



## بررسی تأثیر افزودن پودر میکروگرین برنج و تیمار آنزیمی ترانس گلوتامیناز بر ارزش تغذیه‌ای و ویژگی‌های رنگ کیک اسفنجی

حسین جوینده<sup>۱\*</sup>، بهروز علیزاده بهبهانی<sup>۲</sup>، سارا صنیعی<sup>۳</sup>

- 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

### چکیده

### اطلاعات مقاله

غنی‌سازی کیک اسفنجی با میکروگرین‌ها می‌تواند با افزایش غلظت ویتامین‌ها، مواد معدنی و مواد شیمیایی گیاهی زیست‌فعال، ارزش غذایی آن را به میزان قابل توجهی افزایش دهد و از این طریق، یک شیرینی پر مصرف را به یک غذای کاربردی با فواید بالقوه برای سلامت عمومی و تأمین کافی ریزمغذی‌ها تبدیل کند. بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی تأثیر افزودن پودر میکروگرین برنج (RMP) در چهار سطح ۰، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد (جایگزینی با آرد مصرفی، وزنی/وزنی) و آنزیم ترانس گلوتامیناز (TG) در دو سطح ۰، ۰/۱۵ درصد بر ترکیبات و شاخص‌های رنگی کیک اسفنجی بود. نتایج ارزیابی ترکیبات کیک نشان داد که افزودن RMP باعث افزایش معنی‌دار ( $P < 0/001$ ) رطوبت، خاکستر و فیبر کل شد، اما افزودن TG تنها موجب افزایش ( $P < 0/01$ ) رطوبت نمونه‌های کیک گردید و از این طریق توانست به بهبود بافت نمونه‌ها کمک کند. بررسی خواص رنگ نمونه‌ها نیز نشان داد که افزودن RMP سبب کاهش هر ۳ فاکتور رنگ ( $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$ ) گردید، در حالی که TG تنها بر مقادیر روشنایی اثر معنی‌داری داشت و سبب افزایش روشنایی مغز و پوسته نان شد ( $p < 0/05$ ). در یک نتیجه‌گیری کلی و براساس رنگ پوسته محصول می‌توان عنوان نمود که هرچند فقط میان نمونه حاوی ۲/۵ درصد RMP (با یا بدون آنزیم TG) با شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید، اما تمامی نمونه‌های غنی شده با RMP از کیفیت رنگ قابل قبولی برخوردار بودند. بنابراین استفاده از RMP در سطوح ۵ تا ۷/۵ درصد برای غنی‌سازی کیک اسفنجی همراه با تیمار آنزیمی TG پیشنهاد می‌گردد.

### تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۷

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۰۹/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۶

### کلمات کلیدی:

RMP

TG

خواص شیمیایی،

روشنایی،

قرمزی

DOI: 10.48311/fsct.2026.117775.82942

\* مسئول مکاتبات:

hosjooy@asnrukh.ac.ir

## ۱-مقدمه

در این زمینه انجام شد، توانستند یک منبع میکروبی به نام باکتری استرپتو ورتیسیلیوم برای استخراج این آنزیم شناسایی کنند. pH بهینه برای فعالیت این آنزیم ۶-۷ و دمای بهینه برای فعالیت آن ۳۷-۵۰ درجه سانتی‌گراد است. تفاوتی که آنزیم استخراج شده از کبد خوک با آنزیم گرفته شده از میکروارگانسیم دارد در وابسته بودن به یون کلسیم می‌باشد. آنزیم ترانس گلوتامیناز از طریق تأثیر بر پروتئین‌های غلات اثر خود را بر محصولات پخت می‌گذارد. این آنزیم با برقراری اتصالات عرضی بین پروتئین‌ها بر ویژگی‌های محصول تأثیرگذار است [۶ و ۷]. این آنزیم در واقع یک مبادله کننده ۷-گلوتامیل است که با کاتالیز کردن این عمل بین یک گروه ε-آمینو در لیزین و یک گروه β-کربوکسیل آمید در گلوتامین، بدون کاهش ارزش تغذیه‌ای لیزین، سبب تشکیل پیوند عرضی کوالانسی می‌گردد [۸].

امروزه در بسیاری از کشورها روش‌های نوینی به منظور کشت محصولات کشاورزی، نحوه عرضه آنها به بازار فروش و همچنین شیوه‌های مصرف بوجود آمده است. یکی از روش‌های جدید در این حوزه، پرورش بعضی از گیاهان به شکل "میکروگرین" یا "ریزسبزی" است. در حقیقت، میکروگرین شکل کوچکی از گیاهان خوراکی و سبزیجات است که متشکل از سه قسمت اصلی ۱- ساقه ۲- برگ لپه‌ای (معمولاً ۲ عدد) ۳- برگ حقیقی جوان (معمولاً یک جفت)، می‌باشد [۹]. در حقیقت، میکروگرین مرحله‌ای از رشد گیاه، مابین جوانه‌زنی بذر و گیاهچه حاصل از بذر تعریف می‌گردد [۱۰]. میکروگرین شکل ظریفی از گیاه مانند بوته، گل، بذر و سبزی می‌باشد. به عبارت دیگر، میکروگرین‌ها یک مرحله رشد میانی بین

فراورده‌های حاصل از گندم به دلیل مصرف آسان و عمر ماندگاری بالا از پر مصرف‌ترین محصولات غذایی در دنیا محسوب می‌شوند. از میان این محصولات، کیک به دلیل ویژگی‌های حسی مناسب، بسیار مورد پسند مصرف‌کننده‌ها قرار گرفته است [۱]. کیک یک محصول پرانرژیست که به واسطه بافت متخلخل، حفره‌های ریز با دیواره نازک از بازار پسندی قابل قبولی برخوردار است. هر ۱۰۰ گرم کیک اسفنجی تقریباً معادل ۱۹۲۰ کیلوژول یا ۴۶۰ کیلوکالری، انرژی تولید می‌کند [۲ و ۳]. همچنین کیک از جمله محصولاتی می‌باشد که به دلیل طعم مطلوب، ارزش غذایی بالا و سهولت مصرف، کاربرد بالایی دارد و استفاده از آن از قرن‌ها پیش رایج بوده و امروزه توسط اکثر افراد جامعه مورد مصرف قرار می‌گیرد. کیک‌ها بر اساس فرمولاسیون و روش تهیه، انواع مختلفی (مانند کیک‌های اسفنجی، لایه‌ای و روغنی) دارند [۴]. در حال حاضر انواع مختلف کیک‌ها در اکثر نقاط دنیا جایگاه باارزشی را در تغذیه مردم به خود اختصاص داده‌اند و در هر فصل و هر زمان قابل خوردن است و به‌عنوان یک غذای آماده با ظاهری جذاب و اشتها آور معرفی شده است [۳]. به دلیل تعداد گوناگون انواع کیک و تنوع در فرمول آن، تعریف کیک بسیار دشوار است. با این حال، در یک عبارت بسیار کلی، کیک را می‌توان به‌عنوان یک محصول نانوبی تعریف کرد که از پخت خمیر نرم تهیه شده با استفاده از آرد، شکر، روغن، تخم مرغ، بکینگ پودر، آب (گاهی اوقات شیر) و شیرین کننده به دست می‌آید [۵].

آنزیم ترانس گلوتامیناز در گروه ترانسفرازها طبقه بندی می‌شود. این آنزیم به طور گسترده‌ای در بافت‌های حیوانات و مایعات بدن آنها وجود دارد. همچنین این آنزیم در گیاهان، ماهی‌ها و میکروارگانسیم مشاهده شده است. تا قبل از سال ۱۹۸۹ این آنزیم را از کبد خوک استخراج و استفاده می‌کردند اما با وجود پژوهش‌هایی که

مختلف نشان داده است میکروگرین‌ها دارای مقادیر بیشتری از ویتامین‌های E, C و K و کاروتنوئیدهایی نظیر بتاکاروتن، لوتئین و زآگزانتین نسبت به محصولات مشابه در مرحله رشد کامل هستند [۱۶]. پروفایل لیپیدی میکروگرین‌های تولید شده از چیا، کتان، سویا، آفتابگردان و کلزا (که به دلیل محتوای روغنی‌شان قابل توجه هستند) نشان داده است که میکروگرین‌های کتان و چیا منبع غنی از آلفا-لینولنیک اسید (ALA) هستند و بیشترین مقدار تری‌گلیسیرید و استرهای استرول به ترتیب در کلزا، آفتابگردان و کتان یافت می‌شود [۱۷]. وجود مواد معدنی و ترکیبات زیست فعال دیگر مانند ویتامین‌ها و ترکیبات فنولی در میکروگرین‌های مختلف، جنبه‌های عملکردی مرتبط با سلامت و تغذیه آن‌ها را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد [۱۸]. میکروگرین‌ها سرشار از مواد معدنی مانند پتاسیم (K)، کلسیم (Ca)، نیتروژن (N)، فسفر (P)، گوگرد (S)، منگنز (Mn)، سلنیوم (Se) و مولیبدن (Mo) هستند [۱۹]. گزارش شده است که فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان مختلف در مرحله میکروگرین حدوداً ده برابر بیشتر از گیاهان در مرحله رشد کامل است [۹]. این در حالی است که برنج به تنهایی منبع خوبی از توکوفرول‌ها، توکوترینول‌ها، ویتامین E، دیتیرین‌های مومیلکتون A و B و ویتامین‌های گروه B مانند تیامین، ریبوفلاوین و نیاسین می‌باشد [۲۰]. جوانه برنج، جنین بذری است که جوانه می‌زند و گیاه جدیدی تولید می‌کند. این بخش به ویژه سرشار از توکوفرول است که فعال‌ترین شکل ویتامین E است. جوانه برنج همچنین حاوی غلظت نسبتاً بالایی از ویتامین‌های گروه B و اسید g-aminobutyric (GABA) است که در پستانداران به عنوان یک انتقال‌دهنده عصبی عمل می‌کند [۲۱]. بنابراین می‌توان از میکروگرین برنج به شکل تازه یا پودر به منظور تولید مواد غذایی بهره جست.

جوانه و سبزی جوان<sup>۱</sup> هستند و معمولاً در ارتفاع ۲-۸ سانتی‌متری برداشت می‌شوند [۱۱]. دوره رشد و پرورش میکروگرین‌ها از زمان کاشت بذر تا برداشت میکروگرین، ۳-۱ هفته است [۹]. به دلیل چرخه رشد سریع، محتوای تغذیه‌ای و تأثیر قابل توجه بر سلامتی انسان، امروزه تولید و استفاده از میکروگرین‌ها در کشاورزی شهری به امری ضروری تبدیل شده است [۱۲]. حدود ۱۱۵ گونه گیاهی در بین محصولات کشاورزی را می‌توان به صورت میکروگرین پرورش داد. امروزه ارقام جدیدی از میکروگرین‌های گیاهان مختلف مانند مرحله گیاهچه‌ای گیاهان ریحان، انواع کلم‌ها، چغندر لبویی و برگ، تربچه، گشنیز و کرفس و حتی محصولات زراعی مانند برنج و گندم سیاه وجود دارد که این نشان از وسعت انواع محصولات میکروگرین می‌باشد [۱۰].

در دهه گذشته، به ویژه پس از همه‌گیری کووید-۱۹، علاقه مردم جهان به خوردن غذاهای تازه، سالم و کاربردی، مانند دانه‌های جوانه‌زده و ریزسبزی‌ها، رو به افزایش بوده است [۱۳]. غذاهای جدید که به عنوان «غذاهای کاربردی» شناخته می‌شوند، حاوی مواد زیست-فعال در غلظتی مناسب هستند و با هدف بهبود یا پیشگیری از مشکلات سلامتی مصرف‌کنندگان تولید و عرضه می‌شوند. این مواد زیست فعال مانند پروتئین‌ها، ویتامین‌ها، مواد معدنی، اسیدهای چرب، آنتی‌اکسیدان‌ها، فنول‌ها، فلاونوئیدها و متابولیت‌های اولیه و ثانویه در مواد غذایی مختلف به ویژه غلات و سبزیجات یافت می‌شوند [۱۴]. میکروگرین‌ها علاوه بر ارزش تغذیه‌ای، دارای برخی ترکیبات زیست‌فعال مؤثر در ارتقای سلامت و کنترل بیماری‌ها می‌باشند. به عنوان بخشی از یک استراتژی برای ارتقای سلامت و پیشگیری از بیماری‌های قلبی عروقی کننده، مصرف میکروگرین‌ها به شدت توصیه می‌شود زیرا سرشار از مواد مغذی و فیتوشیمیایی هستند [۱۵].

تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه تولید محصولات غذایی حاوی میکروگرین منجمده فرآورده‌های پخت انجام شده است. اما تحقیقی در زمینه تأثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز بر ویژگی‌های کیک حاوی پودر میکروگرین برنج (RMP<sup>۱</sup>) گزارش نشده است. منصوری و همکاران [۲۲] در مطالعه‌ای تأثیر پودر میکروگرین آفتابگردان (SMG) (۴، ۸ و ۱۲ درصد) را به عنوان جایگزین آرد برای تهیه کیک‌های بدون گلوتن بررسی کردند. کیک‌های بدون گلوتن از نظر تغییرات در میزان رطوبت، بافت، رنگ، فیبر خام، پروتئین، چربی، محتوای فنلی کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیب معدنی ارزیابی شدند. نتایج این محققین نشان داد که با افزایش سطح پودر SMG، میزان رطوبت، فیبر خام، پروتئین، چربی و ترکیب معدنی نیز افزایش یافت. با این حال، مقدار روشنایی (L\*) کاهش یافت. کور و همکاران [۲۳] نیز بهبود خواص فیزیکوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی کیک فاقد گلوتن تهیه شده از ریز سبزی‌های علف گندم و ماش را گزارش کردند. ژنگ و همکاران [۲۴] نیز تأثیر گیاه پلیگوناتوم سیرتونما<sup>۲</sup> را بر کیفیت و ویژگی‌های کیک برنجی به عنوان یک غذای سنتی رایج در چین بررسی نمودند. افزودن پودر مذکور به کیک برنجی باعث افزایش محتوای آب و جذب آب و ایجاد رنگ زرد روشن در محصول شد. یافته‌های این تحقیق نشان داد که افزودن پودر این گیاه به کیک برنجی،

سبب غنی‌شدن ترکیبات شیمیایی و خواص ظاهری آن شد. همچنین در مطالعه‌ای دیگر در مورد تأثیر افزودن پودر دانه انار و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر خواص فیزیکوشیمیایی کیک بدون گلوتن تهیه شده از آرد برنج مشخص گردید که پودر دانه انار و آنزیم ترانس گلوتامیناز اثرات مثبتی بر میزان فیبر، خاکستر، پروتئین و رطوبت دارند [۲۵]. کلویس و همکاران میکروگرین‌های نخود فرنگی و لوبین و برگ‌های بالغ را به خمیر نان اضافه کردند تا ارزش غذایی نان را افزایش دهند [۲۶]. علیرغم کاهش کاروتنوئیدها و کلروفیل‌ها، سطح فلاونوئیدها در طول فرایند پخت حفظ شد و تشکیل فنوفیتین قابل توجهی رخ داد. نان حاوی میکروگرین لوبین حاوی سطوح بالایی از جنیستین را حفظ کرد. جنیستین دارای خواص ضد سرطانی، به ویژه در زنان است [۲۷]. میکروگرین‌ها علاوه بر اینکه می‌توانند به صورت تازه مصرف شوند، برای ایجاد اقلام غذایی نوآورانه مانند نوشیدنی‌ها، چاشنی‌ها، غذاهای بعد از شیرخوارگی، محصولات حاوی پروبیوتیک، ماست، آرد غنی‌شده با پودر میکروگرین، اقلام نانویی و چای نیز می‌توانند استفاده شوند [۲۸]. بنابراین، تحقیق حاضر با هدف تولید کیک اسفنجی عملگرا حاوی مقادیر مختلف پودر میکروگرین برنج و آنزیم ترانس گلوتامیناز (TG) و تأثیر آن‌ها بر خواص فیزیکوشیمیایی و ویژگی‌های رنگ محصول انجام شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

## ۲-۲-۲- روش تهیه کیک

## ۲-۱- مواد مصرفی

نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی پودر میکروگرین برنج مطابق روش جوینده و همکاران [۲۹] تولید شدند. ابتدا مواد پودری شکل شامل: آرد نول ۱۰۰ گرم، شکر ۷۲ گرم، بیکنینگ پودر ۱/۳۴ گرم و وانیل ۰/۴ گرم با یکدیگر مخلوط شدند. سپس ۷۲ گرم مخلوط زرده و سفیده تخم مرغ به همراه ۵۷ گرم روغن مایع ذرت و ۳۵ گرم آب به آن اضافه و به خوبی 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 ترانس گلوتامیناز میکروبی (TG) با سطوح صفر و ۰/۱۵ درصد همراه با بقیه مواد پودری به مخلوط اضافه شد. نمونه فاقد پودر میکروگرین برنج و آنزیم TG به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد. خمیر تهیه شده (نمونه‌های ۳۵ گرمی) درون قالب آلومینیومی 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 پلی اتیلنی بسته‌بندی و در دمای اتاق (۲۳±۲ °C) تا انجام آزمون‌های بعدی نگهداری شدند.

## ۲-۳- اندازه‌گیری ترکیبات کیک اسفنجی

رطوبت نمونه‌ها براساس استاندارد AACC شماره ۴۴-۱۶ (استفاده از هوای داغ آون و ظروف پتری‌دیش آلومینیومی)، محتوی چربی براساس استاندارد AACC شماره ۲۵-۳۰ (روش سوکسله و استفاده از پترولئوم اتر به عنوان حلال)، مقدار خاکستر براساس استاندارد AACC شماره ۰۱-۰۸ (استفاده از کوره در دمای ۵۵۰ درجه سانتی-گراد به مدت حدود ۶ ساعت)، محتوی پروتئین براساس استاندارد AACC شماره ۱۲-۴۶ (اندازه‌گیری نیتروژن به

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، بیکنینگ پودر (شرکت گل‌وش، اصفهان) با مواد تشکیل دهنده اسید سدیم پیروفسفات، مونوکلسیم فسفات مونو هیدرات، بیکربنات سدیم و نشاسته گندم، وانیل با مقاومت حرارتی بالای ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد (شرکت به‌تام پودر، کرج) و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (TG)<sup>۱</sup> تهیه شده از میکروارگانیزم *Streptoverticillium Morbaeaeense* با مارک تجاری ACTIVA YG (شرکت Ajinomoto، فرانسه) استفاده شد. میزان فعالیت هر گرم پودر این آنزیم، ۱۰۰ واحد به‌ازای هر گرم پروتئین مشخص گردیده بود. پودر آنزیم ترانس گلوتامیناز مورد استفاده شامل ترکیبات لاکتوز، عصاره مخمر، مالتودکسترین، روغن گیاهی و آنزیم ترانس گلوتامیناز بود.

## ۲-۲- روش‌های تهیه پودر میکروگرین برنج و کیک

## ۲-۲-۱- روش تهیه پودر میکروگرین برنج

برای تهیه میکروگرین برنج، نشاهای برنج با طول ۵ ± ۲ سانتی‌متر به خوبی شستشو و پس از آب‌کشی در دمای ۴۸ درجه 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.

<sup>۱</sup> Microbial transglutaminase

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- ترکیبات تغذیه‌ای کیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که پودر میکروگرین برنج (RMP) بر افزایش مقادیر رطوبت، خاکستر و فیبر ( $P < 0/001$ ) نمونه‌های کیک اسفنجی تأثیر معنی‌داری داشت، اما آنزیم ترانس گلوتامیناز (TG) تنها بر رطوبت کیک تأثیر معنی‌دار داشت ( $P < 0/01$ ) و اثر آن بر سایر ویژگی‌ها غیر معنی‌دار بود (جدول ۱). همچنین، اثر متقابل RMP و آنزیم TG بر تمامی ترکیبات تغذیه‌ای مورد ارزیابی معنی‌داری نشد ( $P > 0/05$ ).

همانطور که در شکل ۱ مشهود است، افزودن میکروگرین برنج در فرمولاسیون کیک اسفنجی، باعث افزایش معنی‌داری در میزان رطوبت، خاکستر و فیبر کل نمونه‌ها گردید، بطوریکه تمامی تیمارهای حاوی ۷/۵ درصد RMP، دارای رطوبت، خاکستر و فیبر کل بیشتری نسبت به تیمار شاهد بودند. در هر حال، از نظر میزان چربی و پروتئین در هیچ یک از سطوح اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای غنی شده و شاهد مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ).

یکی از عوامل حفظ و نگهداری رطوبت در بافت محصولات پخت، محصور شدن آب توسط ترکیبات محصول به‌ویژه پروتئین‌ها می‌باشد که مانع خروج رطوبت از بافت محصول نهایی در طی فرآیند پخت و پس آن می‌شود. قابلیت نگهداری آب در مواد غذایی منجمده محصولات پخت بستگی به ظرفیت جذب آب ترکیبات فرمولاسیون محصول دارد. از میان کربوهیدرات‌ها، فیبرهای غذایی منجمده سبوس و پودر تفاله میوه‌جات و سبزیجات از توانایی بالایی در جذب آب برخوردارند. میکروگرین‌ها حاوی فیبرهای محلول و مولکول‌های آب‌دوست (پکتین، پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌های گیاهی) هستند که آب را جذب و در ماتریکس خمیر نگه می‌دارند. این مواد آب را به‌صورت محبوس یا ژل‌شده نگه می‌دارند و از تبخیر سریع هنگام

روش کلدال و استفاده از اسید بوریک و ضریب تبدیل نیتروژن به پروتئین (۶/۲۵)، و میزان فیبر طبق استاندارد AACC شماره ۳۲-۰۵ (هضم آنزیمی و استفاده از حلال-های اتانول برای رسوب فیبرهای محلول و شستشو با استون) اندازه‌گیری شد [۳۰]. میزان کربوهیدرات با استفاده از روش اختلاف و کسر مقادیر رطوبت، چربی، پروتئین، خاکستر و فیبر تام از ۱۰۰ اندازه‌گیری شد [۳۱].

#### ۴-۲- رنگ‌سنجی

ویژگی‌های رنگ نمونه‌های کیک با دستگاه رنگ‌سنج (شرکت کونیکا مینولتا، مدل CR-۴۰۰، ساخت ژاپن) اندازه‌گیری شد. شاخص‌های اندازه‌گیری شامل روشنی (شاخص  $L^*$ )، گرایش به قرمزی (شاخص  $a^*$ ) و گرایش به زردی (شاخص  $b^*$ ) پوسته و مغز کیک تعیین شد. قبل از انجام آزمون، دستگاه با استفاده از صفحه استاندارد سفید ( $B^*=2/04$   $A^*=0/25$   $L^*=94/43$ ) کالیبره گردید. شاخص  $L^*$  معرف میزان روشنی نمونه‌ها و دامنه آن از صفر (سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص) و شاخص  $a^*$  میزان نزدیکی رنگ نمونه‌ها به رنگ سبز و قرمز و دامنه آن از ۱۲۰- (سبز خالص) تا ۱۲۰+ (قرمز خالص) متغیر است. شاخص  $b^*$  نیز میزان نزدیکی رنگ نمونه‌ها به رنگ‌های آبی و زرد را نشان می‌دهد و دامنه آن از ۱۲۰- (آبی خالص) تا ۱۲۰+ (زرد خالص) متغیر است [۳۲].

#### 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 ترانس گلوتامیناز در دو سطح (۰ و ۱۵/۰٪)، 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 فیزیکوشیمیایی و ویژگی‌های رنگ نمونه‌های کیک پس از تولید ارزیابی شدند.

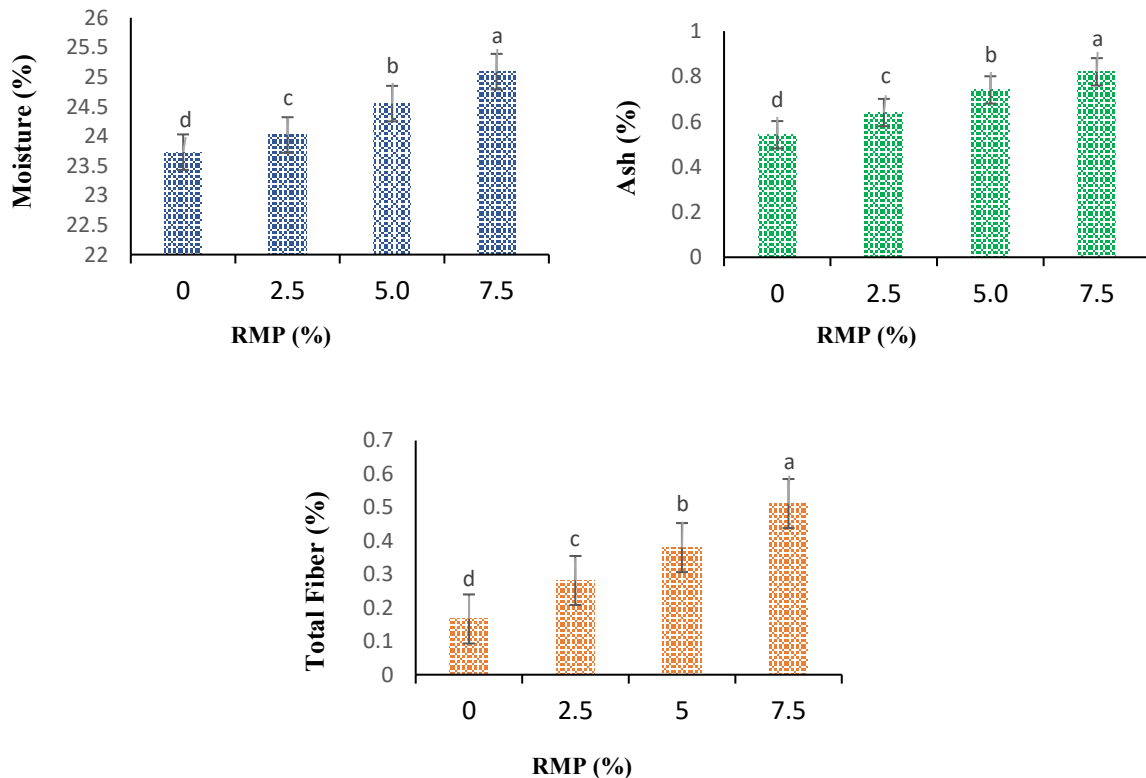
این راستا صحرائیان و همکاران [۳۴] بیان نمودند که با افزایش میزان سبوس برنج، میزان رطوبت افزایش یافت. بنابراین میکروگرین برنج به دلیل دارا بودن مقدار فیبر بالا در ساختار خود و توانایی در پیوند با مولکول‌های آب موجود در فرمولاسیون قادرند میزان رطوبت کیک را افزایش دهند.

پخت جلوگیری می‌کنند. همچنین ذرات میکروگرین می‌توانند به‌عنوان پرکننده در ماتریکس نشاسته-گلوتن عمل کنند و تخلخل را یا توزیع حفرات را تغییر دهند؛ در نتیجه تبخیر آب کمتر و نگهداری رطوبت بهتر می‌شود [۳۳]. در

**Table 1.** The main and interaction effects of rice microgreen powder (RMP) and transglutaminase enzyme (TG) on composition and color characteristics of sponge cake.

Treatments	df	Moisture <sup>1</sup>	Ash <sup>1</sup>	Total fiber <sup>1</sup>	Crumb color <sup>1</sup>			Crust color <sup>1</sup>		
					L*	a*	b*	L*	a*	b*
RMP	3	3.22***	0.088***	0.129***	52.7***	77.4***	28.8*	43.5***	95.8***	178.7***
TG	1	0.437**	0.000 <sup>NS</sup>	0.000 <sup>NS</sup>	7.91*	0.025 <sup>NS</sup>	3.16 <sup>NS</sup>	11.8*	0.023 <sup>NS</sup>	5.44 <sup>NS</sup>
RMP× TG	3	0.004 <sup>NS</sup>	0.000 <sup>NS</sup>	0.001 <sup>NS</sup>	0.43 <sup>NS</sup>	0.055 <sup>NS</sup>	0.082 <sup>NS</sup>	0.115 <sup>NS</sup>	0.136 <sup>NS</sup>	0.291 <sup>NS</sup>
Error	16	0.032	0.003	0.001	1.101	0.351	6.66	2.52	0.313	0.870

1: Mean square values; NS, \*, \*\*, and \*\*\* indicate non-significance and significance at the P<0.05, P<0.01, and P<0.001 levels, respectively.



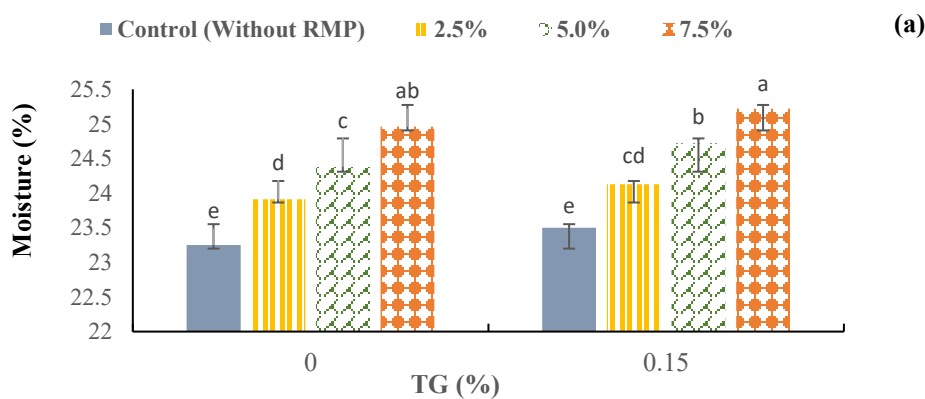
**Figure 1.** Effect of adding rice microgreen powder (RMP) on the nutritional composition of sponge cake

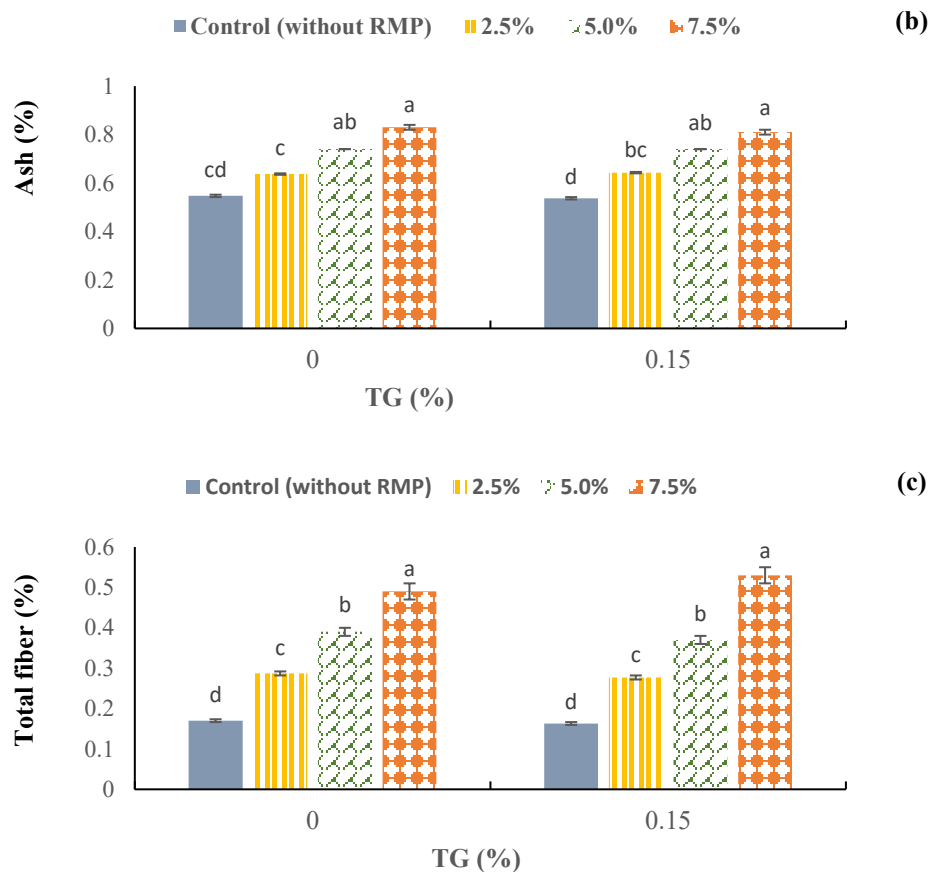
می‌شود. از طرفی اصغری پور و همکاران [۳۹] گزارش نمودند که با افزودن آرد هسته خرما، ترکیب تغذیه‌ای یک میان وعده اکستروژده شده، به ویژه فیبر خام بهبود می‌یابد. همچنین سعیدی و همکاران [۲۵] گزارش کردند که افزودن پودر دلنه لنار و تیمار آنزیمی ترانس گلوتامیناز اثرات مثبتی بر میزان فیبر و خاکستر داشتند.

نتایج اثرات متقابل آنزیم TG و RMP بر رطوبت کیک اسفنجی بیانگر آن بود که با افزایش درصد میکروگرین برنج و آنزیم ترانس گلوتامیناز، میزان رطوبت کیک افزایش یافت، به طوری که بیشترین میزان رطوبت کیک در نمونه حاوی ۷/۵ درصد RMP به همراه ۰/۱۵ درصد TG (۲۵/۲۲ درصد رطوبت) و کمترین مقدار این پارامتر در نمونه شاهد (۲۳/۲۵ درصد رطوبت) مشاهده گردید (شکل ۲-ا). در این راستا، باباخانی و همکاران [۴۰] گزارش نمودند که افزایش میزان رطوبت در کیک‌های اسفنجی با پودر پروتئین ماهی و آنزیم ترانس گلوتامیناز نسبت به کیک شاهد، نشان‌دهنده توانایی جذب رطوبت توسط آنزیم ترانس گلوتامیناز و پودر پروتئین ماهی است.

علاوه بر وجود ترکیباتی نظیر پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها، تیمار با برخی آنزیم‌ها نیز می‌تواند میزان جذب آب در محصول را تحت تأثیر قرار دهد [۳۵]. آنزیم TG از طریق پیوندهای آمیدی و برقراری اتصالات عرضی میان اسیدهای آمینه لیزین و گلوتامین سبب ایجاد ماتریکس پروتئینی منسجم‌تری می‌شود و این ساختار جدید منجر به افزایش توانایی نگهداری آب و در نتیجه افزایش رطوبت در محصول می‌شود [۳۶]. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، تیمار TG سبب افزایش ۷/۳ درصدی رطوبت در نمونه‌های کیک شد.

همچنین افزایش میزان خاکستر در نمونه‌های حاوی میکروگرین برنج را می‌توان به وجود مواد معدنی بالا در برنج مربوط دانست. بر اساس نتایج حاصل از تحقیق صغری کوشالی و همکاران [۳۷]، با افزایش میزان فیبر گریپ‌فروت از ۰/۲۵ به یک درصد، میزان خاکستر در نمونه‌های کلوچه افزایش یافت. همچنین جواهری پور و همکاران [۳۸] گزارش نمودند استفاده از آرد جوانه گندم و آرد کینوا باعث افزایش معنی‌دار خاکستر کیک اسفنجی





**Figure 2.** The effect of adding different amounts of rice microgreen powder (RMP) and transglutaminase enzyme (TG) on the moisture (a), ash (b) and fiber (c) of sponge cakes

همراه ۰/۱۵ درصد آنزیم TG بدست آمد که با نمونه کیک حاوی ۷/۵ درصد RMP فاقد آنزیم TG (۰/۴۹ درصد) اختلاف معنی داری نداشت و کمترین درصد فیبرکل (۰/۱۶ درصد) نیز در نمونه های کیک فاقد RMP تیمار شده با آنزیم TG برنج به دست آمد.

## ۲-۳- ویژگی های رنگ کیک

### ۱-۲-۳- ویژگی های رنگ مغز کیک

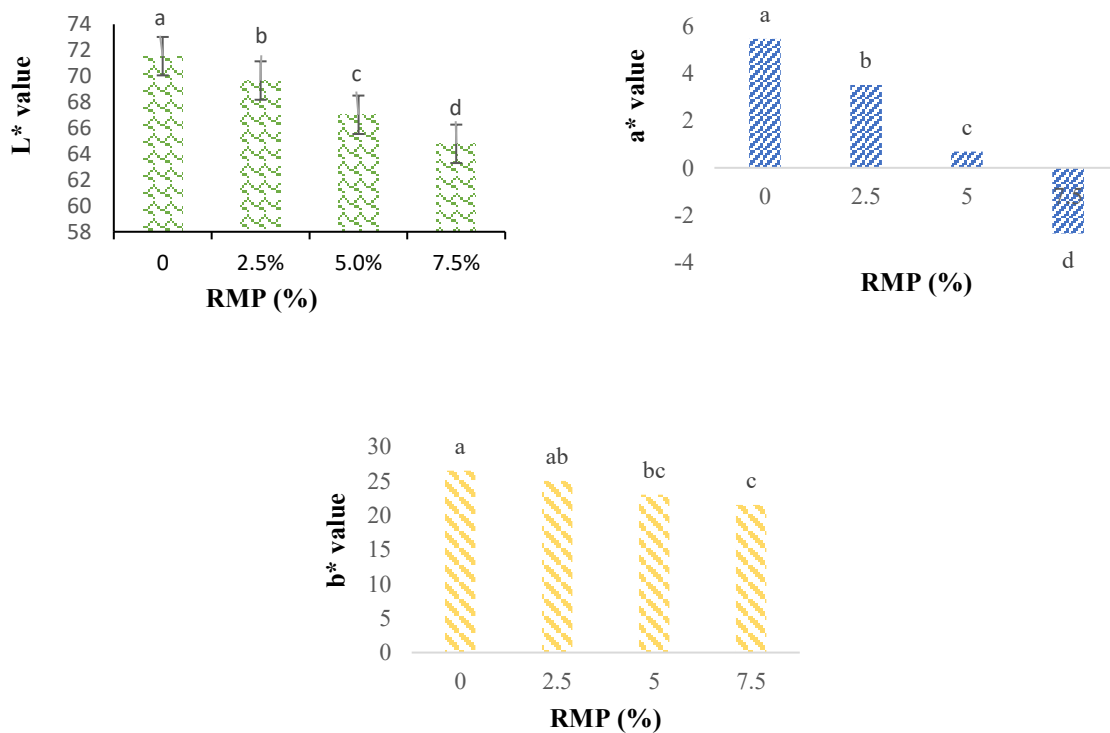
رنگ کیک یکی از مهم ترین عوامل مؤثر بر بازارپسندی آن می باشد. مقایسه میانگین شاخص های رنگی  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  نشان داد که افزودن پودر میکروگرین برنج (RMP) سبب ایجاد اختلافات معنی داری بر میزان ویژگی های مذکور شد ( $p < 0/05$ )، ولی افزودن آنزیم TG به جز شاخص روشنایی تأثیر معنی داری در این زمینه نداشت ( $P > 0/05$ ). افزایش RMP در فرمولاسیون

نتایج اثرات متقابل آنزیم TG × RMP بر خاکستر کیک اسفنجی نشان داد بیشترین میزان خاکستر کیک به میزان ۰/۸۳ درصد در نمونه حاوی مقدار ۷/۵ درصد میکروگرین برنج فاقد آنزیم ترانس گلوتامیناز و کمترین آن در نمونه شاهد به میزان ۰/۵۵ درصد مشاهده شد. در هر حال مطابق شکل ۲-۲b، اختلاف معنی داری میان نمونه های حاوی سطوح بالای میکروگرین (۷/۵ و ۵ درصد) حاوی یا فاقد آنزیم مشاهده نشد. در این نمودار نیز می توان مشاهده نمود که تیمار آنزیمی، تأثیری در درصد خاکستر نمونه های کیک نداشته است. در هر حال، پلایاخانی و همکاران در تحقیقات خود نشان دادند که افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز و پودر پروتئین ماهی سبب افزایش خاکستر کیک شد [۴۰]. همچنین مطابق نتایج شکل ۲-۲c، بیشترین میزان فیبر (۰/۵۳ درصد) مربوط به نمونه کیک حاوی ۷/۵ درصد RMP به

RMP با افزایش رطوبت نهایی اثر واکنش دهنده‌ها (قندها، اسیدهای آمینه) را رقیق می‌کند و ظرفیت حرارتی/تبخیر را در طول پخت افزایش می‌دهد، که می‌تواند قهوه‌ای شدن میلارد را که رنگدانه‌های زرد-قهوه‌ای تولید می‌کند، کاهش دهد [۴۱]. در نتایج مشابه، سانتوس و همکاران [۴۲] نشان دادند که با افزودن ۳/۸ درصد پودر برگ هویج به کیک اسفنجی، شاخص روشنایی و قرمزی کاهش می‌یابد. در حال این محققین برخلاف نتایج تحقیق حاضر افزایش مقدار زردی ( $b^*$ ) را در نمونه‌های کیک گزارش نمودند.

نمونه‌های کیک سبب کاهش میزان درجه روشنایی مغز کیک شد (شکل ۳). رنگ مغز کیک عمدتاً به رنگ مواد تشکیل دهنده مواد مرتبط است. وجود فیبر و ترکیبات کلروفیل میکروگرین برنج می‌تواند عامل مؤثری در کاهش روشنایی کیک‌های اسفنجی باشد [۳۹]. با افزودن ۷/۵٪ RMP، شاخص  $a^*$  یا رنگ قرمزی در کیک‌ها به حداقل ممکن رسید که علت آن را می‌توان به رنگ سبز کلروفیل موجود در پودر میکروگرین برنج مصرف شده در کیک‌های اسفنجی نسبت داد. همچنین وجود RMP در کیک بر شاخص  $b^*$  (میزان زردی کیک)

اثر نزولی داشت. علت نتیجه حاصل را می‌توان به افزایش رطوبت کیک‌های اسفنجی نسبت داد. افزودن



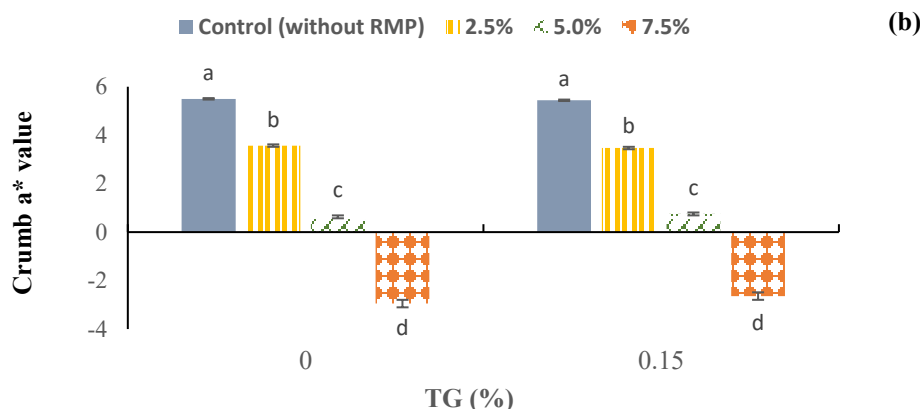
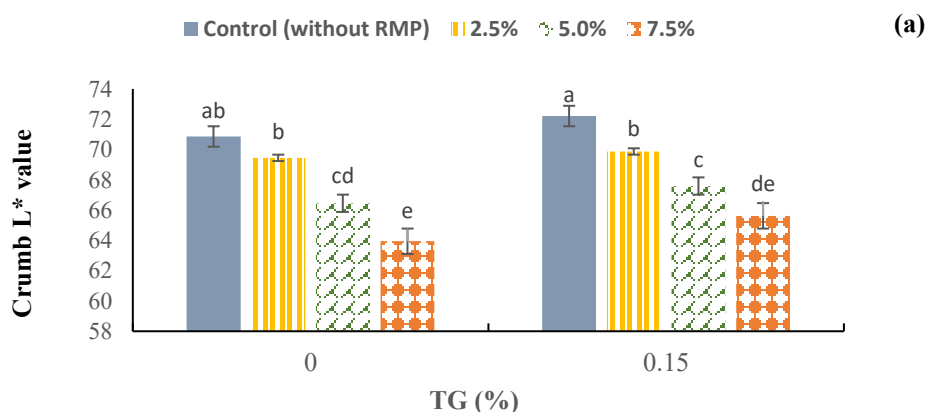
**Figure 3.** Effect of adding rice microgreen powder (RMP) on the crumb color values of sponge cake

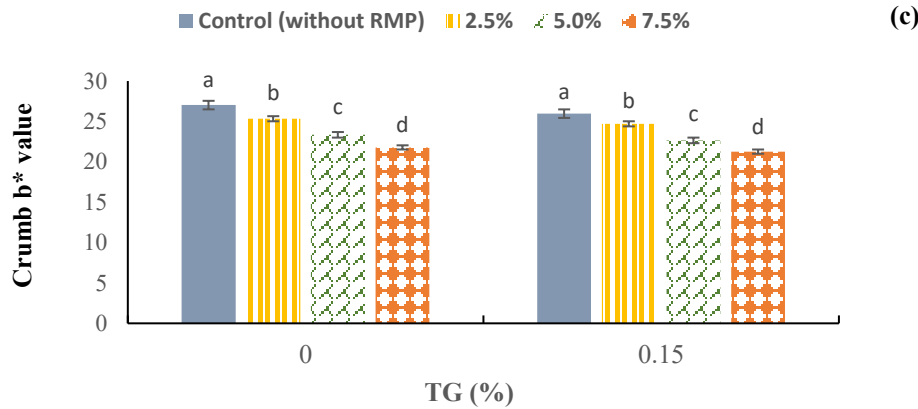
سبب کاهش معنی‌دار این ویژگی شد. در مقابل، تیمار آنزیمی TG سبب افزایش مقدار روشنایی شد ( $p < 0.05$ ) (جدول ۱). در میان نمونه‌های مختلف کیک، کمترین

همانطور که در شکل ۴-a می‌توان ملاحظه نمود، افزودن مقادیر مختلف RMP اختلاف معنی‌داری در شاخص روشنایی ( $L^*$ ) میان تیمارهای کیک ایجاد نمود و

شده است و دلیل آن به افزایش هیدراتاسیون پروتئین‌ها و افزایش تعداد حفره‌های سرمی و ایجاد بافتی متخلخل نسبت داده شده است [۴۵]. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، تیمار TG با ایجاد پیوندهای عرضی پروتئینی، شبکه‌ای هیدراته‌تر ایجاد می‌کند که آب را بهتر نگه می‌دارد. این موضوع سبب افزایش رطوبت و در نتیجه رقیق شدن محیط و کاهش احتمال برخورد مواد واکنش‌دهنده در قهوه‌ای شدن میلارد می‌شود. از طرف دیگر، TG با ایجاد اتصالات عرضی و ممانعت از دسترسی مولکول‌های شرکت‌کننده در قهوه‌ای شدن میلارد (اسیدهای آمینه)، موجب کاهش یا تغییر رنگ محصول می‌شود [۳۵].

روشنایی (۶۳/۹۴) مربوط به تیمار حاوی ۷/۵ درصد پودر میکروگرین بدون آنزیم و بیشترین روشنایی (۷۲/۲۱) مربوط به تیمار فاقد پودر میکروگرین برنج به همراه ۰/۱۵ درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز بود (شکل ۴-ا). در واقع مطابق با نتایج این تحقیق، هر چه درصد پودر میکروگرین برنج بیشتر و درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز کمتر باشد، روشنایی و به دنبال آن میزان سفیدی رنگ کاهش پیدا می‌کند. باباخانی و همکاران (۱۳۹۸) گزارش نمودند که افزودن بیش از حد پودر پروتئین ماهی سبب افزایش تیرگی رنگ کیک می‌گردد و آن‌ها برای برطرف کردن این مشکل و بهبود کیفیت کیک از آنزیم ترانس گلوتامیناز استفاده کردند [۴۰]. افزایش روشنایی در نتیجه تیمار آنزیمی TG در سایر مواد غذایی نظیر بستنی [۴۳] و پنیر [۴۴] نیز گزارش





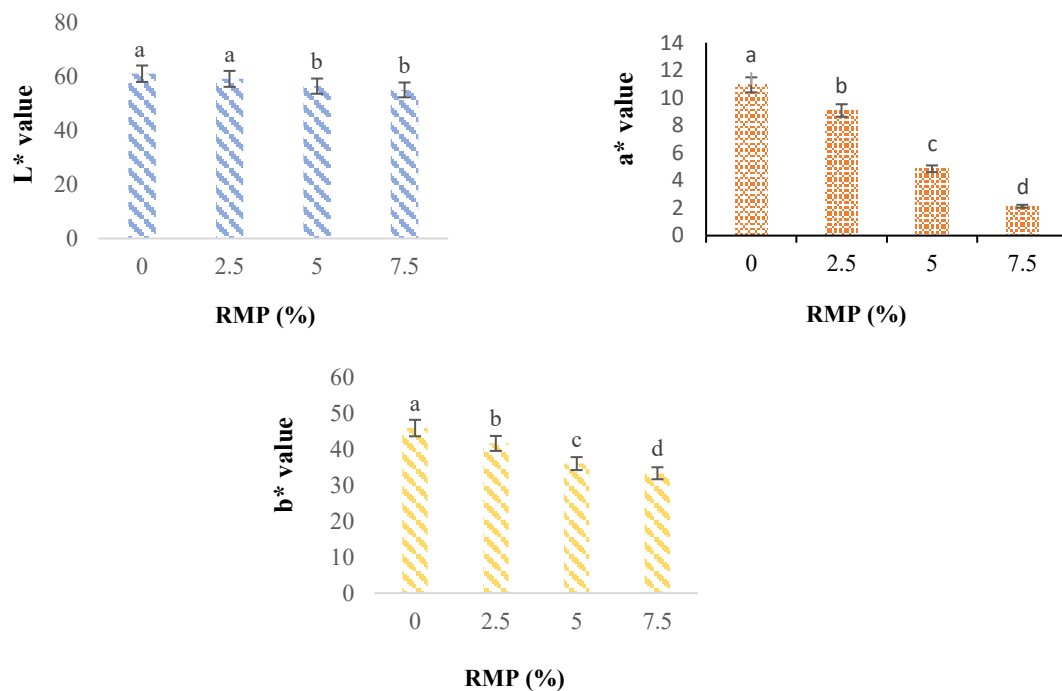
**Figure 4.** The effect of adding different amounts of rice microgreen powder (RMP) and transglutaminase enzyme (TG) on the crumb color values of sponge cake

نشان داد با افزایش درصد جایگزینی RMP رنگ کیک تیره تر شد و میزان تمامی شاخص های رنگ پوسته ( $L^*$ ,  $b^*$  و  $a^*$ ) کاهش معنی داری یافت. به طور کلی رنگ پوسته محصولات پخت تحت تأثیر شدت واکنش های میلارد و کاراملیزاسیون قرار دارد [۴۶]. آزاد مرد میرچی و راعی [۴۷] گزارش نمودند تأثیر افزودن پودر شیر خرم تا مقدار ۱۰۰ درصد سبب تیره تر شدن رنگ پوسته در مقایسه با نمونه شاهد گردید. نتایج ایوانی و همکاران [۴] نشان داد که افزایش جایگزینی پودر هسته انار با آرد گندم تأثیر منفی بر روی شاخص  $L$  و  $b$  نمونه های کیک داشت. جئونگ و شیم [۴۸] کاهش زردی و روشنایی و افزایش قرمزی پوسته کیک را با افزایش جایگزینی پودر قارچ صدفی با آرد مورد استفاده در تهیه کیک اسفنجی گزارش کردند. حسینی قابوس و همکاران [۴۹] در بررسی تأثیر افزودن سبوس برنج و روزبھانی و همکاران [۵۰] در بررسی اثر غنی کردن کیک اسفنجی با مایکوپروتئین تهیه شده از *Fusarium venenatum* نیز بیان نمودند افزودن این ترکیبات باعث تیره تر شدن کیک می شود. کووالسکی و همکاران نیز مشابه نتایج این تحقیق کاهش هر ۳ پارامتر اندازه گیری شده رنگ را در نمونه های کیک اسفنجی غنی شده با پودر خوراکی حشرات گزارش کردند [۵۱].

مطابق شکل ۴-ب، بیشترین مقدار شاخص  $a^*$  مغز کیک مربوط به نمونه شاهد (۵/۵۰) بود که با تیمار فاقد RMP تیمار شده با ۰/۱۵ درصد آنزیم TG (۵/۴۴) اختلاف معنی داری نداشت. کمترین شاخص  $a^*$  مغز کیک (۲/۹۵-) مربوط به نمونه کیک حاوی ۷/۵ درصد RMP فاقد آنزیم TG بود که با نمونه کیک حاوی حداکثر مقدار RMP تیمار شده با آنزیم TG (۲/۶۴-) اختلاف معنی داری نداشت. همچنین بیشترین و کمترین مقدار شاخص  $b^*$  مغز (زردی کیک) به ترتیب مربوط به نمونه شاهد (۲۷/۰۲) و کیک حاوی ۷/۵ درصد RMP تیمار شده با ۰/۱۵ درصد آنزیم TG (۲۱/۲۶) بود (شکل ۴-ج). در واقع افزودن پودر میکروگرین برنج باعث کاهش میزان زردی کیک گردید.

#### ۲-۲-۳- ویژگی های رنگ پوسته کیک

نتایج این تحقیق نشان داد که همانند مغز نان، افزودن پودر میکروگرین برنج یا RMP تأثیر معنی داری ( $p < 0/05$ ) بر شاخص های  $L$ ،  $a$ ، و  $b$  نمونه های کیک اسفنجی داشت (شکل ۵). در مقابل، همانند نتایج به دست آمده در مورد رنگ مغز نان، تیمار آنزیمی ترانس گلوتامیناز (TG) به جز شاخص روشنایی تأثیر معنی داری بر شاخص های اندازه گیری شده رنگ پوسته نان نداشت ( $P > 0/05$ ). نتایج



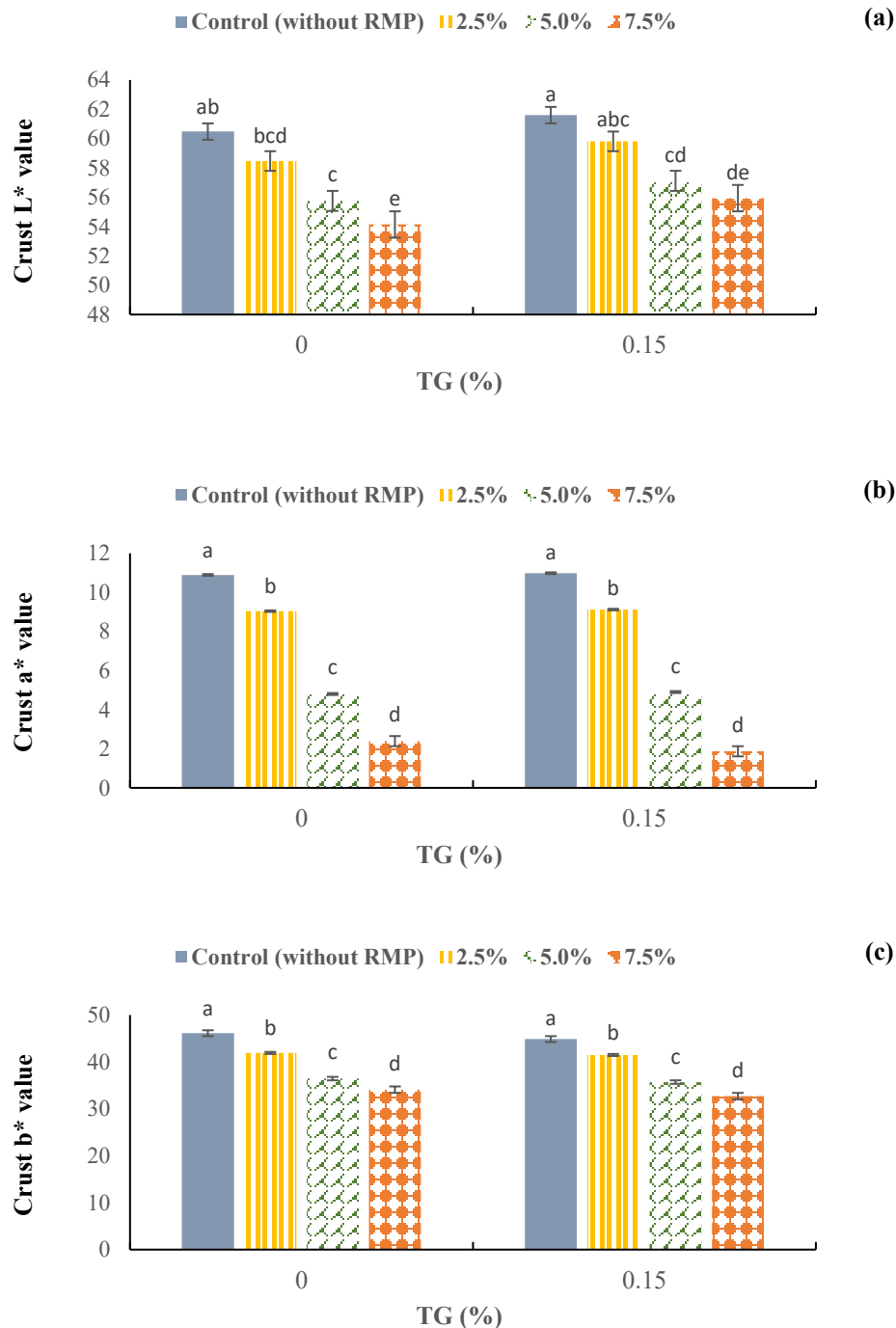
**Figure 5.** Effect of adding rice microgreen powder (RMP) on the crust color values of sponge cake

شکل ۶-ب، اثر متقابل یا برهم‌کنش میان متغیرهای آنزیم TG و RMP را بر میزان شاخص رنگ  $a^*$  کیک اسفنجی نشان می‌دهد. مطابق با نتایج به‌دست آمده در میان تمامی نمونه‌های کیک حاوی آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و میکروگرین برنج، نمونه فاقد RMP (با یا بدون آنزیم TG به‌ترتیب با مقادیر ۱۰/۹۸ و ۱۰/۸۹) از بالاترین میزان شاخص رنگ  $a^*$  پوسته و نمونه حاوی ۷/۵ درصد RMP (با یا بدون ۰/۱۵٪ آنزیم TG به‌ترتیب با مقادیر ۱/۸۷ و ۲/۳۹) از کمترین میزان شاخص رنگ  $a^*$  پوسته در میان نمونه‌های مختلف برخوردار بودند. بنابراین نتایج نشان داد که افزودن RMP به شکل معنی‌داری سبب کاهش شاخص رنگ  $a^*$  شد درحالی‌که تیمار آنزیمی TG تأثیر معنی‌داری بر قرمزی نمونه‌های کیک نداشت. نتایج اثر متقابل پودر میکروگرین برنج و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر شاخص  $b^*$  (زردی) پوسته نمونه‌های کیک اسفنجی نیز نشان داد که در میان تمامی نمونه‌های کیک حاوی آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و میکروگرین برنج، نمونه فاقد RMP (با یا

مطابق شکل ۶-ا، نمونه کیک فاقد میکروگرین برنج یا RMP و حاوی آنزیم ترانس‌گلوتامیناز دارای بیشترین (۶۱/۶) و نمونه فاقد آنزیم TG و حاوی ۷/۵ درصد RMP دارای کمترین مقدار (۵۴/۱۴) شاخص  $L^*$  پوسته هستند. سعیدی و همکاران [۵۲] در بررسی تأثیر افزودن پودر هسته انار و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر پایه آرد بر کیک اسفنجی نتایج مشابهی را گزارش کردند. در مورد تأثیر آنزیم باید توجه نمود که افزودن بیش از حد آنزیم TG سبب کاهش روشنایی مواد غذایی منجمله پوسته کیک می‌شود. گندم دارای شبکه قوی گلوتمی می‌باشد که این شبکه در اثر افزودن آنزیم ترانس‌گلوتامیناز قویتر می‌شود و بافت کیک فشرده و ساختار فیزیکی آن تغییر می‌کند. در واقع فشرده شدن بافت کیک بر انعکاس نور اثر می‌گذارد و رنگ تیره‌تر به‌نظر می‌رسد.

بدون آنزیم TG به ترتیب با مقادیر ۴۴/۸۷ و ۴۶/۱۲) از بالاترین میزان شاخص رنگ  $b^*$  و نمونه حاوی ۷/۵ درصد RMP (با یا بدون ۰/۱۵٪ آنزیم TG به ترتیب با مقادیر ۳۲/۷۱ و ۳۴/۰۹ از

کمترین میزان شاخص رنگ  $b^*$  پوسته در میان نمونه‌های مختلف برخوردار بودند (شکل ۶-۳).



**Figure 6.** The interaction effect of rice microgreen powder (RMP) and transglutaminase enzyme (TG) on the crust color values of the sponge cakes

غذایی به شکل تجاری استفاده نمود. به علاوه استفاده توأم آنزیم TG با RMP می تواند کیفیت کیک اسفنجی و احتمالاً سایر محصولات پخت را ارتقا دهد.

#### ۴- نتیجه گیری

افزایش تقاضای مصرف کنندگان برای محصولات غذایی سالم تر، چالش مهمی را برای صنعت غذا ایجاد کرده است. این موضوع به ویژه در محصولات پختی که به طور گسترده تولید و مصرف می شوند با اهمیت است، چرا که می باید تعادل بین خواص تغذیه ای و طعم در این محصولات ایجاد شود؛ زیرا غالباً به دلیل کالری بالا و کمبود مواد مغذی ضروری همواره مصرفشان مورد سؤال و انتقاد بوده است. تحقیقات اخیر بر غنی سازی این محصولات با مواد اولیه کاربردی برای افزایش ارزش غذایی آنها متمرکز شده است. این مطالعه نیز به بررسی توسعه یک کیک اسفنجی غنی شده با پودر میکروگرین برنج (RMP) همراه با تیمار آنزیمی ترانس گلوتامیناز (TG) پرداخته است تا از این طریق بتوان محصولی با ارزش غذایی بالاتر و در عین حال کیفیتی قابل قبول تولید نمود. نتایج حاصل از بررسی خواص شیمیایی نمونه های کیک اسفنجی نشان داد که افزودن RMP در فرمولاسیون کیک اسفنجی، باعث افزایش معنی داری در میزان رطوبت، خاکستر و فیبر کل نمونه ها گردید، بطوریکه تمامی تیمارهای حاوی ۷/۵ درصد RMP، دارای رطوبت، خاکستر و فیبر کل بیشتری نسبت به سایر نمونه ها بودند. در هر حال، از نظر میزان چربی و پروتئین اختلاف معنی داری بین تیمارهای غنی شده و شاهد مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ). همچنین آنزیم ترانس گلوتامیناز (TG) تنها بر رطوبت کیک تأثیر معنی دار داشت ( $P < 0/01$ ) و اثر آن بر سایر ویژگی ها غیر معنی دار بود ( $P > 0/05$ ). در بررسی ویژگی های رنگ محصول، مشخص شد که RMP سبب کاهش قابل توجه تمامی شاخص های رنگی شد اما آنزیم TG تأثیر چندانی در این زمینه نداشت. با توجه به تأثیر مثبت افزودن RMP به ویژه در سطوح ۵ و ۷/۵ درصد بر خواص حسی کیک اسفنجی (نتایج در این تحقیق نشان داده نشده است) و بهبود مواد مغذی محصول، می توان از این پودر به عنوان یک ماده غنی کننده مناسب در فرمولاسیون کیک اسفنجی و سایر مواد

#### ۵- سپاسگزاری

این پژوهش (پروژه طرح کاربردی شماره ۱/۴۱۱/۱۰۶۴) با حمایت مالی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شده است و به این منظور نویسندگان مراتب قدردانی خود را از مسئولین محترم دانشگاه اعلام می دارند. همچنین از مدیران و پرسنل محترم شرکت آرد خوزستان قدردانی می گردد.

#### دسترسی به داده ها

بنا به درخواست در دسترس قرار خواهند گرفت.

#### تضاد منافع

نویسندگان هیچگونه تضاد منافی ندارند.

#### بیانیه تأمین مالی

هیچ بودجه جداگانه ای برای این تحقیق دریافت نشده است.

#### مشارکت نویسندگان

**حسین جوینده:** مفهوم سازی، مدیریت پروژه، تحقیق، مصورسازی، روش شناسی، نرم افزار، اعتبارسنجی، نگارش - بررسی و ویرایش.

**بهروز علیزاده بهبهانی:** مفهوم سازی، مدیریت پروژه، تحقیق، مصورسازی و نگارش - پیش نویس اصلی.

**سارا صنیعی:** جمع آوری داده ها، تحلیل رسمی، منابع.

#### ۵- منابع

- Cauvain, S.P. & Young, L.S. 2006. The Chorleywood bread process. Boca Raton: CRC Press.
- [1] Humble, N. 2013. Cake: A Global History (Edible). Reaktion Books, 156 pages.
- [2] Guiné, R.P.F., & Florença, S.G. 2024. Development and Characterisation of Functional Bakery Products. *Physchem*, 4: 234-257.
- [3] Eivani, F., Nasehi, B., Noshad, M., & Barzegar, H. 2020. Effect of flour replacement with pomegranate seed powder on the properties of Sponge Cake. 16(4): 437-452. (In Persian)
- [4] 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.
- [5] 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)
- [6] 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)
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Braunstein, S.L. & Pati, A.K. 2012. Quantum information with continuous variables. *Springer Science and Business Media*, 77(2): 513-577.
- [10] Kaya, S., & Yardımcı, H. 2025. Microgreens: nutritional properties, health benefits, production techniques, and food safety risks. *PeerJ*, 13: e17938.
- [11] Hansda, N.N., Thapa, U. & Kundu, S. 2025. A Review on Sustainable Microgreen Cultivation for Urban Farming With Minimal Resources. *Journal of Scientific Research and Reports*, 31(8): 613-621.
- [12] Ebert, A.W. 2022. Sprouts and Microgreens— Novel Food Sources for Healthy Diets. *Plants* 11: 571.
- [13] Mazumder, K., Aktar, A., Biswas, B., & Hossain, M.E. 2025. Proteins, Vitamins, Minerals, Cereal, Vegetables, and Beverages as Functional Foods. In: Mukherjee, B. (eds) *Dietary Supplements and Nutraceuticals*. Springer, Singapore.
- [14] Ibrahim, M.A., Asuka, E., & Jialal, I. 2022. Hypercholesterolemia; StatPearls: Treasure Island, FL, USA.
- [15] Di Gioia, F. & Santamaria, P. 2015. Microgreens, agrobiodiversity and food security. In: Di Gioia F, Santamaria P (eds) *Microgreens*. Eco-logica editore, Bari: 7-24.
- [16] Castellaneta, A., Horing, M., Losito, I., Leoni, B., Santamaria, P., Calvano, C.D. et al. 2024. Exploration of the Lipid Profile of Edible Oleaginous Microgreens by Mass Spectrometry-Based Lipidomics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(20): 11438-11451.
- [17] Wojdyło, A., Nowicka, P., Tkacz, K., & Turkiewicz, I.P. 2020. Sprouts vs. microgreens as novel functional foods: Variation of nutritional and phytochemical profiles and their in vitro bioactive properties. *Molecules*, 25(20): 4648.
- [18] Bhaswant, M., Shanmugam, D.K., Miyazawa, T., Abe, C., & Miyazawa, T. 2023. Microgreens—A Comprehensive Review of Bioactive Molecules and Health Benefits. *Molecules*, 28(2): 867.
- [19] 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.
- [20] Zhang, H., Yao, H. Y., & Chen, F. 2006. Accumulation of gamma aminobutyric acid in rice germ using protease. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 70: 1160e1165.
- [21] Mansouri, M., Noshad, M., Mehrnia, M.A., & Hojjati, M. 2024. Sunflower microgreen powder as functional component to enhance the quality of gluten-free cakes. *LWT*, 198: 116049.
- [22] Kaur, N., Singh, B., & Kaur, A. 2022. Influence of wheatgrass and mung bean microgreens incorporation on physicochemical, textural, sensory, antioxidant properties and phenolic profile of gluten-free eggless rice muffins. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(5): 3012-3020.
- [23] Zheng, T., Chen, H., Yu, Y., Wang, P., Li, Y., Chen, G., Si, J., & Yang, H. 2024. Property

- and quality of japonica rice cake prepared with *Polygonatum cyrtoneuma* powder. Food Chemistry- X. 9(22): 101370.
- [24] 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.
- [25] Klopsch, R., Baldermann, S., Voss, A., Rohn, S., Schreiner, M., & Neugart, S. 2018. Bread enriched with legume microgreens and leaves—ontogenetic and baking-driven changes in the profile of secondary plant metabolites. Frontiers in Chemistry, 6: 322.
- [26] Romagnolo, D. F., Donovan, M. G., Papoutsis, A. J., Doetschman, T.C., & Selmin, O. I. 2017. Genistein prevents BRCA1 CpG methylation and proliferation in human breast cancer cells with activated aromatic hydrocarbon receptor. Current Developments in Nutrition, 1: e000562.
- [27] Sehrish, A., Majeed, I., Zongo, E., Ayub, H., Rasul, H., Abdul Rahim, M., et al. 2023. A review on various extraction and detection methods of bio-functional components from microgreens: food applications and health properties. International Journal of Food Properties, 26(2): 3082-3105.
- [28] Jooyandeh, H., Alizadeh Behbahani, B., & Saniee, S. 2026. The effect of rice microgreen powder and transglutaminase enzyme on the textural and sensorial characteristics of sponge cake during storage period. Journal of Food Science and Technology (Iran), 23(173), In Press. (In Persian)
- [29] AACC 2010. Approved methods of American association of cereal chemists (10<sup>th</sup> eds). Inc., the American Association of Cereal Chemists, St Paul., USA.
- [30] Jooyandeh, H., Noshad, M., & Khamirian, R.A. 2018. Modeling of ultrasound-assisted extraction, characterization and in vitro pharmacological potential of polysaccharides from *Vaccinium arctostaphylos* L. International Journal of Biological Macromolecules, 107(part A): 938-948.
- [31] Asghari-pour, S., Noshad, M., Nasehi, B., Jooyandeh, H., & 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.
- [32] Horstmann, S. W., Lynch, K.M., & Arendt, E.K. 2017. Starch Characteristics Linked to Gluten-Free Products. Foods, 6(4)
- [33] Sahraiyani, B., Mazaheri Tehrani, M., Naghipour, F., Ghiafeh Davoodi, M., & Soleimani, M. 2013. The effect of mixing wheat flour with rice bran and soybean flour on physicochemical and sensory properties of baguettes. Iranian Journal of Nutrition Science & Food Technology. 8(3): 229-240.
- [34] Jooyandeh, H. 2024. Application of enzymes in dairy products. 2<sup>nd</sup> ed., Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University Press. (In Persian)
- [35] 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.
- [36] Safari Koshali, S., Ghotbi, M., & Roozbeh Nasirani, L. 2020. Study of the Flour Replacement with Grapefruit Fiber on the Chemical and Sensory Properties of Cookies. Journal of Innovation in Food Science and Technology, 11(4): 37-48.
- [37] Javaheripour, N., Shahsevani Mojarad, L., Mahdikhani, Sh., & Inanloo, Y. 2021. The effect of adding quinoa flour and germinated wheat flour on the physicochemical, microbial and sensory properties of sponge cake. Journal of Food Science & Technology (Iran), 18(119): 375-392. (In Persian)
- [38] 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)
- [39] Babakhani, S., Moghaddaszadeh-Ahrabi, S., & 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)
- [40] Chen, Ch., Espinal-Ruiz, M., Francavilla, A., Joye, I.J., & Corradini, M.G. 2024. Morphological changes and color development during cookie baking—Kinetic, heat, and mass transfer considerations. Food Science, 89(7): 4331-4344.
- [41] Santos, A.C., Yassunaka, N.N., Ruiz, S., Schneider, V., Visentainer, J., & Madrona, G. 2014. Sensory and physicochemical study of carrot leaf sponge cake. Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos, 4(2): 41-46.
- [42] Danesh, E., Goudarzi, M., & 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.
- [43] 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)
- [44] Danesh, E., Jooyandeh, H., Goudarzi, M. 2017. Improving the rheological properties of low-fat Iranian UF-Feta cheese by incorporation of whey protein concentrate and enzymatic treatment of transglutaminase. Journal of Food Science & Technology (Iran), 14(67): 285-298. (In Persian)
- [45] 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.
- [46] Azadmard-Damirchi, S., & Raei, P. 2015. Effect of different amounts of date syrup powder on shelf life and quantitative and qualitative properties of sponge cake. Iranian Journal of Biosystem Engineering, 46(4): 399-404. (In Persian)
- [47] Jeong, Ch.H., and Shim, K.H. 2004. Quality Characteristics of Sponge Cakes with Addition of *Pleurotus eryngii* Mushroom Powders. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 33(4): 716-722.
- [48] 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.
- [49] Rouzbahani, M., Hosseini, H., Rastegar, H., Valizade, S., Mirza Alizadeh, A., Sharifan, A. et al. 2024. Physicochemical, rheological and organoleptic characterizations of sponge cakes fortified with mycoproteins. Journal of Agriculture and Food Research, 17: 101223.
- [50] Kowalski, S., Gumul, D., Oracz, J., Mickowska, B., Skotnicka, M., Rosicka-Kaczmarek, J. et al. 2023. Chemical Composition, Antioxidant Properties and Sensory Aspects of Sponge Cakes Supplemented with Edible Insect Flours. Antioxidants, 12: 1912.
- [51] 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)



## Scientific Research

## Investigating the effect of adding microgreen rice powder and transglutaminase enzyme treatment on nutritional value and color characteristics of sponge cake

Hossein Jooyandeh<sup>1\*</sup>, Behrooz Alizadeh Behbehani<sup>2</sup>, Sara Saniee<sup>3</sup>

- 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

## ABSTRACT

## Article History:

Received: 2025/11/18

Review: 2025/12/14

Accepted: 2025/12/27

## Keywords:

RMP,  
TG,  
Chemical properties,  
Lightness,  
Redness.

DOI: 10.48311/fsct.2026.117774.82941

\*Corresponding Author E-

hosjooy@asnruk.ac.ir

Enriching sponge cake with microgreens can significantly increase its nutritional value by raising the concentrations of vitamins, minerals, and bioactive phytochemicals, thereby transforming a widely consumed confectionery into a functional food with potential benefits for general health and adequate micronutrient supply. This study investigated the effect of adding rice microgreen powder (RMP) at four levels (0, 2.5, 5, and 7.5% w/w, as a replacement for wheat flour) and transglutaminase (TG) enzyme at two levels (0 and 0.15%) on the composition and color characteristics of sponge cake. Results showed that RMP significantly increased moisture, ash, and total fiber ( $P < 0.001$ ), while TG increased only moisture ( $P < 0.01$ ), contributing to improved texture. Color analysis indicated that RMP reduced all three-color parameters ( $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$ ), whereas TG only had a significant effect on brightness, and increased the  $L^*$  values of both the crumb and the crust ( $P < 0.05$ ). Overall, based on crust color, there was no significant difference between the sample containing 2.5% RMP (with or without TG) and the control; moreover, all RMP-enriched samples exhibited acceptable color quality. Therefore, the use of RMP at levels of 5–7.5% for sponge cake enrichment along with TG enzymatic treatment is recommended.