطه شروع و نقطه هدف به ترتیب ۵ گرم و ۱۰ میلی‌متر بود. این آزمون در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت [۲۵].

۲-۲-۹- تعیین میزان رطوبت مغز نان‌ها

برای اندازه‌گیری میزان رطوبت مغز نان از روش AACC به شماره ۴۴-۱۶ بر اساس اختلاف وزن اولیه و نهایی نمونه‌ها استفاده گردید [۱۸]. برای این منظور ۵ گرم مغز نان جداسازی و در پلیت آلومینیومی که قبلاً به وزن ثابت رسانده شده بود قرار داده شد. پلیت‌ها به آون با دمای ۱۰۵- ۱۰۲ درجه سانتیگراد تا رسیدن به وزن ثابت انتقال داده شدند.

۲-۳- تجزیه و تحلیل آماری

نمونه آرد ذرت با استفاده از روش‌های متداول AACC مورد آزمون قرار گرفت، به گونه‌ای که درصد رطوبت با شماره ۴۴-۱۶، درصد خاکستر به روش ۷-۸، درصد پروتئین به روش ۴۶-۱، درصد چربی موجود در آرد به روش ۱۰-۳۰ و میزان pH بر طبق روش ۵۲-۰۲ مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۸].

۲-۲-۳- ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر بدون گلوتن بر پایه ذرت

اثرات افزودن کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، پودر کازئینات-سدیم و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی روی برخی خصوصیات رئولوژیکی خمیر مطابق با روش دمیرکسن و همکاران [۱۹] و سان و همکاران [۲۰]، به وسیله رئومتر تعیین گردید. لندازهیگیری ویسکوزیته نمونه‌های آزمایشی پس از آماده‌سازی نمونه‌ها با توجه به زمان آزمایشات، در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد با استفاده از دستگاه رئومتر مجهز به رئومتري استونهای هم مرکز انجام شد. برای اندازه‌گیری تنش برشی^۷ و گرانیروی^۹ به صورت تابعی از سرعت برشی^۹ و تعیین نوع رفتار جریانی نمونه‌ها، در فاصله زمانی ۱۰ دقیقه، سرعت برشی از $2S^{-1}$ به $100S^{-1}$ رسید.

۲-۲-۴- اندازه‌گیری حجم مخصوص نان

حجم نمونه نان‌های حاصله با استفاده از روش جابه‌جایی دانه‌ی کلزا اندازه‌گیری شد [۲۱]. سپس با تقسیم حجم به وزن نمونه‌ها، حجم مخصوص نان‌ها محاسبه شد.

۲-۲-۵- تعیین درصد افت پخت نان

وزن چانه‌های خمیر و وزن نمونه‌های نان پس از پخت و سرد کردن به مدت ۲-۳ ساعت، اندازه‌گیری شده و از طریق رابطه ۱ درصد افت پخت نان محاسبه شد [۲۲].

$$\text{درصد افت پخت} = \frac{\text{وزن نان پس از پخت} - \text{وزن چانه نان}}{\text{وزن چانه نان}} \times 100$$

رابطه (۱)

9. Shear rate

7. Shear stress

10. Image J

8. Viscosity

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی ویژگی‌های شیمیایی آرد مورد بررسی
نتایج میانگین ویژگی‌های شیمیایی آرد ذرت مورد استفاده در پژوهش حاضر شامل مقادیر رطوبت، خاکستر، پروتئین و چربی بر مبنای ماده خشک و همچنین pH در جدول ۱ ارائه شده است.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها برای بخش تأثیر ایزوله پروتئین سویا و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی بر ویژگی‌های فیزیکی نان بدون گلوتن بر پایه ذرت در قالب طرح کاملاً تصادفی با آزمایش فاکتوریل (۲×۳) انجام گرفت. آنالیز واریانس داده‌ها با روش آنوا^{۱۱} در سطح احتمال ($P < 0.05$) و مقایسه میانگین آنها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و نرمالیزه کردن با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ($P < 0.05$) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته شد و آزمایشات در سه تکرار انجام داده شد. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم افزار نسخه SAS ۹/۱ و رسم نمودارها با نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ صورت گرفت.

Table 1. Chemical properties of corn flour used for gluten-free bread.

Properties	pH	Moisture (%)	Ash (%)	Protein (%)	Fat (%)
Amount	5.83±0.01	10.79±0.31	0.42±0.01	7.36±0.02	1.25±0.02

مدول G' و G'' در مقایسه با نمونه شاهد، به ترتیب تعلق داشت به نمونه‌ی TOSPI6 (نمونه فاقد آنزیم و ۶ درصد ایزوله پروتئین سویا) و TOSPI3 (نمونه فاقد آنزیم و ۳ درصد ایزوله پروتئین سویا). همچنین بالا بودن مدول G' در مقایسه با مدول G'' نشان‌دهنده رفتار الاستیک بیشتر نسبت به رفتار جریانی است. کروکت و همکاران [۷]، نتایج مشابهی را در مطالعه‌ی اثر ایزوله‌ی پروتئین سویا و سفیده‌ی تخم مرغ جامد بر خواص فیزیکوشیمیایی نان بدون گلوتن بر پایه‌ی آرد برنج کاساوا گزارش کردند. نتایج تحقیقات دیگر بیانگر این بود که افزودن آنزیم ترانس‌گلوتامیناز هر دو مدول ذخیره و ویسکوز را افزایش می‌دهد که این افزایش نشان‌دهنده این است که این خمیر در مقایسه با نمونه شاهد قویتر شده است. خواص ویسکوالاستیک خمیر تا حد زیادی به فاز پروتئینی بستگی دارد [۲۸] و میزان تأثیر ایزوله پروتئین سویا تا حد زیادی بستگی به ماهیت آن دارد [۲۹].

۳-۲- بررسی مدول ذخیره یا الاستیک (G') و مدول افت یا ویسکوز (G'') خمیر

مدول ذخیره میزان رفتار الاستیک و مدول افت میزان رفتار جریانی مواد را نشان می‌دهد که هر دو مدول وابسته به زمان می‌باشند. در شکل‌های ۱ و ۲ برخی از اثرات متقابل ایزوله پروتئین سویا با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی بر خواص رئولوژیکی خمیر بدون گلوتن ذرت نشان داده شده است. مطابق با نتایج به دست آمده، نمونه‌ی حاوی ۳ درصد ایزوله پروتئین سویا بیشترین مقدار مدول افت را نشان داد که نشان دهنده‌ی رقیق بودن این نمونه نسبت به سایر نمونه‌ها است. مارکو و روزل [۲۶] با افزودن پروتئین سویا و آلبومین تخم مرغ و هو و همکاران [۲۷] با افزودن کربوکسی متیل سلولز به نتایج مشابهی در نان بدون گلوتن رسیدند. افزودن آنزیم باعث کاهش مدول افت در برخی از نمونه‌ها نسبت به نمونه‌ی شاهد شد. با افزایش فرکانس زاویه‌ای در محدوده $(0 - 100^{1/s})$ هردو مدول افزایش یافتند. بالاترین میزان دو

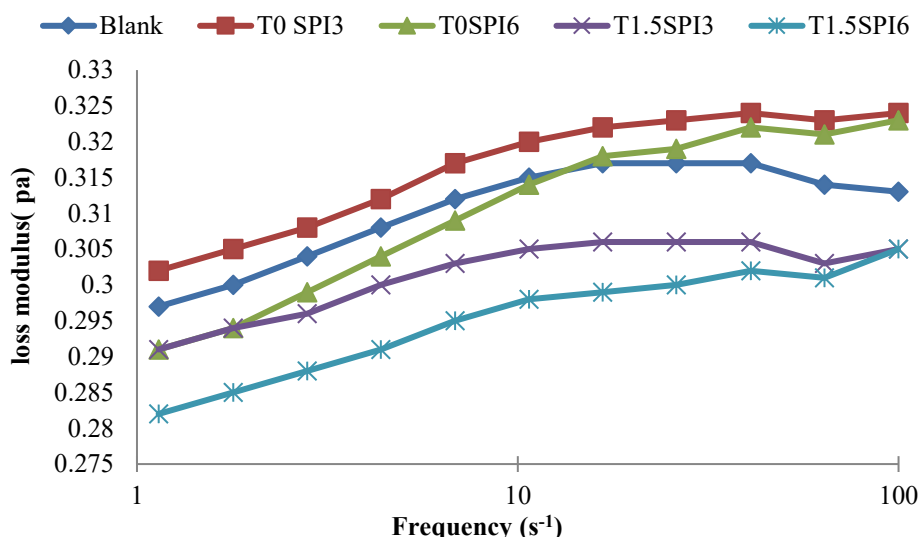


Figure 1. Effect of different concentration of the soy protein isolate and microbial transglutaminase enzyme on loss modulus of corn-based gluten free batter.

Blank: control; T0 SPI3: without enzyme + 3% soy protein isolate; T0 SPI6: without enzyme + 6% soy protein isolate; T1.5 SPI3: 1.5% enzyme + 3% soy protein isolate; T1.5 SPI6: without enzyme + 6% soy protein isolate

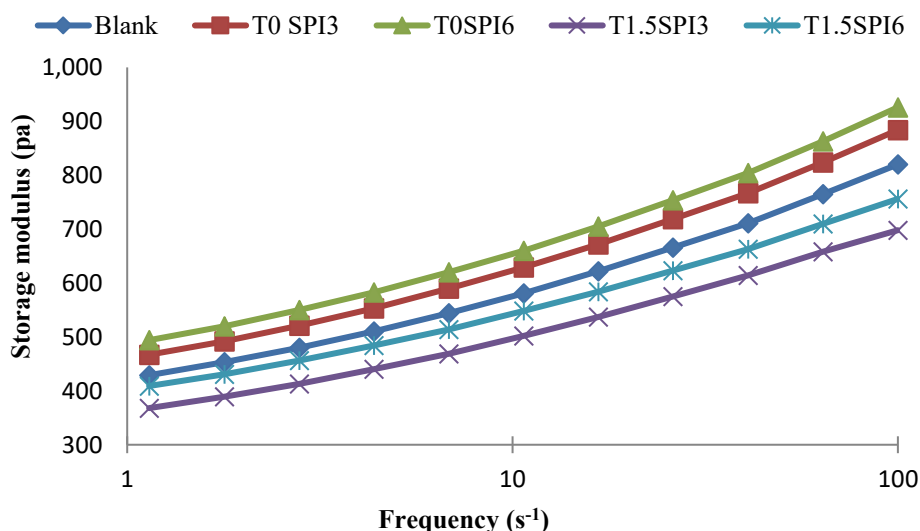


Figure 2. Effect of different concentration of the soy protein isolate and microbial transglutaminase enzyme on storage modulus of corn-based gluten free batter.

Blank: control; T0 SPI3: without enzyme + 3% soy protein isolate; T0 SPI6: without enzyme + 6% soy protein isolate; T1.5 SPI3: 1.5% enzyme + 3% soy protein isolate; T1.5 SPI6: without enzyme + 6% soy protein isolate

حالی که با افزایش بیشتر میزان آنزیم، حجم مخصوص نان‌ها کاهش یافت (جدول ۲). مطابق با یافته‌های رزنتی و همکاران [۳۰]، افزودن میزان متوسط آنزیم ترانس گلوتامیناز در نان‌های سورگوم و ذرت، دیووکس و سادووسکا [۳۱] در نان بدون گلوتن حاوی گندم قرمز و رد و همکاران [۲۸] در نان بدون گلوتن حاوی خمیر ترش منجر به افزایش حجم مخصوص شد.

۳-۳- تأثیر متغیرهای مورد بررسی بر حجم مخصوص

نمونه‌ها

مطابق با نتایج به دست آمده، اثر تمامی متغیرهای مستقل بر حجم مخصوص نمونه‌های نان ذرت معنی‌دار بود ($P < 0.05$). افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی تا سطح ۰/۷۵ درصد، منجر به افزایش حجم مخصوص نان‌ها گردید در

Table 2. Effect of different concentrations of the microbial transglutaminase enzyme on physical properties of gluten-free bread based on corn flour.

Transglutaminase concentration (%)	Moisture content (%)	Specific volume (ml/g)	Hardness (gN)	Porosity (%)	Baking loss (%)	L*
0	48.40 ^b	1.18 ^c	1655.9 ^c	16.56 ^b	16.92 ^{ab}	87.22 ^a
0.75	54.33 ^a	1.63 ^a	2270.3 ^b	19.35 ^a	17.68 ^a	83.74 ^b
1.5	53.20 ^a	1.43 ^b	2839.2 ^a	18.78 ^a	15.26 ^b	85.77 ^a

^{a-c} The mean in the column presented by different letters is significantly different ($P < .05$).

مخصوص نان‌های حاصله می‌شود. نتایج گزارشات دیووکس و سادووسکا [۳۱] در نان حاوی گندم قرمز نیز موید این مطالب بود. جدول ۳ نشان داد که با افزایش غلظت ایزوله پروتئین سویا در فرمولاسیون نان، حجم مخصوص نمونه‌ها کاهش یافت که علت این پدیده را می‌توان به قدرت بالای ساختار تشکیل شده و مقاومت بالای آن در برابر رشد گازهای تولید شده دانست. نتایج این بخش با مطالعات انجام گرفته توسط مارکو و روسل [۲۶] همخوانی ولی با نتایج دلوزوسکا و همکاران [۳۳]، مغایرت داشت. جدول ۴ نشان داد که بیشینه حجم مخصوص نان‌های تولیدی از ذرت زمانی به دست آمد که میزان غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز و ایزوله پروتئین سویا به ترتیب ۰/۷۵ و صفر درصد بود.

همچنین طبق مطالعات دیگر این محققین، استفاده از آنزیم ترانس گلوتامیناز در سطح ۱ درصد باعث ایجاد بالاترین میزان در حجم و افزایش نرمی مغز نان بدون گلوتن برنج در مقایسه با سایر سطوح گردید. با این وجود طبق مطالعات صورت گرفته توسط محمدی و همکاران [۳۲]، با افزایش سطوح آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی به نان بدون گلوتن حاوی گوار، یک کاهش معنی‌دار در حجم مخصوص نان‌های حاصل نسبت به نان شاهد مشاهده گردید، آنزیم ترانس گلوتامیناز سبب ایجاد پیوندهای عرضی بین اسیدآمینه‌های گلوتامین و لیزین می‌شود این پیوند عرضی ایجاد شده از رشد سلول‌های گازی در طول تخمیر جلوگیری کرده و سبب کاهش حجم

Table 3. Effect of different concentrations of the soy protein isolate on physical properties of gluten-free bread based on corn flour.

Soy proteins isolate concentration (%)	Moisture content (%)	Specific volume (ml/g)	Hardness (gN)	Porosity (%)	Baking loss (%)	L*
0	54.37 ^a	1.61 ^a	1466.5 ^c	18.37 ^b	17.77 ^a	84.62 ^b
3	49.22 ^c	1.39 ^b	2312.6 ^b	19.49 ^a	15.22 ^b	85.63 ^{ab}
6	52.32 ^b	1.24 ^b	2986 ^a	16.82 ^c	16.13 ^{ab}	86.50 ^a

^{a-c} The mean in the column presented by different letters is significantly different ($P < .05$).

میشود و در نتیجه افت نان هم کاهش میابد [۳۴]. با افزایش سطوح پروتئین در فرمولاسیون، درصد افت پخت نمونه‌ها ابتدا به علت توانایی بیشتر آن در حفظ رطوبت کاهش و سپس به طور غیرمعنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳). این نتایج با نتایج به دست آمده توسط مور و همکاران [۳۵]، مطابقت داشت. طبق نتایج ارائه شده در جدول ۴، مشخص گردید که بیشترین میزان افت پخت زمانی به دست آمد که غلظت آنزیم و پروتئین در فرمولاسیون به ترتیب ۰/۷۵ و صفر درصد بود.

۳-۴- تأثیر غلظت آنزیم و ایزوله پروتئین سویا بر افت

پخت

نتایج نشان داد که با افزایش سطوح آنزیم در فرمولاسیون، ابتدا درصد افت پخت افزایش و سپس کاهش یافت (جدول ۲). آنزیم ترانس گلوتامیناز سبب افزایش توانایی پروتئین به منظور پیوند دادن با آب می‌شود و در نهایت سبب افزایش رطوبت نان پس از پخت می‌گردد، هر چقدر رطوبت نان پس از پخت بیشتر باشد در نهایت بازدهی نان هم بیشتر

Table 4. Interaction effects of microbial transglutaminase enzyme and soy protein isolate concentration on physical properties of gluten-free bread based on corn flour.

soy proteins isolate (%)	Transglutaminase (%)	Moisture content (%)	Specific volume (ml/g)	Hardness (gN)	Porosity (%)	Baking loss (%)	L *
0	0	54.66±0.1 ^a	1.24±0.02 ^{bc}	1699.5±3.5 ^d	16.93±0.10 ^{bc}	16.16±0.13 ^b	85.98±0.70 ^a
3	0	38.48±0.3 ^b	1.12±0.01 ^c	1138.2±4.7 ^e	16.63±0.11 ^{bc}	15.47±0.09 ^b	87.95±0.51 ^a
6	0	52.05±0.07 ^a	1.18±0.00 ^{bc}	2130.0±9.1 ^c	16.11±0.09 ^c	16.94±0.35 ^{ab}	88.60±0.80 ^a
0	0.75	54.26±0.05 ^a	2.09±0.12 ^a	1138.0±1.9 ^e	20.07±0.08 ^a	20.79±0.43 ^a	82.72±0.44 ^a
3	0.75	54.60±0.11 ^a	1.53±0.00 ^b	1580.7±8.9 ^d	21.27±0.32 ^a	15.97±0.08 ^b	84.02±0.67 ^a
6	0.75	54.13±0.50 ^a	1.28±0.01 ^{bc}	4092.3±7.3 ^a	16.72±0.16 ^{bc}	16.28±0.13 ^b	85.33±0.91 ^a
0	1.5	54.20±0.77 ^a	1.52±0.01 ^b	1562.0±2.1 ^d	18.12±0.20 ^b	16.33±0.22 ^b	85.33±0.62 ^a
3	1.5	54.60±0.23 ^a	1.51±0.01 ^b	4219.0±8.6 ^a	20.57±0.24 ^a	14.27±0.18 ^b	84.02±0.51 ^a
6	1.5	50.80±0.62 ^a	1.25±0.04 ^{bc}	2736.7±6.2 ^b	17.64±0.07 ^{bc}	15.18±0.15 ^b	87.29±0.69 ^a

^{a-c} The mean in the column presented by different letter is significantly different ($P < .05$).

میزان تخلخل گردید. علت افزایش میزان تخلخل با افزایش سطوح پروتئین را می توان به استحکام بخشیدن سلول های خمیر توسط شبکه پروتئینی نسبت داد که منجر به کاهش از دست رفتن گاز تولیدی شده در نتیجه سطح حفرات افزایش می یابد [۳۷]. دلوزوکا و همکاران [۳۸]، در پژوهش خود به این نکته اشاره نمودند که افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز به نان بدون گلوتن در سطح ۱ واحد همراه با پروتئین های آب پنیر منجر به افزایش معنی دار تخلخل در نان های حاصله گردید و افزودن آنزیم در سطح ۱۰ واحد در مقایسه با سطح ۱ واحد اثرات مثبت بیشتری را بر تخلخل بافت مغز نان بدون گلوتن ایجاد نمود. بر اساس مطالعات پیشین در طی مرحله اول مخلوط کردن زمانی که آرد هیدراته می شود و به یک خمیر چسبناک تبدیل می شود، ترکیبات محلول و نامحلول روی حباب آورده می شوند و در این مرحله، تشکیل سطح حباب ها در کل فرآیند و پایداری حباب ها در طی مراحل بعدی تهیه نان تحت تأثیر قرار می گیرند. به علاوه در طی و آمدن خمیر، حباب هایی که در طی مخلوط کردن در داخل خمیر تولید می شوند در اثر تولید گاز توسط مخمرها انبساط پیدا می کنند. بنابراین پایداری حباب ها مهمترین موضوع

۳-۵- بررسی روند تغییرات تخلخل

نتایج نشان داد (جدول ۲) که افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی تا سطح ۰/۷۵ درصد منجر به افزایش میزان تخلخل گردید و سپس با افزایش غلظت آنزیم، میزان تخلخل به صورت غیرمعنی داری ($P > ۰/۰۵$) کاهش یافت. بر اساس نتایج به دست آمده توسط پوراسماعیل و همکاران [۳۶] که فرمولاسیون نان بدون گلوتن توسط صمغ گوار و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی را مورد بررسی قرار دادند، تصاویر به دست آمده از بافت نان نشان داد که افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز در نانها در سطح ۱ درصد سبب یکنواخت شدن توزیع حباب های هوا و کوچک شدن اندازه آنها نسبت به نمونه شاهد و نمونه بدون آنزیم شد ولی افزایش سطح آنزیم در این نانها به علت تشکیل شبکه پروتئینی قوی، سبب تراکم بیش از اندازه مغز نانهای حاصل و جلوگیری از رشد سلول های گازی و بافت تقریباً بدون حباب هوا شد، که پیامد آن کاهش تخلخل نانهای حاصل بود. نتایج آنها با نتایج این بخش کاملاً مطابقت داشت. جدول ۳ نیز نشان داد که افزودن ایزوله پروتئین سویا ابتدا منجر به افزایش و در نهایت کاهش

است که عامل اصلی ناپایداری آنها به هم متصل شدن سلول‌های گاز منفرد می باشد. وجود لایه‌های ضخیم روی حباب‌ها باعث ایجاد دافعه بین آنها می شود و شانس به هم پیوستگی کاهش پیدا می کند [۳۹ و ۴۰]. نتایج اثر متقابل غلظت آنزیم و پروتئین نشان داد که بیشترین میزان تخلخل نان زمانی به دست آمد که میزان غلظت آنزیم و ایزوله پروتئین سویا به ترتیب برابر ۰/۷۵ و ۳ درصد بود که البته با برخی از نمونه‌های حاصل از نظر میزان تخلخل اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۴).

۳-۶- تأثیر غلظت آنزیم و ایزوله پروتئین سویا بر روشنایی (شاخص *L) رنگ پوسته نان

نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که از بین متغیرها فقط غلظت آنزیم تأثیر معنی دار بر میزان روشنایی رنگ پوسته داشت و دو متغیر دیگر (غلظت ایزوله پروتئین سویا و اثر متقابل آنزیم و ایزوله) تأثیر معنی داری بر میزان روشنایی رنگ پوسته نداشتند ($P > 0/05$). جدول ۲ مشخص گرداند که روند تغییرات شاخص *L به گونه‌ای بود که ابتدا با افزایش غلظت آنزیم تا ۰/۷۵ درصد میزان آن ۳/۹۸ درصد کاهش یافت و با افزایش بیشتر غلظت آنزیم در فرمولاسیون میزان آن نیز افزایش یافت. تأثیر غلظت ایزوله پروتئین سویا بر شاخص *L نیز نشان داد که بیشینه میزان روشنایی مربوط به غلظت ۶ درصد ایزوله پروتئین سویا بود که تفاوت معنی داری با غلظت ۳ درصد آن نداشت. رنگ پوسته نان در اثر واکنش مایلارد تشکیل می شود. بدین معنی که در اثر ترکیب مواد از ته با مواد احیاء کننده، در لایه‌های سطحی عمل قهوه‌ای شدن اتفاق می افتد. مقداری از رنگ پوسته نان مربوط به عمل کاراملیزه شدن قندها است. بدیهی است شدت رنگ مربوط به مقدار مواد مؤثر و شرایطی که این مواد تحت آن وارد عمل می شوند، نظیر دما و بی آب شدن سطح نان، در سرعت و شدت رنگ تأثیر زیادی دارد. [۴۱] اندازه‌گیری رنگ در محصولات نانویی برای ارزیابی کیفیت محصول، تعیین اثر مواد مختلف که در فرمول استفاده می شود، اثر تغییر متغیرهای فرآیند پخت و ارزیابی شرایط انبارداری، امری بدیهی است [۴۲]. گالاگر و همکاران [۴۳]، بیان داشتند که افزودن

پودرهای لبنی در نان بدون گلوتن منجر به کاهش ارزش *L در مقایسه با نمونه شاهد گردید و این امر به دلیل وجود مقدار کم لاکتوز در این ترکیبات می باشد که در واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی مایلارد و کاراملیزاسیون شرکت می کنند. همچنین گزارش شده است که با افزایش سطوح پروتئین آب پنیر به نان بدون گلوتن برنج، میزان شاخص رنگی *L کاهش یافته و شاخص b (زردیت) افزایش می یابد و ارزش b این دو پروتئین بالاتر از کازئینات سدیم بود [۴۴ و ۴۵]. بنا به گزارش زیبرو و همکاران [۴۶] نوع پروتئین تأثیر قابل توجهی در میزان شاخص *L داشت. حضور آلبومین سبب افزایش شاخص L، درحالی که استفاده از پروتئین سویا در نمونه‌های نان بدون گلوتن سبب کاهش شاخص روشنایی شد [۵]. این نتایج با نتایج به دست آمده در این پژوهش متناقض بود.

۳-۷- بررسی روند تغییرات سختی نمونه‌ها

مقاومت مغز نان به تغییر شکل تحت عنوان سفتی مطرح می شود که به عنوان یک شاخص مهم در بیات شدن نان در نظر گرفته می شود. با توجه به نقش گلوتن در جلوگیری از پدیده بیاتی، این ویژگی در نان بدون گلوتن شایع تر می باشد [۳۱]. نتایج جدول ۲ نشان داد که با افزایش غلظت آنزیم تا سطح ۱/۵ درصد در فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه ذرت ۷۱/۴۹ درصد سختی نان افزایش یافت. دلوزوسکا و همکاران [۳۳]، در بررسی اثر افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی روی نان بدون گلوتن، گزارش نمودند که با افزایش سطوح آنزیم ساختار بافت نان سفت تر شد کارایی آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بستگی به نوع پروتئین مورد استفاده داشته که به عنوان سوبسترا برای آنزیم عمل نموده و به ویژه می توان به دسترس بودن زنجیره‌های لیزین و گلوتامین توسط پروتئین اشاره نمود [۲۸]. همچنین طبق گزارشات رزنتی و همکاران [۳۰]، افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز در سطح ۱۰ واحد در مقایسه با افزودن آن در سطح ۱ واحد منجر به افزایش سختی نان بدون گلوتن سورگوم گردید. نتایج تحقیقات مور و همکاران [۳۵] روی نان بدون گلوتن نشان داد که با افزایش سطح آنزیم در نمونه

مولکولهای آب موجود در فرمولاسیون، قادر است میزان رطوبت محصول نهایی را افزایش دهد [۳۲]. این نتایج با گزارشهای نصیری و همکاران [۴۹] و اوردونز-دلگادو و همکاران [۵۰] در سایر فراوردههای غلاتی بدون گلوتن داری همبستگی بالایی بود. کمترین میزان رطوبت نمونه‌ها زمانی حاصل شد که میزان آنزیم و ایزوله پروتئین سویا در فرمولاسیون به ترتیب برابر صفر و سه درصد بود (جدول ۴).

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، تأثیر افزودن ایزوله پروتئین سویا و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بر خواص رئولوژیکی و فیزیکی نان بدون گلوتن بر پایه آرد ذرت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از ایزوله پروتئین سویا در غلظت‌های مختلف به طور موثری بر ویژگی‌های فیزیکی نان، از جمله حجم مخصوص، سختی و رنگ پوسته آن تأثیر گذاشته است. همچنین، اضافه کردن آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی توانسته است خواص رئولوژیکی خمیر را بهبود بخشد و به افزایش کیفیت نان کمک کند. با افزایش غلظت این آنزیم، افزایش قابل توجهی در سختی نان مشاهده شد که نشان‌دهنده تأثیر مثبت آن بر ساختار و بافت نان است. با توجه به افزایش تقاضا برای محصولات بدون گلوتن، این پژوهش می‌تواند به تولید نان‌های با کیفیت بالا و مغذی کمک کند و لزوم توجه بیشتر به نیازهای مصرف‌کنندگان با حساسیت به گلوتن و دیگر مسائل مربوط به تغذیه را احیا نماید. در نهایت با توجه به اطلاعات به دست آمده از این مطالعه می‌توان بهترین میزان آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی و ایزوله پروتئین سویا در فرمولاسیون نان بدون گلوتن بر پایه ذرت را به ترتیب ۰/۷۵ و ۳ درصد دانست.

دسترسى به داده‌ها

داده‌های به دست آمده و مورد استفاده در این پژوهش در صورت درخواست از نویسنده مسئول مکاتبات قابل دسترسى خواهد بود.

حاوی پودر شیر پس چرخ، سختی مغز نان افزایش یافت. همچنین در گزارشات دیگر نیز بیان شده است که افزایش سطوح آنزیم منجر به افزایش سختی بافت نان برنج گردید [۴۴]. جدول ۳ نشان داد که با افزایش میزان ایزوله پروتئین سویا در فرمولاسیون، میزان سختی نمونه‌ها احتمالاً به علت محتوای پروتئینی بالای ایزوله پروتئین سویا که اتصالات قوی با آب برقرار کرده و منجر به کاهش مهاجرت رطوبت از مغز به سمت پوسته می‌شود، افزایش یافت [۴۳]. در رابطه با اثر متقابل بر میزان سختی بافت نان، افزودن ۶ درصد ایزوله پروتئین سویا به همراه ۰/۷۵ درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی به نان بدون گلوتن منجر به ایجاد بیشترین سختی نان گردید (جدول ۴). مارکو و روزل [۲۶]، نیز نتایج مشابهی از بهبود سختی نان بدون گلوتن با استفاده از ایزوله پروتئین سویا و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی گزارش کردند.

۳-۸- تأثیر غلظت آنزیم و ایزوله پروتئین سویا بر میزان رطوبت مغز نان

نتایج نشان داد که افزایش میزان آنزیم تا سطح ۰/۷۵ درصد در فرمولاسیون‌های نان‌های تولیدی منجر به افزایش میزان رطوبت مغز نان‌ها شد (جدول ۲) که علت این افزایش ایجاد شبکه پیوند عرضی بین اسیدهای آمینه گلوتامین و لیزین که در اثر عمل آنزیم ترانس گلوتامیناز تشکیل شده است، می‌باشد که توانایی به تله انداختن آب را دارد، و بنابراین سبب افزایش در ظرفیت نگهداری آب می‌شود [۴۷ و ۴۸]. از طرف دیگر، افزایش ظرفیت جذب آب می‌تواند به علت آمیدزدایی از گلوتامین (آمید زدایی در اثر عمل آنزیم ترانس گلوتامیناز انجام می‌شود) و تبدیل آن به اسید گلوتامیک باشد که سبب کاهش آب‌گریزی محیط و در نتیجه افزایش جذب آب می‌شود [۳۵]، نتایج این بخش با نتایج پور اسماعیلی و همکاران [۳۶]، مطابقت داشت. جدول ۳ نشان داد که با افزایش میزان پروتئین در فرمولاسیون ابتدا میزان رطوبت مغز نان‌ها کاهش و سپس افزایش یافت. بنا به گزارش ملکی و همکاران [۳] با افزودن آرد سویا به فرمولاسیون نان برنج رطوبت مغز نان به دلیل دارا بودن مقادیر بالای فیبر و داشتن گروه‌های هیدروکسیل در ساختار خود و توانایی در پیوند با

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافع مالی یا غیرمالی مرتبط با انتشار این مقاله وجود ندارد.

بیانیه تأمین مالی

این پژوهش هیچگونه حمایت مالی قابل ذکر دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

هانیه محله: انجام آزمایش‌ها، جمع‌آوری داده‌ها و مشارکت در تحلیل داده‌ها و تهیه پیش‌نویس اولیه مقاله؛ زهرا مظلوم:

and the bread nutritional indexes. Food Chemistry Advances, 4: 100633.

- [1] Majzobi, M., and Sedi, A. 2013. The effect of hydrocolloids in gluten-free bread products. The 21st Congress of Food Science and Technology. Esfahan. Iran. (In Persian)
- [2] Proetto, I., Pesce, F., Arena, E., Grasso, A., Parafati, L., Fallico, B., and Palmeri, R. 2024. Use of vegetable flours obtained from artichoke by-products as a functional ingredient in gluten-free bread formulations. International Journal of Gastronomy and Food Science, 101015.
- [3] Maleki, G.H., Mazaheri Tahrani, M., and Shokrollahi, F. 2016. Effect of different concentrations of soy flour on the quality of gluten-free bread containing rice flour. Iranian Journal of Science and Technology, 54: 51-62. (In Persian)
- [4] Canelo-Álvarez, F., de Dios Figueroa-Cárdenas, J., Martínez-Cruz, E., Pérez-Robles, J.F., Villa, G.A., Mariscal-Moreno, R.M., and Medina, J.J.V. 2023. Effect of nixtamalization on gluten-free whole corn, dough viscoelasticity, and the bread-making quality of leavened corn bread. International Journal of Gastronomy and Food Science, 31: 100648.
- [5] Espinosa-Ramírez, J., Garzon, R., Serna-Saldivar, S.O., and Rosell, C.M. 2018. Functional and nutritional replacement of gluten in gluten-free yeast-leavened breads by using β -conglycinin concentrate extracted from soybean flour. Food Hydrocolloids, 84: 353-360.
- [6] Yılmaz, V.A. and Koca, İ. 2020. Development of gluten-free corn bread enriched with anchovy flour using TOPSIS multi-criteria decision method. International Journal of Gastronomy and Food Science, 22: 100281.
- [7] Crockett, R., Pauline, L., and Vodovotz, Y. 2011. Effects of soy protein isolate and egg white solids on the physicochemical properties of gluten-free bread. Food Chemistry, 129: 84-91.
- [8] Diowksz, A., and Sadowska, A. 2021. Impact of sourdough and transglutaminase on gluten-free buckwheat bread quality. Food Bioscience, 43: 101309.
- [9] Okwunodulu, I.N., Egbuta, G.N., Okwunodulu, F.U., Ojinnaka, C.M., and Onyeiwu, S.C. 2024. Gluten free sourdough breads from pearl Millet-Bambara nut and pearl millet-soybean paste: Evaluation of the proximate, functional properties of the flour blends and the bread nutritional indexes. Food Chemistry Advances, 4: 100633.
- [10] Awol, S.J., Kidane, S.W., and Bultosa, G. 2024. The effect of extrusion condition and blend proportion on the physicochemical and sensory attributes of teff-soybean composite flour gluten free extrudates. Measurement: Food, 13: 100120.
- [11] Boutas, I., Kontogeorgi, A., Dimitrakakis, C., and Kalantaridou, S.N. 2022. Soy isoflavones and breast cancer risk: a meta-analysis. In Vivo, 36(2): 556-562.
- [12] Ronda, F., Villanueva, M., and Collar, C. 2014. Influence of acidification on dough viscoelasticity of gluten-free rice starch-based dough matrices enriched with exogenous protein. LWT - Food Science and Technology, 59: 12-20.
- [13] Lavini, A., Mohtarami, F., Pirsá, S. and Talebi, A. 2021. The effect of *Elaeagnus angustifolia* (oleaster) powder on physicochemical, textural and sensory properties of gluten free bread. Journal of Food Science and Technology. 18(119): 1-15.
- [14] Mohtarami, F. and Pirsá, S. 2019. The Effect of carrot pomace powder on physicochemical, textural and, sensory properties of gluten free bread. Journal of Food Science and Technology. 16(86): 373-385.
- [15] Ammar, I., Sebi, H., Aloui, T., Attia, H., Hadrich, B., and Felfoul, I. 2022. Optimization of a novel, gluten-free bread's formulation based on chickpea, carob and rice flours using response surface design. Heliyon, 8(12).
- [16] Ito, S., and Arai, E. 2021. Improvement of gluten-free steamed bread quality by partial substitution of rice flour with powder of *Apios americana* tuber. Food Chemistry, 337: 127977.
- [17] Ataye salehi, A., Rostamian, M., and Milani, J. 2012. Textural and thermal analysis of staling in gluten free bread prepared from maize and chickpea flours. Innovative Food Science and Technology, 3(4): 35-40. (In Persian)
- [18] AACC International. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists 10th Ed. The Association: St. Paul. MN.
- [19] Demirkessen, I., Mert, B., Sumnu, G., and SHahin, S. 2010. Rheological properties of gluten-free bread formulations. Journal of Food Engineering, 96: 295-303.
- [20] Sun, X., Koksel, F., Nickerson, M.T., and Scanlon, M.G. 2020. Modeling the viscoelastic behavior of

- wheat flour dough prepared from a wide range of formulations. *Food Hydrocolloids*, 98: 105129.
- [21] Corral, M.L., Cerrutti, P., Vázquez, A., and Califano, A. 2017. Bacterial nanocellulose as a potential additive for wheat bread. *Food Hydrocolloids*, 67: 189-196.
- [22] Soleimanifard, M., Aelami, M., Chegini, F.K., Najafian, G., Mahoonak, A.R.S., and Khomeyri, M. 2014. Investigation on the effects of kefir on bulky bread quality and its shelf life. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 5(4): 53-65. (In Persian)
- [23] Montes, L., Santamaria, M., Garzon, R., Rosell, C.M., and Moreira, R. 2024. Effect of polyphenols from *Ascophyllum nodosum* seaweeds on the rheology and digestion of corn starch gels and gluten-free bread features. *Heliyon*, 10(7).
- [24] Alirezalu, K., Moazami-Goodarzi, A.H., Roufegarinejad, L., Yaghoubi, M., and Lorenzo, J.M. 2022. Combined effects of calcium-alginate coating and *Artemisia fragrans* essential oil on chicken breast meat quality. *Food Science & Nutrition*, 10(8): 2505-2515.
- [25] Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., and Biliaderis, C.G. 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79: 1033-1047.
- [26] Marco, C., and Rosell, C.M. 2007. Effect of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties. *Journal of Food Engineering*, 84: 132-139.
- [27] Hu, X., Cheng, L., Hong, Y., Li, Z., Li, C., and Gu, Z. 2021. Combined effects of wheat gluten and carboxymethylcellulose on dough rheological behaviours and gluten network of potato-wheat flour-based bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(8): 4149-4158.
- [28] Redd, A.J., Pike, O.A., and Ahlborn, G.J. 2024. Effects of microbial transglutaminase on gluten-free sourdough bread structure and loaf characteristics. *Journal of Cereal Science*, 115: 103833.
- [29] Egea, M.B., De Sousa, T.L., Dos Santos, D.C., De Oliveira Filho, J.G., Guimarães, R.M., Yoshiara, L.Y., and Lemes, A.C. 2023. Application of soy, corn, and bean by-products in the gluten-free baking process: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 16(7): 1429-1450.
- [30] Renzetti, S., Bello, F.D., and Arendt, E.K. 2008. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase. *Journal of Cereal Science*, 33-45.
- [31] Diowski, A., and Sadowska, A. 2021. Impact of sourdough and transglutaminase on gluten-free buckwheat bread quality. *Food Bioscience*, 43: 101309.
- [32] Mohammadi, M., Azizi, M.H., Neyestani, T.R., Hosseini, H., and Mortazavian, A.M. 2015. Development of gluten-free bread using guar gum and transglutaminase. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21: 1398-1402.
- [33] Dłużewska, E., Marciniak-Lukasiak, K., and Kurek, N. 2015. Effect of transglutaminase additive on the quality of gluten-free bread. *CyTA-Journal of Food*, 13(1): 80-86.
- [34] O'shea, N., Röble, C., Arendt, E., and Gallagher, E. 2015. Modelling the effects of orange pomace using response surface design for gluten-free bread baking. *Food Chemistry*, 166: 223-230.
- [35] Moore, M.M., Heinbockel, M., Dockery, P., Ulmer, H. M., and Arendt, E.K. 2006. Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. *Cereal Chemistry*, 83(1): 28-36.
- [36] Poresmail, N., Azizi, M.H., Abbasi, S., and Mohamadi, M. 2011. Formulation of gluten free bread using guar and microbial transglutaminase enzyme. *Journal Food Research*, 21(1): 69-81. (In Persian)
- [37] Fani Sadrabadi, F., Yasini Ardakani, S.A., and Azizi, M.H. 2013. The effect of dairy powders on the gluten-free voluminous breads. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 2(12): 551-559.
- [38] Dłużewska, E., Lukasiak, K.M., and Kurek, N. 2014. Effect of transglutaminase additive on the quality of gluten-free bread. *Journal of Food Technology*, 38(1): 21-36.
- [39] Wolter, A., Hager, A.S., Zannini, E., Czerny, M., and Arendt, E.K. 2014. Impact of sourdough fermented with *Lactobacillus plantarum* FST 1.7 on baking and sensory properties of gluten-free breads. *European Food Research and Technology*, 239: 1-12.
- [40] Skendi, A., Papageorgiou, M., and Varzakas, T. 2021. High protein substitutes for gluten in gluten-free bread. *Foods*, 10(9): 1997.
- [41] Campos, F.M., Couto, J.A., and Hogg, T. 2016. Utilization of natural and by-products to improve wine safety. *Wine Safety, Consumer Preference, and Human Health*, 3: 27-49.
- [42] Ziobro, R., Juszcak, L., Witczak, M., and Korus, J. 2016. Non-gluten proteins as structure forming agents in gluten free bread. *Journal of Food Science and Technology*, 53: 571-580.
- [43] Gallagher, E., Gormley, T.R., and Arendt, E.K. 2003. Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of Food Engineering*, 56: 153-161.
- [44] Shin, M., Gang, D.O., and Song, J.Y. 2010. Effect of protein and transglutaminase on the preparation of gluten-free rice bread. *Food science Biotechnology*, 19(4): 951-956.
- [45] Pico, J., Reguilón, M.P., Bernal, J. and Gómez, M. 2019. Effect of rice, pea, egg white and whey proteins on crust quality of rice flour-corn starch based gluten-free breads. *Journal of Cereal Science*, 86: 92-101.
- [46] Ziobro, R., Juszcak, L., Witczak, M., and Korus, J. 2015. Non-gluten proteins as structure forming agents in gluten free bread. *Food Scientists and Technologists*, 53: 571-580.
- [47] Vinod, B.R., Asrey, R., Rudra, S.G., Urhe, S.B., and Mishra, S. 2023. Chickpea as a promising ingredient substitute in gluten-free bread making: An overview of technological and nutritional benefits. *Food Chemistry Advances*, 3: 100473.
- [48] Ghahremannejad, N., Alizadeh, M. and Pirsá, S. 2017. Research article partial substitute of sugar with date concentrate in the peach/apple juice and study physicochemical/color properties of blend fruit juice. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 13(6): 236-252.
- [49] Nasiri, F., Mohtarami, F., Esmaili, M. and Pirsá, S. 2024. Production of gluten-free biscuits with inulin

- and flaxseed powder: Investigation of physicochemical properties and formulation optimization. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 14(17): 21443-21459.
- [50] Ordoñez-Delgado, G.E., Roa-Acosta, D.F., and Nieto-Calvache, J.E. 2024. Cacay seed cake flour and papaya dietary fiber concentrates as nutritional supplement and quality improvers for gluten-free breads. *NFS Journal*, 36: 100188.



Scientific Research

Effect of incorporated soy protein isolate and microbial transglutaminase enzyme on the rheological and quality properties of gluten-free bread based on corn flour

Hanieh Mahalleh¹, Zahra Mazloom², Mehdi Gharekhani^{3,*}, Kazem Alirezalu⁴

1-M.Sc Graduate, Department of Food Science and Technology, Ta.C., Islamic Azad University, Tabriz, Iran

2- Director of Quality Control, Research and Development, Aseman Bahram Alishah Company (Istaram), Tabriz, Iran

3- Department of Food Science and Technology, Ta.C., Islamic Azad University, Tabriz, Iran

4- Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2024/11/10

Review: 2025/01/17

Accepted: 2025/02/12

Keywords:

Gluten-free bread,

Celiac,

Transglutaminase enzyme,

Soy protein isolate,

Quality properties

DOI: 10.48311/fsct.2026.83926.0

*Corresponding Author E-

m.gharekhani@iau.ac.ir

This study aimed to evaluate corn-based gluten-free bread containing soy protein isolate and microbial transglutaminase enzyme. Different concentrations of soy protein isolate (0, 3 and 6%) and microbial transglutaminase enzyme (0, 0.75 and 1.5%) were used to prepare corn-based gluten-free bread and their effects on the rheological properties of the dough (loss and storage modulus) and physical (specific volume, baking loss, porosity, shell color brightness, hardness and moisture content of the bread) with factorial experiments (2×3) was evaluated in a completely randomized design. The results showed that the loss and storage modulus of corn-based gluten-free bread enhanced with increasing angular frequency in the rheometer range (0-100 1/s). The T0SPI6 sample (6% soy protein isolate without enzyme) and the T0SPI3 sample (3% soy protein isolate without enzyme) exhibited the highest storage and loss modulus compared to the control. Moreover, incorporating 0.75% microbial transglutaminase enzyme increased the specific volume and porosity of the bread. The highest baking loss (20.79%) was achieved when the formulation's enzyme and soy protein isolate concentrations were 0.75% and 0%, respectively. The influence of soy protein isolate concentration on the L* index revealed that maximum brightness was achieved with a 6% concentration (88.60), showing no significant difference compared to the 3% concentration (87.95). Increasing the enzyme concentration to 1.5% in the corn-based gluten-free bread formulation resulted in a 71.49% increase in the bread's hardness. The results indicate that microbial transglutaminase (0.75%) and soy protein isolate (3%) can be effectively used to produce high-quality corn-based gluten-free bread.