



بررسی ویژگی‌های رنگ و خواص حسی نان تافتون حاوی پودر آب‌پنیر املاح‌گیری شده و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز

سارا صنیعی^۱، حسین جوینده^{۲*}، محمد حجتی^۲، بهروز عزیزاده بهبهانی^۳

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۲- استاد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

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

چکیده

اطلاعات مقاله

نان به عنوان غذای اساسی سهم مهمی در سبد مصرفی خانوارها دارد. در چند سال اخیر، به دلیل افزایش هزینه مواد غذایی، مصرف نان افزایش قابل توجهی داشته است. محدودیت منابع و عدم امکان تأمین مواد غذایی کافی سبب شده است که نیازهای تغذیه‌ای مردم به ویژه اقشار کم‌درآمد با استفاده از ساده‌ترین روش‌ها تأمین شود. یکی از این روش‌ها، تولید نان‌های غنی شده با ترکیباتی مانند پروتئین‌ها، املاح و ویتامین‌ها یا مواد حاوی آن‌ها نظیر آب‌پنیر می‌باشد. در حال استفاده از پودر آب‌پنیر حتی نوع دمنرال آن (DWP) ممکن است منجر به کاهش کیفیت و گسستگی بافت نان شود. به همین دلیل در این تحقیق از تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز (TG) جهت افزایش اتصالات پروتئینی استفاده گردید تا از این طریق بتوان کیفیت نان را بهبود بخشید. در این تحقیق، اثر افزودن DWP در ۳ سطح ۰، ۴ و ۸ درصد و آنزیم TG در ۳ سطح ۰، ۱۵ و ۳۰ درصد بر خصوصیات حسی و رنگ نان تافتون بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش درصد پودر آب‌پنیر دمنرال و گذشت مدت زمان نگهداری، میزان روشنایی (L^*) کاهش و قرمزی (a^*) و زردی (b^*) افزایش یافت ($P < 0/001$). همچنین، با افزایش آنزیم TG، میزان روشنایی (L^*) و زردی (b^*) افزایش و شدت قرمزی (a^*) کاهش یافت ($P < 0/001$). بر اساس نتایج ویژگی‌های حسی، از دیدگاه ارزیابان، افزایش پودر آب‌پنیر تا مقدار ۴ درصد باعث بهبود عطر، بافت و رنگ و افزایش آنزیم TG تا ۱۵/۰ درصد باعث بهبود بافت نمونه‌های نان شد و بنابراین به عنوان بهترین فرمولاسیون جهت تولید نان تافتون مشخص شد.

تاریخ‌های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۷/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۸/۲۶

کلمات کلیدی:

نان مسطح،

DWP،

TG،

روشنایی،

طعم،

بافت

DOI:10.48311/fsct.2026.117075.82895

* مسئول مکاتبات:

hosjooy@asnrukh.ac.ir

۱-مقدمه

نان به عنوان یک ماده غذایی اصلی در بسیاری از فرهنگ‌ها نقش حیاتی در تأمین انرژی و مواد مغذی ایفا می‌کند. این ماده غذایی در بسیاری از کشورها سهم قابل توجهی در تأمین کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی دارد. به عنوان مثال، در بریتانیا، نان بیش از ۱۰٪ از پروتئین روزانه و ریزمغذی‌های مختلف را تأمین می‌کند، هرچند که میزان مصرف آن در دهه‌های اخیر کاهش یافته است [۱]. در نروژ نیز نان یکی از منابع اصلی انرژی، فیبر غذایی و پروتئین محسوب می‌شود، به طوری که مصرف سالانه آن به طور میانگین ۵۲ کیلوگرم برای هر نفر است [۲]. از نظر جهانی، نان یکی از قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین اقلام اصلی در رژیم‌های غذایی است که سهم قابل توجهی در تغذیه و سلامت ایفا می‌کند [۳]. در این میان، نان مسطح در برخی کشورها مانند ایران از محبوبیت بیشتری نسبت به نان حجیم برخوردار است و به عنوان غذای اصلی در نظر گرفته می‌شود [۴].

با این حال، کیفیت نان در بسیاری از کشورها به ویژه در ایران، مشکلات زیادی دارد که یکی از مهم‌ترین دلایل آن کیفیت پایین آرد مصرفی است [۵]. همچنین، آرد گندم ماده اصلی مورد استفاده جهت تولید نان و فرآورده‌های پخت است که از نظر لیزین، یک اسید آمینه ضروری، کمبود دارد. بنابراین، بسیاری از محققان بر بهبود کیفیت محصولات پخت با افزودن سایر مواد تمرکز کرده‌اند. برای بهبود این کیفیت، استفاده از مواد افزودنی نظیر پروتئین‌های کنسانتره آب پنیر که حاوی مقادیر بالای لیزین است می‌تواند مؤثر باشد [۶]. علاوه بر خواص تغذیه‌ای، تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که افزودن انواع آب پنیر به نان و محصولات نانویی می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی و حسی آن‌ها را بهبود بخشد [۷ و ۸]. علاوه بر این، افزودن این پروتئین‌ها به محصولات نانویی موجب بهبود ظرفیت امولسیون‌سازی و تثبیت محصول می‌شود [۹]. استفاده از پروتئین‌های آب پنیر در محصولات نانویی علاوه بر بهبود ویژگی‌های

فیزیکی و حسی، می‌تواند فواید دیگری مانند بهبود طعم، افزایش ماندگاری، و کاهش جذب چربی در محصولات سرخ‌شده نیز داشته باشد [۱۰]. در این زمینه ژائو و همکاران [۱۱] در مطالعه‌ای با هدف بررسی اثر سطوح مختلف پودر آب پنیر توفو بر کیفیت نان، بهبود قابل توجهی در بافت نمونه‌های نان غنی‌شده نسبت به نمونه کنترل گزارش کردند. این بهبود احتمالاً ناشی از خاصیت آب‌دوستی بیشتر پروتئین‌های آب پنیر بوده است [۱۲]. علاوه بر آن، ارتقاء رایحه و رنگ پوسته نان تافتون نیز ممکن است به دلیل حضور لاکتوز در پودر آب پنیر املاح-گیری شده (DWP) و در نتیجه تقویت واکنش میلارد طی فرایند پخت باشد [۱۳].

فرآورده‌های زیادی در صنایع غذایی وجود دارد که در آن‌ها از آنزیم‌ها استفاده می‌شود [۱۴]. این فرآورده‌ها عمدتاً شامل بهبود استخراج، تبدیل‌های زیستی و سنتز، تغییر در عملکرد، کاهش ویسکوزیته و اصلاح طعم می‌باشند [۱۵]. آنزیم ترانس‌گلوتامیناز که فرآورده‌های آسپیل ترانسفرز را کاتالیز می‌کند، می‌تواند به بهبود بافت و کیفیت محصولات نانویی کمک کند [۱۶]. این آنزیم با ایجاد پیوندهای کووالانسی بین پروتئین‌ها، ویژگی‌های منحصر به فردی در بافت محصولات غذایی ایجاد می‌کند که موجب پایداری بالای آن‌ها در برابر تغییرات pH و حرارت می‌شود [۱۷]. مطالعات مختلف نیز تأثیر مثبت این آنزیم را بر ویژگی‌های فیزیکی و ظاهری نان تایید کرده‌اند. به عنوان نمونه، رد و همکاران [۱۸] گزارش دادند که استفاده از این آنزیم در نان‌های تهیه‌شده با آرد بدون گلوتن موجب بهبود ویژگی‌های نان نسبت به نمونه‌های شاهد گردید. همچنین، یافته‌های مرادی و همکاران [۱۹] در زمینه نان تافتون فاقد گلوتن نشان داد که افزودن آنزیم ترانس‌گلوتامیناز همراه با صمغ گوار در فرمولاسیون نان، منجر به افزایش میزان روشنایی و کاهش شاخص‌های رنگی a و b محصول شد. در مطالعه‌ای دیگر، عباس‌زاده [۲۰] بیان کرد که ترکیب

^۱ BDF اسپانیا تهیه شد. میانگین فعالیت این آنزیم با منشا میکروبی ۱۰۰ واحد به ازای هر گرم پروتئین بود. سایر مواد شیمیایی مورد استفاده از این تحقیق مانند سدیم هیدروکسید، اسید سولفوریک، اسید کلریدریک و سایر معرفها از شرکت مرک تهیه و استفاده گردید.

۲-۲ روش تهیه نان

در این مطالعه، خمیر نان با استفاده از روش روزگار و همکاران (۱۳۹۴) با کمی تغییر تهیه شد [۲۲]. برای هر ۱۰۰ کیلوگرم آرد، ۲٪ نمک و ۱٪ مخمر استفاده گردید. پودر آب پنیر دمنرال در سطوح ۰، ۴ و ۸ درصد و آنزیم ترانس گلوتامیناز در سطوح ۰، ۱۵/۰ و ۳۰/۳ درصد (وزنی/وزنی) به آرد اضافه به مخلوط افزوده شد. مراحل تهیه خمیر شامل آمیختن اجزا، ورز دادن، تخمیر اولیه، چانه کردن، تخمیر میانی، فرم دهی و پخت نان در دمای ۳۰۰ درجه سانتی گراد بود. ویژگی های فیزیکوشیمیایی نان ها بلافاصله پس از تولید اندازه گیری شد.

۲-۳ رنگ سنجی

ارزیابی رنگ سطح نان با استفاده از دستگاه رنگ سنج (شرکت کونیکا مینولتا، مدل CR-400، ساخت ژاپن) انجام شد. برای کالیبره کردن دستگاه به منظور اندازه گیری رنگ نمونه ها، از صفحه استاندارد سفید ($L^* = 94/43$)، $a^* = 0/39$ و $b^* = 1/80$ استفاده گردید. پس از کالیبره کردن دستگاه، نمونه های نان با ابعاد مشخص (۱۰×۱۰ سانتیمتر) از قسمت های میانی و حاشیه ای نان روی قسمت شیشه ای دستگاه در ۳ تکرار قرار گرفتند. سپس، پارامترهای رنگ شامل شاخص L^* (شفافیت نمونه، با مقیاس ۰ = سیاه و ۱۰۰ = سفید)، شاخص a^* (مقادیر مثبت نشان دهنده قرمزی نمونه، و مقادیر منفی نشان دهنده سبز فامی نمونه) و شاخص b^* (مقادیر مثبت نشان دهنده زردی نمونه، و مقادیر منفی نشان دهنده رنگ آبی) توسط

آسکوربیک اسید و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی در تولید نان بربری سبب افزایش قابل توجه روشنایی سطح نان گردید. به همین ترتیب، باباخانی و همکاران [۲۱] نیز نتایج مشابهی گزارش کردند؛ به طوری که افزودن ۰/۵ درصد از این آنزیم موجب افزایش پذیرش کلی محصول شد، در حالی که افزایش غلظت آن فراتر از این مقدار، تأثیری منفی بر امتیازهای حسی تیمارها گذاشت.

بنابراین، باتوجه به این که به نظر می رسد استفاده همزمان ترکیبات آب پنیر DWP و آنزیم TG میکروبی در فرمولاسیون محصولات نانوائی می تواند به عنوان یک استراتژی مؤثر در بهبود کیفیت نان و محصولات نانوائی مورد توجه قرار گیرد، این تحقیق به منظور بررسی دو عامل مذکور بر ویژگی های رنگ و حسی نان تافتون انجام پذیرفت.

۲-۴ مواد و روش ها

این پژوهش در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان (ملاثانی) انجام پذیرفت. نمونه های نان تافتون در نانوائی دانشگاه تولید شد. اندازه گیری پارامترهای رنگ (L^* ، a^* و b^*) و بررسی خواص حسی نمونه های نان تافتون تولید شده در آزمایشگاه های گروه صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد.

۲-۱ مواد مورد استفاده

آرد تافتون لوآش با درصد استخراج ۸۳ درصد از شرکت آرد خوزستان (اهواز)، مخمر خشک فعال از شرکت خمیرمایه دزفول و پودر آب پنیر دمنرال از شرکت صنایع شیر ایران (پگاه) تهیه شد. ترکیبات پودر آب پنیر دمنرال شامل ۱۸/۴ درصد پروتئین، ۶۸/۳ درصد لاکتوز، ۶/۲ درصد خاکستر و ۰/۶ درصد چربی بود. همچنین آنزیم ترانس گلوتامیناز (TG) از شرکت مواد افزودنی طبیعی

۳-۱ رنگ‌سنجی

رنگ به عنوان یک معیار مهم برای مقبولیت اولیه محصولات پخته توسط مصرف‌کنندگان محسوب می‌شود. به طور کلی، رنگ پوسته نان در اثر واکنش‌های مایلارد (واکنش‌های میان قندهای احیاکننده و ترکیبات آمینی) ایجاد می‌شود. مقداری از رنگ پوسته نان نیز به عمل کاراملیزه شدن قندها مربوط می‌باشد. کاراملیزه شدن قندها حتی در صورت فقدان واکنش‌های مایلارد می‌تواند رخ دهد، به‌ویژه در شرایطی که دمای پخت بالاتر از ۱۵۵ درجه سانتی‌گراد باشد. از آنجا که فعالیت‌های آنزیمی به دما حساس هستند، هر نوع تغییر در دمای خمیر یا تأخیر در فرایند پخت ممکن است بر تغییرات رنگ پوسته نان تأثیر بگذارد [۲۴]. علاوه بر این، رنگ سطح محصول به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خمیر و شرایط پخت نان بستگی دارد [۲۵].

نتایج تجزیه واریانس مربوط به پارامترهای رنگ L^* ، a^* ، b^* در سیستم رنگی هانتز لب در جدول (۱) نشان داده شده است. مطابق این جدول، تمامی سه متغیر پودر آب‌پنیر دمنرال، تیمار آنزیمی و زمان نگهداری تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای رنگ داشتند ($P < 0.001$)؛ اما هیچ اثر متقابل معنی‌داری میان متغیرهای مورد آزمون بر پارامترهای رنگ L^* ، a^* ، b^* مشاهده نشد ($P > 0.05$).

دستگاه رنگ‌سنج در دو بازه زمانی بلافاصله پس از پخت و ۷۲ ساعت بعد از آن اندازه‌گیری شد [۲۳].

۲-۴ ارزیابی حسی

خصوصیات حسی نان تافتون شامل عطر، طعم، رنگ و بافت بلافاصله پس از پخت و همچنین پس از مدت ۷۲ ساعت نگهداری در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در کیسه‌های پلی‌اتیلن، توسط ۲۰ نفر ارزیاب و به روش هدونیک مورد ارزیابی قرار گرفت. امتیازدهی بر مبنای مقیاس ۱-۹ (که در آن ۱ کمترین و ۹ بیشترین امتیاز است) انجام شد [۷].

۲-۵ آنالیز داده‌ها

با توجه به دو متغیر DWP در ۳ سطح ۰، ۴ و ۸ درصد و آنزیم TG در ۳ سطح ۰، ۱۵ و ۳۰ درصد، تعداد ۹ تیمار تولید شد و تأثیر متغیرهای مذکور بر خصوصیات حسی و رنگ نان تافتون طی مدت ۳ روز نگهداری بررسی شد. میانگین داده‌ها (۳ تکرار) با استفاده از طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی و با نرم‌افزار SPSS (ویرایش ۲۴) تحلیل شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آنالیز واریانس (ANOVA) و آزمون دانکن استفاده گردید (سطح معنی‌داری $P < 0.05$).

۳- نتایج و بحث

Table 1. Analysis of Variance for the Effect of Transglutaminase Enzyme (TG) and Demineralized Whey Powder (DWP) on Colorimetric Parameters

Source of Variation	Degrees of Freedom	Mean Squares (MS)		
		L^*	a^*	b^*
DWP	2	26.12***	7.53***	37.64***
TG	2	169.00***	1.17***	24.39***
Day	1	221.35***	1.75***	84.40***
DWP × TG	4	0.22 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.15 ^{ns}
DWP × Day	2	2.53 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.80 ^{ns}
TG × Day	2	0.84 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.05 ^{ns}
Demineralized Whey Powder × Enzyme × Day	4	1.08 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.12 ^{ns}
Error	36	7.16	0.05	0.61

***, **, * and NS indicate significance at $P < 0.05$, $P < 0.01$, $P < 0.001$, and non-significant, respectively.

۳-۱-۱ تاثیر پودر آب پنیر دمینرال بر پارامترهای رنگ

نان

تاثیر مقادیر مختلف پودر آب پنیر دمینرال بر پارامتر L^* (میزان روشنایی) در جدول (۲) نشان داده شده است. طبق این جدول، با افزایش درصد DWP، میزان مولفه L^* نمونه‌های نان نسبت به نمونه شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۲). آذرباد [۲۶] گزارش کرد که افزودن پودر آب پنیر به نان باعث تیره‌تر شدن رنگ آن می‌شود و کاهش مولفه L^* به دلیل واکنش مایلارد است. افزودن پروتئین‌های لبنی مانند DWP، بسته به مقدار مورد استفاده، باعث تیره شدن پوسته نان می‌شود. این تغییر رنگ ناشی از واکنش قهوه‌ای شدن مایلارد است که یک واکنش شیمیایی بین گروه‌های آمینی و قندهای احیاکننده می‌باشد. در مورد مشتقات شیر که تحت دمای بالا قرار می‌گیرند، لاکتوز به عنوان قند احیاکننده با اسید آمینه لیزین ترکیب شده و منجر به تشکیل ملانوئیدین‌های قهوه‌ای می‌شود. این نتایج با نتایج کروپاکوزاک و همکاران [۲۷] مشابهت داشت. همچنین، صحرائیان و همکاران [۲۸] بیان کردند که افزودن بیش از ۳ درصد پودر پنیر باعث کاهش میزان مولفه L^* پوسته می‌شود.

جدول (۲) نشان می‌دهد که با افزایش درصد DWP، میزان مولفه a^* در نمونه‌های نان به طور معنی‌داری

($P > 0.001$). افزایش یافت. به عبارت دیگر، شدت قرمزی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت. افزایش قرمزی رنگ پوسته نان که باعث تیره‌تر شدن آن می‌شود، به علت افزایش وقوع واکنش قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی است. نتایج این تحقیق با نتایج ژو و همکاران [۲۹] در بررسی اثر پروتئین آب پنیر و سویا بر نان مطابقت دارد.

همان‌طور که در جدول (۱) آمده است، متغیر پودر آب پنیر دمینرال بر پارامتر b^* اثر معنی‌داری داشت ($P > 0.001$). روند تغییرات این پارامتر در جدول (۲) نشان داده شده است. مطابق این شکل، با افزایش درصد DWP، میزان مولفه (b^* میزان زردی) نمونه‌های نان افزایش یافت. نتایج این تحقیق با نتایج ژو و همکاران [۲۹] در مورد اثر پروتئین آب پنیر و سویا بر نان و محترمی و همکاران [۳۰] در خصوص بهبود خواص فیزیکی و رئولوژیکی خمیر نان با استفاده از آنزیم‌های ترانس‌گلوتامیناز و آسپاراژیناز و پودر آب پنیر و اینولین مطابقت داشت. همچنین، شین و همکاران [۳۱] گزارش کردند که با افزایش سطوح پروتئین آب پنیر در نان بدون گلوتن برنج، میزان شاخص رنگی b^* افزایش می‌یابد.

Table 2. Main Effect of Demineralized Whey Powder (DWP) on L^* , a^* and b^* Parameter

Demineralized Whey Powder (%)	L^*	a^*	b^*
0	65.99 ^a	1.22 ^c	13.82 ^c
4	63.82 ^b	2.14 ^b	15.19 ^b
8	60.72 ^c	2.47 ^a	16.71 ^c

Means followed by different letters within a column are significantly different at $P < 0.05$ according to Duncan's multiple range test

۳-۱-۲ تاثیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر پارامترهای رنگ

نان

طبق جدول (۱)، متغیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز اثر معنی‌داری بر پارامترهای رنگ L^* ، a^* و b^* داشت

($P < 0.001$). جدول (۳) تاثیر درصدهای مختلف آنزیم را بر میزان روشنایی نمونه‌های نان نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش درصد آنزیم، میزان روشنایی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. این تغییر را می‌توان به کاهش واکنش‌های قهوه‌ای شدن مایلارد نسبت داد که ناشی از عملکرد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز است. این آنزیم از طریق ایجاد اتصالات عرضی بین اسیدهای آمینه لایزین و گلوتامین، میزان لایزین قابل دسترس را کاهش داده و در نتیجه واکنش مایلارد را کاهش می‌دهد [۳۲]. این اتصالات همچنین می‌تواند بر ساختار فیزیکی نان تاثیر گذاشته و رنگ آن را تغییر دهند [۳۳]. این نتایج با یافته‌های مرادی و همکاران [۱۹] در خصوص افزودن آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، صمغ گوار و کازئینات سدیم به نان تافتون فاقد گلوتن بر پایه پودر سیب‌زمینی مطابقت دارد. همچنین، نتایج مشابهی در مطالعه پورمحمدی و همکاران [۳۴] در بررسی افزودن آنزیم ترانس‌گلوتامیناز به نان گندم حاوی آرد جو بدون پوشینه مشاهده شد. عباس‌زاده [۲۰] نیز در تحقیق خود در خصوص افزودن آسکوربیک اسید و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی به نان بربری گزارش کرد که با افزایش درصد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، میزان روشنایی نمونه‌های نان افزایش یافت.

جدول (۳) تاثیر درصدهای مختلف آنزیم بر میزان قرمزی (a^*) نمونه‌های نان را نشان می‌دهد. با افزایش درصد آنزیم، میزان مولفه (a^*) کاهش یافت؛ به عبارت دیگر، شدت قرمزی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت. این نتایج با نتایج حاصل از اندیس (L^*) هم‌خوانی دارد، به‌طوری که کاهش احتمال وقوع واکنش قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی، باعث کاهش قرمزی و روشن‌تر شدن رنگ پوسته نان می‌شود. این یافته‌ها مشابه با نتایج عباس‌زاده [۲۰] در بررسی افزودن اثر آسکوربیک اسید و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی بر کیفیت نان بربری است.

با توجه به جدول (۳)، با افزایش درصد آنزیم، میزان زردی (b^*) نمونه‌های نان افزایش یافت. آنزیم ترانس‌گلوتامیناز از طریق ایجاد کمپلکس با گرانتوفیل (رنگدانه زرد در خمیر) یا محافظت از گروه‌های هیدروکسیل رنگدانه در برابر اکسید شدن، باعث افزایش رنگ زردی می‌شود. این نتایج با یافته‌های فاضلی و همکاران [۳۵] در بررسی اثر صمغ‌های زانتان، گوار و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی دونات فاقد گلوتن هم‌خوانی دارد.

Table 3. Main Effect of Transglutaminase Enzyme (TG) on L^* , a^* and b^* Parameter

TG (%)	L^*	a^*	b^*
0	60.63 ^c	2.19 ^a	14.12 ^c
0.15	63.18 ^b	1.95 ^b	15.16 ^b
0.30	66.73 ^a	1.68 ^c	16.45 ^c

Means followed by different letters within a column are significantly different at $P < 0.05$ according to Duncan's multiple range test

۳-۱-۳ تاثیر مدت زمان نگهداری

همان‌طور که در جدول (۱) نشان داده شده است، مدت زمان نگهداری بر تمام پارامترهای رنگ اثر معنی‌داری داشت ($P < 0.001$) و منجر به کاهش مقادیر روشنایی و افزایش قرمزی و زردی شد. طبق جدول (۴)، در طی مدت

سه روز نگهداری، میزان روشنایی کاهش یافت. نصرتی و همکاران [۳۶] در بررسی تاثیر پودر آب‌پنیر فرایالایش و لاکتوز بر ویژگی‌های رنگ پنیر، بیان کردند که گذشت زمان تاثیر قابل توجهی بر کاهش روشنایی نمونه‌های پنیر دارد. مطابق جدول (۴)، در گذر زمان و در روز سوم نگهداری، میزان مولفه a^* افزایش یافت، به‌عبارتی شدت قرمزی

به گونه‌ای که در روز سوم نگهداری، بیشترین شدت زردی در نمونه‌های نان مشاهده گردید.

نمونه‌های نان نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. در جدول (۴) نیز مشاهده می‌شود که با گذشت زمان، شدت زردی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت،

Table 4. Main Effect of Storage Time on L*, a* and b* Parameter

Storage Duration (day)	L*	a*	b*
1	65.54 ^a	1.76 ^b	13.99 ^b
3	61.49 ^b	2.12 ^a	16.49 ^a

Means followed by different letters within a column are significantly different at $P < 0.05$ according to Duncan's multiple range test

عطر، و بافت داشت، در حالی که آنزیم ترانس گلوتامیناز (TG) تنها اثر معنی‌داری بر بافت داشت. اثر زمان نگهداری نیز بر تمامی ویژگی‌های حسی معنی‌دار بود. در میان اثرات متقابل، اثر پودر آب‌پنیر دمینرال×روز بر رنگ، عطر، و طعم، و اثر آنزیم×روز بر بافت معنی‌دار گردید.

۳-۲ ارزیابی حسی

در این تحقیق، ارزیابی حسی نمونه‌های نان شامل ویژگی‌های رنگ، طعم، عطر، و بافت انجام شد. جدول (۵) نتایج تجزیه واریانس داده‌های ارزیابی حسی نمونه‌های نان تولیدی را نشان می‌دهد. مطابق این جدول، متغیر پودر آب‌پنیر دمینرال (DWP) اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های رنگ،

Table 5. Analysis of Variance for the Effect of Transglutaminase Enzyme (TG) and Demineralized Whey Powder (DWP) on Sensory Evaluation Parameters

Source of Variation	Degrees of Freedom	Color	Aroma	Taste	Texture
DWP	2	4.08***	1.40***	0.40 ^{ns}	4.19***
TG	2	0.00 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.06 ^{ns}	3.07***
Day	1	9.77***	17.71***	20.03***	16.88***
DWP × TG	4	0.03 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.03 ^{ns}
DWP × Day	2	0.13*	1.74***	2.72***	0.02 ^{ns}
TG × Day	2	0.38 ^{ns}	0.61 ^{ns}	0.49 ^{ns}	16.98***
DWP × TG × Day	4	0.01 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.03 ^{ns}
Error	18	0.03	0.10	0.17	0.06

***, **, * and NS indicate significance at $P < 0.05$, $P < 0.01$, $P < 0.001$ and non-significant, respectively.

افزودن DWP به میزان ۴ درصد، مقدار امتیاز طعم نمونه‌های نان کمی افزایش یافت، اما استفاده از میزان بالاتر DWP (۸ درصد) سبب کاهش امتیاز طعم گردید. در هر حال، همان‌گونه که گفته شد این تغییرات معنی‌دار ($P > 0.05$) نگردید. در مطابقت با نتایج این تحقیق، هراتیان و همکاران [۳۷] در پژوهش خود بیان کردند که افزودن میزان ۷/۵ درصد آب‌پنیر اثر معنی‌داری بر طعم

۳-۲-۱ تأثیر درصد پودر آب‌پنیر دمینرال (DWP)

همان‌گونه که در بالا گفته شد، متغیر پودر آب‌پنیر دمینرال بر ویژگی رنگ، عطر و بافت نمونه‌های نان اثر معنی‌داری ($P < 0.001$) داشت، اما بر ویژگی طعم تأثیری نداشت ($P > 0.05$). تأثیر مقادیر مختلف پودر آب‌پنیر دمینرال بر کیفیت طعم نان‌ها در جدول (۶) نشان داده شده است. با

نان نداشت. همچنین، جمالیان و رحیمی [۳۸] در نتایج مشابه گزارش کردند که افزودن پودر آب‌پنیر به میزان ۱ تا ۵ درصد تغییری در طعم نمونه‌های نان سنگک ایجاد نکرد.

مطابق جدول (۵)، اثر DWP بر ویژگی عطر معنی‌دار بود ($P < 0.001$). بر اساس جدول (۶)، با افزایش مقادیر DWP امتیاز ویژگی عطر نان‌ها نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت و مقادیر ۴ و ۸ درصد DWP اثر یکسانی بر امتیاز ویژگی عطر داشتند که این نتایج مطابق پژوهش جوینده و همکاران [۷] بود که نشان دادند خواص ارگانولپتیکی نان با افزایش میزان آب‌پنیر بهبود می‌یابد. جدول (۶) به ترتیب تأثیر مقادیر مختلف DWP بر امتیاز رنگ و بافت نمونه‌های نان را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، با افزایش درصد DWP امتیاز رنگ نمونه‌ها به‌صورت معنی‌داری ($P < 0.001$) افزایش یافت که با نتایج مرادخانی و همکاران [۳۹] مطابقت داشت. همچنین، ارزیابی حسی بافت نشان داد

که با افزایش درصد DWP امتیاز این ویژگی به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت ($P < 0.001$). در مطابقت با نتایج این تحقیق، ژائو و همکاران [۲۹] در بررسی تأثیر پودر آب‌پنیر توفو در سطوح مختلف بر نان، بهبود امتیاز بافت نمونه‌ها نسبت به نمونه کنترل را گزارش نمودند. مطلوبیت بافت را می‌توان به خاصیت آب‌دوستی بیشتر پروتئین‌های آب‌پنیر نسبت داد. علت بهبود رایحه و رنگ نمونه‌های نان تافتون در نتیجه‌ی افزودن آب‌پنیر می‌تواند به دلیل لاکتوز موجود در DWP و در نتیجه توسعه‌ی واکنش میلارد باشد. مطابق با نتایج این پژوهش، هراتیان و همکاران [۳۷] نشان دادند که با افزایش درصد پودر آب‌پنیر، امتیاز حسی نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. همچنین، جوینده و مینهاس [۴۰] در بررسی خواص نان حجیم غنی‌شده با کنسانتره پروتئین آب‌پنیر تخمیری (FWPC^۲) و پس‌آب آب‌پنیر (WP^۳) بیان کردند که با جایگزینی ۵۰ درصد آب مورد استفاده در تهیه خمیر با WP یا ۲۵ درصد آب با FWPC می‌توان نان حجیمی با بافتی نرم و انعطاف‌پذیر و کیفیت پخت مناسب تولید کرد.

Table 6. Main effects of demineralized whey powder (DWP) on sensory properties

DWP (%)	Taste	Aroma	Color	Texture
0	7.84 ^a	6.91 ^b	7.83 ^b	7.59 ^b
4	8.12 ^a	7.25 ^a	8.07 ^a	8.04 ^a
8	7.96 ^a	7.47 ^a	7.93 ^{ab}	7.95 ^a

Means followed by different letters within a column are significantly different at $P < 0.05$ according to Duncan's multiple range test

۲-۲-۳ تأثیر درصد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز (TG)

آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، تنها آنزیم تجاری است که جهت تشکیل پیوندهای کووالانسی بین پروتئین‌های مواد غذایی به‌کار می‌رود [۴۱]. تا کنون مطالعات گسترده‌ای امکان

استفاده از آنزیم TG را در بهبود خواص مواد غذایی مختلف مانند محصولات گوشتی [۴۲]، فراورده‌های ماهی [۴۳]، محصولات پخت [۱۶]، فیلم‌های خوراکی [۴۴] و [۴۵] و فراورده‌های لبنی [۴۶-۵۰] بررسی کرده‌اند.

نتایج این تحقیق نشان داد که متغیر آنزیم ترانس گلوتامیناز (TG) بر ویژگی‌های بافت نمونه‌های نان تأثیر معنی‌داری ($P < 0.001$) داشت، اما بر ویژگی‌های رنگ، عطر و طعم بی‌تأثیر بود ($P > 0.05$). همچنین مطابق جدول (۵)، اثر متقابل پودر آب‌پنیر دمنرال (DWP) $\times$ آنزیم ترانس گلوتامیناز (TG) بر تمام ویژگی‌های حسی نمونه‌های نان معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). میزان تأثیر مقادیر مختلف آنزیم بر امتیاز طعم، عطر و رنگ نمونه‌های نان در جدول (۷) نشان داده شده است. مطابق با این جدول،

افزایش سطوح آنزیم در نمونه‌های نان تفاوت معنی‌داری ($P > 0.05$) در امتیاز بافت در مقایسه با نمونه شاهد ایجاد کرد که این نتایج مشابه نتایج پژوهش عباس‌زاده و همکاران [۲۰] و آذرباد و همکاران [۲۶] بود. همچنین در نتایجی مشابه، کولار و همکاران [۵۱] بهبود قابل توجه بافت نان را در نتیجه تیمار آنزیمی TG مشخص کردند؛ اما این محققین بهبود سایر ویژگی‌های حسی محصول به‌ویژه آروما را نیز بر خلاف نتایج تحقیق حاضر گزارش کردند.

Table 7. Main effects of transglutaminase (TG) enzyme on sensory properties

TG (%)	Taste	Aroma	Color	Texture
0	7.99 ^a	7.25 ^a	7.88 ^a	7.82 ^b
0.15	7.93 ^a	7.23 ^a	7.98 ^a	7.99 ^a
0.30	8.00 ^a	7.14 ^a	7.97 ^a	7.83 ^b

Means followed by different letters within a column are significantly different at $P < 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

مطابق جدول ۷، با افزودن ۰/۱۵ درصد آنزیم، کیفیت بافت نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت، اما با افزایش سطح آنزیم به ۰/۳ درصد، امتیاز بافت کاهش یافت و بافت نمونه سفت‌تر گردید. علت این پدیده را می‌توان به ایجاد اتصالات عرضی شدیدتر و قوی‌تر بین پروتئین‌ها نسبت داد [۲۳]. همچنین، روند تغییرات نتایج حاصل از بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی کیک غنی‌شده با پودر پروتئین ماهی و آنزیم ترانس گلوتامیناز توسط باباخانی و همکاران [۲۱] با روند نتایج این تحقیق مطابقت داشت. آنان بیان کردند که با افزایش آنزیم ترانس گلوتامیناز در سطح ۰/۵ درصد، پذیرش کلی افزایش یافت؛ اما افزایش بیشتر از این مقدار باعث کاهش امتیاز حسی در تیمارها شد.

نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که با گذشت زمان نگهداری تمامی امتیازهای حسی نمونه‌های نان کاهش یافت. مقادیر اولیه میانگین امتیاز رنگ، رایحه، طعم و بافت ۸/۳۵، ۷/۴۳، ۸/۵۰ و ۸/۲۶ نمونه‌ها در روز اول ثبت شد که پس از ۳ روز نگهداری به ۷/۵۴، ۶/۹۸، ۷/۴۵ و ۷/۴۷ کاهش یافت. کاهش خواص حسی در نان و سایر مواد غذایی طی مدت نگهداری توسط سایر محققین نیز گزارش شده است [۶، ۱۶، ۵۰].

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش به منظور بررسی اثر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (TG) به همراه پودر آب پنیر دمنرال (DWP) بر برخی خواص کیفی نان تافتون (رنگ و حسی) انجام پذیرفت. علت استفاده همزمان این دو ماده در تولید نان تافتون، بهبود بافت محصول توسط TG و افزایش کیفیت رنگ و آرومای محصول در نتیجه افزودن DWP بود.

۳-۲-۳ تاثیر زمان نگهداری

گزارش کردند که افزایش پودر آب‌پنیر باعث بهبود عطر، بافت و رنگ نمونه‌های نان شد. در مقابل، افزایش آنزیم ترانس‌گلوتامیناز تا سطح ۰/۱۵ درصد تنها باعث افزایش امتیاز بافت نمونه‌ها گردید و بر سایر خواص حسی تأثیری نداشت. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان عنوان نمود که با استفاده از DWP به میزان ۴ یا ۸ درصد و آنزیم TG به میزان ۰/۱۵ درصد می‌توان نان تافتون با کیفیت تغذیه‌ای و خواص حسی مطلوب تولید نمود.

۵- 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.

۶- منابع

- [1] O'Connor, A. (2012). An overview of the role of bread in the UK diet. *Nutrition Bulletin*, 37(3), 193-212.
- [2] Svanes, E., Oestergaard, S., and Hanssen, O.J. (2018). Effects of packaging and food waste prevention by consumers on the environmental impact of production and consumption of bread in Norway. *Sustainability*, 11(1), 43-59.
- [3] Ribet, L., Kassis, A., Jacquier, E., Monnet, C., Durand-Dubief, M., and Bosco, N. (2024). The nutritional contribution and relationship with health of bread consumption: A narrative review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-28.
- [4] 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.
- [5] Ter-Sarkissian, N., Zar, M., Ghavifekr, H., Fergusson, T., and Hedayat, H. (1974). High phytic acid in Iranian breads. *Journal of the American Dietetic Association*, 65(6), 651-653.
- [6] Nasehi, B., Jooyandeh, H., and Nasehi, R. (2011). Quality Attributes of Soy-pasta During Storage Period. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(4), 307-312.
- [7] Jooyandeh, H., Minhas, K.S., and 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.
- [8] Jooyandeh, H., and Minhas, K.S. (2009). Effect of Addition of Fermented Whey Protein Concentrate on Cheese Yield and Fat and Protein Recoveries of Feta Cheese. *Journal of Food Science and Technology*, 46(3), 221-224.
- [9] Soares, J. P., et al. (2018). Efeito da adição de proteína do soro do leite como substituto do trigo na formulação de bolos sem adição de açúcar. *Brazilian Journal of Food Technology*, 21, e2016190.
- [10] Paul, S., Kulkarni, S., Chauhan, R. (2022). Utilization of whey in bakery products—A review. *Indian Journal of Dairy Science*, 75, 297-305.
- [11] Zhao, C., Lu, J., and Ameer, K. (2021). Effects of tofu whey powder on the quality attributes, isoflavones composition and antioxidant activity of wheat flour pan bread. *LWT - Food Science and Technology*, 143, 111166.
- [12] Alimoradi, F., Hojati, E., Jooyandeh, H., Zehni-Moghadam, S.A.H. and Moludi, J. (2016). Whey proteins: Health benefits and food applications. *Journal of International Research in Medical and Pharmaceutical Sciences*, 9(2), 63-73.

- [13] Nooshkam, M., Babazadeh A., and Jooyandeh, H. (2018). Lactulose: Properties, technofunctional food applications, and food grade delivery system. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 23-34.
- [14] Jooyandeh, H., Aberumand A. and Nasehi B. (2011). Application of Lactoperoxidase System in Fish and Food Products: A Review. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 10(1), 89-96.
- [15] Jooyandeh, H., Kaur A. and Minhas K.S. (2009). Lipases in Dairy Industry. *Journal of Food Science and Technology*, 46(3), 181-189.
- [16] 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.
- [17] Yokoyama, K., Nio, N., and Kikuchi, Y. (2004). Properties and applications of microbial transglutaminase. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 64(4), 447-454.
- [18] 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.
- [19] Moradi, M., Bolandi, M., Karimi, M., Nahidi, F., and Baghaei, H. (2021). Effect of microbial transglutaminase, guar gum, sodium caseinate additive on gluten-free Taftoon (Based on Potato Powder Variety Agria). *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 18(116), 347-356. (In Persian)
- [20] Abbaszadeh, M. (2017). Investigation of the effects of ascorbic acid and transglutaminase enzyme on rheological properties of dough and quality attributes of obtained Barbari bread. Master's thesis, Islamic Azad University, Safadasht Branch. (In Persian)
- [21] 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 (Iran)*, 16(95), 179-196. (In Persian)
- [22] Ruzegar, M.H., Shahedi, M., and Hamdami, N. (2015). Production and rheological and sensory evaluation of Taftoon bread containing flaxseed. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 12(48), 231-244. (In Persian)
- [23] Asgharipour, S., Noshad, M., Nasehi, B., Jooyandeh, H., and Beiraghi-Toosi, Sh. (2018). Optimization of physicochemical and functional properties of corn-based snacks containing date kernel flour. *Journal of Food processing and preservation*, 42(3), e13821, 1-8
- [24] Kadivar, M. (2008). *Troubleshooting guide for bakery products* (Translation). Isfahan University of Technology Press. (In Persian)
- [25] Zannoni, B., Peri, C., and Bruno, D. (1995). Modelling of browning kinetics of bread crust during baking. *LWT - Food Science and Technology*, 28(6), 604-609.
- [26] Azarbad, H.R. (2018). Application of transglutaminase enzyme and milk protein concentrate in gluten-free bread premix formulation (for celiac patients) and determination of its chemical, sensory and mechanical texture. Master's thesis, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian)
- [27] Krupa-Kozak, U., Bączek, N., and Rosell, C.M. (2013). Application of dairy proteins as technological and nutritional improvers of calcium-supplemented gluten-free bread. *Nutrients*, 5(11), 4503-4520.
- [28] Sahraiyani, B., Habibi Najafi, M.B., Karimi, M., and Haddad Khodaparast, M.H. (2013). Investigating the effect of whey powder on the quantitative and qualitative properties of gluten-free sorghum bread. In *21st National Congress of Food Science and Technology*, 29 October 2013, Shiraz University. (In Persian)
- [29] Zhou, J., Liu, J., and Tang, X. (2018). Effects of whey and soy protein addition on bread rheological property of wheat flour. *Journal of Texture Studies*, 49(1), 38-46.
- [30] Mohtarami, F., Esmaili, M., Alizadeh, M., and Ardabili, S. S. (2015). Improvement of the rheological properties of dough using transglutaminase and asparaginase enzymes, whey powder and inulin. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 11(4), 445-457. (In Persian)
- [31] 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 and Biotechnology*, 19(4), 951-956.
- [32] Aalami, M., and Leelavathi, K. (2018). Effect of microbial transglutaminase on spaghetti quality. *Journal of Food Science*, 12(5), 213-216.
- [33] Gerrard, J.A., Fayle, S.E., Wilson, A.J., Newberry, M.P., Ross, M., and Kavale, S. (1998). Dough properties and crumb strength of white pan bread as affected by microbial transglutaminase. *Journal of Food Science*, 62(2), 413-415.

- [34] Pourmohammadi, K., Aalami, M., Shahedi, M., and Sadeghi Mahoonak, A. (2011). Effect of microbial transglutaminase on dough rheological properties of wheat flour supplemented with hull-less barley flour. *Journal of Food Science and Technology*, 21(3), 269–279.
- [35] Fazeli, A., Mazaheri Tehrani, M., Karimi, M., Sadeghian, A., and Koochaki, A. (2019). The effect of xanthan, guar and transglutaminase on the physicochemical and textural properties of gluten-free doughnut. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, 8(1), 1–14. (In Persian)
- [36] Nosrati, G., Jooyandeh, H., Hojjati, M., and Noshad, M. (2023). Impact of ultrafiltrated whey powder and lactulose on survival of *Bifidobacterium bifidum* and color and sensory characteristics of ultrafiltrated synbiotic cheese. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 20(141), 238–249. (In Persian)
- [37] Haratian, P., Seyedin, A. S., and Ghazizadeh, M. (2006). An investigation of the effect of whey powder on the quality of hamburger bread. *Journal of Food Science and Technology*, 3(8), 75–82.
- [38] Jamalian, J., and Rahimi, A. (2003). Effect of whey powder on rheological properties of dough and staling of Sangak bread. *JWSS - Isfahan University of Technology*, 7(1), 179–190.
- [39] Morad Khani, F., Salehi Far, M., and Hashemi, M. (2017). Survey on the effect of Sodium Stearoyl 2-Lactilat emulsifier and whey protein concentrate for improving quality of dough and frozen dough structure. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 13(59), 11–23. (In Persian)
- [40] Jooyandeh, H., and Minhas, K.S. (2021). Utilization of fermented whey protein concentrate and whey permeate in beard loaf making. *Journal of Food and Bioprocess Engineering*, 4(2), 186–192.
- [41] Jooyandeh, H., and Mortazavi, A. (2019). Impact of addition of milk powder and microbial transglutaminase (TG) on the sensory and textural properties of set yoghurt. *Electronic Journal of Food Processing and Preservation*, 10(2), 121–136.
- [42] Trespalacios, P., and Pla, R. (2007). Simultaneous application of transglutaminase and high pressure to improve functional properties of chicken meat gels. *Food Chemistry*, 100, 264–272.
- [43] Jongjareonrak, A., Benjakul, S., Visessanguan, W., and Tanaka, M. 2006. Skin gelatin from bigeye snapper and brown stripe red snapper: Chemical compositions and effect of microbial transglutaminase on gel properties. *Food Hydrocolloids*, 20, 1216–1222.
- [44] 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.
- [45] Kouravand, F., Jooyandeh, H., Barzegar, H., and Hojjati M. (2020). Mechanical, barrier and structural properties of whey protein isolate-based films treated by microbial transglutaminase. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 9(5), 960–964.
- [46] Danesh, E., Goudarzi, M., and Jooyandeh, H. (2017). Effect of whey protein addition and transglutaminase treatment on the physical and sensory properties of reduced-fat ice cream. *Journal of Dairy Science*, 100, 5206–5211.
- [47] Torabi, F., Jooyandeh, H., and Noshad, M. (2021). Evaluation of physicochemical, rheological, microstructural, and microbial characteristics of synbiotic ultrafiltrated white cheese treated with transglutaminase. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45, e15572, 1–11.
- [48] 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 Ultrafiltrated Iranian White Cheese. *Food Science & Nutrition*, 12(11), 9810–9821.
- [49] Beirami F., Hojjati M. and Jooyandeh H. (2021). The effect of microbial transglutaminase enzyme and Persian gum on the characteristics of traditional kefir drink. *International Dairy Journal*, 112, 1–13 (104843).
- [50] Jooyandeh, H., Mortazavi, S.A., Farhang, P., and Samavati, V. (2015). Physicochemical Properties of Set-Style Yoghurt as Effect by Microbial Transglutaminase and Milk Solids Contents. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 4(11S), 59–67.
- [51] Collar, C., Bollaín, C., and Angioloni, A. (2005). Significance of microbial transglutaminase on the sensory, mechanical and crumb grain pattern of enzyme supplemented fresh pan breads. *Journal of Food Engineering*, 70(4), 479–488.



Scientific Research

The investigation of color characteristics and sensory properties of Tafton bread containing demineralized whey powder and transglutaminase enzyme

Sara Saniee¹, Hossein Jooyandeh^{2*}, Mohammad Hojjati², Behrooz Alizadeh Behbehani³

1- MSc, 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 Accepted:2025/11/17 Keywords: Flat bread, DWP, TG, Lightness, Taste, Texture. DOI: 10.48311/fsct.2026.117075.82895 *Corresponding Author E- hosjooy@asnrukh.ac.ir	Bread, as a staple food, has an important role in the household consumption basket. In recent years, due to increase in the food cost, bread consumption has increased significantly. Limited resources and the inability to provide sufficient food have led to the nutritional needs of people, especially low-income groups, being met using the simplest methods. One of these methods is the production of breads enriched with compounds such as proteins, salts and vitamins or substances containing them such as whey. However, the use of whey powder, even its demineralized (DWP) form, may lead to a decrease in quality and destruction of the bread texture. Therefore, in this study, transglutaminase (TG) was used to increase protein networks in order to improve the quality of bread. The effect of adding DWP at levels of 0, 4 and 8% and TG at levels of 0, 0.15 and 0.3% on color and sensory characteristics of Tafton bread was investigated. The results showed that with increasing the percentage of DWP and passing the storage time, the brightness (L*) decreased and the redness (a*) and yellowness (b*) increased (P<0.001). Also, with increasing the TG, the brightness (L*) and yellowness (b*) increased and the intensity of redness (a*) decreased (P<0.001). Based on the results of sensory characteristics, from the panelists' perspective, increasing DWP to 4% improved aroma, texture, and color, and increasing TG enzyme to 0.15% improved the texture of bread samples, and therefore this sample was identified as the best formulation for producing Tafton bread.