مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

تولید نان همبرگر تهیه شده از آرد گندم کامل و بررسی تأثیر تیمار آنزیمی آلفا-آمیلاز و ترانس-گلوتامیناز بر محصول

رقیه حسن‌بیگی[۱]، حسین جوینده[۲*]

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

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

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۶

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۶

کلمات کلیدی:

اصلاح آنزیمی،

مغز نان،

پذیرش کلی،

ویژگی‌های رنگ

DOI: 10.48311/fsct.2026.117114.82899

* مسئول مکاتبات:

hosjooy@asnrukh.ac.ir

چکیده

با توجه به نقش مهم آنزیم‌ها در بهبود ویژگی‌های کیفی نان، استفاده از آن‌ها در فرمولاسیون محصولات نانوایی از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین، پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر آنزیم‌های آلفاآمیلاز و ترانس‌گلوتامیناز میکروبی بر کیفیت حسی (پذیرش کلی) و فاکتور-های رنگی (L*، a* و b*) نان همبرگر و در ادامه بررسی برخی ویژگی‌های نمونه بهینه با نمونه کنترل طی مدت ۵ روز نگهداری انجام شد. نتایج نشان داد که آلفاآمیلاز با تجزیه نشاسته و تولید قندهای ساده، موجب افزایش واکنش مایلارد و در نتیجه کاهش معنی‌دار روشنایی و افزایش معنی‌دار قرمزی و زردی در پوسته و مغز نان گردید ($p<۰/۰۵$). در مقابل، ترانس‌گلوتامیناز با ایجاد پیوندهای کووالانسی بین پروتئین‌ها، ساختار گلوتنی را تقویت کرده و با کاهش دسترسی اسیدهای آمینه آزاد، شدت واکنش مایلارد را محدود ساخت که منجر به افزایش معنی‌دار روشنایی و کاهش تیرگی پوسته و مغز نان شد ($p<۰/۰۵$). بر اساس نتایج ارزیابی حسی، نمونه نان تیمار شده با ۰/۱ درصد آلفاآمیلاز و ۰/۱۵ درصد ترانس‌گلوتامیناز، با امتیاز پذیرش کلی ۸/۲، به عنوان نمونه بهینه معرفی گردید. نتایج ارزیابی و مقایسهٔ نمونهٔ بهینه با شاهد (نمونهٔ تهیه شده از آرد کامل فاقد آنزیم) طی مدت نگهداری نشان داد که نمونهٔ بهینه از مقادیر رطوبت، فعالیت آبی، پذیرش کلی بیشتر و سفتی کمتری نسبت به نمونهٔ شاهد برخوردار بود. این یافته‌ها نشان داد که استفاده هم‌زمان و هدفمند از این دو آنزیم می‌تواند کیفیت ارگانولپتیک و ظاهری نان همبرگر تهیه شده از آرد کامل گندم را به‌طور قابل توجهی ارتقاء دهد.

۱-مقدمه

نان به عنوان یکی از غذاهای اصلی، در بسیاری از نقاط جهان به طور گسترده‌ای مصرف می‌شود و نقشی حیاتی در تأمین انرژی، پروتئین، مواد معدنی و ویتامین‌های ضروری برای بدن انسان ایفا می‌کند. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که در جوامع شهری و روستایی به ترتیب ٤٢ و ٤٧ درصد از انرژی روزانه از طریق مصرف نان تأمین می‌شود [١]. فرآیند نان‌پزی و کیفیت محصول تا حد زیادی به مواد اولیه مورد استفاده، یعنی آرد، مخمر، نمک و آب بستگی دارد. علاوه بر این، از افزودنی‌های متنوعی برای بهبود فرمولاسیون خمیر، قابلیت فرآوری مکانیکی خمیر، تحمل فرآیند و کیفیت نان استفاده می‌شود.

در آغاز دهه ۸۰، استفاده از آنزیم‌های با منشأ میکروبی (تولیدشده توسط قارچ‌ها یا باکتری‌ها) به عنوان جایگزینی برای بهبوددهنده‌های شیمیایی در صنایع مختلف، به طور فزاینده‌ای اهمیت یافت. به‌عنوان نمونه، آنزیم‌هایی مانند پروتئاز، آلفا آمیلاز، سلولاز، لیپاز، زایلاناز، پکتیناز، پولولاناز، کیتیناز، استراز و غیره، می‌توانند مولکول‌های زیستی بسیار مؤثری برای بهره‌برداری در حوزه‌های مختلف صنعتی باشند [٢]. امروزه، طیف گسترده‌ای از آنزیم‌های تولید شده به ویژه برای پخت نان در دسترس نانوایان است [٣] و صنعت نانوایی از طیف وسیعی از آنزیم‌ها برای بهینه‌سازی خواص خمیر و بهبود کیفیت محصولات پخته شده استفاده می‌کند [٤].

آنزیم‌ها با افزایش سرعت واکنش‌های بیوشیمیایی، بهبود بازده تولید و ارتقای کیفیت فرآیندها نقش مهمی در صنعت غذا ایفا می‌کنند. از مهم‌ترین آنزیم‌هایی که در صنعت غلات کاربرد گسترده‌ای دارند می‌توان به گلوکز اکسیداز، ترانس‌گلوتامیناز، زایلاناز، لیپاز، فسفولیپاز و آلفاآمیلاز اشاره کرد. آلفاآمیلاز (EC 3.2.1.1) یکی از مهم‌ترین انواع آمیلازها است که وظیفه آن تجزیه زنجیره‌های کربوهیدراتی مانند نشاسته به قندهای ساده‌تر است. آلفاآمیلاز با هیدرولیز تصادفی زنجیره‌های نشاسته‌ای، محصولات میان‌واسطه‌ای مانند الیگوساکاریدهای کوتاه، مالتوز و گلوکز تولید می‌کند [٥ و ٦]. این آنزیم قادر است نشاسته‌های آسیب‌دیده یا ژلاتینه‌شده را به دکسترین یا قندهایی تبدیل کند که توسط مخمر مصرف می‌شوند. در نتیجه، گاز دی‌اکسید کربن بیشتری تولید شده و در شبکه گلوتنی خمیر به دام می‌افتد و در نهایت در هنگام پخت باعث بهبود افزایش حجم خمیر می‌گردد. به طور کلی، آلفاآمیلاز با افزایش حجم نان، بهبود بافت، تقویت پایداری خمیر و افزایش ماندگاری محصول نهایی نقش بسزایی در کیفیت نان ایفا می‌کند [٥].

آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی (MTG) به خانواده آنزیم‌های ترانسفراز تعلق دارد و به‌طور گسترده‌ای در طبیعت یافت می‌شود. پیش از سال ۱۹۸۹، این آنزیم عمدتاً از منابع حیوانی مانند کبد خوک استخراج می‌گردید، اما با پیشرفت تحقیقات، منبع میکروبی جدیدی برای تولید آن شناسایی شد. گونه‌ای باکتریایی به نام *Streptomyces verticillus* (نام قدیم *Streptoverticillium*) به عنوان منبع مناسب تولید آنزیم ترانس‌گلوتامیناز شناخته شده و فرآیند استخراج و خالص‌سازی آن با موفقیت انجام گرفته است. آنزیم استخراج شده از این باکتری با وزن مولکولی ٤٠ کیلودالتون، دارای pH ایزوالکتریک ۸/۹ می‌باشد. همچنین، pH بهینه فعالیت این آنزیم بین ٤ تا ٩ و دمای اپتیمم فعالیت آن ٣٧ تا ٥٠ درجه سانتی‌گراد است. ترانس‌گلوتامیناز میکروبی نقش کاتالیزگری در واکنش آسیل ترانسفراز ایفا می‌کند و قادر است پیوندهای کووالانسی پایداری میان مولکول‌های پروتئینی ایجاد کند. این پیوندها شامل اتصال عرضی میان لیزین یک پروتئین و گلوتامین پروتئینی دیگر می‌باشد. ساختار حاصل‌شده مشابه پیوندهای پپتیدی طبیعی است و نکته قابل توجه آن است که این تغییر ساختاری، ضمن مقاوم بودن در برابر تغییرات pH و حرارت، هیچ‌گونه تأثیر منفی بر ارزش تغذیه‌ای پروتئین‌ها ندارد [٩-٧]. استفاده از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز در فرآیند تهیه نان، به دلیل توانایی‌اش در اصلاح ساختار پروتئین‌های آرد از طریق تشکیل پلیمرهای بلند زنجیر و نامحلول، می‌تواند منجر به بهبود عملکرد این پروتئین‌ها شود [٣].

هدف از این پژوهش، بررسی اثر آنزیم تجزیه کننده نشاسته، یعنی آلفاآمیلاز و آنزیم اتصال‌دهنده عرضی گلوتن، یعنی ترانس‌گلوتامیناز بر کیفیت نان همبرگر است. برای این منظور، ویژگی‌های حسی و فاکتورهای رنگ‌سنجی برای ارزیابی اثر تیمارهای آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز و آلفا آمیلاز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به‌علاوه، پس از مشخص شدن بهترین نمونهٔ نان یا نمونهٔ بهینه، برخی ویژگی‌های محصول طی مدت نگهداری با نمونهٔ شاهد (فاقد آنزیم آلفا آمیلاز و ترانس‌گلوتامیناز) مقایسه گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- فرایند تهیه و پخت نان

برای تهیه خمیر، ترکیبی شامل یک کیلوگرم آرد کامل گندم، ۱۲ گرم مخمر خشک فعال، ۱۰ گرم روغن شورتنینگ، ۱۰ گرم نمک و ppm ۱۰ مادهٔ بهبود دهنده (برومات پتاسیم) مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های خمیر به شیوهٔ مستقیم[1] و با استفاده از روش جوینده و همکاران با کمی تغییر تولید گردیدند [۱۰]. آنزیم آلفاآمیلاز در سه سطح ۰، ۰/۱ و ۰/۲ درصد و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز در مقادیر ۰، ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد نسبت به وزن آرد به فرمولاسیون اضافه شدند. نمونه‌های نان پس از پخت و رسیدن دمای آن‌ها به دمای محیط، در بسته‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و مورد ارزیابی قرار گرفتند [۱۰].

۲-۲- ارزیابی رنگ پوسته و مغز نان

آنالیز رنگ پوسته و مغز نمونه‌های نان از طریق اندازه‌گیری سه شاخص روشنایی (L^*)، قرمزی (a^*) و زردی (b^*) انجام شد. شاخص روشنایی (L^*) در دامنه‌ای از ۰ تا ۱۰۰، و شاخص‌های قرمزی (a^*) و زردی (b^*) در دامنه‌ای از ۱۲۰- تا ۱۲۰+ قرار دارند [۱۱].

۲-۳- ارزیابی حسی

در ارزیابی حسی نمونه‌های تیمار شده با آنزیم آلفاآمیلاز و ترانس‌گلوتامیناز، فاکتور پذیرش کلی نمونه‌ها طی مدت ۵ روز نگهداری مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی‌ها توسط ۱۰ نفر از داوران آموزش‌دیده، در مقیاس هدونیک ۹ نقطه‌ای انجام گرفت؛ به طوری که امتیاز ۱ کمترین و امتیاز ۹ بیشترین سطح رضایت را نشان می‌داد [۱۲].

۲-۴- مقایسهٔ برخی ویژگی‌های نان تولید شدهٔ بهینه با شاهد

۲-۴-۱- رطوبت

رطوبت نان مطابق استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۱-۲۷۰۵ اندازه‌گیری شدند [۱۳].

۲-۴-۲- فعالیت آبی

برای اندازه گیری فعالیت آبی از دستگاه خودکار Novasina ms 1-aw Axair Ltd (ساخت سوئیس) استفاده گردید. پس از کالیبراسیون دستگاه، ۱ گرم نمونهٔ کاملاً خرد شده سریعاً داخل ظرف مخصوص این دستگاه ریخته شد و سپس فعالیت آبی نمونه به طور خودکار اندازه گیری و ثبت گردید.

۲-۴-۳- سفتی

جهت انجام آزمون بافت سنجی، میزان سفتی نان‌های تولیدی براساس استاندارد AACC شماره ۷۴-۰۹ و با استفاده از دستگاه بافت سنج مدل TA-XT-PLUS (Micro stable system ساخت انگلستان) اندازه گیری شدند. بر این اساس ابتدا قطعات مکعبی (به ابعاد ۲×۲×۲ سانتی‌متر) از مرکز نان بریده شد. برای انجام این آزمون از پروب با سطح مقطع استوانه‌ای به قطر ۳۶ میلیمتر استفاده شد. سرعت پروب هنگام آزمون mm/s ۱ بود که پس از برخورد به سطح نمونه تا فشرده شدن ۴۵ درصد ارتفاع نمونه به آن فشار وارد آورد [۱۴].

1-straight dough method

۵-۲- تجزیه و تحلیل آماری

نتایج بدست آمده از بررسی تأثیر تیمارهای آنزیمی آلفا آمیلاز و ترانس‌گلوتامیناز میکروبی بر ویژگی‌های حسی و فاکتور-های رنگی نان، با کمک نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۹ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای این منظور، طرح کاملاً تصادفی مورد استفاده قرار گرفت و کلیهٔ آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شدند. آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه به‌منظور تعیین تفاوت معنی‌داری بین میانگین تیمارها به‌کار گرفته شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد ($p<0/05$) انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۱-۳- فاکتورهای رنگ‌سنجی سطح و مغز نان‌های تولیدی

نتایج حاصل از آنالیز واریانس رنگ‌سنجی نمونه‌های نان در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است، افزودن آنزیم آلفاآمیلاز به نان‌های تولید شده از آرد کامل تأثیر معنی‌داری بر میزان هر سه مؤلفه رنگ (L*، a*، b*) در سطح و مغز نمونه‌های نان داشته است ($p<0/01$). نتایج مربوط به تأثیر آنزیم‌های آلفاآمیلاز و ترانس‌گلوتامیناز میکروبی بر فاکتورهای رنگ‌سنجی (L*، a* و b*) نمونه-های نان در شکل ۱ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل-های a-۱ و b-۱ مشاهده می‌شود، با افزایش میزان آنزیم آلفاآمیلاز، مؤلفه L* (روشنایی) در پوسته و مغز نان کاهش معنی‌داری یافته است ($p<0/05$)؛ به طوری که میزان فاکتور L* در پوسته نان از ۵۲/۲۲ در نمونه شاهد به ٤۹/۳ در نمونه حاوی ۰/۲ درصد آلفاآمیلاز و در مغز نان از ۵۵/۹ در نمونه شاهد به ٥٤/۲۳ در نمونه حاوی ۰/۲ درصد آلفاآمیلاز کاهش یافته است. البته همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، بین میزان روشنایی نمونه‌های مغز نان حاوی ۰/۱ و ۰/۲ درصد آلفاآمیلاز اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ($p>0/05$).

Table 1. Analysis of variance for the effect of α-amylase and microbial transglutaminase (MTG) on the color factors (L*, a* and b*) of bread

Variable sources	Mean square							
	df	L* (crust)	a* (crust)	b* (crust)	L* (crumb)	a* (crumb)	b* (crumb)	Total acceptability
α-Amylase	2	52.44^{***}	6.43^{**}	7.56^{**}	16.09^{***}	0.22^{**}	2.87^{***}	0.103^{**}
MTG	2	28.28^{***}	8.68^{**}	4.72^{*}	28.34^{**}	0.11^{ns}	0.196^{ns}	0.201^{***}
α-Amylase × MTG	4	29.92^{***}	13.31^{***}	6.81^{**}	2.49^{**}	0.90^{ns}	0.78^{ns}	0.014^{ns}

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

نتایج بررسی فاکتور رنگی a* نشان داد که افزایش آنزیم آلفاآمیلاز میزان این فاکتور را در پوسته (از ۱۱/۰۳ به ۱۲/۷) و مغز نان (از ٤/۳٤ به ۵/۸۱) افزایش داده است. این تغییرات به معنی افزایش رنگ قرمزی در سطح و مغز نان تولید شده می‌باشد (شکل‌های c-۱ و d-۱) که ارتباط مستقیمی با تشدید واکنش‌های مرتبط با مایلارد در نمونه دارد. درواقع افزایش شدت واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی، کاملاً با افزایش درصد آلفاآمیلاز در نمونه‌های نان مرتبط می‌باشد.

بر اساس آنالیز نتایج فاکتور b* که میزان زردی نمونه‌ها را نشان می‌دهد (شکل‌های e-۱ و f-۱)، با افزودن آنزیم

آلفاآمیلاز میزان این فاکتور در سطح و مغز نمونه نان‌های تولیدی به صورت معنی‌داری افزایش یافته است ($p<0/01$) که به معنی افزایش کرومای زرد در سطح و مغز نان تولید شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، میزان فاکتور b* در پوسته نان از ۵۵/۸ به ۵۹/۷ و در مغز نان از ۲۸/۳۴ به ۲۹/۸۱ افزایش یافته است. درواقع آنزیم آلفا آمیلاز به دلیل شکستن نشاسته سبب آزاد شدن قندهای ساده مانند گلوکز، مالتوز و دکسترین می‌شود. این قندها در واکنش مایلارد شرکت کرده و سبب کاهش روشنایی و افزایش درجه تیرگی و برشتگی در نان‌های تولید شده می‌گردند.

هوانگ و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی به بررسی تأثیر افزودن آنزیم لیپاز جهت بهبود کیفیت نان پرداختند. طبق نتایج این تحقیق، در ارتباط با ارزیابی رنگ نمونه‌های نان، افزودن آنزیم لیپاز موجب کاهش میزان روشنایی در نمونه‌های نان شد [۱۵]. مطابق با نظر این محققین، تیمار با آنزیم لیپاز ظرفیت اتصال آب نشاسته را کاهش داده و در نتیجه موجب تشدید واکنش مایلارد و تولید نان تیره‌تر می‌شود. شدت واکنش مایلارد تحت تأثیر عواملی مانند دما، زمان واکنش، pH، ترکیب مواد و فعالیت آبی تعیین می‌شود. افزایش فعالیت آبی تا یک سطح مشخص می‌تواند سرعت واکنش مایلارد را افزایش دهد، اما با افزایش بیشتر فعالیت آبی، نرخ واکنش کاهش می‌یابد [۱۶].

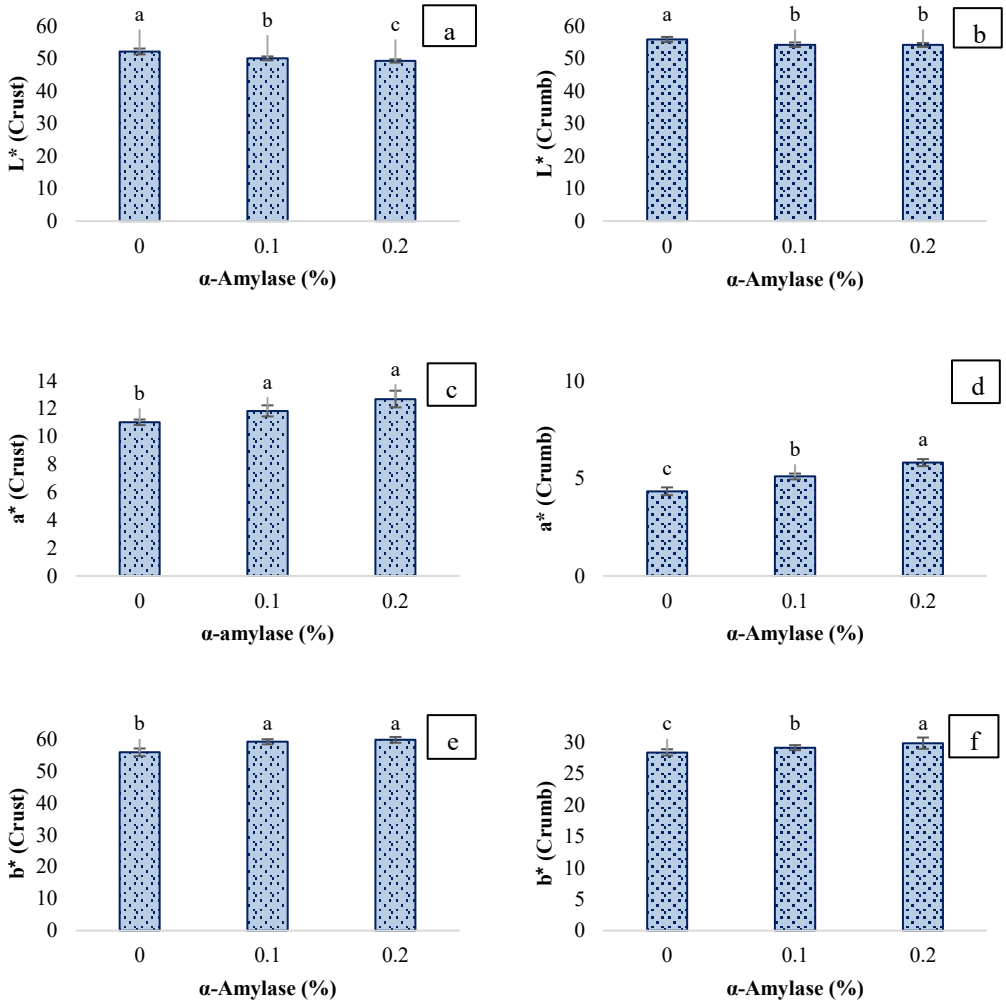
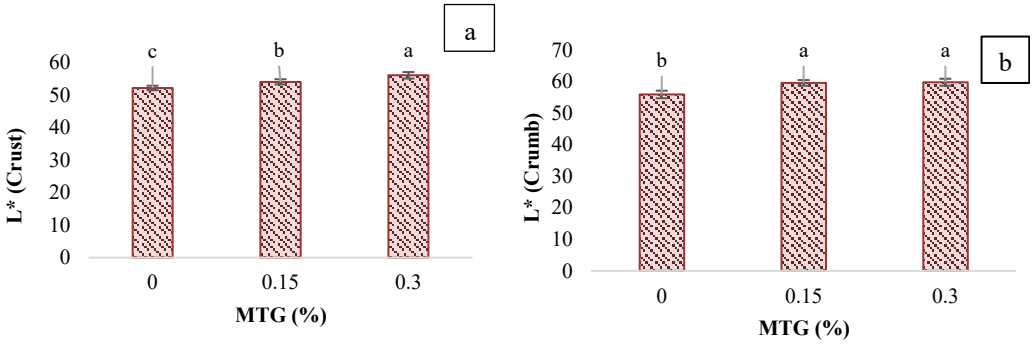


Figure 1. The effect of α-amylase on L*, a* and b* values of crust and crumb of bread samples

ماتسوشیتا و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که با افزودن مقدار بهینه آنزیم آلفاآمیلاز به فرمولاسیون نان، فاکتور روشنایی نمونه‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافته است. فاکتورهای a* و b* نیز با افزودن آنزیم آلفاآمیلاز به طور معنی‌داری در مقایسه با نمونه شاهد کاهش یافتند که با نتایج این پژوهش مغایرت داشت [۱۷]. در تحقیقی دیگر، گوسارت و همکاران (۲۰۰۹) مشاهده کردند که آنزیم آلفاآمیلاز غلظت قندهای احیاءکننده مانند گلوکز و فروکتوز را افزایش داده که در نتیجه موجب افزایش واکنش مایلارد و در نتیجه کاهش L* در نمونه‌های نان شد [۱۸]. کاهش میزان L* در پوسته نان در نتیجه‌ی افزودن آنزیم آلفاآمیلاز به فرمولاسیون توسط شفیع سلطانی و همکارن (۱۳۹۳) نیز گزارش شده است [۱۹].

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، افزودن آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی به نان‌های تولید شده از آرد کامل تأثیر معنی‌داری بر فاکتور L* در مغز نان و هر سه فاکتور L*، a*، b* در سطح آن داشته است (p<۰/۰۵). با توجه به شکل‌های a-۲ و b-۲، مشاهده می‌شود که با افزایش میزان این آنزیم، فاکتور L* هم در پوسته (از ۵۲/۲۲ در نمونه شاهد به ۵۶/۱۱ در نمونه حاوی ۰/۳ درصد ترانس‌گلوتامیناز) و هم در مغز نمونه‌های نان (از ۵۵/۹ در نمونه شاهد به ۵۹/۷۷ در نمونه حاوی ۰/۳ درصد ترانس‌گلوتامیناز) افزایش یافته است. این پدیده را می‌توان به کاهش دسترس‌پذیری اسیدهای‌آمینه آزاد برای شرکت در واکنش مایلارد در حضور آنزیم ترانس‌گلوتامیناز نسبت داد. این آنزیم با ایجاد پیوندهای کووالانسی بین گروه‌های آمینی آزاد و باقی‌مانده‌های گلوتامین، منجر به تشکیل کمپلکس‌های پروتئینی با وزن مولکولی بالاتر می‌شود. در نتیجه، اسیدهای آمینه آزاد کمتر در دسترس باقی می‌مانند و واکنش مایلارد به‌طور بالقوه محدود می‌گردد [۲۰] و به این ترتیب رنگ نان‌های تیمار شده با این آنزیم روشن‌تر می‌باشد. این نتایج با یافته‌های پورمحمدی و همکاران (۱۳۹۰) در مورد اضافه کردن ترانس گلوتامیناز به نان گندم حاوی آرد جو بدون پوشینه مطابقت داشت [۲۱]. محله و قره‌خانی (۱۳۹۷) نیز در تحقیقی دریافتند که رنگ پوسته نان‌های تیمار شده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز روشن‌تر از نمونه‌های شاهد است و این پدیده را به کاهش شدت واکنش‌های مایلارد در اثر افزودن آنزیم ترانس‌گلوتامیناز نسبت دادند و عنوان کردند که اتصالات ایجاد شده توسط ترانس‌گلوتامیناز می‌تواند بر ساختار فیزیکی نان اثر گذاشته و رنگ نان را تغییر دهد [۲۲].



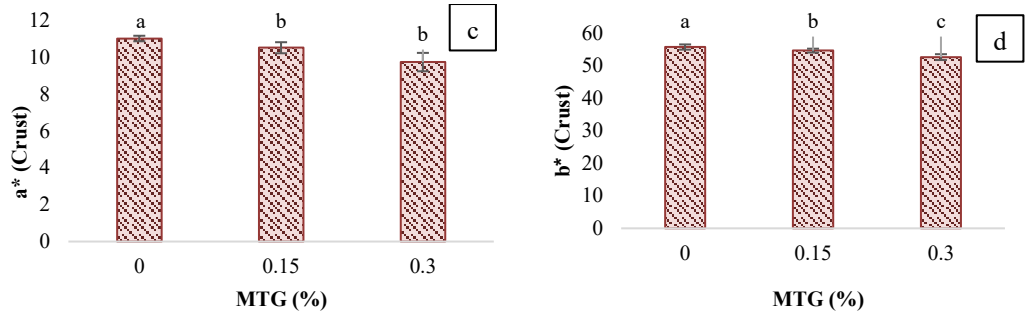


Figure 2. The effect of microbial transglutaminase (MTG) on the L*, a* and b* of bread crust and crumb samples

نتایج بدست آمده برای فاکتور*a در شکل c-۲ نشان می‌دهد که میزان قرمزی رنگ پوسته نمونه‌های نان با افزایش میزان آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بصورت معنی‌داری از ۱۱/۰۳ در نمونه شاهد به ۹/۷۵ در نمونه حاوی ۰/۳ درصد ترانس-گلوتامیناز کاهش یافته است (p<۰/۰۱) که درواقع تأییدی بر نتایج بدست آمده در بحث روشنایی است؛ بطوری که میزان قرمز بودن رنگ پوسته نان، که رنگ تیره را نیز القاء می‌کند، به دلیل کاهش احتمالی واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی، کمتر شده است. نتایج باقرزاده و همکاران (۱۳۹۷) نیز نشان داد نان‌های حاوی آنزیم ترانس‌گلوتامیناز دارای رنگ تیره‌تری نسبت به نمونه شاهد بودند [۲۳]. فاکتور *a در مغز نمونه‌های نان تحت تأثیر تغییرات معنی‌داری قرار نگرفت (p>۰/۰۵). در شکل d-۲ نتایج فاکتور *b، که میزان زردی پوسته نان را مورد بررسی قرار می‌دهد، نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، با افزایش درصد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز از ۰/۱۵ درصد به ۰/۳ درصد میزان *b کاهش معنی‌داری از ۵٤/۷ به ۵۲/۷ یافته است (p<۰/۰۱) هر چند که این فاکتور در مغز نمونه‌های نان تغییر معنی‌داری را نشان نداد (p>۰/۰۵).

همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است اثرات متقابل افزودن آلفاآمیلاز و ترانس‌گلوتامیناز بر میزان *L در پوسته و مغز نان معنی‌دار شده است (p<۰/۰۱). همچنین، اثرات متقابل تیمار آنزیمی بر فاکتورهای *a و *b در پوسته نان معنی‌دار شد (p<۰/۰۱). مطابق شکل‌های a-۳ و b-۳ افزودن نسبت‌های مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامیناز باعث افزایش *L، و افزودن آلفاآمیلاز باعث کاهش معنی‌دار فاکتور روشنایی در پوسته و مغز نان‌های تولیدی شد. به طور کلی می‌توان گفت بیشترین میزان روشنایی مربوط به نمونه تیمار شده با ۰/۳ درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز و بدون آنزیم آلفاآمیلاز می‌باشد. کمترین میزان روشنایی نیز مربوط به نمونه تیمار شده با ۰/۲ درصد آلفاآمیلاز و بدون آنزیم ترانس‌گلوتامیناز می‌باشد. همچنین، افزودن نسبت‌های مختلف آلفاآمیلاز باعث افزایش فاکتور قرمزی (*a) و افزودن آنزیم ترانس‌گلوتامیناز باعث کاهش این فاکتور در سطح نان‌های تولیدی شد (شکل c-۳). به طور کلی، بیشترین میزان *a مربوط به نمونه بدون آنزیم ترانس-گلوتامیناز و حاوی ۰/۲ درصد آلفاآمیلاز بود. کمترین میزان *a نیز مربوط به نمونه بدون آنزیم آلفاآمیلاز و حاوی ۰/۳ درصد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بود. در ارتباط با فاکتور *b، همانطور که در شکل d-۳ مشاهده می‌شود، افزودن آلفاآمیلاز به فرمولاسیون نان باعث افزایش معنی‌دار فاکتور زردی در سطح نمونه‌ها شد. علاوه بر این، افزودن نسبت‌های مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامیناز نیز موجب افزایش *b گردید. به طور کلی، بیشترین میزان *b مربوط به نمونه تیمار شده با ۰/۳ درصد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۰/۲ درصد آنزیم آلفاآمیلاز بود. نمونه شاهد نیز کمترین میزان *b را نشان داد.

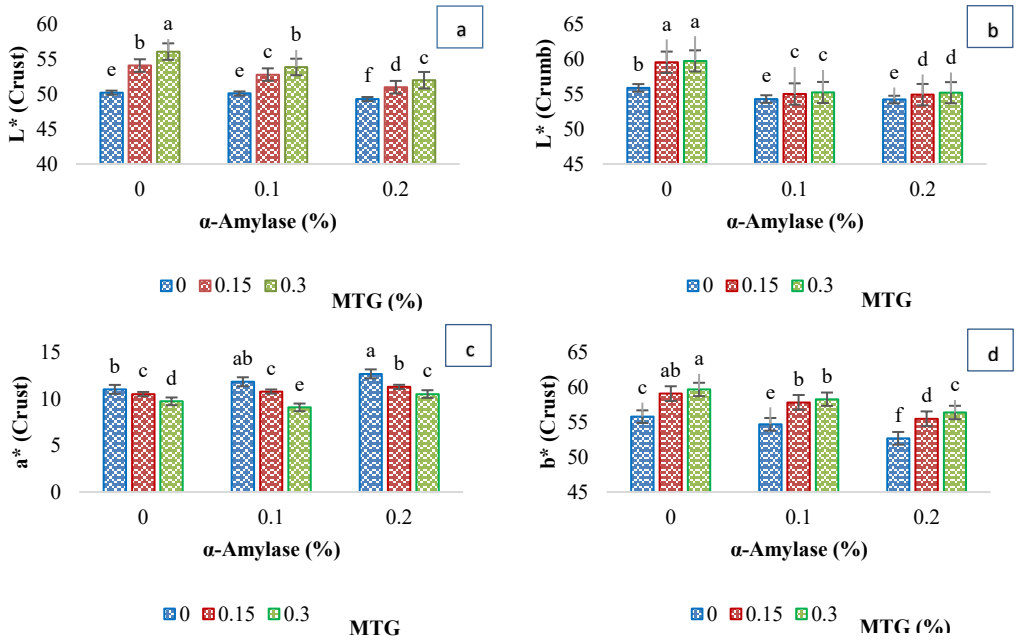


Figure 3. Interaction between α-amylase and microbial transglutaminase (MTG) on the color parameters of bread crust and crumb samples

۲-۳- پذیرش کلی

افزودن آنزیم‌های آلفاآمیلاز و ترانس‌گلوتامیناز تأثیر قابل-توجهی بر بهبود ویژگی‌های حسی نمونه‌های نان داشت. نتایج حاصل از ارزیابی حسی نشان داد که تیمار آنزیمی موجب ارتقاء پذیرش کلی نمونه‌ها شده است. از میان نمونه-های نان تیمار شده با این دو آنزیم، نمونه‌ای که بیشترین امتیاز پذیرش کلی را در آزمون حسی کسب کرد، به عنوان نمونه بهینه انتخاب شد. در بین ۹ تیمار انجام شده، نمونه حاوی ۰/۱ درصد آنزیم آلفاآمیلاز و ۰/۱۵ درصد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز با امتیاز ۸/۲ به عنوان بهترین نمونه انتخاب شد (شکل ٤). آلفاامیلاز با تجزیه نشاسته و تولید قندهای ساده، نقش موثری در بهبود طعم و افزایش قهوه‌ای شدن سطح نان ایفا کرد، در حالی که ترانس‌گلوتامیناز با ایجاد پیوندهای عرضی بین پروتئین‌ها، ساختار شبکه گلوتنی را تقویت نموده و بافت نان را یکنواخت‌تر و مطلوب‌تر ساخت. این تغییرات منجر به افزایش رضایت ارزیاب‌ها در آزمون حسی شد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده همزمان از این دو آنزیم، راهکاری مؤثر در بهبود کیفیت ارگانولپتیک نان محسوب می‌شود.

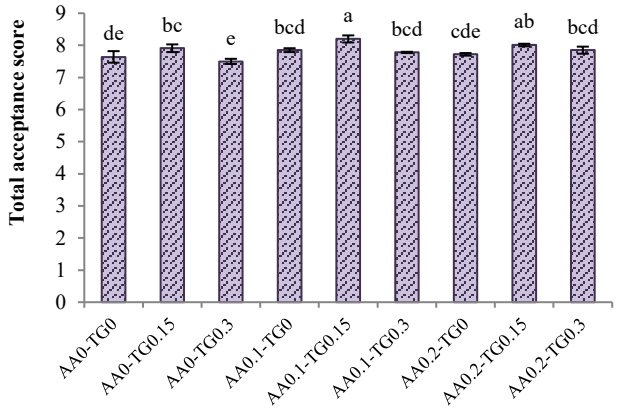


Figure 4. Total acceptance scores of bread samples.

۳-۳- مقایسهٔ برخی ویژگی‌های نان تولید شدهٔ بهینه با شاهد

پس از پخت تغییرات فیزیکوشیمیایی مختلفی در نان اتفاق می‌افتد که منجر به بروز تغییرات در پوسته و مغز نان می‌شود که اصطلاحاً به آن بیاتی می‌گویند. به تأخیرانداختن بیاتی یکی از مسائل مهم در صنعت پخت است و از جنبه اقتصادی اهمیت زیادی دارد. طی فرایند بیاتی ویژگی‌های کیفی نان از قبیل، بو، طعم و مزه و قابلیت جویدن محصول تغییر می‌کند و مواد آروماتیک و رطوبت از مغز نان به پوسته انتشار می‌یابد. در نان بیات، قابلیت جویدن و تراکم‌پذیری کاهش می‌یابد و با کاهش رطوبت در مغز نان، تردی و پوکی نان از دست رفته و نان حالت چرمی به خود می‌گیرد به عبارتی این فرایند با ایجاد تغییر در ویژگی‌های ظاهری و باطنی طعم، مزه، عطر و قابلیت جویدن، منجر به کهنه شدن این محصولات می‌شود. مهم‌ترین تغییری که طی بیاتی نان اتفاق می‌افتد، افزایش تدریجی سفتی بافت و کاهش رطوبت می‌باشد [۲٤]. جدول ۲ نتایج آنالیز واریانس آزمون‌های رطوبت، فعالیت آبی، سفتی و پذیرش کلی را در طی روزهای یکم تا پنجم پس از پخت نشان می‌دهد.

۱-۳-۳- رطوبت

یکی از بدیهی‌ترین تغییرات به وجود آمده در فرآورده‌های غلات طی مدت زمان نگهداری، تغییر در محتوی رطوبت آنها است. مهاجرت رطوبت از مغز فرآورده به پوسته و توزیع مجدد رطوبت بین اجزاء تشکیل‌دهنده فرآورده، تأثیر زیادی در فرایند بیاتی دارد. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مقدار رطوبت نمونهٔ بهینه در تمامی روزهای نگهداری بیشتر از نمونه شاهد بوده است ($P<۰/۰۰۱$). به‌علاوه، با گذشت زمان نگهداری، مقدار رطوبت در هر دو نمونهٔ شاهد و بهینه کاهش معنی‌داری یافته است ($P<۰/۰۰۱$). در میان نمونه‌های نان برگر، بیشترین میزان رطوبت (۳۸/۱٤ درصد) مربوط به نمونه بهینه در روز اول و کمترین میزان رطوبت (۳۱/٤۱ درصد) مربوط به نمونه شاهد در روز پنجم بود.

پس از پخت، واکنش‌های فیزیکوشیمیایی مختلفی مانند افزایش سفتی و کاهش رطوبت نان سبب بروز تغییرات در پوسته و مغز نان می‌شود که به آن بیاتی می‌گویند. طی فرایند بیاتی ویژگی‌های کیفی نان از قبیل، بو، طعم و مزه و قابلیت جویدن محصول تغییر می‌کند و مواد آروماتیک و رطوبت از مغز نان به پوسته انتشار می‌یابد. در نان بیات، قابلیت جویدن و تراکم‌پذیری کاهش می‌یابد و با کاهش رطوبت در مغز نان، تردی و پوکی نان از دست رفته و نان حالت چرمی به خود می‌گیرد به عبارتی این فرایند با ایجاد تغییر در ویژگی‌های ظاهری و باطنی طعم، مزه، عطر و قابلیت جویدن، منجر به کهنه شدن این محصولات می‌شود. مهم‌ترین تغییری که طی بیاتی نان اتفاق می‌افتد، افزایش تدریجی سفتی بافت و کاهش رطوبت می‌باشد ازاین‌رو، به تأخیر انداختن بیاتی یکی از

مسائل مهم در صنایع پخت و دغدغه‌های پژوهشگران است زیرا از جنبه اقتصادی اهمیت زیادی دارد. به نظر می‌رسد استفاده از آنـزیم ترانس گلوتامیناز در این تحقیق اثر معنی‌دار در روند بیاتی نیز داشـته است. آنـزیم ترانس گلوتامیناز در تشکیل شبکه پروتئینی و ایجاد پلیمرهای پروتئینی بود که سبب به دام انداختن آب در بافت مغز کیک و جلوگیری از مهاجرت آب از مغز کیک به پوسته آن شده و در نهایت سبب کندشدن روند بیاتی‌شان، می‌گردد [۲۵]. گیانون و همکاران (۲۰۱٦) اثر مخلوط جدیدی از آلفاآمیلازمالتوژنیک و لیپاز را به‌عنوان عامل ضدبیاتی در نان گندم دوروم بررسی کردند [۲٦]. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد مخلوط آلفاآمیلازمالتوژنیک و لیپاز از طریق برهم‌کنش سینرژیستی از بیاتی جلوگیری کرده‌اند؛ به‌طوری‌که نان‌های حاوی این فرمول در مقایسه با نان‌های حاوی آلفا آمیلاز مالتوژنیک به‌تنهایی و نمونه شاهد در طول نگهداری نرم‌تر بوده و از قابلیت جویدن بهتری برخوردار بود. همچنین این فرمول بیشترین تأثیر را بر کاهش تغییرات سفتی و قابلیت جویدن در طول نگهداری داشت. طی نگهداری فعالیت آبی و محتوای رطوبت نان‌های حاوی این فرمول بیشتر از نمونه شاهد بود.

۲-۳-۳- فعالیت آبی

نتایج نشان داد که همانند رطوبت، نمونه‌های بهینه از میزان فعالیت آبی بیشتری نسبت به نمونه‌های شاهد در تمامی دوره‌های نگهداری برخوردار بودند. کم‌ترین میزان فعالیت آبی نمونه‌های مغز نان (۰/۸٤) در روز پنجم نگهداری در نمونـه شـاهد و بیشـترین میـزان آن (۰/۹۷) در ابتدای مدت نگهداری در نمونه بهینه مشاهده شد. باباخانی و همکاران (۲۰۱۱) نیز به‌طور مشابه گزارش کردند که نمونه‌های کیک حاوی آنزیم ترانس‌گلوتامیناز نسـبت بـه نمونه شاهد از رطوبت بالاتری برخوردار بودند [۲۵]. همچنین در مطابقت با نتایج این تحقیق، گـومز و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که با گذشت زمان نگهداری، میزان فعالیت آبی نمونه‌های مغز نان حاوی آنزیم آمیلاز کاهش یافت [۲۷].

۳-۳-۳- سفتی

مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۲، نمونهٔ شاهد در تمامی روزهای نگهداری از میـزان سـفتی بیشتری نسبت به نمونهٔ بهینه برخوردار بـود. نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن آلفا-آمیلاز و ترانس گلوتامیناز به طور جداگانه در فرمولاسـیون نـان به ترتیب موجب کاهش و افزایش سفتی نان شـد (نتایج نشان داده نشده است). درهرحال، اثر برآیند تأثیر این دو در نهایت کاهش سفتی نمونه‌ها را به همراه داشت. همچنین همانطور که در جدول ۲ نیز مشاهده می شود، با افزایش زمان نگهداری میزان سفتی افزایش یافت به‌طوری که بیشترین میزان سفتی (٤٥/۰۱ نیوتن) مربوط به نمونه شاهد در روز پنجم و کمترین میزان سفتی (۲۸/۱۵ نیوتن) مربوط به نمونه بهینه در روز اول بوده است.

Table 2. Comparison of the average of the control and optimal samples in terms of shelf life

Storage period (Days)	Sample	Moisture (%)	Water activity	Hardness (N)	Total acceptability (Score)
1	Control	35.41 ±0.21^{C}	0.95 ±0.01^{B}	31.52 ±0.28^{D}	7.62 ±0.28^{B}
	Optimized	38.14 ±0.19^{A}	0.97 ±0.01^{A}	28.15 ±0.30^{F}	8.18 ±0.31^{A}
3	Control	33.75 ±0.28^{D}	0.91 ±0.01^{C}	37.04 ±0.25^{B}	6.55 ±0.33^{C}
	Optimized	37.22 ±0.30^{B}	0.94 ±0.02^{B}	33.52 ±0.41^{E}	7.38 ±0.29^{B}
5	Control	31.41 ±0.33^{E}	0.84 ±0.01^{E}	45.01 ±0.19^{A}	5.25 ±0.32^{D}
	Optimized	35.68 ±0.29^{C}	0.89 ±0.02^{D}	38.97 ±0.32^{C}	6.64 ±0.26^{C}

Similar letters in each column are not statistically significantly different at the P<0.05 level.

سفتی از دیدگاه حسی نیروی لازم برای فشردن یک نمونه بین دندان‌های آسیاب و از دیدگاه مکانیکی نیروی لازم برای رسیدن به یک تغییر شکل مشخص می‌باشد. رتروگراداسیون نشاسته عامل اصلی بیاتی نان و آمیلوپکتین نقش مهمی را در بیاتی نشاسته دارد. بر طبق اظهارات گومز و همکاران (۲۰۱۲) سفتی و حجم مخصوص در اولین روز پس از پخت با هم رابطه مستقیم دارند و حجم بیشتر به معنای سفتی کمتر است [۲۷]. در این پژوهش افزودن آنزیم آلفاآمیلاز نیز موجب نرم‌تر ماندن در طول دوره نگهداری گردید. برطبق اظهارات گومز نان‌های دارای امولسیفایر کمپلکس‌هایی با مولکول‌های نشاسته تشکیل می‌دهند و همچنین آنزیم وزن مولکولی مولکول‌های نشاسته را کاهش می‌دهد؛ در نتیجه شکل‌گیری کریستال (رتروگراداسیون) با پروتئین کاهش می‌یابد و سفتی کمتر می‌گردد [۲۷]. کمتر بودن سفتی نان نسبت به نمونه شاهد در طول نگهداری با افزودن آلفاآمیلاز و ترانس‌گلوتامیناز توسط گوسارت و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش شده است [۱۸]. در پژوهشی دیگر کیم و یو (۲۰۲۰) اثر ضدبیاتی آلفاآمیلاز قارچی و کمتر بودن سفتی نان نسبت به نمونه شاهد را با گذشت زمان گزارش کرده‌اند [۲۸]. در مطالعه چاوهان و همکاران (۲۰۲۳) افزودن آنزیم آلفا آمیلاز سبب نرم‌شدن مغز نان و جلوگیری از سفتی و بهبود انسجام و تردی آن در طول نگهداری شد [۲۹]. گوسرت و همکاران (۲۰۰۹) مکانیسم ضد سفتی آلفا آمیلاز را اساساً به گسترش تخریب جزء کریستالی شونده آمیلوپکتین، جلوگیری از تشکیل شبکه پایدار آمیلوپکتین در طول نگهداری و در نتیجه مهار رتروگراداسیون نسبت داده‌اند [۱۸].

٤-۳-۳- پذیرش کلی

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مقدار پذیرش کلی یا مقبولیت نمونه شاهد (فاقد آنزیم) نسبت به نمونه بهینه (حاوی ۰/۱ درصد آنزیم آلفا آمیلاز و ۰/۱۵ درصد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز) در تمام روزهای نگهداری کمتر بوده است. به‌علاوه، میزان پذیرش کلی نمونه‌های نان با گذشت زمان کاهش یافت. بهبود امتیاز حسی به‌ویژه رایحه و تردی نمونه‌های نان تولیدی با استفاده از آنزیم آلفا آمیلاز توسط چاووان و همکاران (۲۰۲۳) و هجرانی و همکاران (۱۳۹۲) نیز گزارش شده است [۲۹ و ۳۰]. چاووان و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که افزودن ۰/۰۵ درصد آنزیم آلفاآمیلاز به نان بربری نیم‌پز منجمد باعث افزایش امتیاز فاکتورهای حسی رنگ و طعم شد [۲۹]. هجرانی و همکاران (۱۳۹۳) نیز گزارش کردند که افزودن آنزیم آمیلاز به نان بربری نیم‌پز منجمد باعث افزایش امتیاز در فاکتورهای حسی رنگ پوسته و طعم شد [۳۰]. بهبود ویژگی‌های حسی نان حاوی آنزیم آلفاآمیلازتوسط گومز و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش شده است [۲۷]. در مطالعه‌ای دیگر، جلایر و همکاران [۳۱] نشان دادند که جایگزینی آرد جو در فرمولاسیون نان، موجب کاهش برخی ویژگی‌های محصول از جمله حجم مخصوص، خصوصیات حسی و کیفیت کلی آن می‌شود. با این حال، افزودن صمغ زانتان و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز توانست این تغییرات را اصلاح کند. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که در صورت استفاده از ترکیب ۳۰ درصد آرد جو، ۰/٤ درصد صمغ زانتان و ۰/۲۵ درصد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، می‌توان محصولی با ویژگی‌های مشابه با نان شاهد تولید کرد [۳۱].

٤- نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نقش حیاتی آنزیم‌ها در بهبود کیفیت فرآورده‌های نانوایی، استفاده هدفمند از آن‌ها می‌تواند به ارتقاء ویژگی‌های حسی، ظاهری و تغذیه‌ای نان منجر شود. در سال‌های اخیر، تمرکز بر آنزیم‌های عملکردی مانند آلفاآمیلاز و ترانس‌گلوتامیناز میکروبی به‌عنوان ابزارهای نوین در اصلاح ساختار و رنگ نان افزایش یافته است. درواقع فرآیندهای شیمیایی مانند واکنش مایلارد و اصلاح ساختار پروتئینی نقش مهمی در کیفیت نهایی نان دارند که بهره‌گیری از

آنزیم‌های خاص می‌تواند این فرآیندها را به‌طور هدفمند کنترل کند. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، افزودن آنزیم‌های آلفاآمیلاز و ترانس‌گلوتامیناز میکروبی به فرمولاسیون نان همبرگر، تأثیر چشمگیری بر بهبود ویژگی‌های رنگی و حسی محصول نهایی دارد. آلفاآمیلاز با افزایش قندهای احیاءکننده، موجب تشدید واکنش‌های قهوه‌ای شدن و بهبود طعم نان شد، در حالی که ترانس‌گلوتامیناز با اصلاح ساختار پروتئینی، بافت نان را یکنواخت‌تر و رنگ آن را روشن‌تر ساخت. ترکیب بهینه این دو آنزیم نه‌تنها موجب افزایش رضایت مصرف‌کنندگان در ارزیابی حسی شد، بلکه پایداری کیفیت نان در طول زمان نگهداری را نیز ارتقاء داد. بنابراین، استفاده هم‌زمان از این آنزیم‌ها در غلظت بهینه (۰/۱ درصد آلفاآمیلاز و ۰/۱۵ درصد ترانس‌گلوتامیناز) می‌تواند به عنوان راهکاری مؤثر در صنعت نانوایی برای تولید نان‌های تهیه شده از آرد کامل با کیفیت و با قابلیت پذیرش حسی قابل قبول مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

این پژوهش بخشی از نتایج پایان‌نامهٔ 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

رضایت نامه کتبی و آگاهانه از همه شرکت کنندگان در مطالعه اخذ شد.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام کردند که هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

بیانیه دسترسی‌ها

داده‌های پژوهش به اشتراک گذاشته نمی‌شوند.

۵-منابع

[۱]Abdollahi, M., Doust-Mohammadian, A., Abtahi, M., Esmaeili, M., and Houshiarrad, A. 2014. Validity of Telephone versus Face-to-Face Interviews in the Assessment of Bread Consumption Pattern. Journal of Community Health, 1(1): 45- 53 .

[۲]Ben Hmad, I., Mokni Ghribi, A., Bouassida, M., Ayadi, W., Besbes, S., Ellouz Chaabouni, S., and Gargouri, A. 2024. Combined effects of α-amylase, xylanase, and cellulase coproduced by Stachybotrys microspora on dough properties and bread quality as a bread improver. International Journal of Biological Macromolecules, 277 (3): 134391.

[۳]Caballero, P. A., Gómez, M., and Rosell, C. M. 2007. Improvement of dough rheology, bread quality and bread shelf-life by enzymes combination. Journal of Food Engineering, 81(1): 42-53.

[۴]Hoseney, R. C. 1994. Principles of cereal science and technology. American Association of Cereal Chemists, MN, USA.

[۵]Azizi, M. H., Rajabzadeh, N. and Riahi, E. 2003. Effect of mono- diglyceride and Lecithin on dough rheological characteristics and quality of flat bread. LWT-Food Science and Technology, 36(2): 189-193.

[۶]Liu, W., Brennan, M., Serventi, L., and Brennan, Ch. 2017. Effect of cellulose, xylanase and α-amylase combinations on the rheological properties of Chinese steamed bread dough enriched in wheat bran. Food chemistry. 234: 93-102.

[۷]Motoki, M., and Seguro, K., 1998. Transglutaminase and its use for food processing. Trends in Food Science and Technology 9: 204-210.

[۸]Kuraishi C, Yamazaki K, and Susa Y, 2001. Transglutaminase: its utilization in the food industry. Food Reviews International 17: 221-246 .

[۹]Abooi, A. Jafarpour, S. A. and Motamedzadegan, A. 2016. The effect of microbial transglutaminase enzyme on the functional and rheological properties of gelatin from the skin of bighead carp. Food Science and Technology, 58(13): 93-106. (In Persian)

[۱۰]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 .

[۱۱]Jooyandeh, H., Alizadeh Behbahani, B., and Kazemian Rad, F. 2025. Study on textural and color characteristics of UF-white cheese

containing caffeine. Journal of Food Science and Technology (Iran), 21 (156): 211-222. (In Persian)
[۱۲]Sheikholeslami, Z., Karimi, M., Ghiafeh Davoodi, M., and Mahfouzi, M. 2021. Effect of flour extraction rate and amylase and xylanase on texture and sensory properties of Barbari bread. Journal of Food Science and Technology (Iran), 17(107): 51-65. (In Persian)
[۱۳]Institute of standard and industrial research of Iran. NO. 2705-1. 2025. Cereals and cereal products – Determination of moisture content – Part 1: Reference method.
[۱۴]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.
[۱۵]Huang, Zh., Brennan, Ch. S., Zheng, H., Mohan, M. S., Stipkovits, L., Liu, W., Kulasiri, D., Guan, W., Zhao, H., and Liu, J. 2020. The effects of fungal lipase-treated milk lipids on bread making. LWT-Food Science and Technology, 128: 1-8.
[۱۶]Wong, C. W., Wijayanti, H. B., and Bhandari, B. R. 2015. Maillard Reaction in Limited Moisture and Low Water Activity Environment. In: Gutiérrez-López, G., Alamilla-Beltrán, L., del Pilar Buera, M., Welti-Chanes, J., Parada-Arias, E., Barbosa-Cánovas, G. (eds) Water Stress in Biological, Chemical, Pharmaceutical and Food Systems. Food Engineering Series. Springer, New York, NY .
[۱۷]Matsushita, K., Terayama, A., Goshima, D., Santiago, D. M., Myoda, T., and Yamauchi, H. 2019. Optimization of enzymes addition to improve whole wheat bread making quality by response surface methodology and optimization technique. Journal of Food Science and Technology, 56: 1454–1461.
[۱۸]Goesaert, H., Slade, L., Levine, H., and Delcour, J. A. 2009. Amylases and bread firming – an integrated view. Journal of Cereal Science, 50(3): 345-352.
[۱۹]Shafi Soltani, M., Salehifar, M., and Hashemi, M. 2014. The effect of using fungal-origin alpha-amylase enzyme on the quality characteristics of dough and toast. Innovation in Food Science and Technology, 6(2): 43-54. (In Persian)
[۲۰]Silva, H. A., Paiva, E. G., Lisboa, H. M., Duarte, E., Cavalcanti-Mata, M., Gusmão, T., and de Gusmão, R. 2020. Role of chitosan and transglutaminase on the elaboration of gluten-free bread. Journal of Food Science and Technology, 57(5): 1877-1886 .
[۲۱]Pourmohammadi, K., Aalami, M., Shahedi, M., and Sadeghi Mahonak, A. 2011. Effects of microbial transglutaminase on the quality of wheat bread supplemented with hull-less barley flour. Food Industry Research (Agricultural Science), 2(2): 81-97.
[۲۲]Mahalleh, H., and Gharekhani, M. 2018. Optimization of gluten-free corn-based bread formulation containing egg white protein and microbial transglutaminase, and estimation of process parameters using artificial neural networks. Journal of Food Science and Technology, 84(15), 217–230. (In Persian)
[۲۳]Bagherzadeh, S., Milani, J., and Kasaei, M. R. 2018. Effect of simultaneous use of DATEM (diacetyl tartaric acid ester of monoglycerides) emulsifier and maltogenic α-amylase on pan-bread quality. Food Industry Research (Agricultural Science). 28(4): 1-14.
[۲۴]Jooyandeh, H. 2009. Evaluation of Physical and Sensory Properties of Iranian Lavash Flat Bread Supplemented with Precipitated Whey Protein (PWP). African Journal of Food Science, 3(2): 028 -034 .
[۲۵]Babakhani, S., Moghaddaszadeh-Ahrabi, S., and Gharekhani, M. 2020. Physicochemical and Sensory evaluation of Cake Enriched with Fish Protein Powder (FPP) and Transglutaminase Enzyme. Journal of Food Science and Technology (Iran), 16(95): 179-196. (In Persian)
[۲۶]Giannone, V., Lauro, M.R., Spina, A., Pasqualone, A., Auditore, L., Puglisi, I. and Puglisi, G. 2016. A novel α-amylase-lipase formulation as anti-staling agent in durum wheat bread. LWT-Food Science and Technology. 65: 381-389 .
[۲۷]Gomes-Ruffi, C. R., Da Cunha, R. H., Almeida, E. L., Chang, Y. K., and Steel, C. J. 2012. Effect of the emulsifier sodium stearoyl lactylate and of the enzyme maltogenic amylase on the quality of pan bread during storage. LWT-Food Science and Technology, 49(1): 96-101.
[۲۸]Kim, H. J., and Yoo, S. H. 2020. Effects of combined α-amylase and endo-xylanase treatments on the properties of fresh and frozen doughs and final breads. Polymers. 12(6): 13-49.
[۲۹]Chauhan, J., Shukla, R., Kumar Bishoyi, A., Goyal, S., and Sanghvi, G. (2023). Investigation of physical, nutritional and sensory properties of wheat bread treated with purified thermostable cellulase and alpha amylase. Cogent Food & Agriculture, 9: 2261839 .
[۳۰]Hejrani, T., Mortazavi, S. A., Sheikholeslami, Z., and GhiafeDavoodi, M. 2015. Effect of Guar gum and amylase enzymes on quality part baked frozen Barbari bread. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 11 (5): 508-520. (In Persian)
[۳۱]Jalayer, H., Karimi, M., and Abdollah Zadeh, A. 2020. The Effect of Xanthan Gum and Transglutaminase on Quality and Delaying of Barley Bread Staling. Innovation in Food Science and Technology, 12(1): 125-133. (In Persian)

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Production of hamburger buns made from whole wheat flour and investigation the effect of alpha-amylase and transglutaminase enzymatic treatment on the product

Roghayeh Hasan Beygi[1], Hossein Jooyandeh•[2]

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

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2025/10/13

Review: 2025/12/02

Accepted: 2025/12/05

Keywords:

Enzymatic modification,
Bread crumb,
Overall acceptance,
Color parameters.

DOI: **10.48311/fsct.2026.117114.82899**

*Corresponding Author E-

hosjooy@asnrukh.ac.ir

ABSTRACT

Considering the important role of enzymes in improving the quality characteristics of bread, their use in the formulation of bakery products is of great importance. Therefore, the present study was conducted to investigate the effect of microbial α-amylase and transglutaminase enzymes on the sensory quality (overall acceptance) and color parameters (L*, a*, and b*) of hamburger bread, and then to investigate some characteristics of the optimized sample with the control sample during a 5-day storage period. The findings revealed that α-amylase, through starch hydrolysis and the production of simple sugars, intensified the Maillard reaction, resulting in a significant decrease in lightness and a significant increase in redness and yellowness in both the crust and crumb ($p < 0.05$). In contrast, transglutaminase strengthened the gluten network by forming covalent bonds between proteins and reduced the availability of free amino acids, thereby limiting the Maillard reaction. This led to a significant increase in lightness and a reduction in crust and crumb darkness ($p < 0.05$). Based on sensory evaluation, the bread sample treated with 0.1% α-amylase and 0.15% transglutaminase achieved the highest overall acceptance score of 8.2 and was identified as the optimal formulation. The results of the evaluation and comparison of the optimal sample with the control during storage showed that the optimal sample (prepared from whole wheat flour without enzymes) had higher moisture content, water activity, overall acceptability, and lower firmness than the control sample. These findings indicated that simultaneous and purposeful use of these two enzymes can significantly improve the organoleptic and visual quality of bread produced from whole wheat flour.