مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

تأثیر پودر میکروگرین برنج و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی بر ویژگی‌های بافتی و حسی کیک اسفنجی در طی دورهٔ نگهداری

حسین جوینده[۱*]، بهروز علیزاده بهبهانی[۲]، سارا صنیعی[۳]

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

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

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

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۲

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۱۰/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۶

کلمات کلیدی:

فراسودمند،

میکروگرین،

سفتی،

پیوستگی،

طعم

DOI: 10.48311/fsct.2026.118304.82988

* مسئول مکاتبات:

hosjooy@asnrukh.ac.ir

چکیده

کیک‌ها از محصولات پرمصرف فرآورده‌های پخت به شمار می‌روند. مصرف مواد غذایی فراسودمند مانند کیک غنی‌شده می‌تواند نقش مثبتی در سلامت جامعه ایفا کند. در این مطالعه تأثیر افزودن پودر میکروگرین برنج (RMP) در چهار سطح ۰، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد (جایگزینی با آرد، وزنی/وزنی) و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز (TG) میکروبی در دو سطح ۰، ۰/۱۵ درصد بر ویژگی‌های بافتی و خواص حسی کیک اسفنجی بررسی شد. نتایج نشان داد که افزودن RMP باعث کاهش سفتی، حالت فنریت، صمغی و قابلیت جویدن و افزایش پیوستگی نمونه‌های غنی شدهٔ کیک شد (P<۰/۰۰۱). افزودن TG نیز سبب کاهش معنی‌دار سفتی و افزایش چشمگیر (p<۰/۰۱) پیوستگی، حالت صمغی و مقاومت به جویدن نمونه‌ها شد. زمان نگهداری نیز باعث افزایش سفتی، صمغی و قابلیت جویدن و کاهش پیوستگی و حالت فنریت نمونه‌ها شد (P<۰/۰۰۱). چسبندگی نمونه‌ها نیز تحت تأثیر RMP و آنزیم TG قرار نگرفت اما زمان نگهداری سبب افزایش آن شد (p<۰/۰۵). بررسی خواص حسی نمونه‌ها نیز نشان داد که هرچند تیمار آنزیمی TG تأثیر معنی‌داری بر این ویژگی‌ها نداشت (p>۰/۰۵) اما افزودن RMP سبب بهبود رنگ، رایحه و بافت و کاهش معنی‌دار (P<۰/۰۰۱) امتیاز طعم نمونه‌های کیک اسفنجی گردید. با گذشت زمان نگهداری نیز تمامی خواص حسی کاهش یافت (P<۰/۰۰۱). با توجه به کیفیت بافت و خواص حسی قابل قبول (امتیاز بالاتر از ۷ یا خوب) نمونه‌های غنی شده با RMP، استفاده از آن در سطوح ۵ تا ۷/۵ درصد برای غنی‌سازی کیک اسفنجی همراه با تیمار آنزیمی TG پیشنهاد می‌گردد.

۱-مقدمه

کیک‌ها به دلیل بافت و طعم عالی، یکی از محبوب‌ترین محصولات پخت هستند و مصرف آن‌ها مورد توجه همه گروه‌های سنی می‌باشد. یکی از انواع مهم کیک، کیک اسفنجی است که طبق تعریف حداقل ۲۰ درصد مواد تشکیل دهندهٔ آن را تخم‌مرغ تشکیل می‌دهد [۱]. از اجزای اصلی تشکیل دهنده کیک می‌توان آرد، روغن، شکر و تخم‌مرغ را نام برد که هرکدام نقش کاربردی و مهمی را در ویژگی‌های ساختاری و کیفی محصول دارند. خمیر کیک مجموعه‌ای از امولسیون روغن در آب، کف (امولسیون حباب‌های هوا در فاز آبی) و یک سیستم کلوئیدی پیچیده است. درواقع خمیر کیک یک امولسیون روغن در آب (o/w) می‌باشد که ذرات چربی به صورت نا منظم در فاز آبی که دارای ذرات شکر حل شده و تخم‌مرغ می‌باشد، قرار گرفته‌اند [۲ و ۳].

امروزه استفاده از مواد افزودنی عملگرا در فرمولاسیون محصولات پخت همانند کیک اسفنجی به منظور دستیابی به فواید سلامت‌بخش مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. در هر حال، در تولید این محصولات علاوه بر حفظ بافت، محصول می‌باید از خواص حسی مطلوبی برخوردار باشد. فرآورده‌های غذایی سالم، نیاز غذایی روزانهٔ ما را فراهم می‌سازند؛ درحالی که مواد غذایی عملگرا، سرشار از ترکیبات فراسودمند هستند و قادرند فراتر از نیازهای تغذیه‌ای معمول ما را برآورده سازند. در مقابل این محصولات، درحال حاضر، انواع مختلفی از مواد غذایی با خواص حسی (عطر، طعم، رنگ و ...) گوناگون و جذاب، برای برآورده شدن ذائقه‌های مختلف مردم تولید و به بازار عرضه می‌شود که می‌تواند سلامت مصرف‌کننده را به خطر بیاندازد. از مهم‌ترین این غذاها می‌توان به انواع غذاهای فست‌فود اشاره کرد که امروزه مصرف مکرر آن مشکلات عدیده‌ای برای سلامت عموم جامعه ایجاد کرده است. جالب آن است که در سال‌های اخیر، مصرف هر دو گروه از مواد غذایی مذکور به‌سرعت در حال افزایش است و مسلماً دانش فرد در مورد «نقش و اهمیت مواد غذایی بر سلامت انسان» می‌تواند در این زمینه تعیین‌کننده باشد [٤]. غذاهای عملگرا بخشی از رژیم غذایی روزانه هستند که علاوه‌بر خواص تغذیه‌ای پایه، دارای اثراتی فراتر از ارزش تغذیه‌ای بر سلامت جامعه هستند [۵]. امروزه محصولات میکروگرین به عنوان منابعی سرشار از مواد غذایی شناخته می‌شوند و در تهیه انواع سالادها و فست‌فودها مورد استفاده قرار می‌گیرند. به همین دلیل از میکروگرین‌ها نیز تحت عنوان "غذاهای کارکردی (Functional foods)" و یا "سوپر غذا" نام می‌برند [٦]. برنج با نام علمی *Oryza sativa* از تیرهٔ Gramineae گیاهی است یکساله که پس از گندم، برنج به‌عنوان مهم‌ترین محصول زراعی جهان به شمار می‌رود [۷]. از لحاظ تولید، برنج رتبه دوم را در محصولات غله‌ای دارد. بیش‌تر جمعیت جهان به‌ویژه در آسیای جنوب غربی، هند و چین، به برنج بعنوان غذای اصلی وابسته‌اند [٤]. هر چند تا کنون برای تولید محصولات پخت عملگرا استفاده از مواد افزودنی مختلف با خواص عملکردی مانند لاکتولوز [۸ و ۹]، پودر هستهٔ خرما [۱۰]، و پودر هستهٔ انار [۱۱] پیشنهاد شده است، اما استفاده از میکروگرین‌ها به‌ویژه کاربرد میکروگرین برنج در تولید انواع کیک کمتر مورد توجه قرار گرفت است.

آنزیم‌ها به طور گسترده در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند زیرا عملکردهای متنوعی را انجام می‌دهند که فرآوری را تسهیل کرده و کیفیت محصول را بهبود می‌بخشند. آنها عموماً به عنوان ایمن (GRAS) در نظر گرفته می‌شوند و معمولاً در طول فرآوری حرارتی مانند پخت، فعالیت خود را از دست می‌دهند. تیمارهای آنزیمی جایگزین بهتری برای افزودنی‌های شیمیایی برای دستیابی به خواص عملکردی و حسی مطلوب ارائه می‌دهند [۱۲]. به طور خاص، آنزیم‌های میکروبی – به ویژه ترانس گلوتامیناز میکروبی (MTGase) – به دلیل توانایی خود در کاتالیز پیوند کووالانسی پروتئین‌ها، در نتیجه اصلاح عملکرد پروتئین و امکان توسعه بافت‌ها و محصولات غذایی جدید، مورد توجه قرار گرفته‌اند [۱۳–۱۵]. آنزیم ترانس گلوتامیناز (TG) (پروتئین گلوتامین γ–گلوتامیل ترانسفراز، EC 2.3.2.13) به

عنوان کاتالیز کننده واکنش انتقال بین یک گروه آمید در یک گلوتامین متصل به پروتئین و یک گروه ε-آمینو در یک زنجیره جانبی لیزین متصل به پروتئین شناخته شده است که منجر به ایجاد پیوند عرضی بین مولکول‌های پروتئین می‌شود. این آنزیم ترانسفراز به‌طور گسترده برای تغییر ویژگی‌های عملکردی پروتئین‌ها در غذاهای مختلف استفاده می‌شود. گزارش شده است که تیمار آنزیمی با ترانس-گلوتامیناز میکروبی، با حفظ آب در ماتریکس پروتئینی مواد غذایی، منجر به بهبود خواص بافتی محصول می‌گردد [۱۶ و ۱۷].

هرچند تحقیقات مختلفی در زمینه استفاده از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، بر نان و سایر محصولات پخت انجام شده است، اما تاکنون تحقیقی در مورد بررسی تأثیر این آنزیم در کیک اسفنجی حاوی پودر میکروگرین برنج انجام نشده است. بنابراین، تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر افزودن پودر میکروگرین برنج (RMP) و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز (TG) بر ویژگی‌های بافتی و حسی کیک اسفنجی عملگرا انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد مصرفی

آرد نول گندم مخصوص کیک با درصد استخراج ۷۳ درصد (کارخانه آرد ستاره کمیجان اراک)، روغن نباتی (شرکت صنعتی بهشهر، ایران) ، شکر آسیاب شده، تخم مرغ تلاونگ ، بیکینگ پودر (شرکت گل‌وش، اصفهان) با مواد تشکیل دهندهٔ اسید سدیم پیروفسفات، مونوکلسیم فسفات مونوهیدرات، بی‌کربنات سدیم، نشاستهٔ گندم، وانیل با مقاومت حراراتی بالای ۲۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد (شرکت به‌تام پودر، کرج) و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی (TG)[1] تهیه شده از میکروب *Streptoverticillium morbaeaense*، با مارک تجاری ACTIVA YG (شرکت Ajinomato، فرانسه) استفاده شد. میزان فعالیت هر گرم پودر این آنزیم، ۱۰۰ واحد به‌ازای هر گرم پروتئین مشخص گردیده بود. پودر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز مورد استفاده شامل ترکیبات لاکتوز، عصاره مخمر، مالتودکسترین، روغن گیاهی و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بود.

۲-۲- روش‌های تهیه پودر میکروگرین برنج و کیک

۲-۲-۱- روش تهیه پودر میکروگرین برنج

برای تهیهٔ میکروگرین برنج، نشاهای برنج با طول ۵/۵±۲ سانتی‌متر به‌خوبی شستشو و پس از آب‌کشی در دمای ۴۸ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت حدود ۴۸ ساعت در آون (تا رسیدن به وزنی ثابت) خشک گردید. پس از آسیاب کردن، پودر حاصله از الک با مش ۶۰ (۲۵۰ µm) عبور داده شد و پودر میکروگرین برنج در فرمولاسیون کیک به میزان ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد (وزنی/وزنی) جایگزین آرد مصرفی گردید.

۲-۲-۲- روش تهیه کیک

نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی پودر میکروگرین برنج مطابق روش جهانبخشی و انصاری [۱۸] با کمی تغییرات تولید شدند. ابتدا مواد پودری شکل شامل: آرد نول ۱۰۰ گرم، شکر ۷۲ گرم، بیکینگ پودر۱/۳۴ گرم و وانیل ۰/۴ گرم با یکدیگر مخلوط شدند. سپس ۷۲ گرم مخلوط زرده و سفیده تخم‌مرغ به‌همراه ۵۷ گرم روغن مایع ذرت و ۳۵ گرم آب به آن اضافه و به‌خوبی مخلوط گردید. پودر میکروگرین برنج (RMP) در فرمولاسیون کیک به میزان ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد (وزنی/وزنی) جایگزین آرد مصرفی گردید. همچنین آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی (TG) با سطوح صفر و ۰/۱۵ درصد همراه با بقیه مواد پودری به مخلوط اضافه شد. نمونه فاقد پودر میکروگرین برنج و

1 -Microbial transglutaminase

آنزیم TG به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد. خمیر تهیه شده (نمونه‌های ۳۵ گرمی) درون قالب آلومنیومی با قطر ۳ سانتیمتر و حاوی کاغذ روغنی چرب شده منتقل شد و سپس قالب‌ها برای پخت به مدت ۱۷ دقیقه درون فر با دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت. پس از پخت، کیک‌ها از فر خارج شدند و به مدت ۳۰ دقیقه اجازه داده شد که کاملاً سرد شوند. سپس نمونه‌های کیک در بسته‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و در دمای اتاق (۲۳±۲ °C) تا انجام آزمون‌های بعدی نگهداری شدند.

۳-۲- اندازه‌گیری ویژگی‌های بافتی کیک

پروفایل بافت نمونه‌های کیک توسط دستگاه بافت سنج مدل TA-XT-PLUS (ساخت انگلستان، Micro stable system)، مطابق روش سعیدی و همکاران [۱۹] با کمی تغییرات اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های بافتی نمونه‌های کیک پس از گذشت ۱ و ۷ روز از تولید انجام شد. آنالیز بافت شامل چندین فاکتور متفاوت مانند سفتی، پیوستگی، چسبندگی، حالت فنری و حالت صمغی بود. برای این کار ابتدا از مغز کیک (بخش یک سانتی‌متر پایینی سطح کیک)، قطعه‌ای استوانه‌ای با ابعاد ۲×۲ سانتی‌متر (قطر×ارتفاع) به کمک قالب برش زده شد و ویژگی‌های پروفایل بافت با استفاده از پروپ استوانه‌ای به قطر ۳۶ میلی‌متر با میزان فشردگی ۵۰ درصد تعیین شد (شکل ۱). سرعت آزمون ۱ میلی‌متر بر ثانیه و سرعت پس از آزمون ۵ میلی‌متر بر ثانیه تنظیم شد. میزان حد آستانه[۲] یا حساسیت نیروی تماس پروب با نمونه ۳ گرم در نظر گرفته شد. هر آزمون حداقل در ۳ تکرار انجام پذیرفت و میانگین نتایج ثبت گردید.

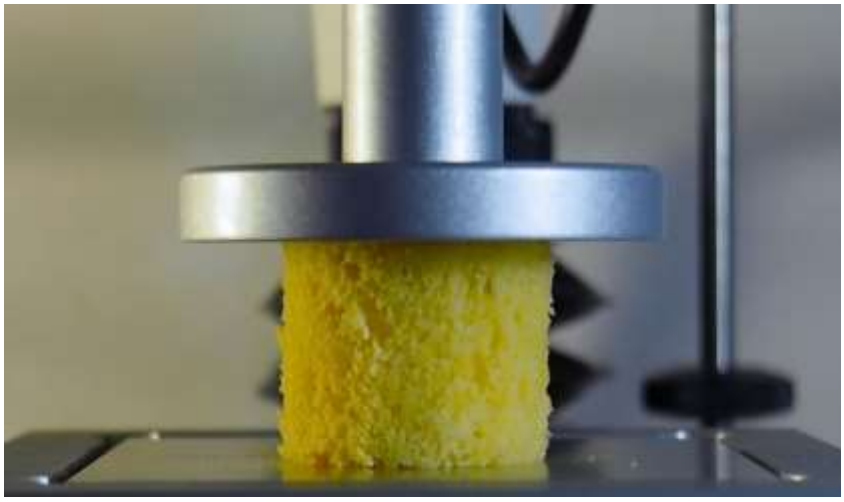

Figure 1. Texture profile analysis (TPA) of sponge cakes using TA-XT-PLUS device.

۴-۲- ارزیابی حسی

خصوصیات حسی کیک پس از ۱ و ۷ روز نگهداری در دمای ۲۳±۲ °C و درکیسه‌های پلی‌اتیلن، توسط ۲۰ نفر ارزیاب (دانشجویان و اساتید گروه علوم و صنایع غذایی، با محدوده سنی ۱۹-۵۳ سال) مورد ارزیابی قرار گرفت. امتیازدهی بر مبنای آزمون هدونیک یا ترجیحی و مقیاس ۱- ۹ (۱- غیرقابل قبول، ۲- خیلی بد، ۳- بد، ٤- کمی بد، ۵- متوسط، ٦- خوب، ۷- خیلی خوب، ۸-عالی و ۹- خیلی

2-Trigger force

عالی) انجام شد. ویژگی‌های حسی کیک شامل رنگ، بو، ظاهر، طعم و بافت بررسی شد [۲۰].

۵-۲- تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این تحقیق با توجه به دو متغیر پودر میکروگرین برنج در چهار سطح (۰، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد) و تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز در دو سطح (۰ و ۰/۱۵٪)، تعداد ۸ تیمار کیک تولید گردید. داده‌ها از طریق آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی توسط برنامه SPSS ویرایش ۲۳ آنالیز و میانگین داده‌ها با کمک آزمون دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه شد. تمامی تیمارها در ۳ تکرار تولید شدند و خواص بافت و ویژگی‌های حسی نمونه‌های کیک پس از تولید ارزیابی شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر افزودن پودر میکروگرین برنج و تیمار آنزیمی TG بر بافت کیک

میزان سفتی یکی از فاکتورهای مهم و تأثیرگذار در بافت کیک است و این عامل در پذیرش و جلب رضایت مصرف‌کننده بسیار مؤثر است. سفتی به عنوان حداکثر نیروی لازم در اولین فشرده‌سازی (گاز گرفتن، جویدن و بلعیدن) محصولات غذایی در نظر گرفته می‌شود [۲۱]. نتایج نشان داد تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز (TG) و افزودن پودر میکروگرین برنج (RMP) به‌طور معنی‌داری ($p<۰/۰۰۱$) سبب کاهش سفتی نمونه‌های کیک گردید (جدول ۱). در مقابل، زمان نگهداری سبب افزایش قابل توجه سفتی شد ($p<۰/۰۰۱$). همانند سایر تحقیقات انجام شده در زمینه محصولات پخت [۲۲ و ۲۳]، نتایج این تحقیق بیانگر ارتباط معکوس میان حجم مخصوص و سفتی کیک بود؛ به‌طوری که نمونه‌های کیک دارای حجم ویژه کمتر از سفتی بالاتری برخوردار بودند. با افزایش مقدار RMP از صفر درصد به ۷/۵ درصد، مقدار سفتی از ۴۲۰/۶۵ به ۳۰۰/۲۵ گرم نیرو کاهش یافت (شکل ۲). تأثیر RMP بر بافت کیک را می‌توان با حلالیت و قابلیت جذب آب پایین آن در مقایسه با آرد گندم توضیح داد. RMP همانند سایر فیبرهای رژیمی، به دلیل دارا بودن مقادیر بالاتر لیگنین در مقایسه با سبوس غلات، از جذب آب پایینی برخوردار است که درنتیجه، محتوای آب در دسترس برای حل کردن قند در محیط را افزایش می دهد [۲۴]. بنابراین مقدار قند کمتری در طول پخت کیک متبلور می‌شود و بر بافت محصول نهایی تأثیر می‌گذارد [۲۵]. همچنین، به‌دلیل قابلیت جذب آب پایین RMP، مقدار آب بیشتری توسط آرد گندم جذب می‌شود و بدین‌ترتیب شبکه پروتئینی گلوتن خمیر بهبود می‌یابد. به‌علاوه، در مراحل انتهایی پخت، به‌دلیل قابلیت جذب آب پایین RMP، آب غیرمتصل کیک راحت‌تر تبخیر شده و منافذ بزرگتری را برجای می‌گذارد و تعداد منافذ را نیز افزایش می‌دهد. بنابراین حجم مخصوص کیک افزایش و سفتی آن کاهش می‌یابد. افزایش سفتی با کاهش تعداد و اندازه حباب‌های هوا مرتبط است؛ چراکه نیروی مورد نیاز برای فشرده‌سازی را افزایش می‌دهد [۲۶]. همان‌گونه که اشاره شد، افزایش مقدار جذب آب گلوتن به دلیل مقادیر بیشتر پودر میکروگرین برنج و فیبر منجر به افزایش تشکیل شبکه گلوتن می‌گردد که این امر سبب افزایش قابلیت محصور کردن هوا در کیک می‌شود [۲۷ و ۲۸]. در تأیید نتایج این تحقیق، کاهش قابل توجه سفتی کیک اسفنجی در نتیجهٔ افزودن پودر هسته زیتون [۱۸] و پودر کدو حلوایی [۲۹] گزارش شده است. لبسی و تزیا [۲۴] بیان نمودند که به‌کارگیری فیبر در فرمولاسیون کیک اسفنجی و تأثیر آن بر کیفیت محصول بستگی به محلول یا نامحلول بودن فیبر دارد؛ به‌طوری که استفاده از فیبر محلول سبب نرمی کیک می‌شود، درحالی‌که استفاده از نوع نامحلول آن باعث افزایش سفتی محصول می‌گردد.

نتایج نشان داد که تیمار آنزیمی TG سبب کاهش معنی‌دار سفتی کیک گردید (۳۶۴/۹۵ دربرابر ۳۵۰/۸۹

گرم). دلیل این موضوع احتمالاً افزایش ظرفیت نگهداری جذب آب و توسعه شبکه گلوتنی کیک از طریق اتصالات عرضی میان پروتئین‌ها است. آلپ و بیلگیچلی [۳۰] در نتایجی مشابه، کاهش سفتی کیک غنی شده با برخی انواع پروتئین‌ها را در نتیجهٔ تیمار آنزیمی TG گزارش کردند. این محققین از مقدار ۰/۰۹ درصد آنزیم استفاده نمودند و میزان سفتی کیک در نمونه شاهد و حاوی آنزیم را در روز اول نگهداری به‌ترتیب ۵۵/۴۳ و ۵۱/۴۰ نیوتن و پس از ۳ روز نگهداری به‌ترتیب ۶۱/۸۱ و ۵۸/۵۹ نیوتن گزارش کردند. درهرحال می‌باید توجه نمود که استفاده بیش از حد این آنزیم می‌تواند به دلیل اتصالات بیش از حد درون- و برون-مولکولی میان پروتئین‌ها سبب فشرده شدن بافت و افزایش سفتی در محصول گردد. دلوزوسکا و همکاران [۳۱] نشان دادند که تیمار آنزیمی TG با ۱ واحد آنزیم (به ازای هر گرم پروتئین) سبب کاهش سفتی نان فاقد گلوتن گردید، درحالی که تیمار آنزیمی TG با ۱۰ واحد آنزیم سبب افزایش قابل توجه سفتی محصول شد. تغییر در ویژگی‌های بافت و میزان تراکم آن با توجه به مقادیر آنزیم TG علاوه بر کیک [۱۱]، در سایر محصولات غذایی مانند ماست [۱۴]، پنیر سفید سنتی [۱۷] و فرآپالوده [۳۲]، بستنی [۳۳]، و فیلم خوراکی [۳۴] نیز قبلاً گزارش شده است.

همچنین نتایج نشان داد که با گذشت زمان نگهداری، مقدار سفتی کیک افزایش معنی‌داری یافت. دلیل این تغییرات، بیاتی شبکه نشاسته-گلوتنی عنوان شده است [۱۸]. به‌دلیل خروج آب طی فرایند رتروگراداسیون و کاهش پیوندهای هیدروژنی آب-نشاسته، نقش آب به-عنوان نرم‌کننده بافت کاهش می‌یابد.

Table 1. Analysis of variance (ANOVA) of sensory characteristics of sponge cake samples containing different rice microgreen powder (RMP) and transglutaminase enzyme (TG) during 7 days of storage at 24±1 ◦C.

Treatments	df	Hardness	Cohesiveness	Adhesiveness	Springiness	Gumminess	Chewability
RMP	3	33306.2^{***}	0.017^{***}	0.20^{NS}	2.51^{***}	826.40^{***}	186861.6^{***}
TG	1	2372.3^{***}	0.02^{***}	0.12^{NS}	0.15^{NS}	393.53^{**}	42545.1^{**}
Storage	1	1066256^{***}	0.45^{***}	1.42^{*}	10.07^{***}	53552.3^{***}	1519801.1^{***}
RMP× TG	3	30.88^{NS}	0.00^{NS}	0.15^{NS}	0.01^{NS}	46.29^{NS}	3659.91^{NS}
RMP× Storage	3	16407.9^{***}	0.00^{NS}	0.17^{NS}	0.05^{NS}	971.19^{***}	87958.0^{***}
Storage×TG	1	65.05^{NS}	0.00^{**}	0.04^{NS}	0.01^{NS}	29.57^{NS}	3042.23^{NS}
RMP× TG×Storage	3	17.17^{NS}	0.00^{NS}	0.07^{NS}	0.00^{NS}	16.29^{NS}	889.60^{NS}
Error	32	97.67	0.00	0.24	0.04	45.68	5718.04

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

مطابق جدول ۱، از میان اثرات متقابل میان متغیرهای مورد آزمایش، تنها اثر پودر میکروگرین برنج – زمان نگهداری بر سفتی معنی‌دار گردید. همان‌طور که در شکل ۳–a می‌توان مشاهده نمود، مقدار سفتی تمامی نمونه‌های کیک پس از ۷ روز نگهداری افزایش قابل توجهی یافت. کمترین مقدار سفتی (۱۹۱/۰۷ گرم) مربوط به نمونه حاوی ۷/۵ درصد RMP در ابتدای زمان نگهداری و بیشترین مقدار سفتی (۶۰۷/۱۴) مربوط به نمونه شاهد پس از ۷ روز نگهداری بود.

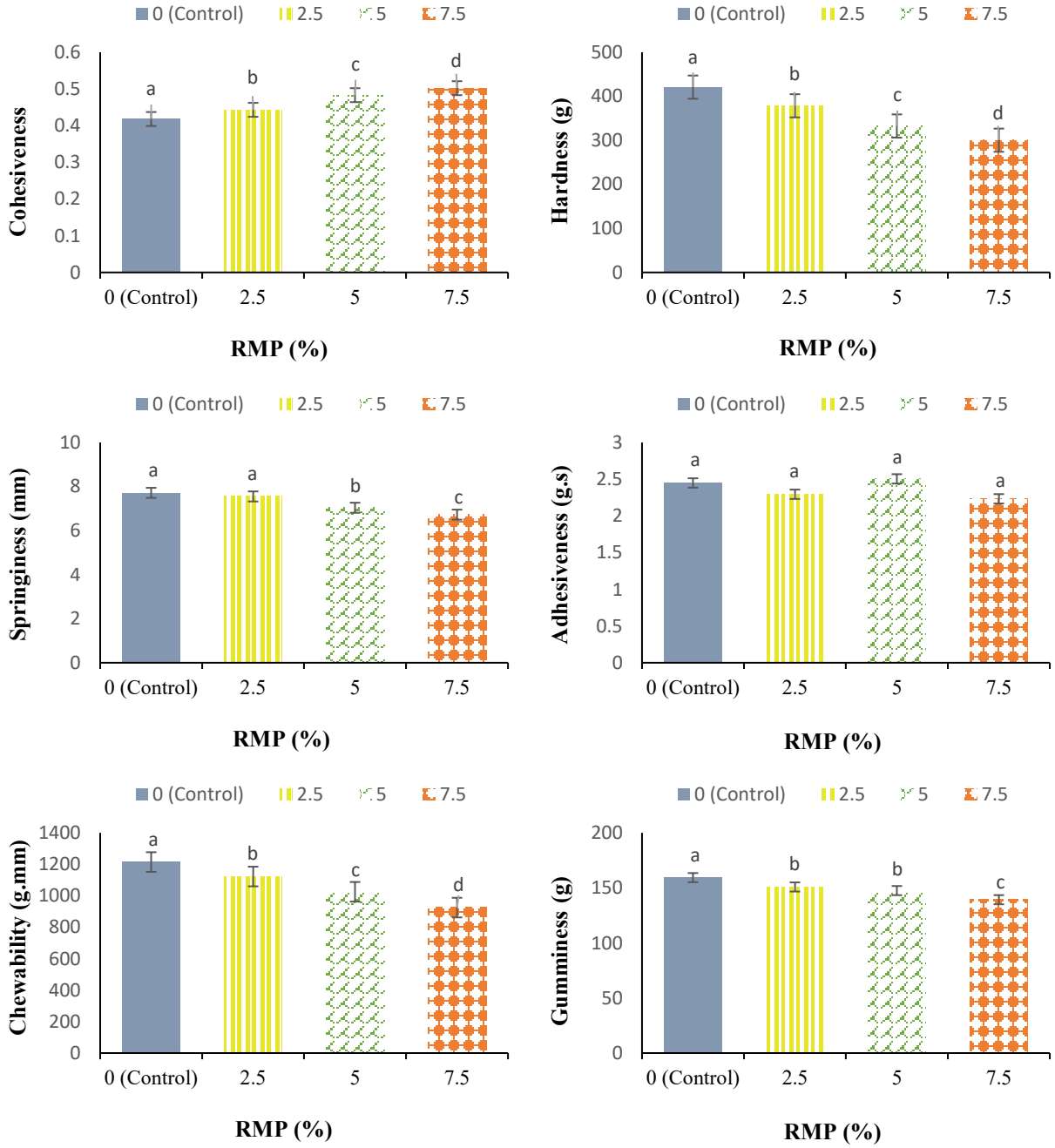

Figure 2. The effect of adding different amounts of rice microgreen powder (RMP) on the textural properties of sponge cake samples during 7 days of storage at ambient temperature.

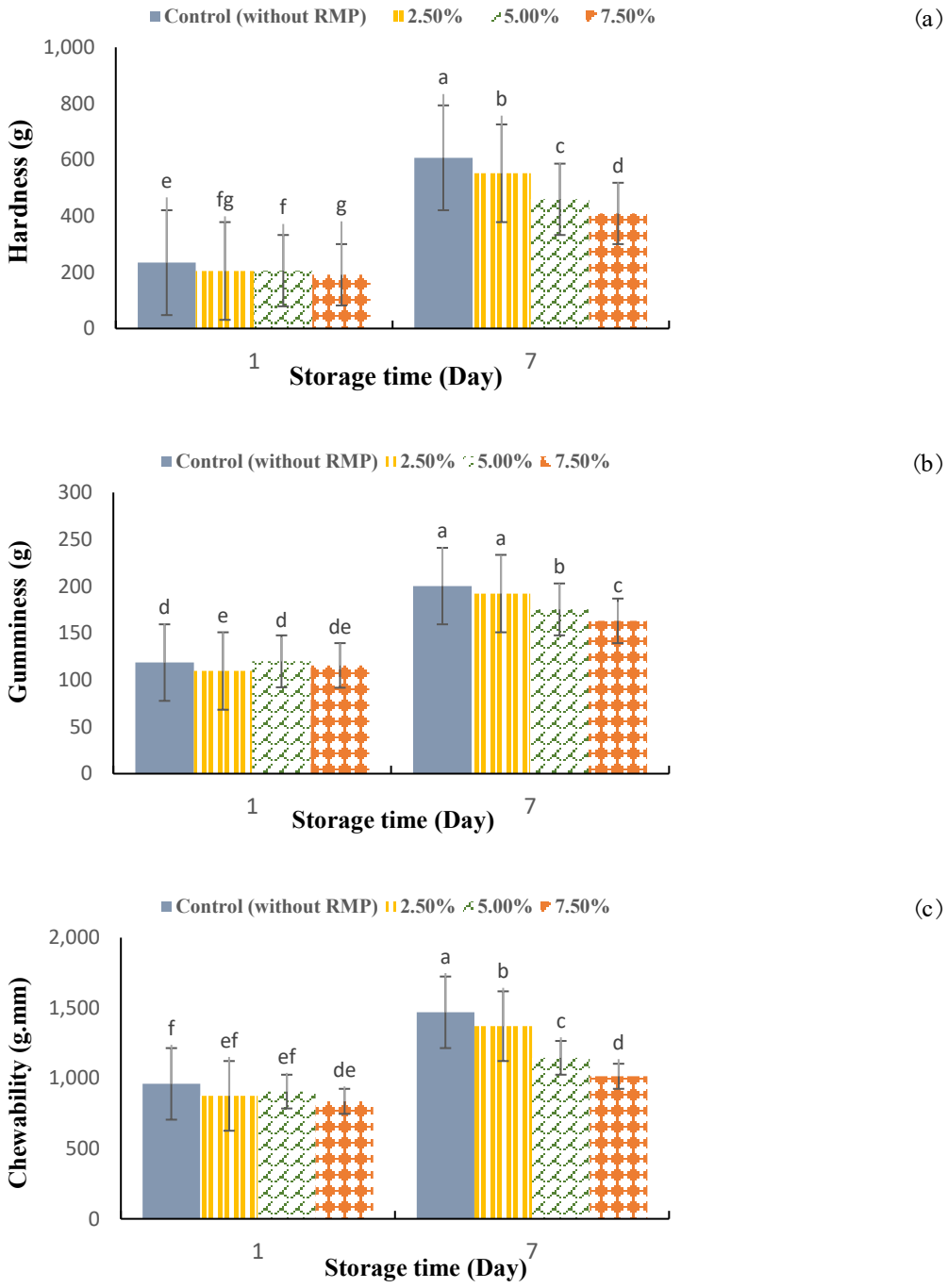

Figure 3. Interaction effect of rice microgreen powder (RMP) and storage time on the hardness (a), gumminess (b) and chewability (c) of sponge cake samples.

نیروی پیوستگی، می‌تواند به عنوان بیشترین میزان مقاومت اندازه گیری شده توسط دستگاه اندازه گیری بافت هنگام خروج پروب از داخل نمونه تعریف گردد و این نیرو نشان‌دهندهٔ میزان قدرت پیوندهای داخلی ماده غذایی است [۳۵]. براساس نتایج به‌دست آمده، علاوه بر سفتی، تیمار آنزیمی TG و افزودن RMP سبب افزایش معنی‌دار ($p<۰/۰۰۱$) پیوستگی گردید (جدول ۱). با افزایش مقدار پودر میکروگرین برنج از صفر درصد به ۷/۵ درصد، مقدار پیوستگی از ۰/٤۲ به ۰/۵۰ افزایش یافت (شکل ۲). همچنین، تیمار آنزیمی TG سبب افزایش معنی‌دار پیوستگی شد به‌طوری که نمونه‌های حاوی ۰/۱۵ درصد آنزیم از پیوستگی بالاتری (۰/٤۸ در برابر ۰/٤٤) برخوردار بودند. افزایش پیوستگی بافت در نتیجهٔ تیمار آنزیمی TG و افزودن RMP می‌تواند به بهبود خواص ویسکوالاستیک کیک و انسجام بیشتر آن مربوط باشد. جهانبخشی و انصاری [۱۸] در نتایجی مشابه، افزایش پیوستگی کیک اسفنجی را همگام با افزایش پودر هستهٔ زیتون گزارش کردند. برخلاف این نتایج، کیم و همکاران [۳٦] کاهش پیوستگی کیک را در نتیجهٔ افزودن پودر گیاه کاکتوس اپونتیا هیومیفوسا[1] گزارش کردند که دلیل آن را قابلیت کمتر جذب آب توسط پودر گیاه مذکور در مقایسه با آرد گندم عنوان کردند. همچنین نتایج نشان داد که با گذشت زمان نگهداری، مقدار پیوستگی کیک کاهش معنی‌داری ($p<۰/۰۰۱$) یافت و از ۰/٥٦ به مقدار ۰/۳٦ تنزل یافت. علت کاهش پیوستگی به برهم‌کنش‌های درون‌مولکولی و اختلال در پیوستگی شبکه گلوتنی کیک طی زمان نگهداری نسبت داده شده است [۳۷]. براساس نتایج جدول ۱، اثر آنزیم TG – زمان نگهداری معنی‌دار شد. کمترین و بیشترین مقدار پیوستگی به‌ترتیب مربوط به نمونه فاقد آنزیم TG در پایان ۷ روز نگهداری (۰/۳۵) و نمونه حاوی آنزیم در ابتدای مدت زمان نگهداری (۰/۵۸) مشاهده شد.

چسبندگی به عنوان انرژی مورد نیاز برای غلبه بر نیروی جاذبه بین مولکول‌های غذا و سطوح دیگر تعریف می‌شود [۳۸]. برخلاف سفتی و پیوستگی، تیمار آنزیمی TG و افزودن RMP تأثیری ($p>۰/۰۵$) در میزان چسبندگی نمونه‌های کیک نداشت. مقدار چسبندگی نمونه‌های کیک حاوی صفر (شاهد) تا ۷/۵ درصد پودر میکروگرین برنج مابین ۲/۵۰ تا ۲/۲۳ گرم در ثانیه تعیین شد (شکل ۲). همچنین، مقدار چسبندگی نمونه‌های کیک حاوی ۰/۱۵ درصد آنزیم و فاقد آن ۲/٤۲ و ۲/۳۲ گرم در ثانیه تعیین شد. در نتایجی مشابه، گولهان و کاراکا [۲۳] تفاوت معنی‌داری از نظر چسبندگی میان نمونه‌های کیک مافین بدون گلوتن حاوی سطوح مختلف ۱۰ تا ۳۰ درصد آرد عدس مشاهده نکردند. برخلاف اثر متغیرهای RMP و آنزیم TG، زمان نگهداری سبب افزایش قابل توجه چسبندگی شد ($p<۰/۰۵$)؛ به‌طوری که میزان چسبندگی از ۲/۲۰ گرم در ثانیه در روز اول به ۲/٥٤ گرم در ثانیه در انتهای ۷ روز نگهداری افزایش یافت. علت افزایش چسبندگی نمونه‌های کیک حین نگهداری، به آزاد شدن رطوبت در نتیجهٔ رتروگرداسیون زنجیره‌های نشاسته و انتشار و جذب آن در سطح کیک مربوط است [۳۹]. براساس نتایج جدول ۱، هیچکدام از اثرات متقابل میان ۳ متغیر مورد بررسی معنی‌دار نگردید.

فنریت یا قابلیت ارتجاعی، مقدار برگشت ماده غذایی تغییر شکل یافته به حالت اولیه پس از حذف نیرو می‌باشد. این ویژگی با توجه به فاصله یا ارتفاع بازیافت مابین پایان مرحله اول فشردگی و آغاز مرحله دوم فشردگی به‌دست می‌آید. براساس نتایج این تحقیق، افزودن پودر میکروگرین برنج و زمان نگهداری سبب کاهش قابل توجه ($p<۰/۰۰۱$) مقدار فنریت شد (جدول ۱). کاهش فنریت در نتیجهٔ افزودن RMP می‌تواند به تعداد بالاتر و اندازهٔ بیشتر حباب–

1-*Opuntia Humifusa*

های هوا در محصول مربوط باشد [٤٠]. به‌علاوه، کاهش مقدار فنریت و خاصیت الاستیک بافت کیک طی مدت نگهداری، تغییر ساختار شبکه گلوتنی و ضعیف‌تر شدن آن می‌باشد. جهانبخشی و انصاری [۱۸] در نتایجی مشابه، در بررسی تأثیر افزودن پودر هسته زیتون بر ویژگی‌های بافتی کیک اسفنجی، کاهش فنریت را هنگام جایگزینی ۱۵ و ۲۵ درصد پودر هسته زیتون با آرد گندم در تمامی دوره‌های نگهداری گزارش کردند. کیم و همکاران [۳٦] نیز کاهش فنریت کیک را در نتیجهٔ افزودن پودر گیاه کاکتوساپونتیا هیومیفوسا[۲] گزارش کردند. همچنین براساس نتایج به‌دست آمده، هرچند افزودن آنزیم TG تا حدودی مقدار این پارامتر را در نمونه‌ها افزایش داد (۷/۳۱ دربرابر ۷/۲ میلی‌متر)، اما این تغییرات معنی‌دار نگردید (p>۰/۰۵). همان‌گونه که در جدول ۱ می‌توان مشاهده نمود، در اینجا نیز هیچکدام از اثرات متقابل میان متغیرهای مورد آزمون معنی‌دار نگردید.

حالت صمغی تحت عنوان نیروی مورد نیاز برای از هم پاشیدن مواد غذایی نیمه جامد به حالت آماده برای بلع، تعریف می‌شود درحالی که قابلیت جویدن عبارتست از کار لازم جهت جویدن ماده غذایی به نحوی که ماده برای بلع آماده شود. حالت صمغی از حاصلضرب سفتی و پیوستگی به‌دست می‌آید، درحالی که قابلیت جویدن از حاصلضرب ۳ پارامتر سفتی، پیوستگی و حالت ارتجاعی به‌دست می‌آید [۲۱]. همان‌طور که در شکل ۲ می‌توان مشاهده نمود، به‌کارگیری RMP سبب کاهش قابل توجه حالت صمغی و قابلیت جویدن نمونه‌های کیک اسفنجی شد (p<۰/۰۰۱). مقدار حالت صمغی نمونه‌های کیک شاهد و حاوی ۷/۵ درصد RMP به‌ترتیب ۱۵۹/۳٤ و ۱۳۹/۲۸ گرم تعیین شد. مقدار قابلیت جویدن کیک با افزودن ۷/۵ درصد RMP نیز از ۱۲۱٤/٤۵ به ۹۲٤/۷۲ گرم در میلی‌متر کاهش یافت. مشابه نتایج تحقیق حاضر، حسینی قابوس و همکاران [٤۱] کاهش قابل توجه مقادیر حالت صمغی و قابلیت جویدن را در نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی آرد کدوحلوایی گزارش نمودند.

از طرف دیگر برخلاف سفتی، تیمار آنزیمی TG به گونه چشمگیری (p<۰/۰۱) حالت صمغی و مقاومت به جویدن نمونه‌ها را تحت تأثیر قرار داده و منجر به افزایش آن شد. میانگین صمغی بودن کیک با افزودن ۰/۱۵ درصد آنزیم TG از ۱٤٦/۳۹ به ۱۵۲/۱۱ گرم و قابلیت جویدن آن از ۱۰٤۱/۸۸ به ۱۱۰۱/٤۳ گرم در میلی‌متر افزایش یافت. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، افزودن پودر میکروگرین برنج و تیمار آنزیمی TG رطوبت نمونه‌های کیک را افزایش می‌دهد؛ این افزایش رطوبت می‌تواند مقاومت در برابر فشرده‌سازی اولیه را کاهش داده و در نتیجه سفتی نمونه‌ها را کمتر کند. از سوی دیگر، آنزیم TG با ایجاد پیوندهای عرضی بین پروتئین‌ها، پیوستگی مولکولی و خاصیت ارتجاعی شبکه پروتئینی را افزایش می‌دهد. بنابراین گرچه سفتی کاهش می‌یابد، افزایش پیوستگی و ارتجاعیت می‌تواند منجر به افزایش قابلیت جویدن شود، زیرا قابلیت جویدن از حاصل‌ضرب سختی، پیوستگی و ارتجاعیت حاصل می‌شود [۲۱]. به‌عبارت دیگر، افزایش رطوبت سطح را نرم می‌کند (سختی کمتر)، در حالی که عواملی که پیوستگی شبکه را افزایش می‌دهند (مانند تیمار آنزیمی با ترانس‌گلوتامیناز)، ارتجاعیت و بازگشت‌پذیری بافت را تقویت می‌کنند. همچنین، زمان نگهداری سبب افزایش قابل توجه حالت صمغی و قابلیت جویدن شد (p<۰/۰۰۱)؛ به‌طوری که میزان صمغی بودن کیک از ۱۱۵/۸۵ گرم در روز اول به گرم ۱۸۲/٦۵در روز هفتم افزایش یافت. به‌علاوه، میانگین قابلیت جویدن نمونه‌های کیک از ۸۹۳/۷۲ گرم در میلی‌متر به ۱۲٤۹/٦۰ گرم در میلی‌متر در روز هفتم افزایش یافت. همچنین مطابق جدول ۱، از میان اثرات متقابل میان متغیرهای مورد آزمون، تنها اثر متقابل RMP – زمان نگهداری معنی‌دار گردید. همان‌طور که در شکل ۳ می‌توان

[۲] *Opuntia Humifusa*

مشاهده نمود، مقدار حالت صمغی و قابلیت جویدن تمامی نمونه‌های کیک پس از ۷ روز نگهداری افزایش قابل توجهی یافت. کمترین مقدار صمغی بودن (۱۰۹/۵۳ گرم) مربوط به نمونه حاوی ۲/۵ درصد RMP در ابتدای زمان نگهداری و بیشترین مقدار صمغی بودن (۲۰۰/۱۶) مربوط به نمونه شاهد پس از ۷ روز نگهداری بود. در مورد قابلیت جویدن نیز کمترین مقدار (۸۳۵/۵۳ گرم) مربوط به نمونه حاوی ۷/۵ درصد RMP و بیشترین مقدار (۱٤٦۹/۰) مربوط به نمونه شاهد به‌ترتیب در ابتدا و انتهای زمان نگهداری بود.

۲-۳- نتایج ارزیابی ویژگی‌های حسی کیک

روش هدونیک یا ترجیحی، روشی مناسب و قابل اطمینان جهت ارزیابی ویژگی‌های حسی مواد غذایی مختلف است. بدون شک، خواص حسی مواد غذایی، مهمترین عامل در انتخاب محصول توسط مصرف‌کننده است. نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) میانگین امتیازات ویژگی‌های حسی نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی مقادیر مختلف RMP و آنزیم TG طی مدت ۷ روز نگهداری در دمای محیط در جدول ۲ و شکل ٤ نشان داده شده است. مطابق نتایج جدول ۲، به غیر از ظاهر کیک، افزودن پودر میکروگرین برنج سبب تغییرات قابل‌توجهی در ویژگی‌های مورد بررسی شده است. به‌علاوه، هرچند تیمار آنزیمی TG تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات حسی نمونه‌های کیک نداشت ($p>0/05$)، اما تمامی امتیازات حسی طی زمان نگهداری دستخوش تغییرات معنی‌داری ($p<0/001$) شدند. همچنین، به غیر از اثر متقابل RMP – زمان نگهداری بر تمامی ویژگی‌های حسی (به غیر از ظاهر) و آنزیم TG – زمان نگهداری بر ویژگی رنگ، اثر متقابل معنی‌داری میان متغیرهای مورد بررسی بر سایر ویژگی‌های حسی مشاهده نشد (جدول ۲).

Table 2. Analysis of variance (ANOVA) of sensory characteristics of sponge cake samples containing different rice microgreen powder (RMP) and transglutaminase enzyme (TG) during 7 days of storage at 24±1 ◦C.

Treatments	df	Odor	Appearance	Taste	Color	Texture
RMP	3	0.03^{*}	0.00^{NS}	0.18^{**}	0.07^{**}	0.25^{**}
TG	1	0.00^{NS}	0.00^{NS}	0.00^{NS}	0.02^{NS}	0.00^{NS}
Storage	1	25.4^{***}	0.27^{***}	29.8^{***}	0.46^{***}	35.5^{***}
RMP× TG	3	0.01^{NS}	0.00^{NS}	0.01^{NS}	0.01^{NS}	0.01^{NS}
RMP× Storage	3	0.08^{**}	0.01^{NS}	0.04^{*}	0.02^{*}	0.01^{*}
Storage×TG	1	0.00^{NS}	0.00^{NS}	0.02^{NS}	0.01^{**}	0.03^{NS}
RMP× TG×Storage	3	0.01^{NS}	0.00^{NS}	0.02^{NS}	0.02^{NS}	0.00^{NS}
Error	32	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00

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

مطابق شکل ٤، افزودن RMP سبب بهبود ویژگی‌های رنگ، رایحه و بافت نمونه‌های کیک اسفنجی گردید، درحالی که امتیاز طعم نمونه‌ها را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. با افزودن پودر میکروگرین برنج، امتیاز رایحه از ۷/٤۸ به ۷/٥٤ و امتیاز رنگ از ۸/۳ به ۸/٤٥ به‌ترتیب در نمونه‌های شاهد و حاوی ۷/٥ درصد RMP افزایش یافت. امتیاز طعم نیز در کیک شاهد و نمونه‌های حاوی ۲/٥، ٥ و ۷/٥ درصد RMP به‌ترتیب ۷/۷٦، ۷/٦۱، ۷/٦۸ و ۷/٤۸ تعیین شد. درهرحال، اختلاف معنی‌داری میان سطوح ۲/٥ و ٥ درصد RMP با نمونه شاهد از نظر طعم مشاهده نشد. مشابه با نتایج این تحقیق، آذرهوش و همکاران [٤۲] در بررسی تولید کلوچه فراسودمند، کاهش امتیاز طعم را در نتیجه افزودن دوشاب خرمالوی وحشی و صبحی و همکاران [٤۳] کاهش امتیاز

طعم کیک اسفنجی را در اثر افزودن آرد جوجوبا[1] گزارش نمودند. برخلاف این نتایج، قبادی و همکاران [٤٤] بهبود طعم کیک روغنی غنی شده با ۱ درصد پودر زغال اخته و ۱۰ درصد آرد بادام زمینی را گزارش نمودند، هر چند این محققین همانند نتایج تحقیق حاضر بهبود ویژگی‌های رایحه و بافت را گزارش نمودند. علت بهبود نمونه‌های بافت کیک اسفنجی در نتیجهٔ افزودن پودر میکروگرین برنج می‌تواند به‌دلیل قابلیت جذب آب پایین پودر میکروگرین برنج در مقایسه با آرد گندم باشد که سبب بهبود شبکه پروتئینی گلوتن خمیر می‌گردد. به‌علاوه، به‌دلیل قابلیت جذب آب پایین پودر میکروگرین برنج، در مراحل انتهایی پخت محصول، آب غیرمتصل کیک راحت‌تر تبخیر شده و تعداد و اندازهٔ منافذ افزایش می‌یابد. بنابراین حجم مخصوص کیک افزایش و سفتی آن کاهش می‌یابد [٢٦].

برخلاف RMP، افزودن آنزیم TG تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های حسی نمونه‌های کیک اسفنجی نداشت ($p>0/05$). میانگین امتیاز رایحه، رنگ، ظاهر، طعم و بافت برای نمونه کیک شاهد به‌ترتیب ۷/۵۳، ۸/۳۳، ۸/۳٤، ۷/٦۲ و ۷/٤٤ و برای نمونه‌های کیک حاوی ۰/۱۵ درصد آنزیم TG به‌ترتیب ۷/۵۲، ۸/۳۷، ۸/۳۳، ۷/٦۳ و ۷/٤۳ تعیین شد. دلوزوسکا و همکاران [۳۱] در بررسی تأثیر آنزیم TG بر کیفیت نان بدون گلوتن گزارش کردند که تیمار آنزیمی با ۱ واحد آنزیم TG به ازای هر گرم پروتئین سبب بهبود خواص حسی و کیفیت مغز کیک می‌شود، درحالی‌که تیمار با ۱۰ واحد آنزیم TG به ازای هر گرم پروتئین کیفیت نان و خصوصیات بافت محصول را به‌شکل معنی‌داری کاهش می‌دهد. در سطوح بالای آنزیم، به‌دلیل اتصالات بیش از حد درون- و برون-مولکولی میان پروتئین‌ها، بافت کیک فشرده شده و سفتی محصول افزایش می‌یابد.

علاوه بر اثر افزودن RMP، زمان نگهداری نیز سبب کاهش معنی‌دار تمامی امتیازهای حسی نمونه‌های کیک اسفنجی شاهد و نمونه‌های غنی‌شده شد. میانگین امتیاز رایحه، رنگ، طعم و بافت نمونه‌های کیک در ابتدای زمان نگهداری به‌ترتیب ۸/۲٦، ۸/٤۵، ۸/٤۲ و ۸/۳۰ تعیین شد که پس از ۷ روز نگهداری به ٦/۸۰، ۸/۲۵، ٦/۸۵ و ٦/۵۸ کاهش یافت (نتایج نشان داده نشده است). امتیاز ظاهر و بافت نمونه‌های کیک نیز طی مدت نگهداری به‌طور معنی‌داری ($p<0/05$) کاهش یافت و در دوره‌های نگهداری ۱ و ۷ روز پس از تولید به‌ترتیب ۸/٤۲ و ۸/۲۷ تعیین شد. کاهش امتیاز حسی کیک طی مدت نگهداری توسط سایر محققین نیز گزارش شده است [٤۲]. درهرحال، تمامی نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی RMP از امتیاز حسی قابل قبولی برخوردار بودند و ارزیابان میانگین امتیاز قابل قبولی به نمونه‌های مذکور (بالاتر از ۷ یا خوب) دادند.

تأثیر اثرات متقابل میان پودر میکروگرین و زمان نگهداری بر رایحه در شکل ۵ نشان داده شده است. مطابق این شکل، هرچند اختلاف معنی‌داری میان رایحه نمونهٔ شاهد با نمونه‌های کیک حاوی سطوح مختلف پودر میکروگرین برنج در روز اول نگهداری وجود داشت، اما در پایان مدت ۷ روز نگهداری، اختلافی از این نظر مشاهده نشد. به‌علاوه، تمامی نمونه‌ها در پایان مدت ۷ روز نگهداری از امتیاز رایحه کمتری نسبت به ابتدای نگهداری برخوردار بودند. بیشترین مقدار رایحه (۸/۳۷ امتیاز) مربوط به نمونه حاوی ۵/۵٪ RMP در ابتدای زمان نگهداری و کمترین مقدار رایحه (٦/۷۵ امتیاز) مربوط به نمونه حاوی ۷/۵٪ RMP پس از ۷ روز نگهداری بود.

1-Jojoba meal

به‌علاوه، هرچند اختلاف معنی‌داری میان رنگ شاهد با نمونهٔ کیک حاوی ۷/۵٪ RMP در ابتدای دوره نگهداری مشخص گردید، اما اختلافی از این نظر در پایان مدت ۷ روز نگهداری مشاهده نشد. بیشترین مقدار رایحه (۸/۶ امتیاز) مربوط به نمونه نمونه حاوی ۷/۵٪ RMP در ابتدای زمان نگهداری و کمترین مقدار رایحه (۸/۲ امتیاز) مربوط به نمونه حاوی ۲/۵٪ RMP پس از ۷ روز نگهداری بود (شکل ۵).

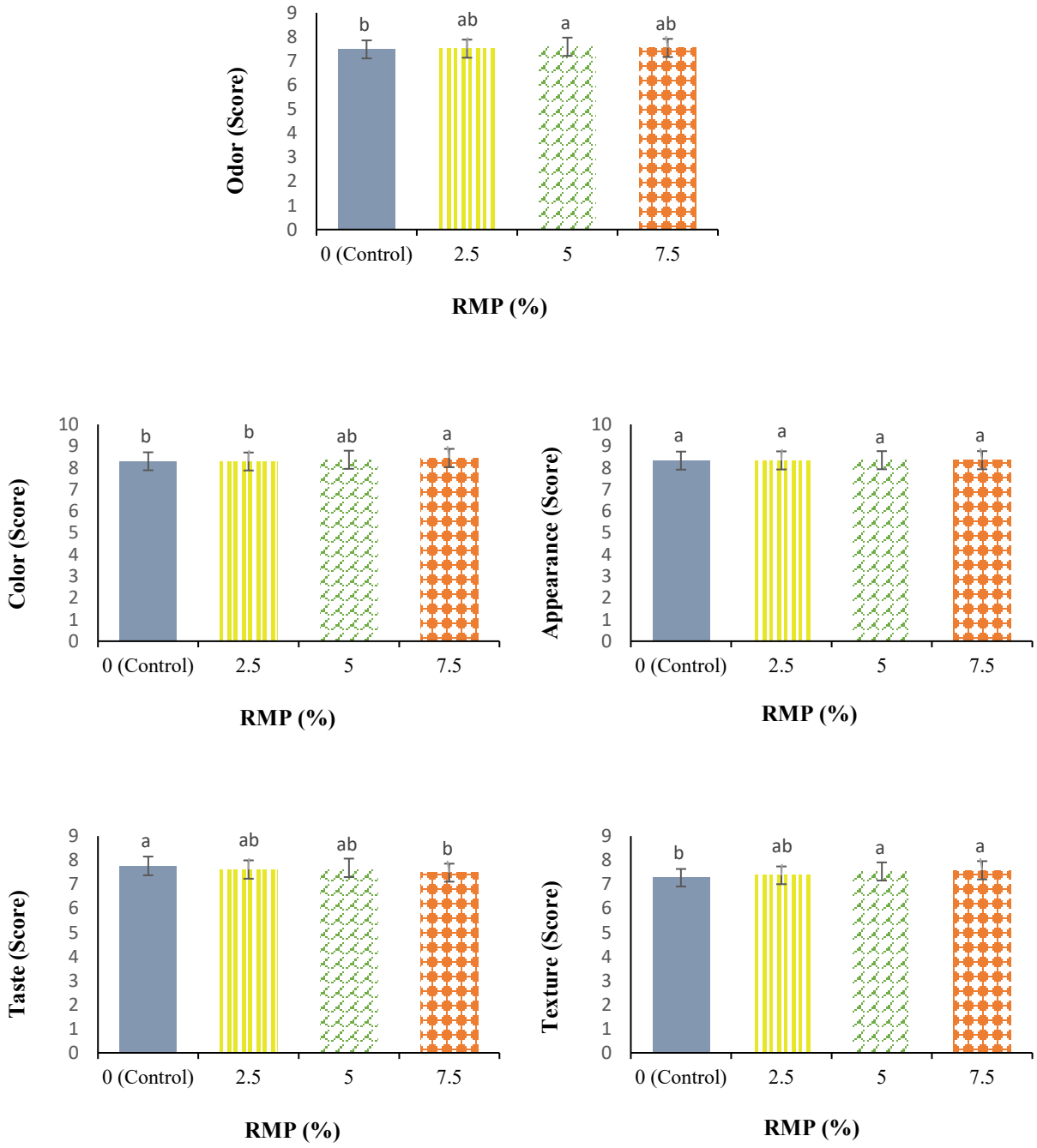

Figure 4. The effect of adding different amounts of rice microgreen powder (RMP) on the sensory properties of sponge cake samples during 7 days of storage at ambient temperature.

درهرحال، برخلاف نتایج رایحه و رنگ، اختلاف معنی‌داری از نظر ویژگی ظاهری میان نمونه شاهد و نمونه‌های کیک حاوی مقادیر مختلف RMP در هر دو دوره نگهداری مشاهده نشد. به‌علاوه، به غیر از شاهد، امتیاز ظاهر تمامی نمونه‌های غنی شده با RMP در پایان مدت نگهداری کاهش معنی‌داری یافت. بیشترین (۸/۴۵ امتیاز) و کمترین مقدار رایحه (۸/۲ امتیاز) مربوط به نمونه حاوی ۷/۵٪ RMP به‌ترتیب در ابتدا و پایان زمان نگهداری بود. در مورد طعم نیز نتایج نشان داد هرچند نمونهٔ شاهد از امتیاز طعم بالاتری نسبت به سایر نمونه‌های غنی شده در ابتدای نگهداری برخوردار بود، اما اختلافی از این نظر با نمونه حاوی ۵ درصد RMP نداشت. در پایان مدت نگهداری نیز اختلافی از نظر طعم میان نمونه شاهد با نمونه‌های حاوی ۵ و ۷/۵٪ RMP مشاهده نشد. بیشترین (۸/۳۷ امتیاز) و کمترین مقدار طعم (۶/۷۵ امتیاز) مربوط به نمونه شاهد در ابتدا و انتهای زمان نگهداری بود. به‌علاوه، مطابق شکل ۵، اختلاف معنی‌داری میان امتیاز بافت نمونهٔ شاهد با تمامی نمونه‌های کیک حاوی سطوح مختلف RMP در ابتدای دوره نگهداری مشاهده گردید، اما اختلافی از این نظر با نمونه حاوی ۲/۵٪ RMP در پایان مدت ۷ روز نگهداری معنی‌دار نشد. به‌عبارت دیگر، نمونه‌های غنی شده با مقادیر ۵ و ۷/۵٪ RMP در هر دو دوره نگهداری به‌شکل معنی‌داری از امتیاز بافت بالاتری نسبت به نمونه شاهد و حاوی ۲/۵٪ RMP برخوردار بودند و اختلافی از این نظر با یکدیگر نداشتند.

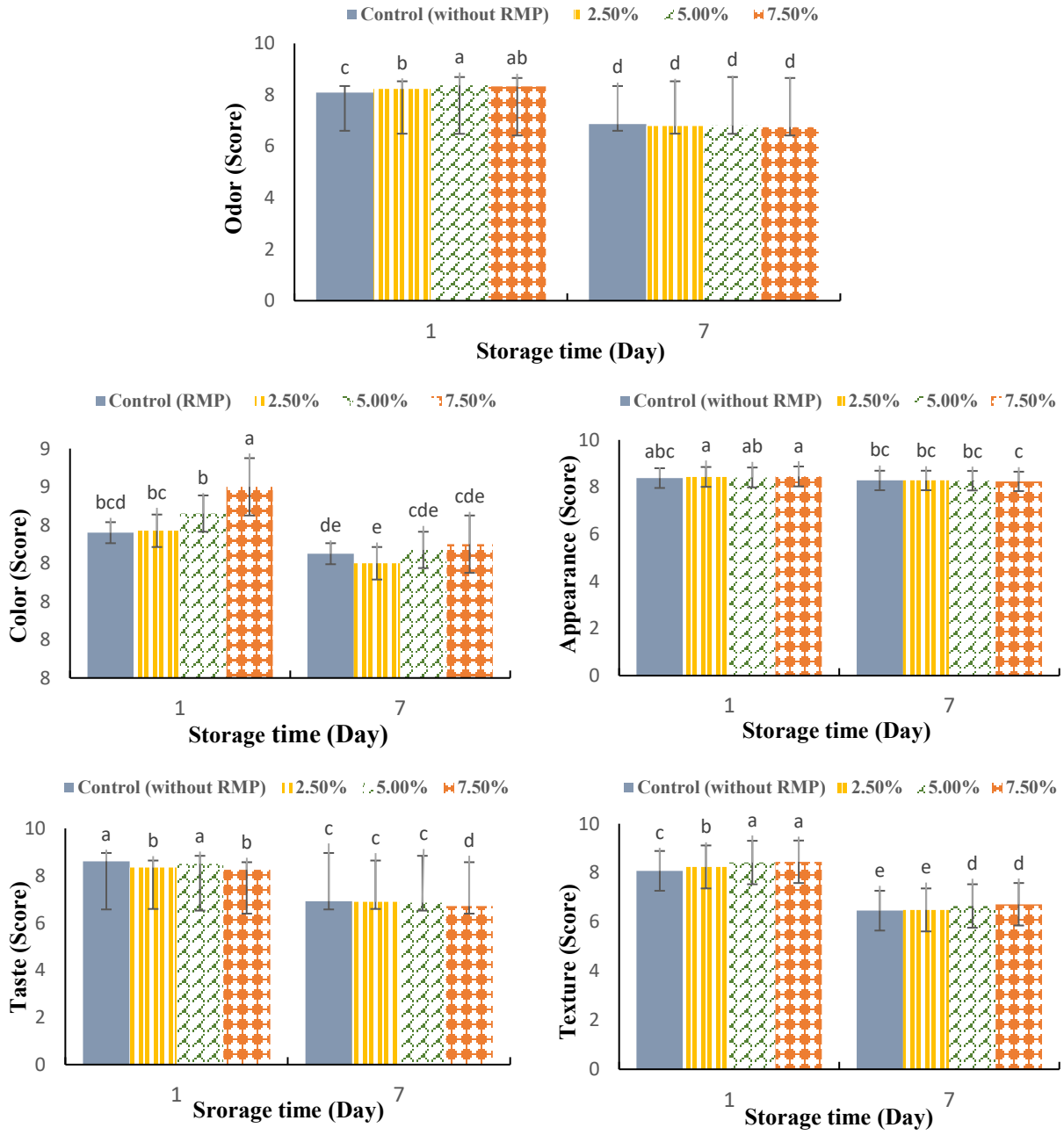

Figure 5- Interaction effect of rice microgreen powder (RMP) and storage time on sensory scores of sponge cake samples.

٤- نتیجه‌گیری

مصرف ترکیبات زیست‌فعال (مانند ویتامین D، ویتامین C، روی، امگا-3، پروبیوتیک‌ها و پلی‌فنول‌ها) می‌تواند با بهبود وضعیت تغذیه‌ای، تعدیل پاسخ التهابی و حمایت از ایمنی، به کاهش شدت و بهبود نتایج بالینی بیماری‌های مختلف همانند COVID-19 کمک کند. میکروگرین‌ها علاوه بر ارزش تغذیه‌ای، دارای برخی ترکیبات زیست‌فعال مؤثر در ارتقای سلامت و کنترل بیماری‌ها می‌باشند. این مواد زیست فعال در مواد غذایی مختلف به‌ویژه غلات و سبزیجات یافت می‌شوند. از آنجایی که فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان مختلف در مرحله میکروگرین بسیار بیشتر از گیاهان در مرحلهٔ رشد کامل است، می‌توان از میکروگرین‌ها همانند میکروگرین برنج به شکل تازه یا پودر به منظور تولید مواد غذایی بهره جست. بنابراین در این پژوهش ویژگی‌های بافتی و خواص

حسی کیک اسفنجی غنی‌شده با پودر میکروگرین برنج (RMP) همراه با تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز (TG) بررسی شد تا از این طریق بتوان محصولی با ارزش غذایی بالاتر و با خواص حسی و بافتی قابل قبول تولید نمود. نتایج نشان داد که نمونه‌های کیک اسفنجی غنی شده با RMP از کیفیت بافت و خواص حسی مناسبی برخوردار بودند. در این میان، تیمار آنزیمی TG توانست سبب حفظ کیفیت بافت کیک در مدت نگهداری شود. براساس نتایج این تحقیق، افزودن RMP در سطوح ۵ تا ۷/۵ درصد به همراه تیمار آنزیمی TG جهت تولید کیکی اسفنجی با ارزش تغذیه‌ای بالاتر و در عین حال با خواص حسی قابل قبول توصیه می‌شود.

۵- سپاسگزاری

این پروژه (شمارهٔ ۱/٤۱۱/۱۰٦٤) با حمایت مالی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شده‌است و به این منظور نویسندگان مراتب قدردانی خود را از مسئولین محترم دانشگاه اعلام می‌دارند. همچنین از مدیران و پرسنل محترم شرکت آرد خوزستان قدردانی می‌گردد.

دسترسی به داده‌ها

بنا به درخواست در دسترس قرار خواهند گرفت.

تضاد منافع

نویسندگان هیچگونه تضاد منافعی ندارند.

بیانیه تأمین مالی

هیچ بودجه جداگانه‌ای برای این تحقیق دریافت نشده است.

مشارکت نویسندگان

حسین جوینده: مفهوم‌سازی، مدیریت پروژه، تحقیق، مصورسازی، روش‌شناسی، نرم افزار، اعتبارسنجی، نگارش – بررسی و ویرایش.

بهروز علیزاده بهبهانی: مفهوم‌سازی، مدیریت پروژه، تحقیق، مصورسازی، و نگارش – پیش‌نویس اصلی.

سارا صنیعی: جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل رسمی، منابع.

٦- منابع

[1] Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 2021. Cake –Specifications and Test Methods-Determination of Water Activity and Reference Method. ISIRI, No. 2553. (In Persian)

[2] Guiné, R.P.F., & Florença, S.G. 2024. Development and Characterisation of Functional Bakery Products. Physchem, 4: 234-257.

[3] Humble, N. 2013. Cake: A Global History (Edible). Reaktion Books, 156 pages.

[4] Jooyandeh, H. 2025. Composition of foods and their functions in human nutrition. 1st ed., Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University Press. (In Persian)

[5] Jooyandeh, H. 2011. Soy Products as Healthy and Functional Foods. Middle-East Journal of Scientific Research, 7(1): 71-80.

[6] Xiao, Z., Lester, G.E., Luo, Y. & Wang, Q. 2012. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60 (31): 7644-7651.

[7] Dorosh, P.A., & Wailes, E. 2010. The international rice trade: structure, conduct, and performance. In: Rice in the global economy: Strategic research and policy issues for food security. Pandey, S. et al. (ed.), Chapter 3.1: 359-378.

[8] Nooshkam, M., Babazadeh A., & Jooyandeh, H. 2018. Lactulose: Properties, techno-functional food applications, and food grade delivery system. Trends in Food Science & Technology, 80: 23-34.

[9] Momenzadeh, S., Jooyandeh, H., Alizadeh Behbahani, B., & Barzegar, H. 2021. Evaluation of physicochemical and sensory properties of half-fat synbiotic stirred yogurt containing Panirak (*Malva neglecta*) and lactulose. Journal of Food Science and Technology (Iran), 18(120): 353-363. (In Persian)

[10] Asghari-pour, S., Noshad, M., Nasehi, B., Jooyandeh, H., & Beiraghi-Toosi Sh. 2019. Effects of Incorporating Date Kernel Powder on Physicochemical Properties of the Extruded Snacks Containing Corn Flour During Storage. Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology, 14(3): e13821: 109-116. (In Persian)

[11] Saeidi, Z., Nasehi, B., & Jooyandeh, H. 2019. Evaluation of Physical properties of gluten-free cake containing pomegranate seeds powder and transglutaminase enzyme. Journal of Food Science and Technology (Iran), 15(84): 315-324. (In Persian)

[12] Jooyandeh, H., Kaur A. & Minhas K.S. 2009. Lipases in dairy industry. Journal of Food Science and Technology, 46(3): 181-189.

[13] Torabi, F., Jooyandeh, H., Noshad, M. & Barzegar, H. 2019. Modeling and Optimization of Physicochemical and Organoleptical Properties and *Lactobacillus acidophilus* Viability in Ultrafiltrated Synbiotic Cheese, Containing Microbial Transglutaminase Enzyme, Whey and Inulin. Research and Innovation in Food Science and Technology, 8(2): 137-150. (In Persian)

[14] Jooyandeh, H., Mahmoodi, R., Samavati, V., & Hojjati, M. 2015. Effect of cold enzymatic treatment of milk by transglutaminase on textural properties of yogurt. Journal of Food Science and Technology (Iran), 13(1): 91-99. (In Persian)

[15] Ege, A.E.R. 2021. The effect of enzyme use on the formation of carbonyls and structural properties of cakes. Dissertation, Master of Science in Biotechnology, Izmir Institute of Technology, Turkey.

[16] Nonaka, M., Tanaka, H., Okiyama, A., Motoki, M., Ando, H., Unda, K., & Matsura, A. 1989. Polymerization of several proteins by Ca^{2+} independent transglutaminase derived from microorganisms. Agricultural and Biological Chemistry, 3: 2619–2623.

[17] Danesh, E., Goudarzi, M. & 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.

[18] Jahanbakhshi, R. & Ansari, S. 2020. Physicochemical Properties of Sponge Cake Fortified by Olive Stone Powder. Journal of Food Quality, 4: 1493638, 1-11.

[19] Saeidi, Z., Nasehi, B., & 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.

[20] 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.

[21] Jooyandeh, H. 2009. Effect of addition of fermented whey protein concentrate on texture of Iranian white cheese. Journal of Texture Studies, 40: 497-510.

[22] Jooyandeh, H., & 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.

[23] Gülhan, M.E., & Karaça, A.C. 2023 Effects of Lentil Flour on the Quality of Gluten-free Muffins. DEÜ FMD, 25(74): 287-302.

[24] Lebesi, D.M., & Tzia, C. 2011. Effect of the addition of different dietary fiber and edible cereal bran sources on the baking and sensory characteristics of cupcakes. Food and Bioprocess Technology, 4: 710-722.

[25] Díaz-Ramírez, M., Calderón-Domínguez, G., García-Garibay, M., Jiménez-Guzmán, J., Villanueva-Carvajal, A. et al. 2016. Effect of Whey Protein Isolate Addition on Physical, Structural and Sensory Properties of Sponge Cake. Food Hydrocolloid, 61: 633–639.

[26] Asif, M., Rooney, L.W., Ali, R., & Riaz, M.N. 2013. Application and opportunities of pulses in food system: a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 53(11): 1168-1179.

[27] Shaabani, S., Yarmand, M. S., Kiani, H., & Emam-Djomeh, Z. 2018. The effect of chickpea protein isolate in combination with transglutaminase and xanthan on the physical and rheological characteristics of gluten free muffins and batter based on millet flour. LWT-Food Science and Technology, 90: 362-372.

[28] Moradi, P., Hojjatoleslamy, M., Ahmadi, S.F. (2025) Effect of simultaneous use of fibers on the quality attributes of sponge cake by mixture design approach: Fibers Simultaneous Effect on the Quality of Cake, Food Hydrocolloids for Health, 7: 100203.

[29] Madadi, M., Roshanak, S., Shahidi, F., & Varidi, M.J. 2024. Optimization of a gluten-free sponge cake formulation based on quinoa, oleaster, and pumpkin flour using mixture

design methodology. Food Science & Nutrition, 12(4): 2973-2984.

[30] Alp, H., & Bilgiçli, N. 2008. Effect of Transglutaminase on Some Properties of Cake Enriched with Various Protein Sources. Journal of Food Science, 73(5): S209-14.

[31] Dłużewska, E., Marciniak-Lukasiak, K. & Kurek, N. 2015. Effect of transglutaminase additive on the quality of gluten-free bread. Foods, 13(1): 80-86.

[32] Torabi, F., Jooyandeh, H., Noshad, M., & Barzegar, B. 2020. Texture, color and total acceptance of synbiotic ultrafiltrated white cheese treated with microbial transglutaminase enzyme during storage period. Journal of Food Science & Technology (Iran), 17(98): 135-145. (In Persian)

[33] Jooyandeh, H., Danesh, E., & Goudarzi, M. 2017. Effect of microbial transglutaminase on physical, rheological, textural and sensory properties of light ice cream. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 13(4): 469-479.

[34] Kouravand, F., Jooyandeh, H., Barzegar, H., & 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.

[35] Yademellat, M., Jooyandeh, H., & Hojjati, M. 2016. The effect of application of Persian and Balangu-Shirazi gums on textural properties of low-fat stirred yogurt. Food Research Journal (Iran), 27(4): 171-181. (In Persian)

[36] Kim, J.H., Lee, H.J., Lee, H.S., Lim, E.J., Immd, J.Y., & Suh, H.J. 2012. Physical and sensory characteristics of fibre-enriched sponge cakes made with Opuntia humifusa. LWT - Food Science and Technology, 47: 478e484.

[37] Gularte, M.A., de laHera, E., Go´mez, M., & Rosell, C.M. 2012. Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. LWT-Food Science and Technology, 48: 209–214.

[38] 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): 110-124. (In Persian)

[39] Mortazavinejad, S., Abbasi, H., & Jahadi, M. 2015. Optimization of Sponge Cake Formulation Containing Okara. Research and Innovation in Food Science and Technology, 5(1): 1-14. (In Persian)

[40] Cauvain, S.P. 2020. Breadmaking: Improving Quality, 3rd Edition, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition.

[41] Hosseini ghaboos, S.H., Seyedain Ardabili, S.M., & Kashaninejad, M. 2018. Physico-chemical, textural and sensory evaluation of sponge cake supplemented with pumpkin flour. International Food Research Journal, 25(2): 854-860.

[42] Azarhoosh, Kh., Sharifi, A., & Estiri, S.H. 2017. Studying the effect of replacing sucrose with wild *Diospyros lotus* pulp on antioxidant properties, phenolic compounds, and sensory and textural characteristics of functional muffins. Journal of Innovation in Food Science and Technology, 9(1): 37-48. (In Persian)

[43] Sobhy, H.M., Gaafar A.M. & El-Anany, A.M. 2015. Nutritional and sensory evaluation of sponge cake incorporated with various levels of Jojoba meal and protein isolate. Advances in Food Sciences, 37(1): 23-30.

[44] Ghobadi, M., Fazeli, F., Mohammadi, H., Zoghi, A., Khorshidian, N., & Mohammadi, M. 2025. Physicochemical, textural and sensorial characteristics of oily cake enriched with Cornelian cherry (*Cornus mas* L.) extract and peanut flour: a valorized food. Applied Food Research, 5(2): 101443.

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

The effect of rice microgreen powder and microbial transglutaminase enzyme on the textural and sensorial characteristics of sponge cake during storage period

Hossein Jooyandeh[1*], Behrooz Alizadeh Behbehani[2], Sara Saniee[3]

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

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

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

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2025/12/13

Review: 2025/12/24

Accepted: 2026/01/26

Keywords:

Functional,

Microgreen,

Firmness,

Cohesiveness,

Flavor

DOI: **10.48311/fsct.2026.118304.82988**

*Corresponding Author E-

hosjooy@asnrukh.ac.ir

ABSTRACT

Cakes are among the most widely consumed baked goods. Consumption of functional foods, including fortified cakes, can positively impact public health. In this study, the effect of adding rice microgreen powder (RMP) at four levels of 0, 2.5, 5 and 7.5% (replacement with flour, weight/weight) and microbial transglutaminase enzyme (TG) at two levels of 0, 0.15% on the textural characteristics and sensory properties of sponge cake was investigated. The results showed that adding RMP reduced the firmness, springiness, gumminess and chewiness and increased the cohesiveness of the fortified samples ($P<0.001$). Adding TG also significantly reduced the firmness and significantly increased ($P<0.01$) the cohesiveness, gumminess and chewiness of the cake samples. Storage time also increased the firmness, gumminess, and chewiness and decreased the cohesiveness and springiness of the samples ($P<0.001$). The adhesiveness of the samples was not affected by RMP and TG enzyme, but storage time increased it ($P<0.05$). Sensory evaluation of the samples also showed that although TG enzymatic treatment had no significant effect on these properties ($P>0.05$), the addition of RMP improved the color, aroma, and texture scores and significantly reduced ($P<0.001$) the taste score of the sponge cake samples. With the passage of time, all sensory properties also decreased ($P<0.001$). According to the acceptable texture quality and sensory properties (scores above 7, rated as good), the use of RMP at levels of 5-7.5% in combination with TG enzymatic treatment is recommended for sponge cake fortification.