



بررسی تأثیر افزودن آنزیم آلفا-آمیلاز و ترانس گلوتامیناز بر خواص فیزیکوشیمیایی و بافت نان همبرگر

رقیه حسن بیگی^۱، حسین جوینده^{۲*}، محمد حجتی^۲، حسن برزگر^۳

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.

۲- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

چکیده

اطلاعات مقاله

استفاده از آرد کامل در تولید نان همبرگر، به واسطه ویژگی‌های ساختاری آن، موجب افت کیفیت بافتی محصول نهایی می‌شود. برای رفع این چالش، راهکارهای متعددی پیشنهاد شده که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به بهره‌گیری از افزودنی‌هایی نظیر آنزیم‌ها، به ویژه ترانس گلوتامیناز و آلفا آمیلاز اشاره کرد. در این پژوهش، تأثیر افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز در سه سطح ۰، ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد و آلفا آمیلاز در سه سطح ۰، ۰/۱ و ۰/۲ درصد بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی نان همبرگر تهیه شده از آرد کامل مورد بررسی قرار گرفت. ویژگی‌های بافتی مورد ارزیابی شامل سفتی، پیوستگی، صمغیت و چسبندگی بودند. نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها نشان داد که استفاده از آنزیم ترانس گلوتامیناز موجب افزایش معنی‌دار پروتئین، رطوبت، سفتی، پیوستگی و صمغیت نان شد؛ در حالی که مقدار pH کاهش یافت. از سوی دیگر، افزودن آلفا آمیلاز ضمن افزایش درصد پروتئین، رطوبت و پیوستگی بافت نان، باعث کاهش میزان سفتی و صمغیت آن به شکلی معنی‌دار گردید. به طور کلی، نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که کاربرد همزمان دو آنزیم ترانس گلوتامیناز و آلفا آمیلاز می‌تواند به عنوان راهبردی مؤثر در ارتقاء کیفیت بافتی نان حاصل از آرد کامل مورد استفاده قرار گیرد. در میان تیمارهای آزمایشی، افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز در سطح ۰/۱۵ درصد و آلفا آمیلاز در سطح ۰/۲ درصد بهترین عملکرد را در بهبود ویژگی‌های بافتی نان از خود نشان داد.

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۴

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۶

کلمات کلیدی:

آلفا-آمیلاز،

بافت سنجی،

ترانس گلوتامیناز،

خواص فیزیکوشیمیایی،

نان همبرگر.

DOI: 10.48311/fsct.2026.117073.82892

* مسئول مکاتبات:

hosjooy@asnruk.ac.ir

۱-مقدمه

بلوری شدن آمیلوپکتین می‌شود [۷]. فعالیت آلفاآمیلازی علاوه بر نقش ضد بیاتی، سبب بهبود خصوصیات الاستیکی بافت و ساختار پوسته می‌شود. فعالیت آلفاآمیلاز موجب تجزیه نشاسته‌های آسیب‌دیده آرد و تولید دکسترین با وزن مولکولی کمتر می‌شود. این دکسترین‌ها قابلیت تخمیر شدن به وسیله مخمر را دارند و در نتیجه آلفاآمیلاز از این طریق سبب افزایش حجم و بهبود بافت نان می‌گردد [۸]. به علاوه، الیگوساکاریدهای کوچک و قندهایی نظیر گلوکز و مالتوز حاصل از این آنزیم، واکنش مایلارد را که عامل ایجاد رنگ قهوه‌ای مطلوب پوسته و ایجاد عطر و طعم مخصوص نان پخته شده است، تقویت می‌کنند [۹].

آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی که با نام EC 2.3.2.13 نیز شناخته می‌شود جزء آنزیم‌های ترانسفراز می‌باشد که قابلیت اتصال مجدد پیوندهای ضعیف شبکه پروتئینی را دارا است [۱۰]. آنزیم ترانس گلوتامیناز فرآیند آسپیل ترانسفراز را کاتالیز می‌کند و با ایجاد باندهای کووالانست بین پروتئین‌ها، باعث بهبود بافت و کیفیت محصول غذایی می‌گردد و پروتئین‌های جلید با ویژگی‌های جلید و منحصر به فرد ایجاد می‌کند. این اتصالات بسیار پایدار بوده و در برابر عواملی مانند تغییرات pH و حرارت به‌طور فوق‌العاده‌ای مقاوم هستند. بنابراین می‌توان با استفاده از این آنزیم، کیفیت محصولات غذایی را تا حد امکان افزایش داد [۱۱].

با توجه به سرانه بالای مصرف نان در کشور و میزان قابل توجه ضایعات ناشی از افت کیفیت محصول، ارتقای فرآیند تولید نان با هدف کاهش وابستگی به افزودنی‌های شیمیایی و افزایش ماندگاری، یکی از چالش‌های اساسی صنایع نانوازی به‌شمار می‌رود. در سال‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی به بهبود جنبه‌های تغذیه‌ای، ایمنی و کیفیت نان از طریق بهره‌گیری از ترکیبات عملکردی و غنی‌سازی محصول اختصاص یافته‌اند. با این حال، نیاز به توسعه‌ی روش‌هایی نوآورانه برای ارتقای خواص عملکردی خمیر و حفظ کیفیت نهایی نان، همچنان احساس می‌شود. در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف استفاده از آنزیم‌های

نان مهم‌ترین ماده در رژیم غذایی ایرانیان و بسیاری از ملت‌های جهان است. نان گندم به‌عنوان غذای اصلی مردم جهان، مهم‌ترین منبع کالری و پروتئین است، به‌طوری‌که ۲۰ درصد پروتئین و کالری مورد نیاز روزانه ۴/۵ میلیارد نفر را در سطح جهان تأمین می‌کند [۱]. به دلیل جذابیت ظاهری و طعم مطلوب‌تر، آرد گندمی که برای تولید نان سفید مورد استفاده قرار می‌گیرد، آردی سفید است که سبوس آن در حین آسیاب کردن جدا می‌شود. بنابراین به واسطه کاهش یا حذف سبوس در آردهای سفید، یکی از مشکلات اصلی در کیفیت نان‌های امروزی، پایین بودن محتوای فیبری آنها می‌باشد [۲]. سبوس گندم غنی‌ترین منبع غذایی فیبر و الیاف گیاهی است که شامل مقادیر بالای پروتئین، کربوهیدرات، املاح معدنی و ویتامین می‌باشد [۳].

در فرایند تولید نان سبوس‌دار گندم، از جمله مشکلات بعد از پخت می‌توان به کاهش حجم ویژه نان، کاهش نرمی و تردی بافت نان، کاهش قابلیت شکل‌پذیری خمیر و ایجاد بافت متراکم و بیاتی سریع‌تر نان اشاره کرد. سبوس گندم حاوی اجزای فیبر غذایی مانند سلولز و آرابینوزایلان است که می‌تواند با گلوتن برای آب رقابت کنند و مانع توسعه آن و تضعیف ساختار کلی شوند. برای جبران این نقایص راه‌های مختلفی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها اضافه کردن افزودنی‌های مناسب به فرمول خمیر نان می‌باشد [۴]. با توجه به حرکت صنایع غذایی به سمت فراورده‌های غذایی سالم و همچنین مقررات سازمان غذا و دارو در مورد محدود کردن استفاده از افزودنی‌های شیمیایی، کاربرد آنزیم‌های غذایی اهمیت بیشتری پیدا کرده است [۵]. با وجود خاصیت آرد گندم در تشکیل شبکه گلوتنی و ویسکوالاستیک، برخی از آنزیم‌ها در خمیر مخلوط می‌شوند تا با کاهش زمان آماده‌سازی نان و سرعت بیاتی، جایگزین افزودنی‌های شیمیایی شده و فرآیند پخت را بهبود بخشند [۶].

در میان این آنزیم‌ها، آلفا آمیلاز مؤثرترین آنزیم در کاهش بیاتی نان است که از طریق هیدرولیز جزئی نشاسته، مولکول‌هایی با وزن مولکولی کمتر تولید می‌کند و مانع

۳-۲- ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آرد و نان شامل رطوبت، خاکستر، چربی و پروتئین مطابق استاندارد ملی ایران به ترتیب به شماره‌های ۱-۲۷۰۵، ۲۷۰۶، ۱۰۷۰۰ و ۱۹۰۵۲ اندازه‌گیری شدند [۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶]. میزان pH نمونه‌ها نیز با استفاده از pH متر Metrohm-780 ساخت کشور سوئیس انجام پذیرفت. برای این منظور، ۱۰ گرم نمونه با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد و پس از ۳۰ دقیقه، بدون فیلتر کردن، pH محلول فوقانی اندازه‌گیری شد [۱۷].

۴-۲- ارزیابی بافت نان

آزمون بافت‌سنجی به منظور ارزیابی ویژگی‌های مختلف نان‌های همبرگر تولیدی نظیر سفتی، پیوستگی، چسبندگی و صمغی بودن انجام شد. برای این منظور، از دستگاه بافت‌سنج Stable Micro System (مدل TA.XT.PLUS، ساخت انگلستان) استفاده گردید. در ابتدا، قطعات مکعبی به ابعاد ۲×۲×۲ سانتی‌متر از مرکز نان بریده شدند. برای آزمون، از پروب با سطح مقطع استوانه‌ای به قطر ۳۶ میلی‌متر و سرعت حرکت ۱ میلی‌متر بر ثانیه استفاده شد. همچنین، از لودسل ۵ کیلوگرمی برای اعمال فشار استفاده شد و فشرده‌سازی نمونه‌ها تا ۴۵ درصد از ارتفاع اولیه نمونه‌ها انجام گردید [۱۸].

۵-۲- آنالیز آماری

این مطالعه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این مطالعه، تأثیر آنزیم آلفا‌امیلاز در سه سطح (۰، ۰.۱ و ۰.۲ درصد) و ترانس‌گلوتامیناز در سه سطح (۰، ۰.۱۵ و ۰.۳ درصد) بر فاکتورهای مورد نظر بررسی شد. تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد صورت گرفت.

آلفا‌امیلاز و ترانس‌گلوتامیناز میکروبی، به بررسی نقش این ترکیبات در بهبود ویژگی‌های بافتی و تولید نان سبوس‌دار با کیفیت مطلوب می‌پردازد.

۲- مواد و روش‌ها

۱-۲- مواد اولیه تهیه نان همبرگر

آرد مورد استفاده برای تهیه نان از شرکت آرد دره‌شهر (ایلام، ایران) تأمین شد. آنزیم آلفا‌امیلاز قارچی با فعالیت SKB/min ۱۲۰۰۰۰ و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی با فعالیت ۱۰۰ واحد بازای هر گرم از شرکت آرتین شیمی (کرج، ایران) تهیه گردیدند. مخمر نانویی ناب‌مایه از شرکت خمیرمایه و الکل رازی (تهران، ایران) خریداری شد.

۲-۲- آماده‌سازی و فرآیند تولید نان همبرگر سبوس‌دار

نمونه‌های خمیر نان به شیوه خمیر مستقیم^۱ و با استفاده از روش جوینده و همکاران با کمی تغییرات تولید گردیدند [۱۲]. خمیر مطابق با فرمول شامل ۱۰۰۰ گرم آرد کامل گندم، ۱۲ گرم مخمر خشک، ۱۰ گرم روغن شورتینگ، ۱۰ گرم نمک، و ۱۰ ppm (به‌بود دهنده (برومات پتاسیم) تهیه گردید. آنزیم آلفا‌امیلاز در سطوح ۰، ۰/۱ و ۰/۲ درصد و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز در سطوح ۰، ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد (هرکدام بر پایه وزن آرد) به فرمول افزوده شد. خمیر با استفاده از دستگاه خمیرگیر آماده شد و پس از ۲۰ دقیقه نگهداری و تخمیر اولیه، خمیر به قطعات ۷۰ گرمی چانه‌گیری شد. قطعات خمیر جهت استراحت در گرمخانه‌ای با دمای ۳۰ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی حدود ۸۵ درصد به مدت ۵۰ دقیقه قرار گرفتند. فرآیند پخت در دمای ۱۵±۲۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۵ دقیقه انجام شد. نان‌های حاصل پس از خنک شدن در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی شده و در دمای اتاق جهت انجام آزمون‌های بعدی نگهداری شدند [۱۲].

1-straight dough method

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

فاکتورهای مورد بررسی در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، تأثیر هر دو آنزیم آلفا-آمیلاز و ترانس گلوتامیناز میکروبی بر میزان خاکستر و چربی نمونه-های نان تیمار شده معنی دار نبوده است ($p > 0.05$).

نتایج ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آرد مصرفی در تولید نان در جدول ۱ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، آرد مصرفی حاوی ۱۲/۵ درصد پروتئین و pH برابر با ۶/۳ می‌باشد. همچنین، نتایج مربوط به تجزیه واریانس کلیه

Table 1. Physicochemical properties of whole wheat flour

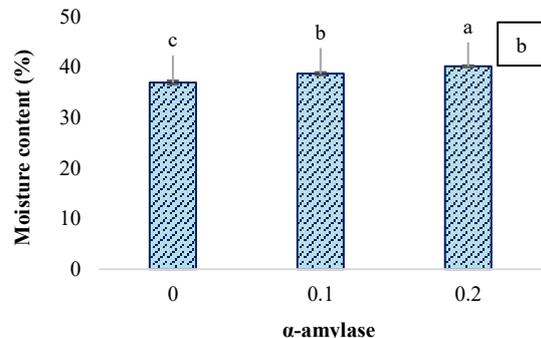
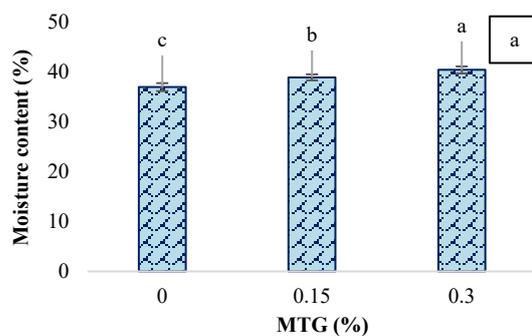
	Moisture (%)	Ash (%)	Protein (%)	pH
Whole wheat flour	9.31	1.6	12.5	6.3

فرمولاسیون گزارش نمودند [۲۰]. شبکه پیوند عرضی بین اسیدهای آمینه گلوتامین و لیزین که در اثر عمل آنزیم ترانس گلوتامیناز تشکیل شده است، توانایی به دام انداختن آب را دارد و از این رو سبب افزایش در ظرفیت نگهداری آب می‌شود. از طرف دیگر افزایش ظرفیت جذب آب می‌تواند به علت آمیدزدایی از گلوتامین (آمیدزدایی در اثر عمل آنزیم) و تبدیل آن به اسید گلوتامیک باشد که سبب کاهش آبگریزی محیط و در نتیجه افزایش جذب آب می‌گردد [۲۱].

باباخانی و همکاران در بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی کیک غنی شده با پودر پروتئین ماهی و آنزیم ترانس گلوتامیناز گزارش کردند که رطوبت در تیمارهای آغشته به آنزیم ترانس گلوتامیناز، نسبت به تیمارهای شاهد، افزایش معنی‌داری یافته، به طوریکه با افزایش درصد آنزیم رطوبت نیز افزایش پیدا کرده است [۱۹].

نتایج حاصل از آنالیز واریانس نمونه نان‌های تولیدی در جدول ۲ گزارش شده است. همان‌طور که مشخص است افزایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز در نان‌های تولید شده از آرد کامل تأثیر معنی‌داری بر میزان رطوبت نمونه‌های نان داشته است ($p < 0.001$) و سبب افزایش رطوبت نمونه‌های نان شده است (شکل ۱-a). اما همان‌طور که مشاهده می‌شود بین نمونه شاهد و نمونه حاوی ۰/۱۵ درصد ترانس گلوتامیناز اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. آنزیم ترانس گلوتامیناز در تشکیل شبکه پروتئینی و ایجاد زنجیره‌های پروتئینی با وزن مولکولی بالا نقش دارد، که این زنجیره‌های پروتئینی سبب به دام انداختن آب در بافت نان و جلوگیری از مهاجرت آب از مغز به پوسته می‌شوند و از این طریق سبب کند شدن روند بیاتی نان می‌شوند [۱۹].

پوراسماعیل و همکاران در مطالعه خود در زمینه افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز آنزیمی به نان بدون گلوتن، افزایش میزان رطوبت را با افزایش سطح آنزیم در



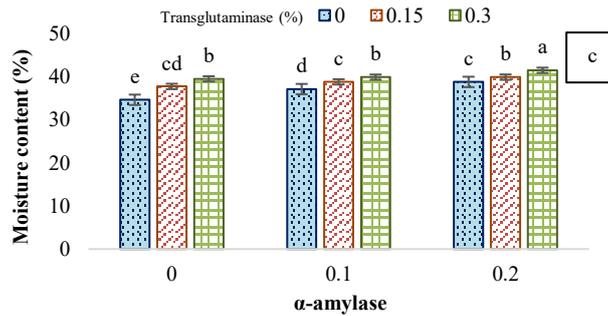


Fig. 1. The effect of microbial transglutaminase (MTG) (a), α -amylase (b) and their interaction (c) on the moisture content of bread samples

در نتیجه افزودن آنزیم آلفاآمیلاز به فرمولاسیون کیک گزارش کردند [۲۳]. نجات‌بخش و همکاران (۱۳۹۷) نیز در تحقیقی نشان دادند که افزودن آنزیم آلفاآمیلاز و خمیرترش لاکتیکی، سبب افزایش میزان رطوبت، فیبر، خاکستر و کاهش میزان چربی و پروتئین نمونه‌های نان تست نسبت به نمونه شاهد می‌گردد [۲۴]. اثرات متقابل افزودن هر دو آنزیم آلفاآمیلاز و ترانس‌گلوتامیناز میکروبی در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. مطابق این نمودار، افزودن نسبت‌های مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و آلفاآمیلاز به آرد باعث افزایش معنی‌دار رطوبت نان تولیدی نسبت به نمونه شاهد گردید. همانگونه که مشاهده می‌شود، بیشترین رطوبت مربوط به نمونه حاوی ۰/۳ درصد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۰/۲ درصد آلفاآمیلاز می‌باشد. کمترین میزان رطوبت هم در نمونه شاهد مشاهده می‌شود (شکل ۱-۱).

نتایج حاصل از آنالیز واریانس نمونه نان‌های تولیدی در جدول ۲ نشان می‌دهد که افزودن آنزیم آلفاآمیلاز نیز تأثیر معنی‌داری بر میزان رطوبت نمونه‌های نان داشته است ($p < 0.001$) و با افزایش میزان این آنزیم، رطوبت نمونه‌ها نیز افزایش یافته است (شکل ۱-۱)؛ هرچند که بین نمونه شاهد و نمونه حاوی ۰/۱ درصد آلفاآمیلاز اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. درواقع، حضور آنزیم آلفاآمیلاز در فرمولاسیون خمیر می‌تواند سبب افزایش میزان نشاسته آسیب‌دیده در آرد گندم گردد که این امر تأثیر مثبت بر میزان جذب آب خمیر و مقدار رطوبت محصول نهایی دارد. دهقان‌نیا و کریمی (۱۳۹۵) کاربرد صمغ اسفرزه و آنزیم آلفاآمیلاز قارچی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی دونات را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش میزان صمغ اسفرزه و آنزیم آلفاآمیلاز قارچی در فرمولاسیون دونات، میزان رطوبت نمونه‌ها نیز افزایش یافت [۲۲]. پورلیس و سالوادوری (۲۰۰۸) نیز افزایش رطوبت را

Table 2. Analysis of variance for the effect of α -amylase and microbial transglutaminase (MTG) on the physicochemical and textural properties of bread

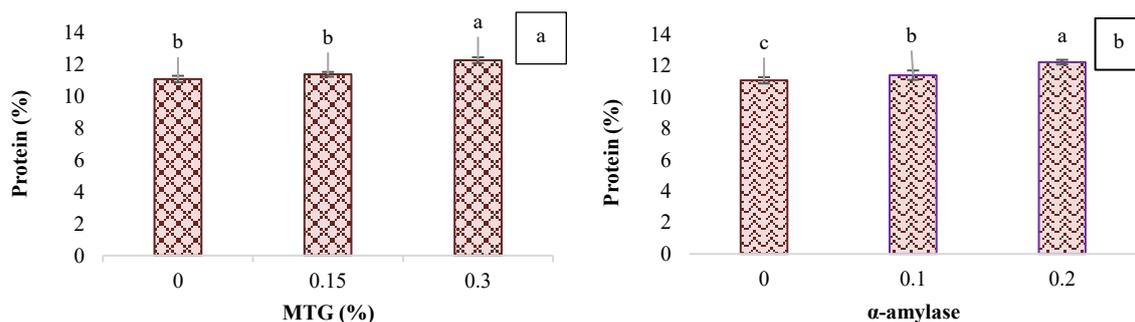
Variable sources	Mean square									
	df	Moisture	Ash	Fat	protein	pH	Hardness	Cohesiveness	Adhesiveness	Gumminess
α -amylase	2	8.44**	0.00 ^{3ns}	0.03 ^{6ns}	37.53**	0.00 ^{1ns}	584.07***	0.000**	851.48 ^{ns}	214.55***

MTG	2	8.61**	0.00 2 ^{ns}	0.19 7 ^{ns}	41.10 4 ^{***}	0.008 ***	243.93 ***	0.001*	515.11 ^{ns}	88.42 ^{***}
α-amylase × MTG	4	9.23**	0.00 1 ^{ns}	0.00 1 ^{ns}	9.29** *	0.00 3*	86.860 ***	0.005 ^{ns}	513.30 ^{ns}	26.54**
Error	1 8	0.25	0.00	0.00	0.03	0.00 2	1.06	0.01	5.74	3.06
CV (%)	-	5.10	1.5	3.86	4.21	1.4	11.54	8.4	1.6	13.96

ns, *and ** and *** means non-significant, and significant at 5%, 1% and 0.1%.

پروتئین‌های مذکور را به یکدیگر متصل کرده و آن‌ها را رسوب می‌دهد و این عمل، اثر مفیدی روی کیفیت فرآورده دارد. اثرات مفید ترانس گلوتامیناز به دلیل اتصال زیر واحدهای گلوتنین با وزن مولکولی بالا می‌باشد. ترانس گلوتامیناز با داشتن خاصیت اتصال پروتئینی باعث ترمیم دانه‌های گندم آسیب دیده نیز می‌شود [۲۵]. سعیدی و همکاران (۱۳۹۶) در خصوص بهینه‌سازی فرمولاسیون کیک بدون گلوتن غنی شده با پودر هسته انار و آنزیم ترانس-گلوتامیناز بیان نمودند که آنزیم ترانس گلوتامیناز اثر معنی‌داری بر پروتئین نمونه‌ها نداشته است [۲۶]. همچنین عزیزمحمدی و بلندی (۱۳۹۶) گزارش کردند که میزان پروتئین استیک، تحت تأثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز افزایش معنی‌داری یافته است [۲۷].

نتایج آنالیز واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی به نان‌های تولید شده از آرد کامل، تأثیر معنی‌داری بر میزان پروتئین نمونه‌های نان همبرگر داشته است ($p < 0.0001$). همچنین، نمونه‌های حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز از محتوای پروتئین بیشتری نسبت به نمونه شاهد برخوردار بودند. البته همانطور که در شکل ۲-ا مشاهده می‌شود بین نمونه شاهد و ۰/۱۵ درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز اختلاف معناداری مشاهده نشد اما در نمونه ۰/۳ این اختلاف معنادار گردید. استفولانی و همکاران (۲۰۱۰) بیان نمودند حضور ترانس گلوتامیناز در خمیر نان، باعث کاهش آلبومین و گلوبولین و افزایش مقادیر گلیادین می‌شود. به دلیل این که آلبومین و گلوبولین در شکل گرفتن خمیر نقشی ندارند، ترانس گلوتامیناز



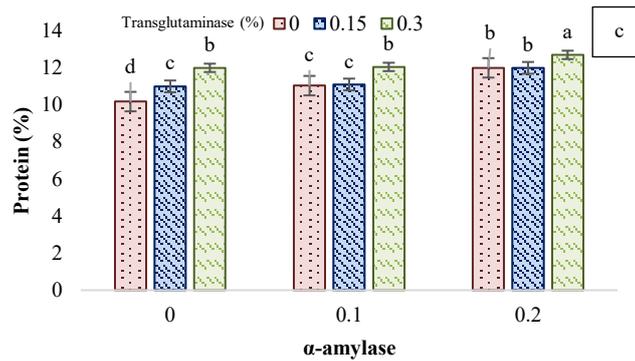


Fig. 2. The effect of microbial transglutaminase (MTG) (a), α -amylase (b) and their interaction (c) on the protein percentage of bread samples

نتایج بدست آمده، بین نمونه حاوی ۰/۱۵ و ۰/۳ میزان آنزیم ترانس گلوتامیناز از نظر آماری اختلاف معنی داری مشاهده نشد ($p > 0/05$). به طور کلی، محدوده pH نمونه‌ها بین ۵/۵ - ۵/۵۷ بود. کاهش pH احتمالاً به علت آمیدزدایی از اسید آمینه گلوتامین و تولید اسید گلوتامیک توسط این آنزیم باشد که سبب کاهش pH نان‌های حاصل شده است [۲۸]. سعیدی و همکاران (۱۳۹۶) نیز در خصوص بهینه‌سازی فرمولاسیون کیک بدون گلوتن غنی شده با پودر هسته انار و آنزیم ترانس گلوتامیناز گزارش کردند که افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز باعث کاهش pH نمونه‌های کیک شد [۲۶].

برخلاف ترانس گلوتامیناز، افزودن آلفا آمیلاز به نمونه‌های تولیدی بر میزان pH نان‌های تولیدی اثر معنی داری نداشت ($p > 0/05$). همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد اثرات متقابل افزودن ترانس گلوتامیناز و آلفا آمیلاز بر میزان pH معنی دار شده است ($p < 0/01$). به طور کلی می‌توان گفت بیشترین pH مربوط به نمونه شاهد و کمترین pH مربوط به نمونه تیمار شده با ۰/۳ درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۰/۲ درصد آلفا آمیلاز می‌باشد (شکل ۳-b). موحد و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی گزارش کرد که آنزیم آلفا آمیلاز با تولید متابولیت‌هایی نظیر دکستروزین، سبب افزایش مواد شرکت کننده در تخمیر شده که این مواد مجدداً منجر به کاهش pH شدند که با نتایج این تحقیق مغایرت داشت [۲۹].

با افزایش میزان آنزیم آلفا آمیلاز، درصد پروتئین نمونه‌های نان نیز افزایش معنی داری یافت ($p < 0/0001$). همان‌طور که در شکل ۲-b مشاهده می‌شود، بین نمونه شاهد و نمونه حاوی ۰/۱ درصد آنزیم آلفا آمیلاز اختلاف معنی داری وجود ندارد، اما در نمونه حاوی ۰/۲ درصد آلفا آمیلاز، کمی افزایش پروتئین مشاهده می‌شود. نجات‌بخش و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیقی نشان دادند که افزودن آنزیم آلفا آمیلاز و خمیرترش لاکتیکی سبب کاهش میزان پروتئین در نمونه‌های نان نسبت به نمونه شاهد می‌گردد، که با نتایج این پژوهش مغایرت داشت [۲۴].

در شکل ۲-c اثرات متقابل آنزیم ترانس گلوتامیناز و آلفا آمیلاز نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزودن نسبت‌های مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز و آلفا آمیلاز به نان تولید شده از آرد کامل باعث افزایش پروتئین آن نسبت به نمونه شاهد شده است. بیشترین مقدار پروتئین در نمونه حاوی ۰/۳ درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۰/۲ درصد آلفا آمیلاز و کمترین مقدار پروتئین در نمونه شاهد مشاهده می‌شود.

در ارتباط با فاکتور pH نیز با افزایش میزان آنزیم ترانس گلوتامیناز، pH نمونه‌های نان نسبت به نمونه شاهد کاهش معنی داری یافته است ($p < 0/0001$) (جدول ۲، شکل ۳-a). تأثیر مقادیر مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز بر تغییرات pH نمونه‌های نان نیز در شکل ۳ نشان داده شده است. بر اساس

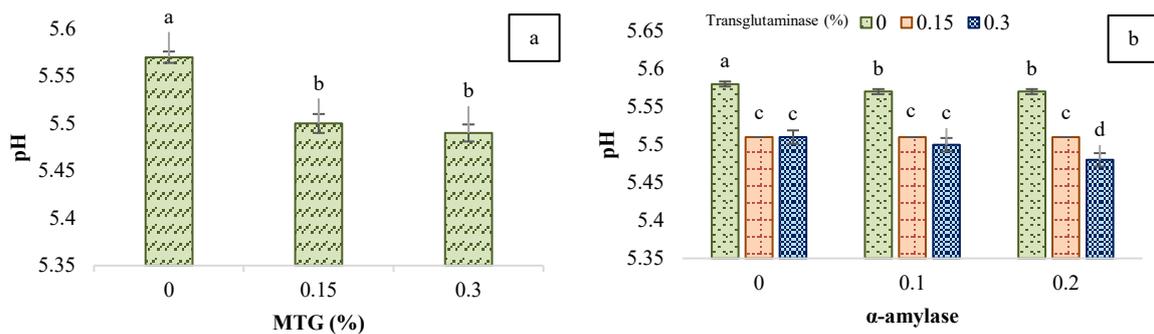


Fig. 3. The effect of microbial transglutaminase (MTG) (a) and the interaction between MTG and α -amylase (b) on the pH of bread samples

افزایش و آب قابل دسترس نشاسته را کم می‌کند، در نتیجه رتروگراداسیون را کاهش می‌دهد. با ایجاد اتصالات قوی‌تر، بافت نان سفت‌تر و متراکم‌تر می‌شود و نیروی بیشتری برای فشردن بافت نان مورد نیاز می‌باشد. بنابراین میزان افزودن آنزیم به فرمولاسیون را باید تا حد امکان کنترل نمود [۳۱]. اینانگو و همکاران (۲۰۱۰) اثر آنزیم ترانس گلوتامیناز را بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر و کیفیت نان تهیه شده از نشاسته کاساوا پیش ژلاتینه شده و آرد سورگوم مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که با افزایش غلظت آنزیم، مقاومت در برابر تغییر شکل در خمیر کاهش و سفتی و پیوستگی بافت نان افزایش می‌یابد [۳۲]. دلزوسکا و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که تیمار آنزیمی ترانس گلوتامیناز با ۱ واحد آنزیم (به‌ازای هر گرم پروتئین) سبب کاهش سفتی بافت نان فاقد گلوتن گردید، در حالی که تیمار آنزیمی ترانس گلوتامیناز با ۱۰ واحد آنزیم سبب افزایش قابل توجه سفتی محصول شد [۳۳]. اثر آنزیم ترانس-گلوآمیناز روی سفتی بافت نان با افزایش وزن مولکولی پروتئین‌ها و به‌وجود آمدن پروتئین‌های بزرگ‌تر توضیح داده می‌شود [۳۴]. نتایج جوینده و مرتضوی (۱۳۹۷) نیز نشان داد با افزایش غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز سفتی، قوام و پیوستگی ماست به‌طور معنی‌داری افزایش یافت [۳۵].

شاخص صمغی به‌عنوان انرژی مورد نیاز برای آماده‌سازی غذا جهت بلع تعریف می‌شود و مقدار پایین آن به معنی نرمی و مقدار بالای آن به معنی سفتی یا ایجاد حالت شکستگی سلولی در نظر گرفته می‌شود [۳۶] که این تعریف با نتایج

۲-۳- نتایج ویژگی‌های بافتی

افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز تأثیر معنی‌داری بر میزان سفتی، پیوستگی و صمغی بودن نمونه‌های نان داشته است ($p < 0.001$). اما همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، این آنزیم اثر معنی‌داری بر چسبندگی نداشته است ($p > 0.05$).

همان‌طور که در شکل ۴-ا و ۴-ب مشاهده می‌شود، با افزایش درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز به نان‌های تولیدی، سفتی و پیوستگی نمونه‌ها افزایش معنی‌داری یافته است. ولی این افزایش بین نمونه شاهد و نمونه تیمار شده با ۰/۱۵ درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز معنی‌داری نبود ولی میزان سفتی نمونه‌های تیمار شده با ۰/۳ درصد آنزیم ترانس-گلوآمیناز به طور قابل توجهی افزایش یافت. همچنین، افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز باعث افزایش پارامتر صمغی بودن نمونه‌های نان شد (شکل ۴-ع).

ترانس گلوتامیناز با مکانیسم‌های متفاوتی روی ویژگی‌های خمیر و نان حاصله تأثیر می‌گذارند. این آنزیم به طور مستقیم موجب ایجاد اتصالات عرضی بین پروتئین‌ها می‌شود. همچنین اضافه کردن ترانس گلوتامیناز با آمیدزدایی از گلوآمین و لیزین در بهبود ظرفیت نگهداری آب و القاء خاصیت الاستیسیته به بافت نان مؤثر بوده و انسجام بیشتر شبکه پروتئینی (گلوآمتی) را در بر دارد [۳۰]. همچنین آنزیم ترانس گلوتامیناز با ایجاد اتصالات عرضی و تشکیل شبکه گلوآمتی قوی و افزایش قدرت گلوتن باعث به دام انداختن آب، درون بافت نان شده و در واقع جذب آب گلوتن را

طور معنی‌داری افزایش یافت [۳۷]. مجذوبی و وثوقی‌پور (۲۰۱۴) با افزودن ایزوله پروتئینی سویا در فرمولاسیون کیک اسفنجی، افزایش روند صمغی بودن را به دلیل افزایش میزان پروتئین فرمولاسیون گزارش کردند [۳۸].

حاصل از سفتی نان‌های تولیدی مطابقت داشت. حسینی قابوس و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند که دو ویژگی قابلیت جویدن و صمغی بودن کیک‌های حاوی پودر کدو حلوایی و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز در مقایسه با شاهد به

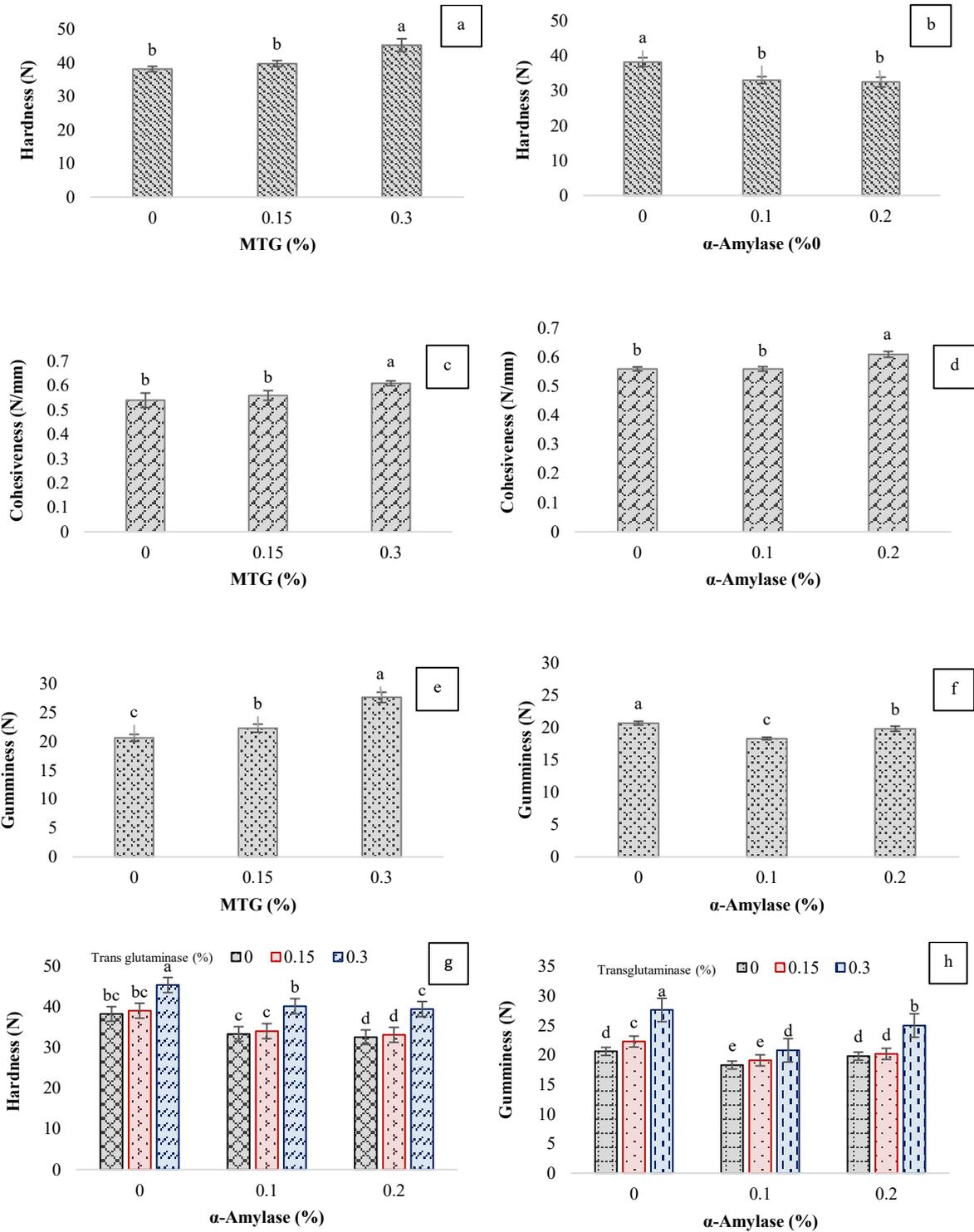


Fig. 4. The effect of microbial transglutaminase (MTG), α -Amylase and their interactions on the textural properties of bread samples

(۲۰۱۴) اثر غلظت‌های مختلف آلفاآمیلاز مالتوژنیک و چربی را بر کیفیت تکنولوژیکی و حسی کیک مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این محققان نشان داد که کاربرد آنزیم آلفاآمیلاز موجب کاهش میزان سفتی محصول گردید؛ بنابراین این آنزیم می‌تواند جایگزین مناسبی برای کاهش سطح چربی در این محصولات باشد [۴۳]. کاهش میزان صمغیت نمونه‌های نان با افزودن آنزیم آلفاآمیلاز توسط روسل و همکاران (۲۰۰۱) نیز گزارش شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت [۴۴].

با توجه به نتایج گزارش شده در جدول ۲، اثرات متقابل افزودن آنزیم‌های ترانس گلوتامیناز و آلفاآمیلاز بر میزان سفتی و صمغیت نان‌ها معنی‌دار شده است ($p < 0/001$). مطابق نمودار ۴-g با افزایش میزان آنزیم ترانس گلوتامیناز سفتی نان افزایش و با افزایش آنزیم آلفاآمیلاز سفتی نان کاهش یافت، به طوری که بیشترین سفتی ($45/3$ N) مربوط به نمونه بدون آلفاآمیلاز و $0/3$ درصد ترانس گلوتامیناز و کمترین میزان سفتی ($32/5$ N) مربوط به نمونه بدون ترانس گلوتامیناز و $0/2$ درصد آلفاآمیلاز می‌باشد. همچنین همانطور که در نمودار ۴-g می‌توان مشاهده نمود، اختلاف معنی‌داری میان سطوح $0/15$ آنزیم ترانس گلوتامیناز و کنترل از نظر سفتی مشاهده نشد.

همچنین، با افزایش درصد آنزیم آلفاآمیلاز، میزان صمغی بودن نمونه‌ها کاهش یافته و با افزایش آنزیم ترانس گلوتامیناز به سطح $0/15$ درصد، این فاکتور افزایش یافته است؛ هرچند که در سطح $0/3$ درصد کاهش معنی‌داری را نشان داده است (شکل ۴-h). در نتیجه همانطور که در نمودار ۴-h نیز مشخص شده است بیشترین صمغیت مربوط به نمونه تیمار شده با $0/3$ درصد ترانس گلوتامیناز و بدون آلفاآمیلاز و کمترین میزان صمغیت مربوط به نمونه تیمار شده با $0/1$ درصد آلفاآمیلاز و بدون ترانس گلوتامیناز می‌باشد. افزایش قابل توجه میزان سفتی، پیوستگی و صمغیت یا خواص مکانیکی مواد غذایی در نتیجه تیمار

نتایج حاصل از آنالیز واریانس بافت نمونه‌های نان در جدول ۲ نشان می‌دهد که میزان افزودن آنزیم آلفاآمیلاز به نان‌های تولید شده از آرد کامل تأثیر معنی‌داری بر میزان سفتی، پیوستگی و صمغیت نمونه‌های نان داشته است ($p < 0/001$). اما همانطور که مشاهده می‌شود این آنزیم اثر معنی‌داری بر چسبندگی نداشته است ($p > 0/05$).

همان‌طور که در شکل ۴-b و ۴-f مشاهده می‌شود با افزایش درصد آنزیم آلفاآمیلاز، سفتی و صمغیت نمونه‌های نان کاهش معنی‌داری یافته است؛ اما همانطور که مشاهده می‌شود بین نمونه تیمار شده با $0/1$ و $0/2$ درصد آلفاآمیلاز اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین، افزودن آنزیم آلفاآمیلاز باعث افزایش پارامتر پیوستگی در نمونه‌های نان شد (شکل ۴-d).

نتایج این تحقیق با یافته‌های لاگرین و همکاران (۲۰۰۸) که علت کاهش سختی بافت نان در حضور آنزیم آلفاآمیلاز را به افزایش فعالیت مخمری و در نتیجه گسترش حباب‌های گاز CO_2 و افزایش تخلخل در بافت نان ارتباط داده است، مطابقت دارد [۳۹]. گوسرت و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که اثر آمیلاز بر کاهش سفتی نان، در اثر تجزیه پیوندهای گلیکوزیدی موجود در نشاسته به دکسترین‌ها با وزن مولکولی کمتر است که این هیدرولیز نشاسته باعث تأخیر در تشکیل زنجیره دوگانه آمیلوپکتین شده و مانع پیوند مولکولهای آمیلوپکتین با هم می‌شود. در نتیجه، تشکیل شبکه سه‌بعدی را تضعیف می‌کند و در نهایت باعث کاهش سفتی نان می‌شود [۴۰]. در مطالعات کابالرو و همکاران (۲۰۰۷) نیز نتایج مشابهی از افزودن آنزیم آمیلاز بر کاهش سفتی نان منجمد گزارش شد [۴۱]. در مطالعه سوزر و همکاران (۲۰۱۱) کیک‌های تهیه شده حاوی نشاسته اصلاح شده، آنزیم آلفاآمیلاز، صمغ و امولسیفایر دارای سفتی کمتری نسبت به نمونه‌های شاهد بودند و کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان سفتی آنها مشاهده شد [۴۲]. بدویا-پراس و استیل

بافت و کیفیت محصول غذایی می‌گردد. این اتصالات بسیار پایدار بوده و در برابر عواملی مانند تغییرات pH و حرارت، به‌طور فوق‌العاده‌ای مقاوم هستند. بنابراین می‌توان با استفاده از آنزیم‌های مذکور، کیفیت محصولات پخت را تا حد امکان افزایش داد.

تجزیه و تحلیل داده‌های این تحقیق نشان داد که با افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز پارامترهای پروتئین، رطوبت، سفتی، پیوستگی و صمغیت افزایش و pH کاهش یافت. همچنین با افزودن آنزیم آلفا آمیلاز پارامترهای پروتئین، رطوبت و پیوستگی افزایش و سایر پارامترها کاهش معنی‌داری یافت. باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده در مورد تأثیر دو آنزیم مورد استفاده بر کیفیت بافت محصول، سطوح ۰/۲ درصد آنزیم آلفا آمیلاز و ۰/۱۵ درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز جهت تولید نان همبرگری با کیفیت مناسب پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

این پژوهش بخشی از نتایج پایان‌نامه کارشناسی ارشد است و با حمایت مالی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شده است و بدین‌وسیله نویسندگان مراتب قدردانی خود را از مسئولین محترم دانشگاه اعلام می‌دارند.

رضایت‌نامه کتبی

رضایت‌نامه کتبی و آگاهانه از همه شرکت‌کنندگان در مطالعه اخذ شد.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام کردند که هیچ‌گونه تعارض منافی ندارند.

بیانیه دسترسی‌ها

داده‌های پژوهش به اشتراک گذاشته نمی‌شوند.

آنزیمی در سطوح بالای ترانس گلوتامیناز در محصولات مختلفی مانند پنیر سفید فرآپالوده [۴۵]، ماست چکیده [۴۶]، و فیلم خوراکی [۴۷] گزارش شده است.

۴- نتیجه‌گیری کلی

نان یکی از مواد غذایی اصلی در سراسر جهان به ویژه در کشورهای خاورمیانه است. فیبر موجود در نان برای سلامت دستگاه گوارش بسیار مهم است و به جلوگیری از یبوست و بهبود حرکات منظم روده کمک می‌کند. همچنین در مدیریت قند خون و سطح کلسترول نقش دارد و می‌تواند به احساس سیری و در نتیجه به مدیریت وزن کمک کند. علاوه بر این، رژیم‌های غذایی سرشار از فیبر با کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی، دیابت نوع ۲ و برخی سرطان‌ها مرتبط هستند. در حال، وجود سبوس می‌تواند منجر به کاهش خاصیت ارتجاعی و کشسانی خمیر شود و بر توانایی آن در به دام انداختن گازهای تولید شده در طول تخمیر تأثیر بگذارد و در نتیجه حجم نان کمتر و مغز آن متراکم‌تر شود. آنزیم‌ها، کاتالیزورهای بیولوژیکی هستند که عملکردشان نسبت به کاتالیزورهای شیمیایی بسیار اختصاصی است. به دلیل قابلیت پایین آرد کامل گندم در تشکیل شبکه گلوتنی و ویسکوالاستیک، می‌توان برخی از آنزیم‌ها را به خمیر افزود تا با کاهش زمان آماده‌سازی نان و سرعت بیاتی، جایگزین افزودنی‌های شیمیایی شده و فرایند پخت را بهبود بخشند.

آلفا آمیلاز به عنوان مؤثرترین آنزیم در کاهش بیاتی نان مورد توجه قرار گرفته است. از ویژگی‌های آلفا آمیلاز در نان، اثر آن بر تجزیه نشاسته‌های آسیب‌دیده آرد و تولید دکسترین با وزن مولکولی کمتر که قابلیت تخمیر شدن به وسیله مخمر را دارد می‌باشد و در نتیجه سبب افزایش حجم و بهبود بافت

نان می‌شود. همچنین آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی جزء آنزیم‌های ترانسفراز می‌باشد که قابلیت اتصال مجدد پیوندهای ضعیف شبکه گلوتنی را دارا است. آنزیم ترانس-گلوتامیناز فرایند آسپیل ترانسفراز را کاتالیز می‌کند و با ایجاد باندهای کووالانت بین پروتئین‌ها، باعث بهبود

۵-منابع

- [1] Mardani Toroghia, P., Bassiri, A., Milani, E., and Golimovahed, Gh. 2016. The effect of wheat bran addition and extrusion process parameters on the functional properties of wheat-based instant powder. *Innovative Food Technologies*, 3(3): 13-23. (In Persian)
- [2] Gomez, M.F. 2002. Effect of dietary fiber on dough rheology and bread quality. *European Food Research Technology*, 216: 51-56.
- [3] Mardani Ghahfarrokhi, A., and Yarmand, M. S. 2016. Investigation the effect of bran content on the rheological properties and the quality characteristics of Barbary bread. *Journal of Food Science and Technology*, 50(13): 11-21. (In Persian)
- [4] Hane, M. and Dmoor, A. 2012. Flat bread: ingredients and fortification. *Qual. Assur. Saf. Crops Foods*. 4: 2-8.
- [5] Fallahi, P., Habte-Tsion, H. M., and Rossi, W. 2018. Depolymerizing enzymes in human food: bakery, dairy products, and drinks. In *Enzymes in human and animal nutrition*. (pp. 211-237). Academic Press
- [6] Dahiya, S., Bajaj, B. K., Kumar, A., Tiwari, S. K., and Singh, B. 2020. A review on biotechnological potential of multifarious enzymes in bread making. *Process Biochemistry*. 99: 290-306.
- [7] Chang, Y., Yang, J., Jiang, L., Ren, L., and Zhou, J. 2019. Chain Length Distribution of β -amylase Treated Potato Starch and Its Effect on Properties of Starch Nanoparticles Obtained by Nanoprecipitation. *Starch-Stärke*. 71(9-10): 1800321.
- [8] Grewal, N., Faubion, J., Feng, G., Kaufman, R. C., Wilson, J. D., and Shi, Y. C. 2015. Structure of waxy maize starch hydrolyzed by maltogenic α -amylase in relation to its retrogradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 63(16): 4196-4201.
- [9] Shafi Soltani, M., Salehifar, M., and Hashemi. M. 2013. The effect of using fungal origin alpha-amylase on the qualitative characteristics of dough and toast bread. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 6(2): 43-54. (In Persian)
- [10] Habibi, S.A., & Jooyandeh, H. 2024. Investigation on the Effect of Persian Gum and Transglutaminase Enzyme on Some Physicochemical and Microstructural Characteristics of Low-Fat Ultrafiltered Iranian White Cheese. *Food Science & Nutrition*, 12(11): 9810-9821.
- [11] Torabi, F., Jooyandeh, H., & Noshad, M. 2021. Evaluation of physicochemical, rheological, microstructural, and microbial characteristics of synbiotic ultrafiltered white cheese treated with transglutaminase. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45: e15572: 1-11.
- [12] Jooyandeh, H., Minhas K.S. & Kaur A. (2009). Sensory Quality and Chemical Composition of Wheat Breads Supplemented with Fermented Whey Protein Concentrate and Whey Permeate. *Journal of Food Science and Technology*, 46(2): 146-148.
- [13] Institute of standard and industrial research of Iran. NO. 2705-1. 2025. Cereals and cereal products – Determination of moisture content – Part 1: Reference method. (In Persian)
- [14] Institute of standard and industrial research of Iran. NO. 2706. 2025. Cereals, pulses and by-products- Determination of ash yield by incineration. (In Persian)
- [15] Institute of standard and industrial research of Iran. NO. 10700, 1st edition. 2008. Animal feeding stuffs – Determination of fat content. (In Persian)
- [16] Institute of standard and industrial research of Iran. NO. 19052. 2015. Cereals and pulses – Determination of the nitrogen content and calculation of the crude protein content – kjeldahl method. (In Persian)
- [17] Aalipour Hafshejani, F., Mahdavi Hafshejani, F., Aalipour Hafshejani, M., and Mohammadi, R. 2020. Determination of the pH, Salt, Sodium and Potassium Content in the Traditional Bread in Western Iran. *Journal of Nutrition Fasting and Health*, 8(2): 135-140.
- [18] Feili, R., Abdullah, W.N.W., and Yang, T.A. 2013. Physical and sensory analysis of high fiber bread incorporated with jackfruit rind flour. *Food Science and Technology*, 1(2): 30-36.
- [19] Babakhani, S., Moghaddaszadeh-Ahrabi, S., and Gharakhani, M. 2019. Physicochemical and Sensory Properties of Cake Enriched with Fish Protein Powder (FPP) and Transglutaminase Enzyme. *Journal of Food Science and Technology*, 16(95):179-196. (In Persian)
- [20] Pouresmaeil, N., Azizi, M.H., Abbasi, S., and Mohamadi, M. 2011. Formulation of Gluten Free Bread Using Guar and Microbial Transglutaminase Enzyme. *Food Research Journal*, 21(1): 69-81.
- [21] Danesh, E., Goudarzi, M., and Jooyandeh, H. 2018. Transglutaminase-mediated incorporation of whey protein as fat replacer into the formulation of reduced-fat Iranian white cheese: physicochemical, rheological and microstructural

- characterization. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 2416–2425.
- [22] Dehghan Tanha, L., and Karimi, M. 2016. Application of Plantago gum and fungal α -amylase enzyme on Physicochemical and organoleptic properties of doughnut. *Food Science and Technology (Iran)*, 13(52): 101-110. (In Persian)
- [23] Purlis, E., and Salvadori, V.O. 2008. Bread baking: Analysis of process and quality aspects by simulation. *International Conference of Agricultural Engineering*, 1-4.
- [24] Nejatbakhsh, R., Movahhed, S., and Ahmadi Chenarbon, H. 2018. Effect of Sourdough and α -amylase on qualitative properties of toast bread. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 14(2): 259-272. (In Persian)
- [25] Steffolani, M.E., Ribotta, P.D., Pérez, G.T., and León, A.E. 2010. Effect of glucose oxidase, transglutaminase, and pentosanase on wheat proteins: Relationship with dough properties and bread-making quality. *Journal of Cereal Science*, 51(3): 366-373.
- [26] Saeidi, Z., Nasehi, B., and Jooyandeh, H. 2018. Optimization of gluten-free cake formulation enriched with pomegranate seed powder and transglutaminase enzyme. *Journal of Food Science and Technology*, 55(8): 3110–3118. (In Persian)
- [27] Aziz Mohamadi, M., and Bolandi, M. 2018. The effect of transglutaminase enzyme on the physicochemical, sensory and textural properties of veal steaks Aziz. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 14(72), 37-45. (In Persian)
- [28] Gerrard, J.A., and Sutton, K.H. 2005. Addition of transglutaminase to cereal products may generate the epitope responsible for coeliac disease. *Trends in Food Science & Technology*, 16(11): 510-512.
- [29] Movahhed, Sanaz Zharfi, S., and Ahmadi Chenarbon, H. 2014. Investigation of Rheological of Dough and Organoleptical Properties of Toast Breads Containing Banana Flour. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 9(4): 359-365. (In Persian)
- [30] Boukid, F., Carini, E., Curti, E., Bardini, G., Pizzigalli, E., and Vittadini, E. 2018. Effectiveness of vital gluten and transglutaminase in the improvement of physicochemical properties of fresh bread. *LWT*, 92: 465-470.
- [31] Pourmohammadi, K., Aalami, M., Shahedi, M., and Sadeghi Mahoonak, A.R. 2011. Effect of microbial transglutaminase on dough rheological properties of wheat flour supplemented with hull-less barley flour. *Food Research Journal*, 21(3): 269-279.
- [32] Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G., and Lindhauer, M.G. 2010. Rheological and baking characteristics of batter and bread prepared from pregelatinised cassava starch and sorghum and modified using microbial transglutaminase. *Journal of Food Engineering*, (97):4, 465-470.
- [33] Dłużewska, E., Marciniak-Lukasiak, K. and Kurek, N. 2015. Effect of transglutaminase additive on the quality of gluten-free bread. *Foods*. 13(1): 80-86.
- [34] Marco, C., and Rosell, C. M. 2008. Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads. *European Food Research and Technology*, 227: 1205–1213.
- [35] Jooyandeh, H., and Mortazav, A. 2017. Impact of addition of milk powder and microbial transglutaminase on the sensory and textural properties of set yogurt. *Food Processing and Preservation Journal*, 10(2): 121-136.
- [36] Nasir, S., Allai, F.M., Gani, M., Ganaie, Sh., Gu I, Kh., Jabeen, A., and Majeed, D. 2020. Physical, Textural, Rheological, and Sensory Characteristics of Amaranth-Based Wheat Flour Bread. *International Journal of Food Science*, 8874872, 0-9.
- [37] Hosseini Ghaboos, S.H., Seyedain Ardabili, S.M., and Kashaninejad, M. 2018. Physicochemical, textural and sensory evaluation of sponge cake supplemented with pumpkin flour. *International Food Research Journal*, 25(2): 854-860.
- [38] Majzoubi, M., and Vosoughipour, Z. 2013. The Effect of Enzyme Addition on the Improvement of Cereal Product Quality. *Proceedings of the 21st National Congress on Food Science and Technology of Iran, Shiraz*. (In Persian)
- [39] Lagrain, B., Wilderjans, E., Glorieux, C. and Delcour, J.A. 2012. Importance of gluten and starch for structural and textural properties of crumb from fresh and stored bread. *Food Biophysics*. 7(2): 173-181.
- [40] Goesart, H., Slade, L., Levine, H., and Delcour, J.A. 2009. Amylases and bread firming – an integrated view. *Journal of Cereal Science*, 50: 345–352.
- [41] Caballero, P.A., Gómez, M. and Rosell, C.M. 2007. Bread quality and dough rheology of enzyme-supplemented wheat flour. *European Food Research and Technology*, 224, 525–534.
- [42] Sozer, N., Bruins, R., Dietzel, Ch., Franke, W., and Kokini, J.L. 2011. Improvement of shelf life stability of cakes. *Journal of Food Quality*, 151-162.

- [43] Bedoya-Perales, N.S., and Steel, C.J. 2014. Effect of the concentrations of maltogenic α -amylase and fat on the technological and sensory quality of cakes. *Food Science and Technology*, 0101-2061, 760-766.
- [44] Rosell, C. M., Rojas, J. A., and Benedito de Barber, C. 2001. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*. 15(1): 75-81.
- [45] Habibi, S.A., & Jooyandeh, H. 2025. Impact of addition of Persian gum and microbial transglutaminase enzyme on the textural characteristics of semi-fat ultrafiltrated white cheese. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 21(156): 111- 125. (In Persian)
- [46] Jooyandeh, H., Saffari Samani, S., Alizadeh Behbahani, B., and Noshad, M. 2022. Effect of transglutaminase and buffalo milk incorporation on textural parameters and starter cultures viability of strained yogurt. *Journal of Food and Bioprocess Engineering*, 5(2): 195-202.
- [47] Kouravand, F., Jooyandeh, H., Barzegar, H. and Hojjati, M. 2018. Characterization of cross-linked whey protein isolate-based films containing Satureja khuzistanica Jamzad essential oil. *Journal of Food processing and preservation*, 42(3): e13557: 1-10.



Scientific Research

Investigation the effect of adding alpha-amylase and transglutaminase enzymes on the physicochemical and textural properties of hamburger buns

Roghayeh Hasan Beygi¹, Hossein Jooyandeh^{2*}, Mohammad Hojjati², Hassan Barzegar³

1- M.Sc., Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

2- Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

3- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2025/10/16

Review: 2025/11/09

Accepted: 2025/11/17

Keywords:

α -Amylase,
Hamburger buns,
Physicochemical properties,
Texture analysis,
Transglutaminase.

DOI: 10.48311/fsct.2026.117073.82892

*Corresponding Author E-

hosjooy@asnruk.ac.ir

The use of whole wheat flour in hamburger bun production, due to its structural characteristics, results in a decrease in the textural quality of the final product. To overcome this challenge, several solutions have been proposed, among which the incorporation of additives, particularly enzymes such as transglutaminase and α -amylase, is of notable importance. In this study, the effect of adding transglutaminase enzyme at three levels of 0, 0.15, and 0.3% and alpha-amylase at three levels of 0, 0.1, and 0.2% on the physicochemical and textural properties of hamburger bread prepared from whole wheat flour was investigated. The evaluated texture attributes included hardness, cohesiveness, gumminess, and adhesiveness. The results of data analysis showed that the use of transglutaminase enzyme significantly increased protein, moisture, firmness, cohesiveness and bread gumminess; while the pH value decreased. On the other hand, the addition of alpha-amylase, while increasing the percentage of protein, moisture and cohesiveness of bread, significantly reduced its firmness and gumminess. In general, the results of this study indicated that the simultaneous use of two enzymes, transglutaminase and alpha-amylase, can be used as an effective strategy in improving the textural quality of bread made from wholemeal flour. Among the experimental treatments, the addition of transglutaminase enzyme at a level of 0.15% and alpha-amylase at a level of 0.2% showed the best performance in improving the textural characteristics of bread.