



ارزیابی عملکرد ژل امولسیفایر و پلی‌ال‌ها بر بهبود خصوصیات تکنولوژیکی، حسی و ماندگاری دونات تخمیری بدون گلوتن

زهرا میرزایی مقدم^۱، فریبا نقی‌پور^۲، علیرضا فرجی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم و فن‌آوری‌های نوین، واحد علوم پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳- گروه شیمی آلی، دانشکده شیمی دارویی، واحد علوم پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۹

کلمات کلیدی:

دونات تخمیری،

بدون گلوتن،

افزودنی،

بیاتی،

ماندگاری.

DOI: 10.48311/fsct.2025.84033.0.

* مسئول مکاتبات:

faribanaghipour@yahoo.com

دونات از جمله میان‌وعده‌هایی می‌باشد که در رژیم غذایی افراد مختلف جامعه دیده می‌شود و بهبود خصوصیات این محصول همچون افزایش مدت زمان ماندگاری آن و حفظ نرمی بافت و تازگی با صرف کمترین هزینه و تغییرات در روش تولید سبب افزایش سودآوری برای تولیدکنندگان می‌گردد. از این‌رو در تحقیق پیش‌رو از امولسیفایرها و پلی‌ال‌های مختلف در فرمولاسیون دونات بدون گلوتن تخمیری استفاده شد. بدین منظور نمونه‌های ژل امولسیفایر حاوی امولسیفایرهای پلی سوربات ۸۰، کربوکسی متیل سلولز و داتم هریک در سطح ۱ درصد (بر اساس وزن آرد مصرفی)، تهیه شدند. همچنین از پلی‌ال سوربیتول و پروپیلن گلایکول به میزان ۲ درصد (بر اساس وزن آرد مصرفی) و مخلوط دو پلی‌ال نیز به منظور بررسی اثر هم‌افزایی با نسبت برابر به فرمولاسیون دونات تخمیری بدون گلوتن اضافه شد و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، خصوصیات حسی و ماندگاری فیزیکی و شیمیایی محصول تولیدی در یک طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل مورد ارزیابی قرار گرفت ($P \leq 0.05$). نتایج نشان داد که با افزودن ژل امولسیفایر حاوی کربوکسی متیل سلولز و پلی‌ال پروپیلن گلایکول به فرمولاسیون دونات تخمیری بدون گلوتن، میزان رطوبت، حجم مخصوص، تخلخل، مؤلفه L^* پوسته محصول در مقایسه با سایر ژل امولسیفایرهای مورد استفاده افزایش بیشتری یافت. این در حالی بود که ژل امولسیفایر مذکور از قابلیت بیشتری در کاهش میزان مؤلفه a^* پوسته، سفتی بافت (در هر سه بازه زمانی دو ساعت، روز سوم و روز هفتم پس از پخت) و میزان جذب روغن نمونه‌های دونات بدون گلوتن برخوردار بود. در خصوص ارزیابی خصوصیات حسی نیز نتایج نشان داد نمونه حاوی کربوکسی متیل سلولز و پروپیلن گلایکول از امتیاز رنگ، بافت، طعم و پذیرش کلی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها برخوردار بود. بنابراین می‌توان گفت استفاده از ژل امولسیفایر حاوی کربوکسی متیل سلولز و پروپیلن گلایکول راهکاری در دسترس به منظور افزایش ماندگاری دونات تخمیری بدون گلوتن می‌باشد.

۱- مقدمه

دونات دارای دو قسمت اصلی بخش سرخ شده و بخش داخلی است. بخش سرخ شده در سطح است که مستقیماً در تماس با روغن قرار می‌گیرد. این قسمت بیشترین دفع رطوبت و بیشترین جذب روغن را دارد و در حالت ایده‌آل رنگ قهوه‌ای طلایی و بافت ترد دارد. بخش داخلی مشابه کیک است و اگر در طول سرخ کردن حرارت کافی دریافت نکند ژلاتیناسیون نشاسته به تعویق می‌افتد. رطوبت این قسمت بالاتر از سطح است که باعث می‌شود در طول ذخیره‌سازی، رطوبت به بخش سرخ شده مهاجرت کند و تردی سطح را از بین ببرد [۱]. ذکر این نکته ضروری است که ترکیب مهم در فرمولاسیون دونات و سایر محصولات صنایع پخت، آرد گندم می‌باشد و مسئول اصلی در ایجاد بافت نرم و متخلخل، پروتئین گلوتن موجود در آرد گندم می‌باشد و این ترکیب در افراد مبتلا به سلیاک ایجاد حساسیت می‌نماید.

بیماری سلیاک یک ناهنجاری مادام‌العمر روده‌ای است که به سبب خوردن گلوتن در افراد حساس ایجاد می‌شود. این بیماری یکی از رایج‌ترین ناهنجاری‌های ژنتیکی در جهان است. مصرف گلوتن توسط بیماران سلیاک سبب التهاب و تورم روده‌ی کوچک شده که در نتیجه موجب حذف ناقص مواد ضروری از قبیل: آهن- کلسیم و ویتامین‌های محلول در چربی و گاهی اوقات سبب کاهش وزن، اسهال، کم‌خونی، خستگی، نفخ شکم و کمبود فولات می‌شود [۲ و ۳]. تنها راه درمان بیماری سلیاک استفاده از یک رژیم غذایی فاقد پروتئین‌های گروه پرولامین یا اصطلاحاً بدون گلوتن^۱ در تمام طول عمر بیمار است [۴].

محصولات صنایع پخت به ویژه محصولات فاقد پروتئین گلوتن زمانی که در دمای محیط نگهداری می‌شوند،

رطوبت از دست داده و بافت سفت و خشن در آن‌ها ظاهر می‌شود که در واقع این فرآیند به‌عنوان بیاتی شناخته شده است. بیاتی محصولات صنایع پخت به دو دسته تقسیم می‌شود، یکی بیاتی پوسته و دیگری بیاتی مغز محصول نهایی است. بیاتی پوسته معمولاً به علت انتقال رطوبت از مغز به پوسته صورت می‌گیرد که منجر به ایجاد بافت چرمی شده و معمولاً در مقایسه با بیاتی مغز، کمتر مورد اعتراض مصرف‌کنندگان قرار می‌گیرد. سفتی مغز محصول نیز سبب نمایان شدن عدد سفتی بافت می‌شود که از مقبولیت حسی محصول به شدت می‌کاهد [۵]. به منظور بهبود ماندگاری و حفظ خصوصیات محصول نهایی طی مدت زمان نگهداری محصولات صنایع پخت از راهکارهای مختلفی می‌توان استفاده نمود. استفاده از افزودنی‌ها یکی از این راهکارهاست.

امولسیفایرها زیرمجموعه‌ای از مواد فعال در سطح^۲ هستند که با کاهش کشش سطحی بین دو فاز غیر قابل امتزاج^۳ سبب پایداری دو فاز در کنار هم می‌گردد، از این‌رو استفاده گسترده‌ای در محصولات غذایی دارند. به‌طور کلی امولسیفایر در سیستم‌های آبی پدیده مزومورفیزم^۴ را نشان می‌دهند. مزومورفیزم به معنی تشکیل فازهای کریستالی مایع می‌باشد (مزوفاز یا کریستال‌های مایع حالت خاصی از ماده است که همانند مایعات سیالیت دارند و مانند کریستال‌ها نور را در جهات مختلف منعکس می‌کنند). وقتی کریستال‌ها در محلول آبی تا دمای حدود ۶۰ درجه سلسیوس حرارت داده شوند، مزوفاز تشکیل می‌شود که اگر این فاز سرد شود، ژل تشکیل می‌شود. تشکیل فرم مزوفاز به عوامل متعددی همچون نوع امولسیفایر، دما، غلظت امولسیفایر و HLB^۵ بستگی دارد. در واقع زنجیره اسید چرب در ساختمان امولسیفایرها باعث جلوگیری از واکنش آب با بخش آبدوست امولسیفایر (گلیسرول) می‌شود که در اثر هیدراته

4 -Mesomorphism

5 -Hydrophilic-Lipophilic Balance (HLB)

1-Gluten-Free

2 -Surfactant

3- Immicible

موجود در سیستم‌های غذایی به صورت باند شده درآمده و بدین ترتیب با حذف نگهدارنده‌های شیمیایی مضر و با کنترل رشد میکروبی، مدت زمان ماندگاری محصول افزایش داد. در واقع پلی‌ال‌ها یا چند الکلی‌ها دارای تعداد زیادی گروه‌های هیدروکسیل آزاد در ساختمان خود بوده و توانایی جذب و نگهداری آب را در خود دارد [۱۱]. در پژوهش حاضر از دو ترکیب سوربیتول و پروپیلن گلیکول به عنوان پلی‌ال به منظور بهبود کیفیت دونات تخمیری بدون گلوتن استفاده شد.

در همین راستا بورگس و سالاس ملادو (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر آلفا آمیلاز، ترهالوز، سوربیتول و پلی سوربات ۸۰ بر کیفیت نان بدون گلوتن تهیه شده از آرد برنج پرداختند. نتایج نشان داد افزودن سوربیتول، ترهالوز، آلفا آمیلاز و پلی سوربات در کمترین غلظت (۰/۱ درصد) سبب بهبود حجم مخصوص، سفتی بافت و امتیاز بالای حسی می‌گردد. علاوه بر این حفظ رطوبت در پوسته و مغز محصول نهایی توسط این ترکیبات به کاهش سفتی و افزایش ماندگاری نان بدون گلوتن کمک می‌کند [۷]. همچنین غیائی طرزی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی تأثیر پلی‌ال‌ها (گلیسرین، پروپیلن گلیکول و سوربیتول)، شربت اینورت و شربت گلوکز بر حجم مخصوص خمیر و زمان ماندگاری یک روغنی پرداختند. نتایج نشان داد که گلیسرین و پروپیلن گلیکول در مقایسه با سوربیتول، شربت اینورت و شربت گلوکز اختلاف معنی‌داری در فعالیت آبی نمونه‌های یک داشتند، از این رو یک‌های حاوی گلیسرین و پروپیلن گلیکول مدت زمان ماندگاری بالاتری داشتند [۱۲].

از این رو در تحقیق حاضر از امولسیفایرها و پلی‌ال‌ها به صورت ژل در فرمولاسیون دونات بدون گلوتن تخمیری استفاده شد و خصوصیات فیزیکوشیمیایی، تکنولوژیکی، بافتی، تصویری و حسی محصول تولیدی مورد ارزیابی قرار گرفت تا بتوان نتیجه گرفت که نوع افزودنی و ترکیب آن‌ها چه تأثیری بر کیفیت این میان وعده پرمصرف خواهد داشت.

۲- مواد و روش‌ها

کردن امولسیفایرها، به ساختار آبدوست تغییر پیدا می‌کند و یک ساختار آبدوست در سطح قرار می‌گیرد که این عامل باعث می‌شود امولسیفایر با آب به راحتی واکنش دهد و امولسیفایر هیدراته از لحاظ عملکردی بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۶]. در فرمولاسیون ژل امولسیفایر از انواع امولسیفایرها می‌توان استفاده نمود که در پژوهش حاضر از امولسیفایرهای پلی سوربات ۸۰، کربوکسی متیل سلولز و داتم استفاده گردید.

پلی سوربات ۸۰ که در بازار به نام توئین ۸۰ شناخته می‌شود که در محصولات دارویی، آرایشی - بهداشتی و مواد غذایی به عنوان امولسیفایر استفاده می‌گردد. این محصول در دمای اتاق به حالت مایع روغنی شکل زرد کهربایی است. مقدار HLB این ترکیب برابر ۱۵ می‌باشد و امولسیفایر روغن در آب است و با توجه به زنجیره بلند پلی‌اکسی اتیلن این ترکیب، در آب قابل انحلال است [۷]. کربوکسی متیل نیز یک پلی‌ساکارید از نوع خطی، بلند زنجیره، محلول در آب و مهم‌ترین صمغ طبیعی بهبود یافته به روش شیمیایی می‌باشد که از ظرفیت نگهداری آب بسیار بالایی برخوردار است [۸]. در همین راستا اسکیارینی و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که اضافه نمودن صمغ کربوکسی متیل سلولز به خمیر نان‌های فاقد گلوتن در کاهش سفتی مغز نان، افزایش میزان جذب آب، حفظ رطوبت بافت و به تاخیر انداختن بیاتی و ماندگاری محصول نهایی مؤثر است [۹]. از دیگر امولسیفایرهای مورد استفاده در فرمولاسیون، مونو و دی اسیل گلیسرول‌های استر شده با مونو و دی استیل اسید تارتاریک (داتم) بود که یک امولسیفایر غیریونی روغن در آب هستند که برای افزایش کیفیت محصولات صنایع پخت استفاده می‌شوند. این نوع امولسیفایر قوام‌دهنده خمیر محسوب می‌شود و زمانی که به خمیر اضافه می‌شوند تحمل اختلاط، نگهداری گاز، حجم، بافت، مقاومت خمیر و ویژگی‌های برش‌پذیری را بهبود می‌دهند [۱۰].

پلی‌ال‌ها از دیگر افزودنی‌های مورد استفاده در فرمولاسیون ژل امولسیفایر می‌باشند. با استفاده از این ترکیبات آب آزاد

۲-۱- مواد

آرد برنج مورد استفاده در فرمولاسیون نمونه‌های دونات تخمیری بدون گلوتن تولیدی با نام تجاری برتر و حاوی ۱۰/۳۶ درصد رطوبت، ۸/۰۵ درصد پروتئین، ۰/۹۴ درصد خاکستر و ۱/۵۱ درصد چربی، از فروشگاه‌های معتبر خریداری شد. امولسیفایرها از شرکت پارس بهبود آسیا، پلی‌ال از شرکت Timer Network sdn Bhd (ساخت کشور مالزی)، صمغ گوار از شرکت عبدالقادر (شیمی ستر) (ساخت کشور هند) و کلیه مواد شیمیایی نیز از شرکت مرک (ساخت کشور آلمان) تهیه گردید. خمیرمایه نیز از شرکت خمیر مایه رضوی و سایر مواد مورد نیاز در آزمایش‌ها شامل روغن سرخ کردنی (با نام تجاری بهار، تهران)، نمک، شکر، شیر خشک و تخم‌مرغ از یکی از فروشگاه معتبر خریداری شدند.

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- تهیه ژل امولسیفایر

نمونه‌های ژل امولسیفایر حاوی امولسیفایرهای پلی سوربات ۸۰، کربوکسی متیل سلولز و داتم هریک در سطح ۱ درصد (بر اساس وزن آرد مصرفی) و پلی‌ال‌های سوربیول و پروپیلن گلیکول هر یک در سطح ۲ درصد (بر اساس وزن آرد مصرفی) و ترکیبی از این دو پلی‌ال به نسبت مساوی، تهیه شدند. بدین منظور ژل‌ها با استفاده از هریک از امولسیفایرها، پلی‌ال‌ها، آب (به منظور تشکیل ژل) و پتاسیم استئارات (۲ درصد) آماده شدند (پتاسیم استئارات یک امولسیفایر از خانواده نمک‌های استئارات است که برای پایدار کردن فرمول و افزایش غلظت استفاده می‌گردد). در ابتدا مخلوط آماده گردید و سپس تحت شرایط هم زدن مداوم، مخلوط تا دمای ۷۰ درجه سلسیوس حرارت داده شده سپس در اثر سرد کردن ژل‌ها تشکیل شدند [۱۳].

۲-۲-۲- تهیه دونات بدون گلوتن و تیمارهای مورد

بررسی

مواد اولیه دونات شامل ۵۵ درصد آرد برنج، ۵ درصد شکر، ۱۰ درصد تخم‌مرغ، ۵ درصد روغن، ۱۸ درصد آب، ۰/۵

درصد صمغ گوار، ۳ درصد مخمر، ۰/۲ درصد وانیل، ۲/۸ درصد شیرخشک، ۰/۵ درصد نمک (برای تهیه نمونه شاهد) بود.

برای آماده‌سازی دونات، ابتدا روغن و تخم‌مرغ در مخزن همزن (مدل Disona, Sp 24، ساخت کشور آلمان) به مدت ۳ دقیقه مخلوط شدند؛ شکر، مخمر، صمغ گوار و آب به آنها اضافه گردید (ژل امولسیفایرهای تولیدی در این مرحله اضافه شدند). در انتها سایر مواد خشک از جمله آرد برنج به مخلوط قبل اضافه شد و هم زدن به مدت ۵ دقیقه ادامه داده شد تا خمیر یکدست و یکنواخت به‌دست آید. خمیر تهیه شده به مدت ۵ دقیقه برای گذراندن دوره تخمیر اولیه روی میز کار قرار داده شد و بعد از گذشت این مدت زمان روی سطحی مسطح برای قالب خوردن (با قطر بیرونی ۸ سانتی‌متر و قطر داخلی ۳ سانتی‌متر)، به ضخامت ۱۵ میلی‌متر پهن گردید. خمیر قالب خورده در داخل سینی و به مدت ۴۵ دقیقه در گرمخانه (مدل backcombi, Miwe، ساخت کشور آلمان) با رطوبت نسبی ۸۰ درصد و دمای ۴۳ درجه سلسیوس برای تکمیل دوره تخمیر قرار داده شد. نمونه‌های خمیر دونات در سرخ‌کن (مدل DF Beem, 2008S، ساخت کشور آلمان) با دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۶ دقیقه سرخ شدند. پس از این مرحله، نمونه‌ها روی کاغذ جاذب برای حذف روغن اضافی و سرد شدن (به مدت ۳۰ دقیقه در دمای حدود ۲۵ درجه سلسیوس) قرار گرفتند و در انتها در کیسه‌های پلی اتیلنی به منظور ارزیابی ویژگی‌های کمی و کیفی، بسته‌بندی و در دمای محیط نگهداری شدند [۱۴].

۲-۲-۳- ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی دونات

تخمیری بدون گلوتن

۲-۲-۳-۱- اندازه‌گیری رطوبت و روغن

به منظور اندازه‌گیری رطوبت و روغن نمونه‌های دونات تولیدی، از آزمون AACC(۲۰۰۰) به ترتیب به شماره‌های ۱۶-۴۴ و ۱۰-۳۰ استفاده شد [۱۵].

۲-۲-۳-۲- اندازه‌گیری میزان حجم مخصوص

۳۰ میلی‌متر در دقیقه در نمونه، به‌عنوان شاخص سفتی^۷ محاسبه گردید.

۵-۳-۲- اندازه‌گیری عدد پراکسید

جهت اندازه‌گیری عدد پراکسید روغن استخراج شده از نمونه‌های دونات تولیدی از استاندارد ملی ایران به شماره ۳۷ استفاده شد [۱۸] و محاسبه عدد پراکسید روغن استخراج شده بر اساس رابطه ۱ انجام گردید:

$$P = \frac{1000 \times N \times V}{W} \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در این رابطه V میزان حجم هیپوسولفیت سدیم (برحسب میلی‌لیتر)، N نرمالیه محلول هیپوسولفیت سدیم و W وزن چربی بر حسب گرم و P عدد پراکسید بر حسب میلی‌اکی‌والان اکسیژن در کیلوگرم چربی است.

۶-۳-۲- ارزیابی خصوصیات حسی

به منظور ارزیابی ویژگی‌های حسی مانند فرم و شکل، پوکی و تخلخل، سفتی و نرمی بافت و بو، طعم و مزه که به‌ترتیب دارای ضریب رتبه ۴، ۲، ۳ و ۵ بودند، از روش هدونیک ۵ نقطه‌ای (۱: بسیار نامطلوب، ۲: نامطلوب و ... ۵: بسیار مطلوب) استفاده شد. هریک از نمونه‌های دونات را ۱۰ داور ارزیابی کردند. میزان پذیرش کلی نمونه‌های تولیدی با استفاده از رابطه ۲؛ گزارش گردید.

$$Q = \frac{\sum(P \times G)}{\sum P} \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در آن: Q = پذیرش کلی، P = ضریب رتبه صفات و G = ضریب ارزیابی صفات است.

۴-۲-۲- طرح آماری و روش آنالیز نتایج

نتایج بدست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور از یک طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل دو عامله که عامل اول نوع امولسیفایر در سه سطح پلی سوربات ۸۰، کربوکسی متیل سلولز و داتم و عامل دوم نیز نوع پلی‌ال در سه سطح سوربیتول، پروپیلن گلیکول و ترکیبی از این دو بود، استفاده گردید. نمونه‌ها در سه تکرار تهیه شد و

برای اندازه‌گیری حجم مخصوص نمونه‌های دونات تولیدی، از روش جایگزینی حجم با دانه کلزا^۶ مطابق با استاندارد AACC شماره ۱۰-۷۲ استفاده شد. برای این منظور قطعه مکعب شکل به ابعاد ۲۵ میلی‌متر با استفاده از یک چاقوی اره‌ای از هر نمونه جدا و توزین گردید و سپس درون یک سیلندر با حجم مشخص از دانه کلزا قرار گرفت و افزایش حجم یادداشت شد. در انتها از تقسیم حجم به وزن نمونه‌ها میزان حجم مخصوص گزارش گردید [۱۵].

۳-۳-۲- اندازه‌گیری میزان تخلخل و رنگ پوسته

ارزیابی میزان تخلخل و رنگ پوسته دونات، با استفاده از تکنیک پردازش تصویر انجام شد. در ابتدا به منظور ارزیابی میزان تخلخل یک قطعه نمونه به ابعاد ۲۵ میلی‌متر توسط یک چاقوی اره‌ای جدا گردید و از هر سه مقطع آن با استفاده از اسکنر (مدل: HP Scanjet G3010) با وضوح ۶۰۰ پیکسل تصاویر تهیه و در اختیار نرم افزار Image J قرار داده شد و با محاسبه نسبت نقاط روشن به تاریک، میزان تخلخل نمونه‌ها برآورد گردید. در نهایت میانگین تخلخل محاسبه شده برای هر سه مقطع نمونه به‌عنوان عدد نهایی تخلخل گزارش شد [۱۶].

در ادامه به منظور تعیین سه شاخص L^* ، a^* و b^* ، از هر دو پوسته بالای و پائینی تصاویری با استفاده از اسکنر تهیه و در بخش Plugins نرم‌افزار فضای LAB فعال و شاخص‌های فوق محاسبه شد و میانگین اعداد به‌دست آمده برای دو پوسته به‌عنوان مؤلفه‌های رنگ گزارش گردید [۱۷].

۴-۳-۲- آزمون ارزیابی بافت

سفتی بافت دونات در فاصله‌های زمانی روز اول، سوم و هفتم پس از تولید، با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (مدل XT plus، ساخت کشور انگلستان) ارزیابی شد. حداکثر نیروی مورد نیاز برای نفوذ یک پروب استوانه‌ای با انتهای صاف (۲ سانتی‌متر قطر در ۲/۳ سانتی‌متر ارتفاع) با سرعت

تأثیر افزودن انواع امولسیفایر و پلی‌ال در تهیه ژل بر میزان رطوبت نمونه‌های دونات بدون گلوتن در شکل ۱ ملاحظه می‌گردد. همانگونه که مشاهده می‌شود نمونه حاوی کربوکسی متیل سلولز و پروپیلن گلیکول از بیشترین و دو نمونه حاوی پلی‌سوربات ۸۰ و سوربیتول و پلی‌سوربات ۸۰ و ترکیب پلی‌ال‌ها از کمترین میزان رطوبت برخوردار بود ($P < 0.05$).

میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد ($P < 0.05$) مورد مقایسه قرار گرفتند. در انتها برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی دونات

تخمیری بدون گلوتن

۳-۱-۱- رطوبت

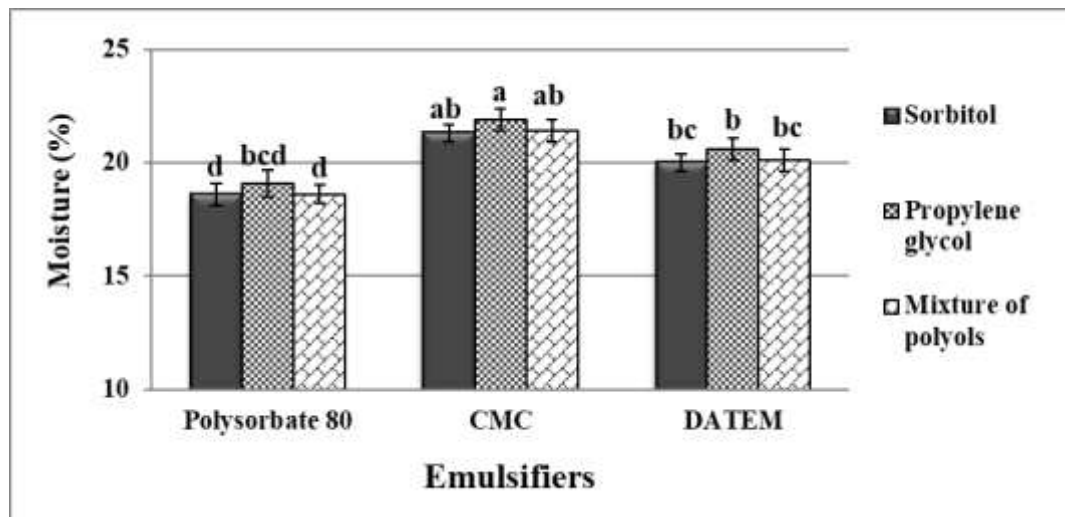


Fig 1. Effect of different emulsifiers and polyols addition on moisture content of gluten free doughnut (Means with different letters differ significantly in $p < 0.05$)

سلولز روی خواص فیزیکی‌شیمیایی و حسی نان باگت را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند اثر صمغ کربوکسی متیل سلولز در افزایش درصد رطوبت به مراتب بیشتر از صمغ گزانتان بود. ایشان در این خصوص اظهار داشتند صمغ کربوکسی متیل سلولز به دلیل دارا بودن گروه‌های زنجیری n دارای میزان گروه‌های هیدروکسیل بالاتری از صمغ گزانتان بود و قادر به ایجاد پیوندهای هیدروژنی بیشتر و در نتیجه افزایش میزان رطوبت محصول به میزان بالاتری از صمغ گزانتان بود [۲۱].

اما در خصوص افزایش میزان رطوبت محصول حاوی امولسیفایر داتم نیز زمردی و فرامرزی (۱۳۹۹) با بررسی تأثیر پودر دانه کتان و امولسیفایر داتم بر ویژگی‌های کیفی و حسی دونات بیان داشتند با افزایش میزان امولسیفایر داتم در فرمولاسیون محصول میزان رطوبت افزایش یافت. ایشان علت این موضوع را به قابلیت امولسیفایرها در جذب آب و کمک به حفظ رطوبت محصول نسبت دادند [۲۲]. از

رطوبت یکی از ویژگی‌های کیفی دونات است که بر بیاتی و زمان ماندگاری محصول تأثیر دارد. همان‌گونه که اشاره گردید افزودن کربوکسی متیل سلولز نسبت به سایر امولسیفایرها تأثیر بیشتری در افزایش میزان رطوبت دونات بدون گلوتن داشت. در همین راستا زاغیان و همکاران (۱۳۹۶) تأثیر کربوکسی متیل سلولز، گزانتان و امولسیفایر داتم بر ویژگی‌های یک فنجان‌ی بدون گلوتن بر پایه نشاسته برنج و اکارا با استفاده از روش سطح پاسخ را مورد مطالعه قرار داده و بیان داشتند با افزایش کمیت هر سه متغیر از مقادیر متوسط به بالا، روندی افزایشی در محتوی رطوبت محصول مشاهده می‌شود [۱۹]. گومز و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که دلیل افزایش رطوبت در نمونه‌های یک برنجی حاوی صمغ به ظرفیت نگهداری آب بالای موجود در ساختار هر دو صمغ گزانتان و کربوکسی متیل سلولز مصرفی مربوط است [۲۰]. ناطقی و رضایی (۱۴۰۰) نیز تأثیر صمغ گزانتان و کربوکسی متیل

ملاحظه‌ای در جذب رطوبت مواد غذایی ایفاد می‌کنند [۲۳].

۲-۱-۳- روغن

تأثیر افزودن انواع امولسیفایر و پلی‌ال در تهیه ژل بر میزان روغن نمونه‌های دونات بدون گلوتن در شکل ۲ ملاحظه می‌گردد. همانگونه که مشاهده می‌شود نمونه حاوی کربوکسی متیل سلولز و پروپیلن گلیکول از کمترین و دو نمونه حاوی پلی‌سوربات ۸۰ و سوربیتول و پلی‌سوربات ۸۰ و ترکیب پلی‌ال‌ها از بیشترین میزان روغن برخوردار بود ($P < 0.05$). با توجه به استاندارد ملی ایران به شماره ۱۶۹۸۰ بیشینه میزان روغن در دونات ۲۵ درصد می‌باشد [۲۴] که بر این اساس تمامی نمونه‌ها در محدوده مجاز از نظر میزان روغن قرار دارند.

طرفی مشاهده گردید، افزودن پروپیلن گلیکول نسبت به سایر پلی‌ال‌های مورد استفاده در فرمولاسیون دونات بدون گلوتن تأثیر بیشتری در افزایش میزان رطوبت محصول داشت. در این راستا غیائی طرزی و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر پلی‌ال‌ها (گلیسرین، پلی‌پروپیلن گلیکول و سوربیتول)، شربت اینورت و شربت گلوکز بر حجم مخصوص خمیر و زمان ملندگاری کیک روغنی را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند کیک‌هایی که در فرمولاسیون آن‌ها از پلی‌پروپیلن گلیکول استفاده شده بود نسبت به سایر نمونه‌ها از میزان رطوبت بیشتری برخوردار بودند [۱۲]. در این خصوص کسپر و همکاران (۲۰۰۷) عنوان داشتند مواد جاذبه الرطوبه از قبیل گلیسرین، سوربیتول و پلی‌پروپیلن گلیکول نقش مؤثری در میزان رطوبت مواد غذایی دارند. این ترکیبات از طریق گروه‌های آبدوست موجود در ساختار خود نظیر گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل نقش قابل

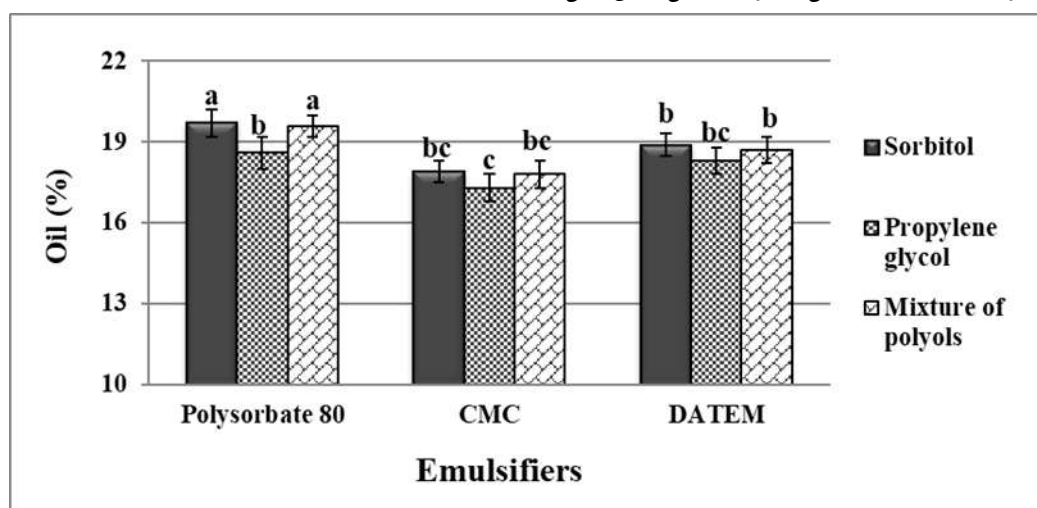


Fig 2. Effect of different emulsifiers and polyols addition on oil content of gluten free doughnut (Means with different letters differ significantly in $p < 0.05$)

محصول در حین فرآیند سرخ کردن برخوردار می‌باشد. در همین راستا فاضلی و همکاران (۱۳۹۸) اثر صمغ‌های گزانتان، گوار و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی دونات فاقد گلوتن را مورد مطالعه قرار داده و بیان داشتند با افزایش صمغ در فرمولاسیون محصول روندی کاهشی در محتوی روغن محصول مشاهده می‌شود. ایشان در این خصوص بیان داشتند از آنجایی‌که در نبود صمغ‌ها رطوبت خمیر (آب آزاد) بسیار بالا بود، با

طی فرآیند سرخ کردن در اثر تبخیر رطوبت موجود از محصول خارج شده و مولکول‌های روغن جایگزین مولکول‌های آب می‌شود و به همین دلیل با کاهش رطوبت میزان روغن جذب شده افزایش می‌یابد [۲۵]. با توجه به نتایج بخش ارزیابی میزان رطوبت دونات، به نظر می‌رسد کربوکسی متیل سلولز نسبت به سایر امولسیفایرها به دلیل اینکه تأثیر بیشتری در افزایش میزان رطوبت دونات داشت، از توانایی بیشتری نیز در کاهش میزان جذب روغن توسط

در خصوص افزایش میزان رطوبت محصولات صنایع پخت با استفاده از افزودنی‌های فوق‌الاشاره در بخش ارزیابی رطوبت محصول توضیحات تکمیلی ارائه شده است.

۳-۱-۳- حجم مخصوص و تخلخل

تأثیر افزودن انواع امولسیفایر و پلی‌ال در تهیه ژل بر میزان حجم مخصوص و تخلخل نمونه‌های دونات بدون گلوتن در جدول ۱ ملاحظه می‌گردد. نتایج گویای آن بود که نمونه حاوی کربوکسی متیل سلولز و پروپیلن گلایکول از بیشترین و دو نمونه حاوی پلی‌سوربات ۸۰ و سوربیتول و پلی‌سوربات ۸۰ و ترکیب پلی‌ال‌ها از کمترین میزان حجم مخصوص برخوردار بود ($P < 0.05$).

خروج رطوبت در حین فرآیند سرخ‌کردن، روغن بیشتری وارد نمونه دونات شد [۲۶]. طبق یافته‌های ساخلله و همکاران (۲۰۱۱) نیز هرچه آفت رطوبت ماده غذایی در حین سرخ‌کردن بیشتر باشد، جذب روغن بیشتر می‌شود [۲۷]. براساس نتایج کاور و همکاران (۲۰۱۵) افزودن صمغ‌های عربی، گوار، گزانتان و کتیرا به فرمول بیسکویت بدون گلوتن به‌طور معنی‌داری خصوصیات کیفی ازجمله ظرفیت جذب آب، ظرفیت جذب روغن و فعالیت امولسیون‌ی نمونه‌ها را تحت تأثیر قرار داد [۲۹]. اما در خصوص کاهش میزان روغن محصول حاوی امولسیفایر داتم و پلی‌ال پروپیلن گلایکول نیز به نظر می‌رسد ترکیبات مذکور از طریق افزایش میزان رطوبت محصول نهایی و نگهداری آن، باعث کاهش میزان محتوای روغن می‌شوند.

Table 1. Effect of different emulsifiers and polyols addition on specific volume, porosity and crust color values of gluten free doughnut

Emulsifiers	Polyols	Specific volume (ml/g)	Porosity (%)	Crust color values (-)		
				L*	a*	b*
Polysorbate 80	Sorbitol	3.00±0.08 ^d	17.7±0.5 ^c	42.06±1.01 ^c	11.50±0.53 ^a	16.51±0.15 ^a
	Propylene glycol	3.30±0.03 ^c	18.6±0.4 ^b	48.21±1.13 ^b	10.61±0.32 ^b	16.33±0.11 ^a
	Mixture of polyols	3.00±0.02 ^d	17.8±0.4 ^c	45.11±0.9 ^{bc}	11.00±0.08 ^{ab}	16.42±0.02 ^a
CMC	Sorbitol	3.27±0.04 ^c	18.7±0.4 ^b	53.71±1.17 ^{ab}	10.02±0.02 ^{bc}	16.41±0.13 ^a
	Propylene glycol	3.95±0.05 ^a	19.5±0.3 ^a	56.22±0.72 ^a	9.42±0.50 ^c	16.52±0.14 ^a
	Mixture of polyols	3.33±0.01 ^c	18.8±0.5 ^b	53.03±0.80 ^{ab}	10.06±0.29 ^{bc}	16.50±0.17 ^a
DATEM	Sorbitol	3.10±0.02 ^{cd}	18.2±0.4 ^{bc}	47.51±0.09 ^{bc}	10.91±0.13 ^{ab}	16.52±0.07 ^a
	Propylene glycol	3.30±0.02 ^b	19.1±0.5 ^{ab}	54.18±0.21 ^{ab}	10.10±0.02 ^{bc}	16.41±0.42 ^a
	Mixture of polyols	3.15±0.04 ^{cd}	18.7±0.5 ^b	49.33±0.92 ^b	10.42±0.54 ^b	16.63±0.21 ^a

(Means with different letters in each column differ significantly in $p < 0.05$)

کیفی دونات است که بر بیاتی و زمان ماندگاری محصول تأثیر دارد. همان‌گونه که مشاهده گردید، افزودن کربوکسی متیل سلولز نسبت به سایر امولسیفایرها تأثیر بیشتری در افزایش میزان حجم مخصوص دونات بدون گلوتن داشت. در همین راستا ناطقی و رضایی (۱۴۰۰) تأثیر صمغ گزانتان و کربوکسی متیل سلولز روی خواص فیزیکوشیمیایی و

در فرمولاسیون دونات، روغن یکی از عوامل نگهدارنده حباب‌های هوای ورودی به خمیر در طی فرآیند بهم زدن می‌باشد. در واقع روغن با ایجاد یک لایه محافظتی در اطراف حباب‌های هوای ورودی در حفظ آن‌ها در خمیر و حتی ممانعت از پاره شدن بر اثر انبساط در حین فرآیند پخت مؤثر است [۳۰]. حجم مخصوص یکی از ویژگی‌های

گلو تن بر پایه آرد بلوط و آرد برنج را مورد مطالعه قرار داده و بیان داشتند امولسیفایر داتم با تغییر کشش سطحی محیط و تاثیر بر قدرت نگهداری هوا، موجب کاهش دانسیته کیک می‌گردد. این امولسیفایر حجم هوای محبوس شده درون بافت را افزایش می‌دهد و منجر به بهبود حجم و بافت نان و به دنبال آن کاهش دانسیته می‌گردد [۳۰].

از طرفی افزودن پروپیلن گلیکول نسبت به سایر پلی‌ال‌های مورد استفاده در فرمولاسیون دونات بدون گلو تن تأثیر بیشتری در افزایش میزان حجم مخصوص محصول داشت. در این راستا ژلی و همکاران (۲۰۲۳) اثر افزودن انواع مختلف پروپیلن گلیکول آلزینات بر روی ویژگی‌های نوعی نان را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند ترکیبات مذکور باعث افزایش حجم محصول می‌شوند [۳۱]. ژائو و همکاران (۲۰۲۱) بررسی اثر هیدروکلوئیدهای هیدروکسی متیل سلولوز و پروپیلن گلیکول آلزینات بر روی نان بدون گلو تن را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند ترکیبات مذکور باعث افزایش حجم مخصوص نان بدون گلو تن می‌شوند [۳۲]. قیافه داودی و همکاران (۱۳۹۵) نیز اثر هم‌افزایی هموکتانت‌ها با امولسیفایرها بر خصوصیات تکنولوژیکی، تصویری و حسی نان نیمه حجیم بیان داشتند که افزودن امولسیفایر سدیم استئاروئیل ۲- لاکتیلات در مقایسه با نمونه حاوی امولسیفایر E471 قابلیت بیشتری در حفظ و نگهداری سلول‌های هوا داشته است. این امر بدان علت است که امولسیفایرهای یونی مثل داتم و سدیم استئاروئیل ۲- لاکتیلات توانایی زیادی در ایجاد پل‌های هیدروژنی با گروه‌های آمیدی پروتئین‌های گلو تن دارند. در نتیجه این شبکه مستحکم سبب ضخیم نمودن دیواره حباب‌های هوا شده و از ترکیدن آن‌ها در اثر انبساط طی فرآیند پخت جلوگیری می‌نماید و باعث بهبود حجم مخصوص محصول نهایی می‌گردد [۳۳].

میزان تخلخل در ارتباط مستقیم با تعداد سلول‌های گازی و مهم‌تر از آن توزیع یکنواخت آن‌ها در بافت محصول

حسی نان باگت را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند با افزایش غلظت صمغ گزانتان و کربوکسی متیل سلولوز تا میزان ۱ درصد، میزان حجم مخصوص نان افزایش یافت که در این بین تأثیر صمغ کربوکسی متیل سلولوز بر حجم مخصوص نان بیشتر از گزانتان بود. ایشان همچنین عنوان داشتند علت این امر شبکه هیدروکلوئیدی حاصل از صمغ‌ها است به سلول‌های گاز خمیر استحکام می‌بخشد، در طی پخت انبساط روی می‌دهد که نهایتاً باعث می‌شود که از دست رفتن گاز توسط نان در طی پخت کاهش یابد که باعث بهبود بافت نان می‌شود [۲۱]. از طرفی حضور صمغ با افزایش درصد جذب آب در فرمولاسیون خمیر و افزایش میزان حجم مخصوص نیز به طور معنی‌داری حجم مخصوص را افزایش داده و بنابراین حجم نان به طور معنی‌داری با افزایش میزان صمغ افزایش یافت. از سویی دیگر موحد و همکاران (۱۳۹۶) تأثیر صمغ هیدروکسی پروپیل متیل سلولوز بر خواص کیفی نان باگت بدون گلو تن بر پایه مخلوط مساوی آرد ذرت و آرد سیب‌زمینی را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند با افزایش میزان صمغ هیدروکسی پروپیل متیل سلولوز در فرمولاسیون محصول میزان حجم مخصوص محصول افزایش یافت. ایشان دلیل افزایش حجم را به خاصیت هیدروفیلی صمغ مصرفی مرتبط دانسته که این امر در بهبود گسترش خمیر و نگهداری گاز دی‌اکسید کربن مؤثر بوده است [۲۹]. اما در خصوص افزایش میزان حجم مخصوص محصول حاوی امولسیفایر داتم نیز زمردی و فرامرزی (۱۳۹۹) با بررسی تأثیر پودر دانه کتان و امولسیفایر داتم بر ویژگی‌های کیفی و حسی دونات بیان داشتند با افزایش میزان امولسیفایر داتم در فرمولاسیون محصول میزان حجم مخصوص افزایش یافت. ایشان در این خصوص عنوان داشتند امولسیفایر داتم باعث توزیع مناسب ذرات هوا در خمیر کیک شده که به دنبال آن ویسکوزیته خمیر افزایش یافته و این امر به ایجاد حجم و بافت بهتر در محصول نهایی منجر می‌شود [۲۲]. میرحسینی و عباسی (۱۴۰۰) تأثیر صمغ‌های مرو و گوار و امولسیفایر داتم بر ویژگی‌های کیفی کیک فنجانی فاقد

میزان تخلخل محصول داشت. در این راستا ژي و همکاران (۲۰۲۳) اثر افزودن انواع مختلف پروپیلن گلايکول آلرینات بر روی ویژگی‌های نوعی نان را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند بیشتر ترکیبات مذکور باعث افزایش تخلخل محصول می‌شوند [۳۱].

۴-۱-۳- رنگ پوسته

نتایج نشان داد که نمونه حاوی کربوکسی متیل سلولز و پروپیلن گلايکول به ترتیب از بیشترین و کمترین میزان مؤلفه L^* و a^* پوسته برخوردار بودند (جدول ۱). این در حالی بود که کمترین میزان مؤلفه L^* پوسته در دو نمونه حاوی پلی‌سوربات ۸۰ و سوربیتول و پلی‌سوربات ۸۰ و ترکیب پلی‌ال‌ها مشاهده گردید. همچنین این دو نمونه بیشترین میزان مؤلفه a^* پوسته را گزارش نمودند ($P < 0.05$). از سوی دیگر همانگونه که مشاهده می‌شود افزودن ترکیبات فوق‌الشاره تأثیر معنی‌داری بر میزان مؤلفه b^* پوسته نداشت ($P < 0.05$). با توجه به بخش ارزیابی میزان رطوبت محصول به نظر می‌رسد ترکیبات مورد استفاده به دلیل توانایی در حفظ رطوبت و خروج یکنواخت‌تر آن از بافت محصول در طی فرآیند پخت باعث می‌شوند رطوبت به صورت آهسته و پیوسته‌تر از مغز به پوسته منتقل شود و در نتیجه سطحی صاف و با کمترین میزان چروکیدگی در محصول نهایی ایجاد شده که این سطح صاف و هموار در انعکاس نور و افزایش درخشندگی اثرگذار بوده است. در واقع تغییرات سطح مواد غذایی، مسئول روشنایی آن است و سطوح منظم و صاف نسبت به سطوح چین‌دار توانایی بیشتری در انعکاس نور و افزایش میزان مؤلفه L^* دارند. لازاریدو و همکاران (۲۰۰۷) نیز با افزودن چند صمغ به فرمولاسیون نان حاوی آرد برنج و نشاسته ذرت به این نتیجه دست یافتند که استفاده از صمغ در محصولات خمیری سبب افزایش روشنایی رنگ پوسته شد [۳۷]. همچنین ناطقی و رضایی (۱۴۰۰) نیز تأثیر صمغ گزانتان و کربوکسی متیل سلولز روی خواص فیزیکی‌شیمیایی و حسی نان باگت را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند نمونه حاوی ۰/۷۵ درصد صمغ کربوکسی

می‌باشد [۳۴]. با عنایت به بررسی بخش ارزیابی بافت و حجم مخصوص دونات قابل انتظار بود که تخلخل محصول با افزودن ترکیبات فوق‌الشاره تغییری معنی‌دار پیدا می‌کند. در این راستا موحد و همکاران (۱۳۹۶) بیان داشتند با افزایش میزان صمغ هیدروکسی پروپیل متیل سلولز در فرمولاسیون محصول میزان تخلخل محصول افزایش یافت. ایشان دلیل افزایش تخلخل را به ماهیت ساختاری صمغ هیدروکسی پروپیل متیل سلولز نسبت دادند که توانایی مناسبی در حفظ و نگهداری گاز دی‌اکسید کربن دارد [۲۹]. همچنین مقصود و همکاران (۲۰۲۴) نیز اثر افزودن کربوکسی متیل سلولز و هیدروکسی متیل سلولز روی خواص فیزیکی‌شیمیایی، بافتی و حسی پن‌کیک بدون گلوتن را مورد بررسی قرار داده و نتایج ایشان نشان داد با افزایش میزان صمغ‌های مذکور میزان تخلخل محصول افزایش می‌یابد [۳۵].

اما در خصوص افزایش میزان تخلخل محصول حاوی امولسیفایر داتم نیز زمردی و فرامرزی (۱۳۹۹) با بررسی تأثیر پودر دانه کتان و امولسیفایر داتم بر ویژگی‌های کیفی و حسی دونات بیان داشتند با افزایش میزان امولسیفایر داتم در فرمولاسیون محصول میزان تخلخل افزایش یافت [۲۲]. در همین راستا آشورینی و همکاران (۲۰۰۹) عنوان داشتند از جمله مزیت‌هایی که در پی انجام مناسب فرآیند هوادهی و استفاده از امولسیفایرها در طی تولید امولسیون حاصل می‌شود، ایجاد بافتی با حفرات ریز، متعدد و یکنواخت و به عبارت دیگر بافتی کاملاً متخلخل در محصول نهایی است. با بکارگیری امولسیفایرها حباب‌های هوا در اندازه کوچک و به صورت یکنواخت در تمام قسمت خمیر پخش می‌شوند و در طول زمان پخت خروج هوا از این حباب‌ها به شکل مناسبی رخ داده و منجر به تولید فراورده‌ای با تخلخل مناسب می‌شود و حفراتی ریز و با اندازه یکسان در آن بوجود می‌آید [۳۶].

از طرفی همانگونه که مشاهده گردید، افزودن پروپیلن گلايکول نسبت به سایر پلی‌ال‌های مورد استفاده در فرمولاسیون دونات بدون گلوتن تأثیر بیشتری در افزایش

متیل سلولوز و ۰/۷۵ درصد صمغ گزانتان دارای بیشترین میزان مؤلفه L^* بود. ایشان در این خصوص اظهار داشتند این دسته از افزودنی‌ها با حفظ رطوبت و ممانعت از خروج آب در حین فرآیند پخت سبب کاهش تغییرات سطح پوسته محصول نهایی می‌شوند که این امر می‌تواند در افزایش این مؤلفه رنگی مؤثر باشد [۲۱].

اما در خصوص افزایش میزان مؤلفه L^* محصول حاوی امولسیفایر داتم نیز زمردی و فرامرزی (۱۳۹۹) با بررسی تأثیر پودر دانه کتان و امولسیفایر داتم بر ویژگی‌های کیفی و حسی دونات بیان داشتند با افزایش میزان امولسیفایر داتم در فرمولاسیون محصول میزان مؤلفه L^* محصول افزایش یافت. ایشان علت این موضوع را به قابلیت این ترکیبات را به حفظ رطوبت و خروج آهسته‌تر آن از محصول مرتبط دانستند [۲۲]. از سوی دیگر با توجه به بخش ارزیابی میزان رطوبت محصول و همچنین با عنایت به ثابت بودن زمان سرخ کردن، به نظر می‌رسد ترکیبات مورد استفاده به دلیل توانایی حفظ باعث می‌شوند فرآیند سرخ شدن به طور کامل انجام نمی‌شود و همین امر باعث کاهش قرمزی مطلوب پوسته دونات شده است اما در خصوص کاهش میزان مؤلفه a^* محصول حاوی امولسیفایر داتم نیز زمردی

و فرامرزی (۱۳۹۹) با بررسی تأثیر پودر دانه کتان و امولسیفایر داتم بر ویژگی‌های کیفی و حسی دونات بیان داشتند با افزایش میزان امولسیفایر داتم در فرمولاسیون محصول میزان مؤلفه a^* محصول کاهش یافت. ایشان علت این موضوع را به قابلیت امولسیفایرها در جذب آب و کمک به حفظ رطوبت محصول نسبت دادند [۲۲]. همچنین کیم و والکر (۱۹۹۲) کاهش مؤلفه a^* در اثر استفاده از امولسیفایر داتم را در ارتباط با قابلیت هموژنیزه کردن و ایجاد قطرات بسیار ریز امولسیون دانستند که سبب سفیدکنندگی خمیر می‌شود [۳۸].

۵-۱-۳- سفتی بافت

همانگونه که انتظار می‌رفت نمونه حاوی کربوکسی متیل سلولوز و پروپیلن گلیکول از کمترین و دو نمونه حاوی پلی‌سوربات ۸۰ و سوربیتول و پلی‌سوربات ۸۰ و ترکیب پلی‌ال‌ها از بیشترین میزان سفتی بافت در هر سه بازه زمانی دو ساعت، سه و هفت روز پس از تولید برخوردار بودند ($P < 0.05$) (جدول ۲).

Table 2. Effect of different emulsifiers and polyols addition on firmness of gluten free doughnut during storage

Emulsifiers	Polyols	Firmness (N)		
		2h after baking	3 days after baking	7 days after baking
Polysorbate 80	Sorbitol	15.4±0.2 ^a	20.1±0.1 ^a	24.2±0.5 ^a
	Propylene glycol	14.1±0.3 ^{ab}	18.3±0.1 ^b	21.6±0.3 ^b
	Mixture of polyols	15.5±0.9 ^a	20.0±0.0 ^a	23.9±0.4 ^a
CMC	Sorbitol	13.2±0.2 ^{bc}	16.1±0.3 ^c	20.8±0.5 ^{bc}
	Propylene glycol	12.5±0.1 ^c	15.3±0.2 ^d	19.4±0.3 ^c
	Mixture of polyols	13.3±0.1 ^{bc}	15.9±0.1 ^c	20.5±0.6 ^{bc}
DATEM	Sorbitol	14.3±0.0 ^{ab}	18.5±0.1 ^b	23.2±0.5 ^{ab}
	Propylene glycol	13.2±0.1 ^{bc}	16.6±0.1 ^c	20.8±0.2 ^{bc}
	Mixture of polyols	13.9±0.2 ^b	18.1±0.0 ^b	22.9±0.2 ^{ab}

(Means with different letters in each column differ significantly in $p < 0.05$)

با میزان رطوبت و عملکرد میزان آب موجود در مغز این محصولات می‌باشد [۳۹]. به‌طوری که وجود رابطه عکس بین محتوای رطوبتی نان و میزان بیاتی آن به اثبات رسیده است [۴۰]. در واقع آب می‌تواند با لیفای نقش

به‌طور کل عدم کاهش رطوبت به‌خصوص در طی مدت زمان نگهداری در حفظ تازگی بافت محصولات نانوائی نقش حیاتی دارد. همچنین باید گفت وقوع پدیده بیاتی در فرآورده‌های نانوائی مانند نان و دونات تخمیری در ارتباط

پلاستیسیزری در کاهش سفتی مغز محصول مؤثر باشد. افزون بر این، با توجه به این که افزایش میزان آب در دسترس نشاسته، افزایش احتمال کریستالیزاسیون آن را به همراه دارد، لذا تمایل قابل توجه ترکیبات جاذب الرطوبه به جذب آب و قابلیت بالای آن‌ها در نگهداری آب باعث می‌گردد که آب کمتری در دسترس نشاسته قرار گیرد و در نتیجه نشاسته کمتری متورم، ژلاتینه و در طی زمان نگهداری مجدداً کریستاله گردد که این فرآیند در نهایت کاهش سفتی و به تأخیر افتادن بیاتی محصول را به دنبال دارد [۴۱]. در تحقیق حاضر با توجه به بخش ارزیابی رطوبت دونات تخمیری، محرز بود افزودن کربوکسی متیل سلولز و پروپیلن گلیکول بیشترین تأثیر را بر کاهش میزان سفتی بافت محصول نهایی دارد. در همین راستا مقصود و همکاران (۲۰۲۴) اثر افزودن کربوکسی متیل سلولز و هیدروکسی متیل سلولز روی خواص فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی پن کیک بدون گلوتن را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند با افزودن صمغ‌های مذکور میزان سفتی بافت محصول کاهش یافت. ایشان علت این موضوع را به قابلیت صمغ‌های مورد استفاده در نگهداری رطوبت در محصول مرتبط دانستند که عنوان داشتند به دنبال سطح بالای رطوبت رتروگراداسیون نشاسته و بیاتی نیز به تعویق می‌افتد [۳۵]. ناطقی و رضایی (۱۴۰۰) نیز تأثیر صمغ گزانتان و کربوکسی متیل سلولز روی خواص فیزیکوشیمیایی و حسی نان باکت را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند اثر صمغ کربوکسی متیل سلولز در کاهش میزان سفتی بافت به مراتب بیشتر از صمغ گزانتان بود. ایشان در این خصوص اظهار داشتند علت کاهش سفتی در نان، تأثیر هیدروکلوئیدها از طریق تأثیر بر ساختار نشاسته می‌باشد، بدین صورت که هیدروکلوئیدها باعث تغییر در ساختار نشاسته می‌شوند که در اثر آن پخش و نگهداری آب در نشاسته و مقاومت بافت نان کاهش می‌یابد. اما در خصوص کاهش میزان سفتی بافت محصول حاوی امولسیفایر داتم نیز زمردی و فرامرزی (۱۳۹۹) با بررسی تأثیر پودر دانه کتان و امولسیفایر داتم بر ویژگی‌های کیفی

و حسی دونات بیان داشتند با افزایش میزان امولسیفایر داتم در فرمولاسیون محصول میزان سفتی بافت محصول کاهش یافت. ایشان علت این موضوع را به قابلیت امولسیفایرها در جذب آب و کمک به حفظ رطوبت محصول نسبت دادند [۲۲]. قیافه داودی و همکاران (۱۳۹۵) نیز اثر هم‌افزایی هموکانت‌ها با امولسیفایرها بر خصوصیات تکنولوژیکی، تصویری و حسی نان نیمه حجیم را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند کمترین میزان سفتی بافت مربوط به نمونه حاوی ۰/۲ درصد امولسیفایر داتم، ۰/۲ درصد امولسیفایر سدیم استئاروئیل ۲-لاکتیلات و ۰/۵ امولسیفایر سدیم استئاروئیل ۲-لاکتیلات و ۰/۵ درصد پلی‌پروپیلن بود. ایشان این موضوع را به قابلیت این ترکیبات در واکنش با نشاسته و پروتئین و همچنین جلوگیری از کاهش رطوبت محصول نهایی مرتبط دانستند [۳۳]. از طرفی همان‌گونه که مشاهده گردید، افزودن پروپیلن گلیکول نسبت به سایر پلی‌ال‌های مورد استفاده در فرمولاسیون دونات بدون گلوتن تأثیر بیشتری در افزایش کاهش میزان سفتی بافت محصول داشت. در این خصوص به نظر می‌رسد پروپیلن گلیکول و سایر ترکیبات پلی‌الی از طریق جذب رطوبت و ممانعت از خروج آن باعث کاهش میزان سفتی محصول نهایی می‌شوند. در این راستا غیائی طرزی و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر پلی‌ال‌ها (گلیسرین، پلی‌پروپیلن گلیکول و سوربیتول)، شربت اینورت و شربت گلوکز بر حجم مخصوص خمیر و زمان ماندگاری کیک روغنی را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند کیک‌هایی که در فرمولاسیون آن‌ها از پلی‌پروپیلن گلیکول استفاده شده بود نسبت به سایر نمونه‌ها از میزان رطوبت بیشتری برخوردار بودند [۱۲]. در این خصوص کسپر و همکاران (۲۰۰۷) عنوان داشتند مواد جاذبه الرطوبه از قبیل گلیسرین، سوربیتول و پلی‌پروپیلن گلیکول نقش مؤثری در میزان رطوبت مواد غذایی دارند. این ترکیبات از طریق گروه‌های آبدوست موجود در ساختار خود نظیر گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل نقش قابل ملاحظه‌ای در جذب رطوبت مواد غذایی ایفا می‌کنند [۲۳].

۱-۶-۳- عدد پراکسید

بنابراین پرواضح است که کنترل و کاهش این پارامتر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۱۶۹۸۰ میزان پراکسید برای روغن استخراجی از دونات حداکثر ۳ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم می‌باشد [۲۴] که با توجه به نتایج میزان پراکسید تمامی نمونه‌های دونات تخمیری تولیدی در محدوده مجاز استاندارد قرار دارد.

نتایج نشان داد که نمونه حاوی کربوکسی متیل سلولز و پروپیلن گلیکول از کمترین و دو نمونه حاوی پلی‌سوربات ۸۰ و سوربیتول و پلی‌سوربات ۸۰ و ترکیب پلی‌ال‌ها از بیشترین میزان عدد پراکسید برخوردار بود ($P < 0.05$) (شکل ۳). باید توجه نمود لن‌دیس پراکسید بالاتر از ۶ میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم در محصول، نشان دهنده رانسید شدن محصول و غیرقابل مصرف بودن آن است [۴۲].

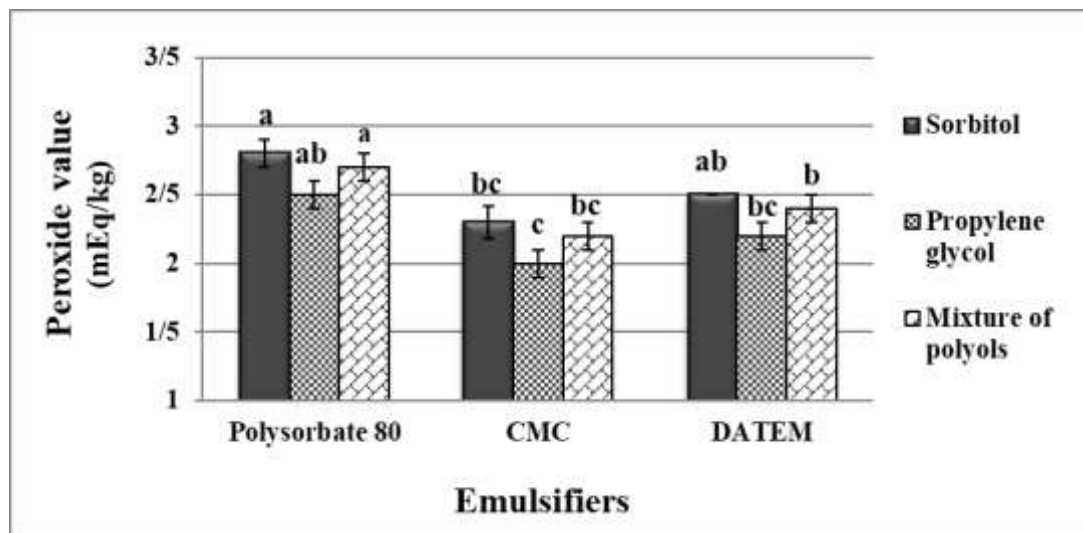


Fig 3. Effect of different emulsifiers and polyols addition on peroxide value of gluten free doughnut (Means with different letters differ significantly in $p < 0.05$)

در محصول به دلیل انجام فرآیندهایی چون برگشت طعم و اکسیداسیون، موجب بد طعمی محصول و کاهش مطلوبیت برای مصرف‌کنندگان می‌شود. بنابراین تلاش در جهت کاستن از مقدار چربی موجود در غذاهای سرخ کردنی نسبت به سایر خواص کیفی اهمیت زیادی دارد [۴۳]. به طور کلی پژوهشگران بیان کردند نقش ترکیبات هیدروکلوئیدی در مواد غذایی سرخ کردنی علاوه بر کاهش جذب روغن شامل حفظ شکل و پایداری محصول طی فرآیند، کاهش افت مواد جامد از سطح محصول در طی سرخ کردن و بهبود خصوصیات ارگانولپتیکی محصول می‌باشد. همچنین پارامسیوم و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر صمغ‌ها روی ساختار، بافت و ویژگی‌های چپس کم‌روغن موز را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند با افزودن کربوکسی متیل سلولز در فرمولاسیون محصول میزان عدد پراکسید محصول کاهش یافت. این محققین در خصوص

از عوامل افزایش اندیس پراکسید می‌توان به حرارت، غیراشباع بودن، آلودگی ماده چرب با ماده چرب تندشده، هوا اشاره نمود. لذا با توجه به نتایج بخش‌های ارزیابی رطوبت و میزان روغن جذب‌شده در دونات این انتظار وجود داشت در هر نمونه‌ای که میزان روغن کمتری جذب شده باشد میزان عدد پراکسید کمتر باشد. در این راستا به نظر می‌رسد در نمونه حاوی کربوکسی متیل سلولز و پروپیلن گلیکول به دلیل اینکه روغن جذب‌شده توسط محصول کمتر می‌باشد و از طرفی با توجه به وجود رطوبت بالاتر محصول احتمالاً دمای مغز محصول دیرتر افزایش می‌یابد که این عوامل مانع از افزایش میزان عدد پراکسید می‌شوند. در این راستا صبأغی (۱۴۰۰) کاربرد ترکیبات هیدروکلوئیدی (گزانتان و کربوکسی متیل سلولز) در فرمولاسیون دونات با هدف کاهش جذب روغن را مورد بررسی قرار داده و بیان داشت وجود درصد بالای روغن

کاهش میزان عدد پراکسید با افزودن هیدروکلوئیدها عنوان داشتند ترکیبات مذکور از قابلیت ممانعت‌کنندگی در برابر اکسیژن برخوردار بوده و بنابراین باعث کاهش میزان این پارامتر می‌شوند [۴۴].

۷-۱-۳- پذیرش کلی در آزمون حسی

داوران چشایی بالاترین امتیاز پذیرش کلی را به دو نمونه حاوی کربوکسی متیل سلولز و پروپیلن گلیکول و کمترین امتیاز را به دو نمونه حاوی پلی‌سوربات ۸۰ و سوربیتول و پلی‌سوربات ۸۰ و ترکیب پلی‌ال‌ها اختصاص دادند ($P < 0.05$).

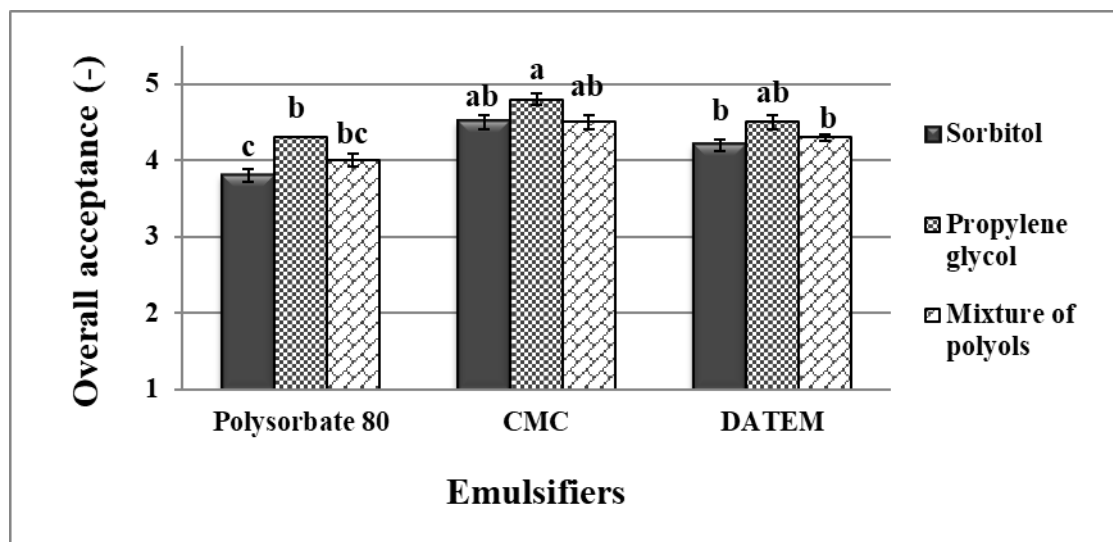


Fig 4. Effect of different emulsifiers and polyols addition on overall acceptance of gluten free doughnut in sensory evaluation

(Means with different letters differ significantly in $p < 0.05$)

باعث کاهش سفتی بافت شد. از این رو براساس نتایج بخش مذکور این انتظار وجود داشت ارزیابان حسی نیز بین نمونه‌های تولید شده به نمونه حاوی کربوکسی متیل سلولز و پروپیلن گلیکول امتیاز بیشتری اختصاص دهند. از سوی دیگر محققان معتقدند که درک شدت طعم و رهایش مواد طعم‌زا بستگی به نوع بافت محصول نهایی دارد که بلند و همکاران (۲۰۰۶) علت این رخداد را برهمکنش‌های متفاوت بین مواد طعم‌زا و ساختار بافت بیان نمودند [۴۵]. از این رو با توجه به مطالعات صورت گرفته و نتایج بدست آمده از آزمون بافت‌سنجی و ارزیابی حسی بافت نمونه‌ها پیش‌بینی می‌شد به دلیل اینکه نمونه حاوی کربوکسی متیل سلولز و پروپیلن گلیکول از بافت نرم‌تری برخوردار بود داوران چشایی به این نمونه بالاترین امتیاز طعم را اختصاص دهند و در نهایت بالاترین امتیاز پذیرش کلی به این نمونه اختصاص یافت.

در ارزیابی حسی اولین پارامتری که داوران حسی بررسی می‌کنند رنگ محصول می‌باشد. به همین دلیل این پارامتر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. با توجه به نتایج بخش ارزیابی رطوبت و پارامترهای رنگی به نظر می‌رسد در نمونه حاوی کربوکسی متیل سلولز و پروپیلن گلیکول، رطوبت به صورت آهسته و پیوسته‌تر از مغز به پوسته منتقل شود و در نتیجه سطحی صاف و با کمترین میزان چروکیدگی در محصول نهایی ایجاد شده که این سطح صاف و هموار در انعکاس نور و افزایش درخشندگی اثرگذار بوده است و احتمالاً به همین دلیل ارزیابان حسی به نمونه مذکور امتیاز بیشتری را اختصاص دادند. همچنین در آزمون حسی جهت امتیازدهی به بافت یک محصول، خمیری بودن و یا نرمی غیر عادی، سفت بودن، تردی و شکنندگی سبب کسر امتیاز می‌گردد. همانطور که در بخش بافت‌سنجی مشاهده شد افزودن کربوکسی متیل سلولز و پروپیلن گلیکول در فرمولاسیون دونات بدون گلوتن

۴- نتیجه‌گیری

هدف از انجام این تحقیق، بررسی امکان بهبود خصوصیات تکنولوژیکی، حسی و ماندگاری دونات تخمیری بدون گلوتن با افزودن ژل امولسیفایرهای حاوی امولسیفایرهای کربوکسی متیل سلولز، داتم و پلی سوربات ۸۰ و پلی‌ال‌های پروپیلن گلایکول، سوربیتول و مخلوط این دو ترکیب بود. براساس نتایج مشخص گردید کربوکسی متیل سلولز نسبت به سایر ژل امولسیفایرهای مورد استفاده از قابلیت بالاتری

در افزایش بهبود خصوصیات کمی و کیفی نمونه‌های تولیدی برخوردار بود. علاوه بر این پروپیلن گلایکول عملکردی همانند کربوکسی متیل سلولز از خود نشان داد و هم افزایی بر بهبود ویژگی‌های محصول نهایی داشت. در نهایت می‌توان گفت استفاده از ژل امولسیفایر حاوی کربوکسی متیل سلولز و پروپیلن گلایکول تا حد زیادی به بهبود خصوصیات تکنولوژیکی، حسی و ماندگاری دونات تخمیری بدون گلوتن کمک کرده است.

۵- منابع

- [1] Salim, R., and Aliistair, P. 2007. Influence of partial substitution of wheat flour with vetch flour on quality characteristics of doughnuts. *LWT-Food Science and Technology*, 40: 73-82.
- [2] Blades, M. 1997. Food allergies and intolerances: an update (case study). *Nutrition and Food Science*, 97: 146-151.
- [3] Murray, J.A. 1999. The widening spectrum of celiac disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, 69:354-363.
- [4] Niewinski, M. 2008. Advances in celiac disease and gluten-free diet. *Journal of the American Dietetic Association*, 108: 661-672.
- [5] Cauvain, S.P. 2003. Bread making: improving quality. CRC Press. Cambridge, England.
- [6] Luridsen, J.B. 2004. Food emulsifiers: surface activity, edibility, Manufacture, composition and application. *Cereal Foods World*, 45: 405-411.
- [7] Borges, V.C., and Salas-Mellado, M. 2016. Influence of α -amilase, trehalose, sorbitol, and polysorbate 80 on the quality of gluten-free bread. *International Food Research Journal*, 23(5): 1973-1979.
- [8] Stelzer, G.I., and Klug, E.D. 1979. Carboxymethylcellulose In: Davidson RL (ed) *Handbook of water-soluble gums and resins* 4.1-4.24 McGraw Hill, NY.
- [9] Sciarini, L.S., Pérez, G.T., Lamballerie, M.D., León, A.E., and Ribotta, P.D. 2012. Partial-Baking process on gluten-free bread: Impact of Hydrocolloid Addition. *Food Bioprocess Technology*, 5:1724-1732.
- [10] Ribotta, P.D., Perez, G.T., Leon, A.E., and Anon, M.C. 2004. Effect of emulsifier and guar gum on micro structural, rheological and baking performance of frozen bread dough. *Food Hydrocolloids*, 18: 305-311.
- [11] Rajabzadeh, N. 1993. Bread Technology. 2nd edition. University of Tehran Publishing Institute [in Persian].
- [12] Ghiyashi Tarzi, B., Daman Afshan, P., Narimi Bushehri, S., and Bakhoda, H. 2016. Investigation of the effect of polyols (glycerin, propylene glycol, and sorbitol), invert syrup, and glucose syrup on dough specific volume and shelf life of oil cake. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 53(13): 71-78 [in Persian].
- [13] Ghanadrezade, M., Arianfar, A., and Sheikholeslami, Z. 2018. Investigation the effect of polyglycerol ester and diacetyl tartaric acid ester in the form of gel on physicochemical, rheological and sensory properties of oily cake. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 13(5): 771-783 [in Persian].
- [14] Dehghan Tanha, L., Karimi, M. and Salehifar, M. 2013. The effect of emulsions and lipase on the qualitative properties of frozen doughnut. *Journal of Innovation and Technology in Food Science and Technology*, 5(3): 105-115 [in Persian].
- [15] AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th Ed., Vol. 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
- [16] Haralick, R.M., Shanmugam, K., and Dinstein, I. 1973. Textural features for image classification. *IEEE Transactions of ASAE*, 45(6): 1995-2005.
- [17] Sun, D. 2008. Computer vision technology for food quality evaluation. Academic Press, New York.
- [18] Anonymous. 2019. Biscuit- Specifications and test methods. Iranian National Standardization Organization, No 37 [in Persian].
- [19] Zaghian, E., Abbasi, H., and Fazel Najafabadi, M. 2018. Investigation the effects of Carboxymethyl cellulose, xanthan gum and DATEM emulsifier on qualitative properties of gluten-free cupcake based on rice starch and Okara using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 72(14): 259-272 [in Persian].

- [20] Gomez, M., Ronda, F., Caballero, P.A., Blanco, C.A., and Rosell, C.M. 2007. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids*, 21(2): 167-173.
- [21] Nateghi, L., and Rezaei, M. 2021. Effect of xanthan gum and carboxymethyl cellulose gum on physicochemical and sensory properties of Baguette bread. *Journal of Food Science and Technology*, 113(18): 1-17 [in Persian].
- [22] Zomorodi, Sh., and Faramarzi, S. 2020. The effect of flaxseed powder (*linum usitalissimum*) and DATEM as emulsifier on the qualitative and sensory properties of doughnut. *Journal of Food Researches*, 30(1): 99-111 [in Persian].
- [23] Casper, J.L., Oppenheimer, A.A., and Erickson, B. 2007. Dough compositions having a moisture barrier and related methods. United States patent no 0275128 (in American).
- [24] Anonymous. 2013. Doughnut- Specifications and test methods. Iranian National Standardization Organization, No 16980 [in Persian].
- [25] Kester, J.J., and Fennema, O.R. 1986. Edible films and coating. *Food Technology*, 40 (12): 47-59.
- [26] 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].
- [28] Sakhale, B.K., Badgujar, J.B., Pawar, V.D., and Sananse, S.L. 2011. Effect of hydrocolloids incorporation in casing of samosa on reduction of oil uptake. *Journal of Food Science and Technology*, 48(6): 769-772.
- [29] Kaur, M., Sandhu, K.S., Arora, A., and Sharma, A. 2015. Gluten free biscuits prepared from buckwheat flour by incorporation of various gums: physicochemical and sensory properties. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1): 628-632.
- [30] Ribotta, P.D., Ausar, S.F., Morcillo, M.H., Perez, G.T., Beltramo, D.M., and Leon, A.E. 2004. Production of gluten free bread using soybean flour. *Journal of Science Food Agriculture*, 84: 1969-1974.
- [29] Movahhed, S., Kakaei, E., and Ahmadi Chenarbon, A. 2017. Effect of hydroxy propyl methyl cellulose gum on qualitative properties of free gluten baguette bread contain equal proportion of corn flour and potato flour. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 13(4): 575-583 [in Persian].
- [30] Mirhosseini, S., and Abbasi, H. 2021. Effect of sage seed, guar gums and DATEM on qualitative properties of gluten free cup cake, based on rice and oak Flour. *Journal of Food Researches*, 31(4): 129-153 [in Persian].
- [31] Xie, X., Zhao, X., Meng, F., Ren, Y., An, J., and Deng, L. 2023. Effect of Adding Different Commercial Propylene Glycol Alginates on the Properties of Mealworm-Flour-Formulated Bread and Steamed Bread. *Foods*, 12: 3641.
- [32] Zhao, F., Li, Y., Li, C., Ban, X., Cheng, L., Hong, Y., Gu, Z.H., and Li, Z.H. 2021. Co-supported hydrocolloids improve the structure and texture quality of gluten-free bread. *Food Science and Technology*, 152: 112248.
- [33] Ghiafeh Davoodi, M., Sahraiyani, B., Naghipour, F., Karimi, M., and Sheikholeslami, Z. 2016. Investigation on synergist effects of humectants with emulsifiers on technological, image processing and sensory properties of semi bulk bread. *Journal of Food Science and Technology*, 59(13): 75-84 [in Persian].
- [34] Ziobro, R., Korus, J., Witczak, M., and Juszczak, L. 2012. Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten-free bread. *Food Hydrocolloids*, 29(1): 68-74.
- [35] Maghsoud, M., Heshmati, A., Taheri, M., Emami far, A., and Esfarjani, F. 2024. The influence of carboxymethyl cellulose and hydroxypropyl methylcellulose on physicochemical, texture, and sensory characteristics of gluten-free pancake. *Food Science & Nutrition*, 12: 1304-1317.
- [36] Ashwini, A., Jyotsna, R., and Indrani, D. 2009. Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural and quality characteristics of eggless cake. *Food Hydrocolloids*, 23: 700-707.
- [37] Lazaridou, A., Duta, D., Pagageorgiou, M., Belc, N., and Biliaderis, C.G. 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten – free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79: 1033-1047.
- [38] Kim, C.S., and Walker, C.E. 1992. Effects of sugars and emulsifiers on starch gelatinization evaluated by differential scanning calorimetry. *Cereal Chemistry*, 69: 212-217.
- [39] Zeleznak, K.J., and Hoseney, R.C. 1986. The role of water in the retrogradation of wheat starch gels and bread crumb. *Cereal Chemistry*, 63(5): 407-411.
- [40] Rogers, D.E., Zeleznak, K.J., Lai, C.S., and Hoseney, R.C. 1988. Effect of native lipids, shortening, and bread moisture on bread firming. *Cereal Chemistry*, 65: 398-401.
- [41] Vittadini, E., and Vodovotz, Y. 2003. Changes in the physicochemical properties of wheat and soy-containing breads during storage as studied by thermal analyses. *Food Engineering and Physical Properties*, 68: 2022-2027.

- [42] Horwitz, W., Senze, A., Reynolds, H., and Park, D.L. 1975. Official methods of analysis of the association of analytical chemists. Washington: Association Official Analytic Chemist.
- [43] Sabbaghi, H. 2021. Application of hydrocolloid compounds (xanthan and carboxymethylcellulose) in doughnut formulation for reducing oil uptake. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 17(5): 919-939 [in Persian].
- [44] Paramasivam, S.K., David, A.K., Somasundaram, M.S., Suthanthiram, B., Shiva, K.N., and Subbaraya, U. 2022. Influence of food hydrocolloids on the structural, textural and chemical characteristics of low-fat banana chips. Food Science & Technology International, 28(3): 1-15.
- [45] Boland, A., Delahunty, M., and Van Ruth, M. 2006. Influence of the texture of gelatin gels and pectin gels on strawberry flavor release and perception. Food Chemistry, 96: 452–460.



Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage: www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Evaluation of the Performance of Gel Emulsifier and Polyols on Improving the Technological, Sensory and Shelf-life Properties of Gluten-free Fermented Doughnut

Z. Mirzaie Moghaddam¹, F. Naghipour², A. Faraji³

1- Department of Food Science and Technology, TeMSC, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

3- Department of Organic Chemistry, TeMSC., Islamic Azad University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article History: Received: 2025/04/23 Accepted: 2025/06/09	Doughnut is one of the snack foods that can be seen in the diet of different people and improving the characteristics of this product, such as increasing its shelf life and maintaining the softness of the texture and freshness, with minimal cost and changes in the production method will increase profitability for producers. So in the present research, different emulsifiers and polyols were used in the formulation of fermented gluten-free doughnut and the characteristics of the manufactured product were evaluated to be able to conclude that the type of additive and their combination what effect did it have on the quality of this popular snack. Gel emulsifier containing polysorbate 80, carboxymethyl cellulose and DATEM in 1% w/w (Based on rice flour) was prepared. Also, polyols of sorbitol and propylene glycol were added to the formulation of gluten-free fermented doughnut in an amount of 2% w/w of the flour used in the formulation and the mixture of two polyols was also added to the formulation of gluten-free fermented doughnut in order to investigation of the synergistic effect and physicochemical and sensorial properties and physical and chemical shelf life of the product were evaluated in a completely randomized design with factorial arrangement ($P \leq 0.05$). Results showed by adding gel emulsifier containing carboxymethyl cellulose and propylene glycol to the gluten-free fermented doughnut formulation, the amount of moisture, specific volume, porosity, L^* value of the shell of the product increased further compared to other gels emulsifier used. It is while mentioned gel emulsifier has a greater ability to reduce the amount of a^* value of the shell, the hardness of the texture (in each of the three time periods of two hours, the third day and the seventh day after baking) and the oil absorption of gluten-free doughnut samples. Regarding the evaluation of sensory properties, the results showed that the sample containing carboxymethyl cellulose and propylene glycol had more color, texture, taste and overall acceptance scores than other samples. Therefore, using a gel emulsifier containing CMC and propylene glycol is an available solution to increase the shelf life of gluten-free fermented doughnut.
Keywords: Fermented doughnut, Gluten-Free, Additives, Staling, Shelf life	
DOI: 10.48311/fsct.2025.84033.0. *Corresponding Author E- faribanaghipour@yahoo.com	