

تأثیر جایگزینی ساکارز با سوربیتول و مالتیتول بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی کیک کم‌کالری

آذین نصرالله زاده^{a*}، عباس نجار تمیزکار^b، ماندانا طایفه^a

^aاستادیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
^bدانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۷/۲۴

چکیده

مقدمه: تقاضا برای محصولات کم‌کالری و رژیمی روز به روز رو به افزایش است. از آنجاییکه انتخاب شیرین‌کننده‌ها نقش تأثیرگذاری بر ایجاد ساختار، طعم و پایداری محصول نهایی دارند، بنابراین انتخاب شیرین‌کننده مناسب می‌تواند کیفیت نهایی کیک را تحت تأثیر قرار دهد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر جایگزینی ساکارز با قندهای الکلی سوربیتول و مالتیتول بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی، میکروبی و حسی کیک کم‌کالری انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، ده تیمار شامل ترکیبات متنوعی از ساکارز، سوربیتول و مالتیتول طراحی شد. نسبت ساکارز در تیمارها از ۲۵ تا ۱۰۰ درصد متغیر بود، در حالی که سهم قندهای الکلی (سوربیتول و مالتیتول) با توجه به نوع تیمار بین ۱۲/۵ تا ۷۵ درصد تنظیم گردید. تیمار شاهد تنها حاوی ساکارز بود و سایر تیمارها شامل ترکیب‌های دو یا سه‌گانه از این قندها بودند. نمونه‌ها از نظر میزان رطوبت، شاخص پراکسید، pH، اسیدیته، ویژگی‌های بافتی، رنگ، رشد کپک و مخمر، خصوصیات حسی و کالری کاهش یافته کیک مورد ارزیابی قرار گرفتند.

یافته‌ها: بررسی نتایج نشان داد علیرغم اینکه نمونه ترکیبی ساکارز (۲۵٪) و سوربیتول (۷۵٪) بیشترین رطوبت، و پایداری اکسیداتیو را داشت اما این تیمار از نظر بافت، ارتجاع‌پذیری پایین، سختی بالا و پذیرش حسی ضعیف‌تری از خود نشان داد. در حالیکه نمونه ترکیبی ساکارز (۷۵٪) و مالتیتول (۲۵٪) با ایجاد بافت اسفنجی، رنگ طلایی مناسب، طعم مطلوب و پذیرش کلی بالا (میانگین ۴/۳ از ۵) بیشترین شباهت را به نمونه سنتی داشت. میزان کالری در کیک‌های حاوی مالتیتول نیز کاهش بیشتری داشت. تیمارهای دارای سوربیتول رشد میکروبی را تا پایان دوره نگهداری مهار کردند، البته تیمارهای حاوی مالتیتول نیز تا روز چهاردهم نگهدارندگی خوبی از خود نشان داد اما نمونه شاهد از روز هفتم رشد میکروبی قابل‌توجهی داشت.

نتیجه‌گیری: در مجموع تیمار ترکیبی از ساکارز (۷۵٪) و مالتیتول (۲۵٪) به‌عنوان گزینه‌ای متعادل برای تولید کیک رژیمی با کیفیت مطلوب پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پایداری اکسیداتیو، سوربیتول، کیک کم‌کالری، مالتیتول، ویژگی‌های بافتی

مقدمه

کیک یکی از محصولات پختنی پرمصرف و محصولی بر پایه غلات است که برحسب نوع آن می‌تواند حاوی ۱۰-۳۰٪ شکر، باشد. اما از سوی دیگر مصرف مداوم و طولانی مدت این فراورده به دلیل دارا بودن کالری بالا، چاقی و دیگر مخاطرات سلامتی ناشی از آن را به همراه خواهد داشت. کیک به عنوان یکی از پرفرودارترین محصولات بر پایه غلات حاوی ۱۰ تا ۳۰ درصد شکر بوده و مصرف طولانی مدت آن به دلیل کالری و بار گلیسمی بالا، با افزایش خطر چاقی، دیابت نوع ۲ و سایر بیماری‌های متابولیک و مخاطرات سلامتی همراه است (Grujić and Odžaković, 2021). به همین دلیل، صنعت غذا به دنبال جایگزین‌های سالم‌تری در فرمولاسیون آن است. شکر نقش‌های کلیدی در ایجاد بافت مطلوب، حفظ رطوبت، نرمی، کاهش بیاتی، تثبیت حباب‌های هوا، عطر و طعم مناسب در کیک‌ها دارد اما تحقیقات Martinengo و همکاران (۲۰۲۱) نشان داده که جایگزینی شکر با پلی‌اول‌هایی مانند مالتیتول و سوربیتول می‌تواند علاوه بر کاهش کالری تا ۳۰ درصد در محصول نهایی، ویژگی‌های حسی مطلوب را نیز حفظ کند. با این حال، انتخاب نوع پلی‌ال باید با توجه به خواص عملکردی و تأثیر آن بر حفظ ماندگاری محصول انجام شود (Li et al., 2024). این جایگزینی نه تنها چالش‌های سلامتی مرتبط با مصرف شکر را کاهش می‌دهد، بلکه امکان تولید محصولات با برچسب "کم شکر" را نیز فراهم می‌آورد. اما از آنجاکه شکر منجر به افزایش سطح قند خون می‌شود جایگزینی قندهای الکلی به دلیل جذب ناقصشان در بدن و تولید انرژی کمتر، می‌توانند جایگزین مناسبی برای کاهش بخشی از شکر مصرفی در این محصولات باشند (Ding and Yang, 2021). در بین قندهای الکلی مالتیتول و سوربیتول به ترتیب با ۹۰ و ۶۰ درصد شیرینی نسبت به ساکارز و با کالری زایی کمتر از آن (به ترتیب بالانرژی ۲/۶ و ۲/۱ گرم بر کیلوکالری) با متابولیزه شدن ناقص خود به سرعت از بدن عبور کرده و سریع‌تر از ساکارز دفع می‌شوند بنابراین در مقایسه با ساکارز (با انرژی زایی معادل ۴/۲ گرم بر کیلوکالری) می‌توانند جایگزین مناسبی در محصولات سلامت‌محور شوند (Afi et al., 2019). مطالعات Borczak و همکاران (۲۰۲۲) نشان داده استفاده از سوربیتول در مقایسه با شکر باعث

تأثیر جایگزینی ساکارز با سوربیتول و مالتیتول بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی کیک کم‌کالری

ایجاد بافتی نرم‌تر و اسفنجی‌تر در کیک می‌شود البته استفاده از مالتیتول نیز بافت نرم‌تری نسبت به ساکارز در کیک ایجاد می‌کند، اما ممکن است در مقایسه با کیک حاوی سوربیتول، محصول کمی سفت‌تر شود. مطالعات Roze و همکاران (۲۰۲۱) نشان داده است که افزودن سوربیتول و مالتیتول در بیسکویت‌های رژیمی به دلیل عدم مشارکت آلدیتول‌ها در واکنش میلارد، می‌تواند در بهبود رنگ و ماندگاری محصولات نیز مؤثر باشد. در تحقیق دیگری موسیوند و همکاران نشان دادند کاهش ۲۵ درصد شکر و جایگزینی سوربیتول، شربت اینورت و شیر انگور، می‌تواند کیفیتی مشابه کیک اسفنجی سنتی ایجاد کند (Mousavivand et al., 2020). البته اگرچه سوربیتول به دلیل داشتن گروه‌های هیدروفیلیک بالا، نقش مؤثری در حفظ رطوبت کیک دارد و از خشک شدن آن جلوگیری می‌کند اما استفاده‌ی بیش از حد آن به تنهایی ممکن است به مشکلاتی همچون نرمی بیش از حد منجر شود، که در این موارد ترکیب آن‌ها با قندهای جایگزین دیگر پیشنهاد می‌شود. اثر جایگزینی شکر با لاکتیتول، سوربیتول و مالتیتول بر فراورده‌های پختنی توسط Li^۴ و همکاران (۲۰۲۴) مطالعه شد که نتایج تحقیق نشان داد حجم مخصوص کیک‌های فاقد ساکارز کمتر از نمونه شاهد بود و بافتی نرم‌تر دارند. مطالعات نشان داده ویژگی‌های حسی کیک‌های حاوی مالتیتول و لاکتیتول تفاوت معنی‌داری با کیک‌های سنتی نشان نداد و دلیل آن شباهت ساختاری آن‌ها با ساکارز، و عدم تمایل به شرکت در واکنش‌های اکسیداتیو بوده به همین دلیل سرعت اکسیداسیون کاهش و در نتیجه پایداری کیک افزایش می‌یابد. هدف از تحقیق حاضر، تأثیر جایگزینی سوربیتول و مالتیتول بر خواص فیزیکوشیمیایی و حسی و میکروبی کیک کم‌کالری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

- مواد اولیه

مواد اولیه این تحقیق شامل روغن (مارگارین شهر ری)، شکر (شرکت پردیس تهران)، تخم‌مرغ (شرکت تلاونگ رباط کریم)، آرد نول (شرکت آرد تجارت رودسر)، بیکنینگ پودر (شرکت سحر شهریار)، شیر خشک و پودر آب‌پنیر (شرکت پگاه گیلان) و همچنین سوربیتول و مالتیتول از شرکت سیرال

- آزمون‌های فیزیکوشیمیایی

اندازه‌گیری رطوبت مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۲۷۰۴ انجام شد. و برای تعیین کلیه شاخص‌های فیزیکوشیمیایی شامل فعالیت آبی، میزان اسیدیته (برحسب اسیداولئیک)، عدد پراکسید (برحسب میلی اکسیژن در کیلوگرم روغن استخراجی) و pH از استاندارد ملی ایران به شماره ۲۵۵۳ استفاده گردید.

- بافت سنجی

با استفاده از دستگاه بافت سنج (گروگ سوئد) میزان سفتی، خاصیت ارتجاعی و مقاومت به جویدن بافت مورد ارزیابی قرار گرفت. به این ترتیب که تیمارها به‌طور جداگانه داخل کیسه‌های پلاستیکی در دمای محیط نگهداری شد و سپس جهت ارزیابی با دستگاه بافت سنج، از قسمت مغز کیک برش‌هایی در ابعاد تقریبی ۲ سانتیمتر در ۲ سانتیمتر جدا شد. سپس مقادیر نیرویی که باید فک بالایی دستگاه به نمونه وارد کند معادل ۴۰ درصد ضخامت نمونه‌های کیک در نظر گرفته شد (به گونه‌ای که نمونه تارا ۸ میلی‌متر فشرده نماید) و میزان سرعت فک بالایی، ۳۰ میلی‌متر در دقیقه تنظیم گردید. لازم به ذکر است در این آزمون از پروب صفحه‌ای در فواصل زمانی ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از پخت تیمارها انجام شد (Anonymous, 2002).

- رنگ سنجی

در این سنجش میزان تغییرات رنگ پوسته کیک با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج هانتز لب (Colorflex VA) مدل ۴۵ ساخت آمریکا) اندازه‌گیری و میزان شاخص‌های رنگی L^* ، a^* و b^* مورد ارزیابی قرار گرفت. لازم به ذکر است شاخص L^* نشان‌دهنده روشنایی بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است. شاخص a^* از رنگ سبز تا قرمز و b^* از رنگ آبی تا زرد بین ۱۲۰- تا ۱۲۰+ متغیر بود و ΔE تغییرات رنگی نسبت به شاهد را نشان می‌دهد (Lothrop, 2012).

$$\Delta E = \sqrt{(L - L^*)^2 + (a - a^*)^2 + (b - b^*)^2}$$

- سنجش کیک و مخمر

این سنجش مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۸۹۲۳ انجام گرفت (Institute of Standards and Industrial Research of Iran, No. 8923- 4).

فرانسه (syral) خریداری شد. خصوصیات آرد مصرفی پس از اندازه‌گیری در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- خصوصیات آرد مصرفی

Table 1- Flour properties		
Properties	Results	Allowed Range
RH (Relative Humidity)	12.5%	Max14%
Protein content	9.2%	8.5-10%
Ash content	0.45%	0.45-0.5%
Wet gluten	26%	24-27%
pH	6	5.5-6.5

- آماده‌سازی کیک

برای تهیه خمیر کیک ابتدا شکر و روغن همراه با مواد خشک دیگر (شیر خشک، وانیل، و نمک) تا رسیدن به یک کرم روشن با همزن برقی مخلوط شد (Dehkhoda et al., 2015). سپس تخم‌مرغ و آب به خمیر اضافه شد و به مدت ۴ دقیقه هم‌زدن ادامه یافت. لازم به ذکر است از آنجاییکه جذب رطوبت شیرین کننده‌ها با یکدیگر متفاوت است میزان آب مورد نیاز برای رسیدن به یک خمیر یکنواخت هم با یکدیگر متفاوت بوده بنابراین با توجه به اینکه شیرین کننده‌های الکلی جاذب الرطوبه هستند ممکن است مقدار آب مصرفی برای دستیابی به بافت یکنواخت در آن تیمارها از ۵ تا ۷ درصد بیشتر از تیمار شاهد باشد. در مرحله بعدی بکینگ پودر و آرد به خمیر افزوده شد و خمیر تهیه‌شده در قالب‌های ۴۰ گرمی مخصوص کیک ریخته شد. عملیات پخت در فر با دمای ۱۸۰-۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۵ دقیقه انجام گردید. نمونه‌ها پس از خنک شدن، بسته‌بندی و برای انجام آزمایش‌ها نگهداری شدند. تیمارهای موردبررسی در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- معرفی تیمارها

Table 2-Description of Experimental Treatments

Treatment	Sucrose (%)	Maltitol (%)	Sorbitol (%)
S1	75	25	-
S2	75	-	25
S3	75	12.5	12.5
S4	50	50	-
S5	50	-	50
S6	50	25	25
S7	25	75	-
S8	25	-	75
S9	25	37.5	37.5
S10	100	-	-

تأثیر جایگزینی ساکارز با سوربیتول و مالتیتول بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی کیک کم‌کالری

- ارزیابی حسی

به‌منظور ارزیابی حسی نمونه‌های کیک، از تجزیه و تحلیل ویژگی‌های کیک با کاربرد حواس پنجگانه استفاده شد و ۱۵ نفر از افراد آموزش‌دیده به بررسی خواص حسی کیک پرداختند و امتیازات خود را برای صفات حسی شامل عطر و بو، طعم، رنگ، بافت و پذیرش کلی اعلام کردند در این آزمون عدد ۱ نشان‌دهنده پایین‌ترین امتیاز داده‌شده توسط ارزیاب و عدد ۵ بالاترین امتیاز بوده است (Manisha et al., 2012).

- محاسبه کالری کاهش یافته در کیک

از آنجاییکه انرژی‌زایی هر گرم مالتیتول حدود ۲/۱ کیلوکالری، سوربیتول ۲/۶ کیلوکالری و ساکارز ۴ کیلوکالری در بدن است (Awuchi et al., 2019). کالری کل نمونه‌های کیک با استفاده از روش تجمیع کالری و بر اساس رابطه زیر با توجه به تفاوت کالری‌زایی شیرین‌کننده‌های مختلف محاسبه شده و سپس درصد کاهش کالری هر یک از تیمارها نسبت به نمونه شاهد گزارش گردید (Hussein et al., 2015).

(مقدار کربوهیدرات × میزان کالری‌زایی آن) + (مقدار چربی × ۹) + (۴ × مقدار پروتئین) = کالری کل

- تجزیه و تحلیل آماری

کلیه نتایج این بررسی از طریق طرح کاملاً تصادفی در ۳

تکرار انجام شد. سپس از طریق آنالیز واریانس یک‌طرفه دانکن ۹۵ درصد اطمینان با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2016 استفاده شد.

یافته‌ها

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد نمونه حاوی ۷۵٪ سوربیتول (S8) با ۱۸/۳٪ رطوبت، و پس از آن تیمار حاوی ترکیب سوربیتول و مالتیتول (S9) با ۱۷/۹٪ بالاترین رطوبت و نمونه شاهد (S10) با ۱۲/۱٪ کمترین رطوبت را داشتند، که می‌تواند نشان‌دهنده نقش تأثیرگذار سوربیتول در حفظ رطوبت در مقایسه با مالتیتول و ساکارز است. همچنین مطالعه بطور کلی مشخص شد تیمارهای حاوی سوربیتول میانگین ۱۵-۱۸٪ رطوبت داشتند، که نشان‌دهنده نقش چشمگیر سوربیتول در بهبود ویژگی‌های بافتی و ماندگاری بالای کیک در مقایسه با مالتیتول و ساکارز بود.

- اسیدیته

نتایج تجزیه واریانس این بررسی نشان داد از نظر آماری اثر تیمارهای این پژوهش بر میزان اسیدیته و pH نمونه‌های کیک اختلاف معنی‌داری ایجاد نمی‌کردند ($P < 0.05$) اما دامنه تغییرات pH در تیمارها از ۷/۱۳ تا ۷/۰۲ بوده و در این بین pH نمونه شاهد از دیگر تیمارها بالاتر بود.

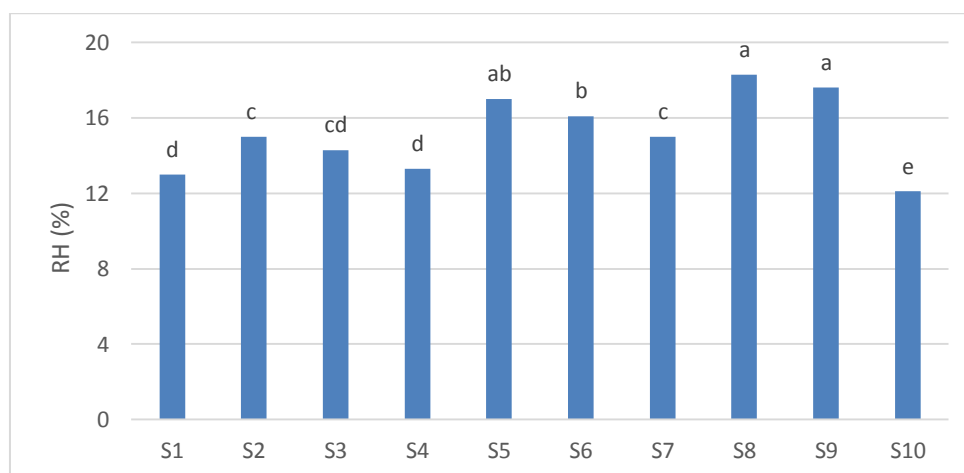


Figure 1- Effect of different substitution levels of maltitol and sorbitol on moisture content of Low calorie cake.

شکل ۱- اثر سطوح مختلف جایگزینی مالتیتول و سوربیتول بر میزان رطوبت کیک کم‌کالری.

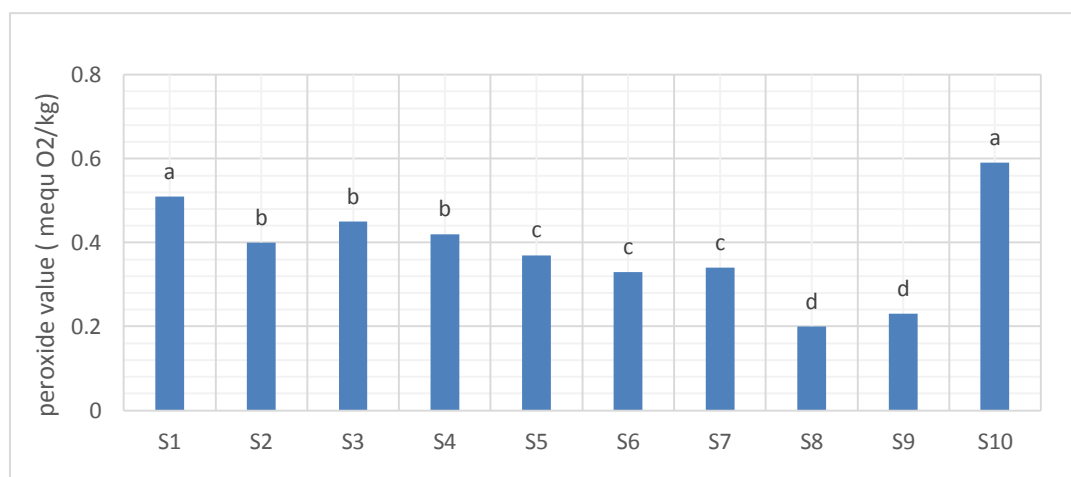


Figure 2- Effect of different substitution levels of maltitol and sorbitol on peroxide value of Low calorie cake.

شکل ۲- اثر سطوح مختلف جایگزینی مالتیتول و سوربیتول بر میزان رطوبت کیک کم کالری.

- نتایج پراکسید

مقایسه میانگین‌ها برای میزان پراکسید نشان داد کمترین شاخص پراکسید (۰/۲۳ میلی اکی والان اکسیژن بر کیلوگرم) در نمونه S8 (۲۵٪ ساکارز + ۷۵٪ سوربیتول) و پس از آن در تیمار ترکیبی سوربیتول و مالتیتول (S9) دیده شد که بالاترین پایداری در برابر اکسیداسیون را داشتند، درحالی‌که نمونه شاهد (۱۰۰٪ ساکارز) با بالاترین مقدار پراکسید (۰/۵۹ میلی اکی‌والان اکسیژن بر کیلوگرم) ضعیف‌ترین عملکرد را نشان داده است. بررسی‌های بیشتر در نتایج نشان داده در کلیه تیمارهایی که حاوی سوربیتول بودند حداقل پراکسید (۰/۲-۰/۴ میلی اکی‌والان اکسیژن بر کیلوگرم) در مقایسه با تیمارهای حاوی مالتیتول و ساکارز دیده شد. البته افزایش پراکسید در هیچ یک از تیمارها مقدار این شاخص را از حد مجاز بالاتر نبرد.

در ارزیابی کیفیت بافتی معمولاً سه ویژگی سفتی، خواص ارتجاعی و خاصیت جویدن کیک اندازه‌گیری می‌شود. بررسی نتایج نشان داده نوع شیرین‌کننده بر کیفیت بافت کیک تفاوت معناداری ایجاد می‌کنند. مطالعه نتایج سختی بافت نشان داد نمونه S8 (۲۵٪ ساکارز + ۷۵٪ سوربیتول) با بیشترین مقدار سفتی (۱۴۶ نیوتن) سخت‌ترین بافت و نمونه شاهد حاوی ۱۰۰٪ شکر نرم‌ترین بافت (۸۷ نیوتن) را داشته است و به‌طورکلی تیمارهای حاوی سوربیتول منجر به ایجاد سختی بیشتری (محدوده‌ی بین ۱۱۸ تا ۱۴۶ نیوتن) در مقایسه با نمونه‌های حاوی مالتیتول و ساکارز شدند. مقایسه سختی نمونه‌های حاوی مالتیتول و ساکارز نیز نشان داد استفاده

از مالتیتول بافت نسبتاً نرم‌تری ایجاد کرده به‌طوری‌که کیک‌های حاوی مالتیتول (S1, S3, S4, S6, S7, S9) مقادیر سختی بین ۹۳-۱۲۵ نیوتن داشتند که نسبت به تیمارهای حاوی سوربیتول کیفیت بالاتری را کسب می‌کند و تیمار S1 از نظر نرمی بافت بیشترین مشابهت را با تیمار شاهد داشت. دومین پارامتر ارزیابی خواص ارتجاعی کیک است که به قابلیت کیک برای بازگشت به شکل اولیه خود پس از حذف فشار برمی‌گردد. بررسی نتایج نشان می‌دهد نمونه S10 (۱۰۰٪ ساکارز) بالاترین خاصیت ارتجاعی (۱/۹۸) را داشته است، درحالی‌که نمونه S8 (۲۵٪ ساکارز + ۷۵٪ سوربیتول) کم‌ترین ارتجاع‌پذیری (۰/۸۹) را نشان می‌دهد. و به‌طورکلی، نمونه‌های حاوی ساکارز و مالتیتول از نظر خواص ارتجاعی (محدوده بین ۱/۷۲ تا ۱/۰۹) بهتر از نمونه‌های حاوی سوربیتول (محدوده ۰/۸۹ بین ۱/۴۳) عمل کردند. بنابراین پس از نمونه شاهد در کیک‌های رژیمی ترکیب ساکارز-مالتیتول می‌توانند تعادل بهتری بین نتایج سختی و ارتجاع‌پذیری ایجاد کنند. از آنجایی‌که بین سختی و خاصیت ارتجاعی بافت رابطه معکوس وجود دارد نمونه‌های حاوی مالتیتول (مانند S1 و S7) با نتایج میانه (نسبت به سوربیتول و ساکارز) تعادل مناسبی بین این دو ویژگی ایجاد می‌کند که برای فرمولاسیون‌های نیازمند بافت نسبتاً نرم و انعطاف‌پذیر استفاده از ترکیب آن با ساکارز توصیه می‌شود. سومین ارزیابی بافتی قابلیت جویدن بوده که نتایج این پارامتر نشان داد تیمار شاهد با بالاترین امتیاز (۱) و نمونه S8 (۷۵٪ سوربیتول و ۲۵٪

تأثیر جایگزینی ساکارز با سوربیتول و مالتیتول بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی کیک کم‌کالری

مطلوب، ترکیب ساکارز و مالتیتول به نسبت ۳ به ۱ گزینه‌ی مناسبی است، چراکه این ترکیب ضمن حفظ رطوبت کافی، موجب مهار سفتی بیش‌ازحد و تعدیل ویژگی‌های ارتجاعی کیک می‌شود.

در این مطالعه نتایج شاخص روشنایی (L) نشان می‌دهد سوربیتول بیشترین تأثیر را در افزایش روشنایی پوسته‌ی کیک دارد، و روشن‌ترین پوسته در کیک حاوی ۷۵٪ سوربیتول دیده شد که این روشنایی اغلب مورد پذیرش مصرف‌کنندگان نیست درحالی‌که در تیمار شاهد حاوی ۱۰۰٪ ساکارز رنگ قهوه‌ای در پوسته کیک آشکار بود و در بین دیگر کیک‌ها، تیمارهای S1 و S3 که حاوی سهم بیشتری از مالتیتول بوده‌اند در ایجاد رنگ قهوه‌ای مطلوب نقش تأثیرگذاری داشتند.

همچنین بررسی نتایج تغییرات رنگی (ΔE) نیز نشان می‌دهد نمونه‌های حاوی بیشترین درصد سوربیتول (S8) با بالاترین تغییرات رنگی (۲۴/۴۶) نسبت به نمونه شاهد موجب بیشترین تفاوت از نظر رنگ پوسته با کیک‌های سنتی شدند و در مقابل تفاوت‌های رنگی در تیمار S1 (۲۵ درصد مالتیتول و ۷۵ درصد شکر) کمتر از دیگر تیمارها بوده است (۷/۲) که به تشابه ساختاری مالتیتول با ساکارز و اثر متعادل‌کنندگی آن مرتبط است.

شکر) با پایین‌ترین امتیاز (۰/۵۱) به ترتیب بالاترین و ضعیف‌ترین امکان جویدن در کیک‌ها را نشان می‌دهد. کیک‌های حاوی ترکیب ساکارز- مالتیتول (S1, S4) خاصیت جویدن بهتری نسبت به تیمارهای با سوربیتول را نشان دادند (به ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۷۴) اما تیمار S8 ضیف‌ترین تیمار از لحاظ ویژگی‌های جویدن بود (۰/۵۱). بنابراین برای بهبود خاصیت جویدن، در کیک‌های رژیمی ترکیب شکر با مالتیتول گزینه مناسب‌تری خواهد بود. به‌طورکلی نتایج ارزیابی ویژگی‌های بافتی نمونه‌های کیک مورد مطالعه نشان می‌دهد سوربیتول به‌عنوان یک قند الکلی موجب افزایش چشمگیر سفتی بافت و کاهش هم‌زمان ارتجاع‌پذیری و قابلیت جویدن می‌گردد و حتی ممکن است تمایل به جذب رطوبت آن منجر به چسبندگی بالا در خمیر شود. درحالی‌که مالتیتول به دلیل ساختار مولکولی متفاوت، بافتی نرم‌تر، با ارتجاع‌پذیری بالا و قابلیت جویدن مناسب ایجاد می‌کند و به‌عنوان یک قند الکلی دیگر، در ترکیب با ساکارز توانسته است تعادل مناسبی بین این ویژگی‌ها برقرار کند، به‌طوری‌که سفتی بافت با بیشترین مشابهت با نمونه شاهد (۹۳ واحد)، ارتجاع‌پذیری نزدیک به ساکارز (۱/۷۲) و قابلیت جویدن قابل قبول (۰/۷۱) از خود نشان داده است. بنابراین برای فرمولاسیون کیک‌های کم‌کالری با ویژگی‌های بافتی

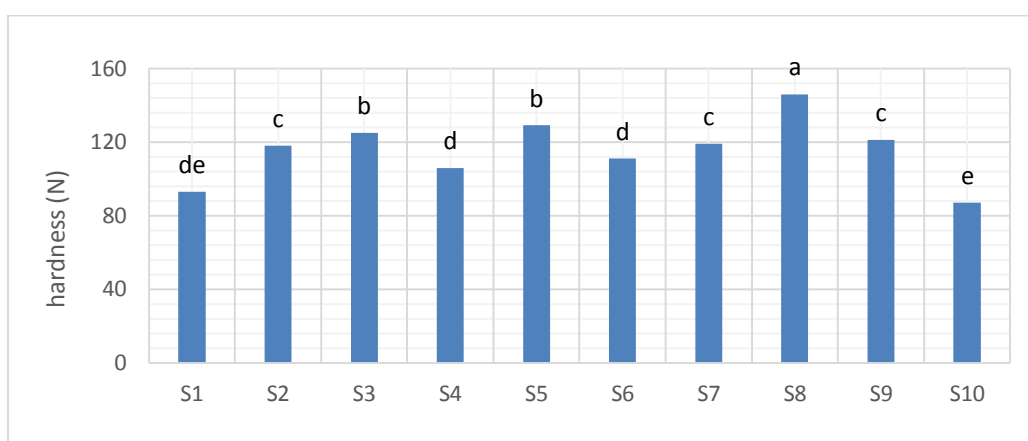


Figure 3- Effect of different substitution levels of maltitol and sorbitol on hardness of Low calorie cake.

شکل ۳- اثر سطوح مختلف جایگزینی مالتیتول و سوربیتول بر میزان سختی کیک کم‌کالری.

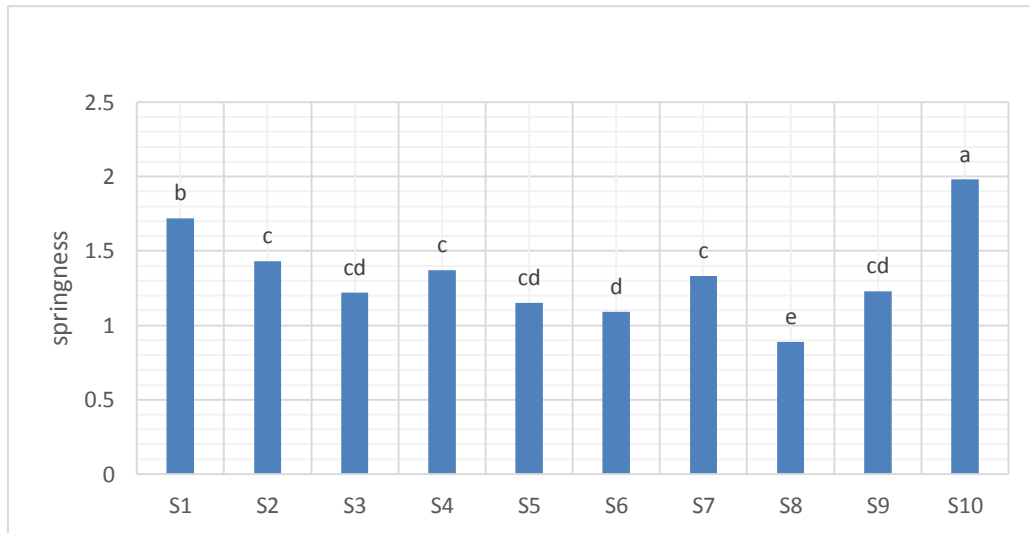


Figure 4- Effect of different substitution levels of maltitol and sorbitol on springness of Low calorie cake.
شکل ۴ - اثر سطوح مختلف جایگزینی مالتیتول و سوربیتول بر خاصیت ارتجاعی کیک کم کالری.

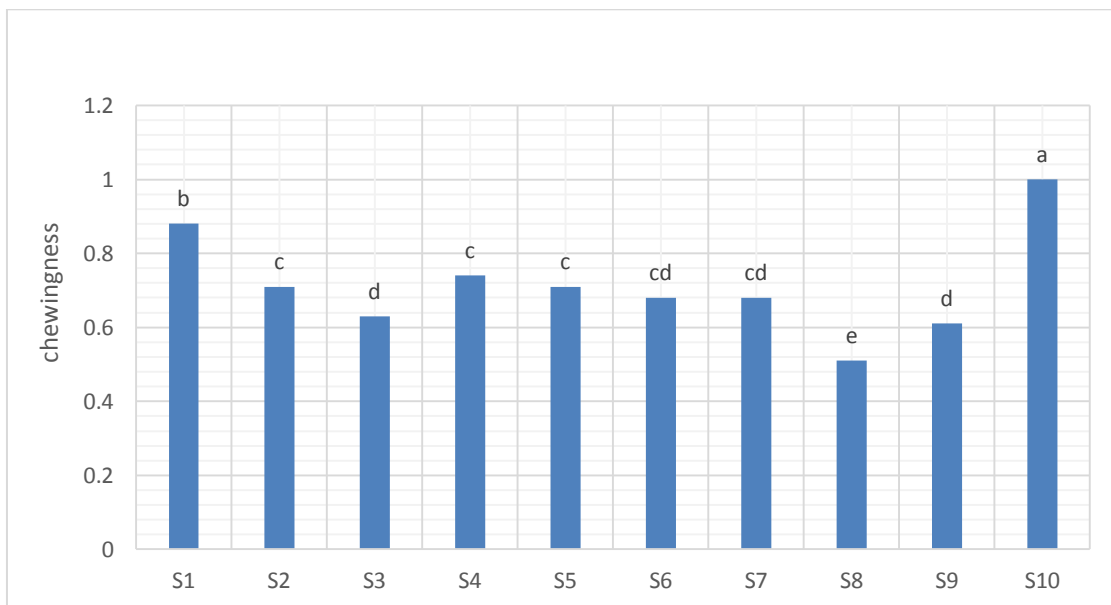


Figure 5- Effect of different substitution levels of maltitol and sorbitol on chewingness of Low calorie cake.
شکل ۵ - اثر سطوح مختلف جایگزینی مالتیتول و سوربیتول بر میزان رطوبت کیک کم کالری.

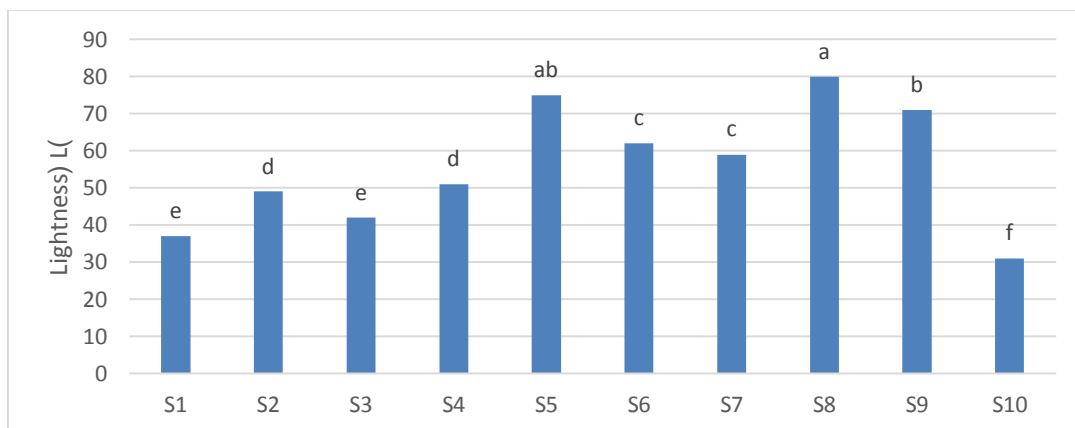


Figure 6- Effect of different substitution levels of maltitol and sorbitol on L index of Low calorie cake
شکل ۶ - اثر سطوح مختلف جایگزینی مالتیتول و سوربیتول بر روشنایی کیک کم کالری

تأثیر جایگزینی ساکارز با سوربیتول و مالتیتول بر ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی، میکروبی و حسی کیک کم‌کالری

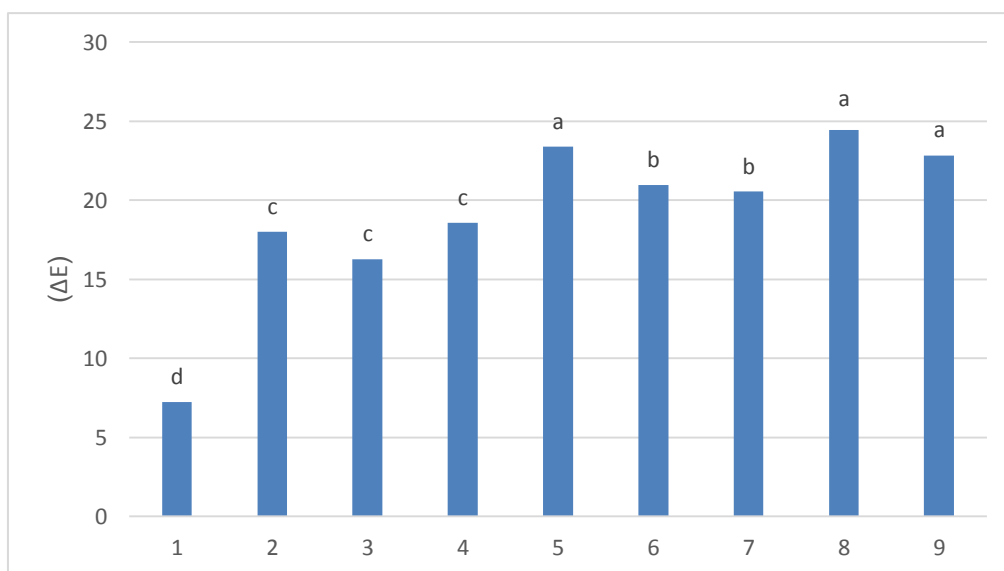


Figure 7- Effect of different substitution levels of maltitol and sorbitol on ΔE of Low calorie cake
شکل ۷- اثر سطوح مختلف جایگزینی مالتیتول و سوربیتول بر تغییرات رنگی کیک کم‌کالری

هر تیماری که از سوربیتول استفاده شد تا پایان روز ۲۸م همچنان رشد کپک و مخمر منفی بود البته جایگزینی مالتیتول نیز در تیمارهای S1 و S4 تا قبل روز ۲۱ از ظهور کلنی‌های کپک و مخمر محافظت کرد.

بررسی کیک‌های حاوی سوربیتول، مالتیتول و ساکارز از نظر خصوصیات حسی، تفاوت‌های قابل‌ملاحظه‌ای را نشان داد. به‌طوری‌که نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد بافت کیک حاوی مقادیر بالای سوربیتول دارای سفتی قابل توجه، چسبنده‌تر و با تخلخل کمتری از کیک‌های سستی بوده و از قابلیت ارتجاعی کمتری برخوردار بودند در مقابل کیک‌های حاوی مالتیتول با شباهت بیشتر به نمونه شاهد، بافتی اسفنجی، ارتجاعی و با کیفیت مطلوب‌تر مشابه کیک شکری ارائه می‌دهد. همچنین ارزیابی‌های رنگی در تیمارهای گوناگون نیز امتیازاتی متفاوت داشت و جمع بندی نظر ارزیابان نشان از شباهت بیشتر کیک‌های حاوی مالتیتول با کیک شاهد را داشت. بررسی نمرات طعم کیک نیز حاکی از شیرینی کمتر و یک تلخی جزئی در پس‌طعم در کیک‌های حاوی سوربیتول بود که مطلوب مصرف‌کنندگان نبوده و نمره طعم کیک را کاهش داد، درحالی‌که مالتیتول با شیرینی متعادل‌تر بدون پس‌طعم نامطلوب، نسبتاً طعمی مشابه شکر داشت. جمع‌بندی نتایج ارزیابان حسی نشان داد از نظر پذیرش کلی بهترین عملکرد متعلق به نمونه شاهد (با میانگین امتیاز ۴/۹ از ۵) و پس‌از آن نمونه S1 با امتیاز ۴/۳ از ۵ بود درحالی‌که نمونه

شیرین‌کننده‌ها تأثیرات متفاوتی بر رشد کپک و مخمر در کیک دارند که عمدتاً به دلیل تفاوت در ساختار شیمیایی و قابلیت تخمیر این ترکیبات توسط میکروارگانیسم‌هاست در این مطالعه روند رشد کپک و مخمرها در طی چهار هفته نگهداری کیک ارزیابی شد و نتایج نشان داد نمونه S10 (۱۰۰٪ ساکارز) با رشد سریع و قابل‌توجه کپک و مخمر (تا ۱۳۰۰ CFU/g در روز ۲۸) مواجه شد درحالی‌که تمامی نمونه‌های حاوی سوربیتول در طول نگهداری منجر به مهار رشد میکروارگانیسم‌ها (<10 CFU/g) شدند که به دلیل اثر ضد میکروبی قوی سوربیتول است. در مقابل نمونه‌های حاوی مالتیتول رشد محدودی (<100 CFU/g) از کلونی‌های کپک و مخمر را خصوصاً در روزهای پایانی نشان دادند. اما از طرف دیگر تأثیر قندهای الکلی بر میزان بازدارندگی میکروبی کیک رژیمی نشان داد تا روز چهاردهم تمامی تیمارهای حاوی قند سوربیتول و مالتیتول فاقد رشد کپک و مخمر بوده‌اند و پس از ۲۱ روز نگهداری علیرغم اینکه کلنی‌های کپک و مخمر دیده شد و بر تعداد آن‌ها در روز ۲۸ نیز افزوده شد اما درعین‌حال میزان آن‌ها از محدوده مجاز (کمتر از ۱۰۰ CFU/g) بود (استاندارد ملی ایران به شماره ۱۰۸۸۹) اما در مقابل رشد کپک و مخمر در تیمار شاهد از روز هفتم مثبت گزارش شد و از روز ۲۱ به بعد نیز به بالاتر از حد مجاز استاندارد رسید. مقایسه تیمارهای حاوی مالتیتول و سوربیتول هم نشان داد سوربیتول در مهار رشد میکروبی بهتر از مالتیتول عمل کرده به‌طوری‌که در

پایداری مؤثرتر از مالتیتول بوده اما با اثرات منفی بر کیفیت بافتی و حسی محصول، نتوانسته از نظر ارزیابان امتیازات قابل قبولی کسب کند. درنهایت بیشترین مشابهت به کیک شاهد و بالاترین پذیرش کلی در تیمار حاوی نسبت ۳ به ۱ ساکارز به مالتیتول به دست آمد (S1) و کیک‌هایی که صرفاً از با مقادیر بالای سوربیتول و درصد پایین شکر تهیه شده‌اند کمترین امتیاز را داشتند.

S8 (۷۵٪ سوربیتول و ۲۵٪ شکر) ضعیف‌ترین نتایج (میانگین ۳ از ۵) را نشان داد. نمونه‌های ترکیبی ساکارز و مالتیتول (S4 و S7) با امتیازات متوسط تعادل مناسبی بین ویژگی‌های حسی ایجاد کردند. بنابراین استفاده از ساکارز همچنان گزینه برتر برای پذیرش کلی مصرف‌کننده است، اما برای کیک‌های با شکر کاهش‌یافته، ترکیب ساکارز و مالتیتول می‌تواند جایگزین مناسبی برای فرمولاسیون محصولات کم‌کالری باشد. در مقایسه سوربیتول اگرچه در

جدول ۳- اثر سطوح مختلف جایگزینی مالتیتول و سوربیتول بر رشد کپک و مخمر کیک کم‌کالری در طول دوره انبارداری
Table 3- Effect of different substitution levels of maltitol and sorbitol on mold and yeast of low calorie cake (cfu/gr) during storage

Mold and Yeast (cfu/gr)					Treatments
day 28	day 21	day 14	day 7	day1	
۱۰۰>	۱۰>	-	-	-	S1
-	-	-	-	-	S2
۱۰>	-	-	-	-	S3
۱۰۰>	۱۰>	-	-	-	S4
-	-	-	-	-	S5
-	-	-	-	-	S6
۱۰۰>	۱۰>	-	-	-	S7
-	-	-	-	-	S8
-	-	-	-	-	S9
۱۳۰۰	۶۰۰	۱۰۰>	۱۰>	-	S10

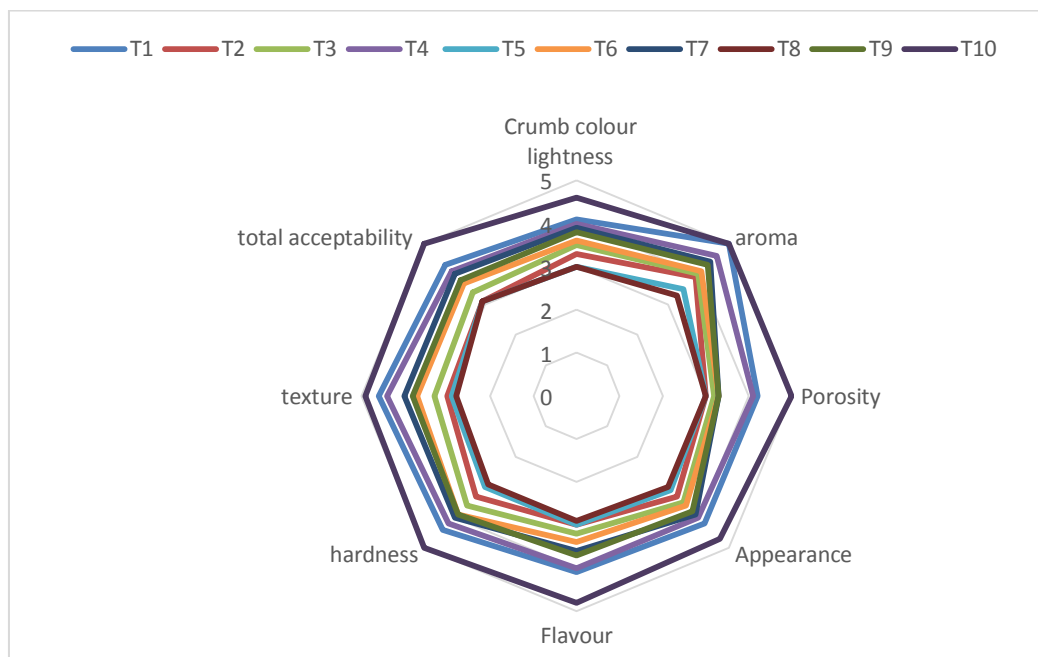


Figure 8- Effect of replacement of sorbitol and maltitol on sensory properties of low calories cake during storage.
شکل ۸- اثر سطوح مختلف جایگزینی مالتیتول و سوربیتول بر خصوصیات حسی کیک کم‌کالری.

بحث

مطالعات پیرامون تاثیر شیرین کننده‌ها بر رطوبت کیک کم کالری نشان داد سوربیتول به دلیل ویژگی‌های خاصیت جاذب الرطوبه بودن، در حفظ تازگی و افزایش ماندگاری کیک موفق‌تر از مالتیتول و ساکارز بود البته مالتیتول در مقایسه با ساکارز عملکرد بهتری در حفظ رطوبت داشت. بنابراین خواص ضعیف هیگروسکوپیک ساکارز می‌تواند منجر به خشک شدن سریع کیک در طول دوره نگهداری شود (Bhise et al., 2014; Ding and Yang, 2021). همچنین مطالعات امامی و همکاران (۱۳۹۸) بر روی رطوبت کیک‌های کم کالری، همراه با نتایج این پژوهش نشان داد جایگزینی قندهای الکلی موجب تشکیل تعاملات بین مولکولی جدیدی با نشاسته در نواحی آمورف می‌شود که منجر به کاهش دمای ژلاتیناسیون و در نتیجه ژلاتینه شدن آسان‌تر نشاسته شده و از طرف دیگر داناتوراسیون پروتئین‌ها نیز تسهیل شده که در نهایت به حفظ بیشتر رطوبت در محصول می‌انجامد (Emami et al., 2020). از طرف دیگر تفاوت‌های ساختار قندهای سوربیتول، مالتیتول و ساکارز هم از مهم‌ترین دلایل برای تفاوت قدرت جذب رطوبت آن‌ها است. سوربیتول با سطوح تماس وسیع‌تر و ساختار فیبری خود، قابلیت بیشتری برای جذب رطوبت دارد در حالی که مالتیتول و ساکارز به دلیل سطح تماس کمتر و ساختمان کریستالی هندسی، قابلیت جذب آب کمتری نسبت به سوربیتول دارد که در این بین ساکارز با کریستال‌های متراکم‌تر و چگالی بیشتر در جذب رطوبت از مالتیتول هم ضعیف‌تر عمل می‌کند (et al., 2023). (Davoudi

نقش شیرین کننده‌ها بر ویژگی‌های pH و اسیدیته در این پژوهش همراه با مطالعات بورزاک و همکاران (۲۰۲۲) بود به نظر می‌رسد تاثیر قند الکلی بر خواص اسیدی کیک به نوع قند وابسته است اما از آنجایی که این شیرین کننده‌ها از نظر شیمیایی خنثی هستند و یون‌های اسیدی یا قلیایی در محیط ایجاد نمی‌کنند بنابراین وجود آن‌ها در محیط تأثیری بر اسیدیته و pH نخواهد داشت مگر اینکه با سایر ترکیبات اسیدی/قلیایی ترکیب شوند البته ممکن است نوع قند مقدار کمی بر تعادل طعم و ایجاد محیط مناسب برای عملکرد و رآورندها مؤثر باشند (Borczak et al., 2022). تغییرات پراکسید در بین تیمارهای این پژوهش همراه با مطالعات

تأثیر جایگزینی ساکارز با سوربیتول و مالتیتول بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی کیک کم کالری

Ding و همکاران (2021) بودند که نشان دادند شاخص پراکسید می‌تواند تحت تاثیر نوع قند و تمایل آن‌ها به شرکت در اکسیداسیون باشد، در بین قندهای مورد بررسی سوربیتول قادر است به‌طور هم‌زمان با کاهش غلظت ترکیبات پراکسیدی علاوه بر حفظ رطوبت، تازگی و ماندگاری کیک، از فساد اکسیداتیو محصول نیز جلوگیری کند. البته به‌جز سوربیتول، مالتیتول نیز می‌تواند تا حدی امکان اکسیداسیون را کاهش می‌دهد. خاصیت کاهندگی پلی‌اول‌ها از دلایلی است که به‌صورت غیرمستقیم توانایی جلوگیری از اکسیداسیون چربی‌ها را نشان می‌دهد، البته این اثر بسیار ضعیف بود. از طرف دیگر سوربیتول به دلیل خاصیت جذب آب بالا و کاهشی که در فعالیت آبی (aw) کیک ایجاد می‌کنند در مهار سرعت اکسیداسیون چربی‌ها مؤثر است. در نهایت این دو عامل منجر به کاهش شاخص پراکسید در کیک حاوی سوربیتول خواهد شد (Ding and Yang, 2021). اما ساکارز به دلیل تمایل به تشکیل کمپلکس با یون‌های فلزی (مانند آهن و مس)، نقش یک پرواکسیدان را داشته که خود تشدیدکننده اکسیداسیون در کیک حاوی شکر است (Barden et al., 2015). مطالعات کیم و همکارانش (۲۰۱۴) نشان داد در محصولاتی که حاوی روغن نباتی باشند جایگزینی ۳۰٪ شکر با سوربیتول منجر به کاهش ۲۵ تا ۴۰٪ شاخص پراکسید در طول یک ماه نگهداری می‌شود که دلیل آن احتمالاً به فعالیت آنتی‌اکسیدانی قندهای الکلی و در مقابل فعالیت پراکسیدانی ساکارز مرتبط است. البته ساکارز با فعالیت آبی بالا، ممکن است حتی با افزایش آب آزاد نیز، شرایط را برای اکسیداسیون چربی و افزایش شاخص پراکسید در کیک فراهم کند (Kim et al., 2014).

مطالعات بافت سنجی بر روی کیک‌های حاوی شیرین کننده‌های الکلی توسط ناصری و همکاران (۱۳۹۸) همسو با نتایج این پژوهش نشان داد سفتی بافت کیک تحت تأثیر توانایی قندهای الکلی در باند شدن با آب و از دست دادن آن در طی دوره نگهداری است. علاوه برهم‌کنش این قندها با نشاسته نیز می‌تواند با تأثیر در فرایند رترورگاداسیون نشاسته، به‌ویژه آمیلوپکتین، بر میزان سختی بافت بیافزاید (Naseri Monfared et al., 2020). اما از طرف دیگر ساکارز با امکان انبساط بیشتر حباب‌های ریز هوا در خمیر کیک، منجر به افزایش حفره‌های ریز هوا در فرمولاسیون و در نهایت افزایش تخلخل، نرمی بافت و حتی

بهبود قابلیت جویدن محصول می‌گردد. البته وزن مولکولی قندهای الکلی، نوع آرایش مولکولی و افزایش پیوندهای هیدروژنی آن‌ها نیز، در میزان کاهش تحرک آب آزاد و در نتیجه افزایش سختی کیک مؤثر اس و نتایج مطالعات نشان داده در این بین، مالتیتول نمره قابل قبول تری را به دست می‌آورد و علیرغم اینکه سوربیتول در حفظ رطوبت و مهار اکسیداسیون مؤثرتر از دیگر شیرین کننده‌ها بوده است، اما وجود آن می‌تواند منجر به افزایش سختی محصول شود که مطلوب نیست (Nourmohammadi *et al.*, 2011). تفاوت حلالیت ساکارز و قندهای الکلی نیز از دیگر عوامل مؤثر در اختلاف معنادر سختی بافت کیک با استفاده از انواع شیرین کننده‌هاست. در کیک‌های سنتی ساکارز با قدرت حل شونده بالا در آب منجر به ایجاد یک ساختار نرم، یکنواخت، سبک و لطیف در خمیر می‌شود، همچنین در حین فرایند پخت نیز کریستال‌های ریز شکر در زمان کوتاه‌تری ذوب می‌شوند و در نهایت به ایجاد تردی و نرمی کیک کمک می‌کند. اما در نمونه‌های حاوی قندهای الکلی شرایط متفاوت بوده و قابلیت پایین حل شدن آن‌ها در آب حتی ممکن است منجر به کریستاله شدنشان پس از پخت شود، که در نهایت بافتی سفت‌تر یا حتی دانه‌دار و شن ریزه‌ای را تولید کند (Ding and Yang, 2021). مطالعه بر روی خواص ارتجاعی کیک که به قابلیت کیک برای بازگشت به شکل اولیه خود پس از حذف فشار برمی‌گردد، نشان می‌دهد ترکیب ساکارز-مالتیتول می‌توانند تعادل بهتری بین نتایج سختی و ارتجاع‌پذیری ایجاد کنند. وجود سوربیتول در کیک با تخریب پیوندهای گلوتهی در خمیر منجر به کاهش پایداری حباب‌های هوا، توزیع نامناسب و غیریکنواخت آن‌ها، افزایش اندازه حباب هوا، کاهش تخلخل و در نتیجه افت خواص ارتجاعی کیک خواهد شد (دهخدا و همکاران، ۱۳۹۴). بررسی‌ها نشان داده رقابت بین قندها و شبکه گلوتهی برای جذب آب در مرحله تهیه خمیر نیز یکی از دلایل اصلی تفاوت در بافت کیک است. قندهای الکلی به دلیل داشتن گروه‌های هیدروکسیل کمتر، در ایجاد اتصالات هیدروژنی با آب ضعیف‌تر عمل کرده بنابراین آب بیشتری را در اختیار گلوتهن قرار می‌دهند که در نهایت منجر به افزایش سختی و خشک‌تر شدن بافت کیک و حتی ایجاد حالت شن ریزه‌ای در کیک کم‌کالری می‌شود اما در مقابل ساکارز در رقابت با گلوتهن آب بیشتری را سهم

خود کرده که به کاهش سختی و افزایش خاصیت ارتجاعی محصول می‌انجامد البته در بین قندهای الکلی مالتیتول در مقایسه با سوربیتول به دلیل حلالیت نزدیک‌تر به ساکارز تا حدی امکان جویدن را بهتر حفظ کرده و نتایج بهتری در بافت نشان می‌دهد (Slade *et al.*, 2021; Gökçe *et al.*, 2023). با ارزیابی رنگ سنجی به نظر می‌رسد ایجاد روشنایی، قرمزی و زردی در محصولات غذایی تحت تأثیر عواملی مانند pH، قندهای احیاکننده، نوع قند، نوع اسیدهای آمینه، میزان مواد خشک، فعالیت آبی و درجه حرارت فرایند است. مطالعات متعددی نشان داده در کیک‌های سنتی که حاوی ساکارز هستند به دلیل مشارکت این قند در واکنش‌های قهوه‌ای شدن میلارد، تشکیل هیدروکسی متیل فورفورال و ترکیبات رنگی تیره‌ی ملانوییدینی رنگ قهوه‌ای در پوسته کیک ایجاد شده اما قندهای الکلی به‌ویژه سوربیتول به دلیل نداشتن گروه کربونیل آزاد توانایی شرکت در واکنش میلارد را نداشته و منجر به تشکیل پوسته‌ی روشنی در کیک می‌شوند از طرف دیگر نوع قند می‌تواند بر دمای ژلاتینه شدن و ساختار خمیر تأثیرگذار باشد مطالعات نشان داده قندهای الکلی ممکن است دمای ژلاتینه شدن نشاسته را تغییر دهند و ساختار خمیر را متفاوت کنند این تغییرات می‌توانند بر نحوه توزیع حرارت در طول پخت اثر بگذارند و در نتیجه رنگ پوسته را روشن‌تر کنند. (Psimouli *et al.*, 2012; Dobrova *et al.*, 2025). علاوه افزایش روشنایی ناشی از سوربیتول، با ایجاد ساختار کریستالی و به دنبال آن بازتابش بیشتر نور نیز مرتبط می‌باشد که از یک سو روشنایی محصول را افزایش می‌دهند و از سوی دیگر تغییرات رنگی ناشی از میلارد را تشدید می‌کنند. از طرف دیگر ساکارز دارای گروه‌های کربونیل واکنش‌پذیری بوده که در دمای ۱۶۰-۱۸۰ °C به سرعت تجزیه شده و رنگ تیره کاراملی ایجاد می‌کند اما پلی‌ال‌ها در برابر کاراملیزاسیون بسیار پایداری تر بوده و گروه‌های هیدروکسید پایداری آن‌ها برای تجزیه به دمای بالاتری نیاز دارند. (200-240 °C) بنابراین این ویژگی باعث می‌شود در دمای پخت معمول کیک (180 °C) تجزیه نشده و رنگ دانه‌های کاراملی ایجاد نکنند در نتیجه محصول نهایی رنگ روشن‌تری داشته و تیرگی در پوسته پدیدار نمی‌شود. البته در بین قندهای الکلی مالتیتول به دلیل شباهت ساختاری نسبی به ساکارز، علیرغم روشنایی

تأثیر جایگزینی ساکارز با سوربیتول و مالتیتول بر ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی، میکروبی و حسی کیک کم‌کالری

پوسته، بافت یکنواخت‌تر و سطح براق‌تری ایجاد کرده که نسبت به سوربیتول مطلوب‌تر است. روشن بودن پوسته کیک حاوی مالتیتول به دلیل عدم تمایل به کاراملیزه شدن آن و سطح براق‌تر ناشی از جذب آب کمتر نسبت به سوربیتول است. یکنواختی بافت نیز به دلیل توزیع بهتر رطوبت حاصل می‌شود (Nourmohammadi et al., 2011; Edwards et al., 2016; Petković, 2019). بنابراین با توجه نتایج رنگ سنجی، تیمار ترکیبی سوربیتول و شکر، برای کیک کم‌کالری با رنگ روشن بهترین گزینه بود درحالی‌که برای فرمولاسیون بارنگ قهوه‌ای گرم میانی مالتیتول پیشنهاد مناسب‌تری است. نتایج این مطالعه با یافته‌های Nourmohammadi و همکاران (۲۰۱۱) نیز مطابقت داشت که نشان دادند تغییرات رنگی ناشی از وجود سوربیتول به دلیل کاهش در میزان قرمزی و زردی در مقایسه با کیک شاهد بود اما درعین‌حال میزان روشنایی این کیک‌ها بیشتر خواهد شد. Faghei shahrbabaki و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقات خود نشان دادند میکروارگانیزم‌ها حاوی آنزیم‌هایی مانند اینورتاز هستند که ساکارز را به گلوکز و فروکتوز تجزیه کرده و از آن به‌عنوان ماده مغذی برای رشد استفاده می‌کنند. بنابراین ساکارز یک منبع انرژی سریع و قابل‌دسترس برای کپک‌ها و مخمرها به شمار می‌آید که رشد کپک و مخمر را به‌شدت تسریع می‌کند در حالیکه قندهای الکلی خوراک کم‌ناسبی برای میکروارگانیزم‌ها به شمار نمی‌آیند.

مطالعات میکروبیولوژی همسو با نتایج این پژوهش نشان می‌دهد استفاده از قندهای الکلی به دلیل کاهش فعالیت آبی و کاهش رشد کپک و مخمر باعث افزایش ماندگاری همراه با حفظ تازگی کیک‌های کم‌کالری می‌شود (Nourmohammadi et al., 2011). فسادهای میکروبی در محصولات قنادی با رطوبت کم و حتی متوسط قابل‌کنترل است، اما در فعالیت آبی بالاتر از ۸۵ درصد، فساد میکروبی ناشی از کپک، مخمر و باکتری فعال شده و منجر به تخریب مواد غذایی و بحران‌های بهداشتی می‌شود. بنابراین، کاهش فعالیت آبی راهکاری مؤثر در جلوگیری از فعالیت‌های میکروبی و فسادها در محصولات قنادی محسوب می‌شود، بنابراین پلی‌ال‌ها با مهار آب آزاد نقش مؤثری در حل این مشکل خواهند داشت (Tarzi et al., 2015). البته انتخاب نوع پلی‌ال تأثیر مستقیمی بر

ماندگاری و مقاومت میکروبی محصولات نانویی دارد. بر اساس پژوهش‌ها سوربیتول در غلظت‌های ۱۵-۲۰٪ با کاهش شدید فعالیت آبی (aw به زیر ۰/۸۵) محیطی نامساعد برای رشد کپک و مخمر ایجاد کرده و به دلیل غیرقابل تخمیر بودن توسط اکثر میکروارگانیزم‌ها، ماندگاری محصول را تا ۳۰٪ افزایش می‌دهد. در مقابل، اگرچه مالتیتول نیز فعالیت آبی را کاهش می‌دهد، اما اثر آن ضعیف‌تر (aw حدود ۰/۸۸-۰/۹۰) بوده و برخی سویه‌های میکروبی مانند *Candida albicans* قادر به تجزیه آهسته آن هستند. بنابراین، در فرمولاسیون محصولات نانویی که نیاز به ماندگاری طولانی‌تر دارند، سوربیتول گزینه مناسب‌تری محسوب می‌شود، درحالی‌که مالتیتول ممکن است نیاز به ترکیب با نگهدارنده‌های مکمل داشته باشد (Ghosh and Sudha, 2012; Bhise and Kaur, 2013; Chan et al., 2020; Obadi et al., 2023).

ارزیابی‌های حسی نیز نشان داد کیک سنتی به دلیل مشارکت در کاراملیزاسیون قندها، رنگ طلایی‌تری از دیگر تیمارها داشت، درحالی‌که کیک‌های سوربیتولی و مالتیتولی رنگ روشن‌تر با ظاهری سفید یا کرم نشان دادند که تأثیر منفی در امتیاز ارزیابان داشت. عطر کیک نیز یکی دیگر از مولفه‌های ارزیابی حسی است که در کیک‌های سنتی، ساکارز با مشارکت در فرایند میلارد و تجزیه استرکر منجر به تولید ترکیبات فراری مانند آلدئیدها، کتون‌ها و پیرازین‌ها شده که عطر برشته‌گی را به وجود می‌آورد درحالی‌که کیک حاوی قندهای الکلی بدون شرکت در میلارد فاقد عطر مطلوب برشته‌گی بوده و مطلوبیت کمتری نشان داد. از طرف دیگر در دمای بالا، ساکارز دچار کاراملیزاسیون می‌شود و ترکیباتی مانند دی‌استیل، فورفورال و استرها تولید می‌کند که عطر دلپذیر و گرمی ایجاد می‌کنند اما قندهای الکلی در برابر حرارت پایدارترند و کمتر تجزیه می‌شوند، بنابراین عطر حاصل از کاراملیزاسیون در تیمارهای حاوی سوربیتول و مالتیتول کاهش می‌یابد (Faghei shahrbabaki et al., 2021).

قندهای الکلی با توجه به درصد جایگزینی می‌توانند در کالری کیک تأثیر گذار باشند که این تفاوت به کاهش میزان انرژی زایی قندهای الکلی نسبت به ساکارز ارتباط دارد. هر گرم مالتیتول حدود ۲/۱ کیلوکالری و هر گرم سوربیتول حدود ۲/۶ کیلوکالری در بدن انرژی تولید می‌کند

منابع

AACC. (2003). Approved methods of Anlysis of Amrreican Association of Cereal Chemist (10thed). Amrreican of Cereal Chemistry, Inc., st paul.

Afi, L., Roufehgarinejad, L. & Soofi, M. (2019). Effect of replacing sugar with low-calorie sweetener sorbitol in strawberry marmalade. Iranian Journal of Food Science and Technology, 16(88), 161–172 [In Persian].

Anon. (2013). Standard No. 8923- 4, published by the Standards and Industrial Research of Iran, Microbiology of food and feed Trap Probe preparation, initial suspension and decimal dilutions for microbiological testing. The first revision.

Anon. (2002). AACC Approved Methods of Analysis of the American Association of Cereal Chemist (10th ed). American Association of Cereal Chemistry. Inc., st Paul.

Awuchi, C.G. & Echeta, K.C. (2019). Current developments in sugar alcohols: Chemistry, nutrition, and health concerns of sorbitol, xylitol, glycerol, arabitol, inositol, maltitol, and lactitol. International Journal of Advance Academy Research, 5(11), 1-33.

Barden, L., Vollmer, D., Johnson, D. & Decker, E. (2015). Impact of iron, chelators, and free fatty acids on lipid oxidation in low-moisture crackers. Journal of agricultural and food chemistry, 63(6), 1812-1820. <https://doi.org/10.1021/jf5048018>

Bennion, E. B. & Bamford, G. S. (1997). The technology of cake making. London, UK: Blackie Academic and Professional.

Bhise, S. & Kaur, A. (2014). Baking quality, sensory properties and shelf life of bread with polyols. Journal of food science and technology, 51, 2054-2061. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1256-3>

Bhise, S. & Kaur, A. (2013). Polyols to improve quality and shelf life of baked products: A review. International Journal of Advanced Scientific and Technical Research, 1(3), 262-272.

Borcak, B., Sikora, M., Kapusta-Duch, J. & Kutyła-Kupidura, E. M. (2022). The Effect of Polyols and Intensive Sweeteners Blends on the Nutritional Properties and Starch Digestibility of Sugar-Free Cookies. Starch-Stärke, 74(1-2), 2100180. <https://doi.org/10.1002/star.202100180>

در حالی که انرژی زایی ساکارز ۴ کیلوکالری در هر گرم می باشد (Awuchi et al., 2019). نتایج حاصل از محاسبه کالری نمونه‌های کیک نشان داد در تیمارهای حاوی مالتیتول کالری کاهش یافته تیمارها نسبت به کیک شاهد در محدوده‌ی ۱۱/۹ تا ۳۵/۶ درصد بود در حالیکه تیمارهای حاوی سوربیتول کاهش کمتری را نشان دادند (محدوده‌ی ۸/۷ تا ۲۶ درصد). در تیمارهای ترکیبی نیز میزان کالری تیمارها در محدوده‌ی ۱۰/۳ تا ۳۱٪ کمتر از کیک شاهد محاسبه شد. ($P < 0.05$).

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، اثر جایگزینی جزئی ساکارز با دو شیرین‌کننده جایگزین، مالتیتول و سوربیتول، بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافت‌سنجی، حسی و میکروبی کیک کم‌کالری مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد تیمار ترکیبی ۷۵٪ ساکارز + ۲۵٪ مالتیتول (S1) عملکرد بهتری نسبت به سایر تیمارها به‌ویژه تیمارهای حاوی سوربیتول داشته است. این تیمار از نظر بافت‌سنجی (با سختی ۹۳ نیوتن، ارتجاع‌پذیری ۱/۷۲ و قابلیت جویدن ۰/۸۸) بافتی ارتجاعی‌تر و نرم‌تر برای جویدن ایجاد کرد در حالیکه تیمارهای حاوی سوربیتول سفتی بافت بالا و خواص ارتجاعی ضعیفی از خود نشان دادند. همچنین این تیمار بالاترین امتیاز پذیرش کلی (۴/۱ از ۵) را کسب نمود و با پایداری اکسیداتیو نسبتاً قابل قبول (عدد پراکسید ۰/۴۲ میلی‌اکی‌والان اکسیژن بر کیلوگرم) و رنگ پوخته‌ی قهوه‌ای، بیشترین مشابهت را با نمونه شاهد داشت. مطالعات میکروبی نیز نشان داد اگر چه تیمار S1 نتوانسته در مقایسه با تیمارهای حاوی سوربیتول نتایج بهتری به دست بیاورد اما قادر بوده رشد کپک و مخمر را تا ۱۴ روز بطور کامل مهار کند و از نظر ماندگاری، عملکردی بهتر حتی از نمونه کیک سنتی شیرین شده صرفاً با ساکارز داشته باشد. بنابراین، استفاده از ترکیب ۷۵٪ ساکارز + ۲۵٪ مالتیتول به‌عنوان یک راهکار هوشمندانه، توانسته تعادلی میان بافت، پایداری اکسیداتیو، سلامت‌محوری و ماندگاری محصول ایجاد کند و گزینه‌ای مناسب برای توسعه محصولات قنادی کم‌کالری و سلامت‌محور باشد.

Casper, J. L., Oppenheimer, A.A. & Erickson, B. (2007). Dough compositions having a moisture barrier and related methods. United States patent no 0275128.

Chan, A., Ellepola, K., Truong, T., Balan, P., Koo, H. & Seneviratne, C.J. (2020). Inhibitory effects of xylitol and sorbitol on *Streptococcus mutans* and *Candida albicans* biofilms are repressed by the presence of sucrose. *Archives of Oral Biology*, 119, 104886.
<https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2020.104886>

Davoudi, M., Damroudi, Y., Afsharnia, R., Vanin, F.M., Javanmardi, F. & Mousavi Khaneghah, A. (2023). Effect of substitution of sugar with xylitol and maltitol on characteristics and quality of cakes: A systematic review and meta-analysis. *Cereal Chemistry*, 100(2), 256 -267.
<https://doi.org/10.1002/cche.10622>. [In Persian].

Dehkhoda, M., Khodaiyan, F. & Movahed, S. (2015). Effect of isomalt and maltitol on quality and sensory properties of sponge cake. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 46(2), 147–155 .10.22059/ijbse.2015.55672. [In Persian].

Ding, S. & Yang, J. (2021). The effects of sugar alcohols on rheological properties, functionalities, and texture in baked products—A review. *Trends in food science & technology*, 111, 670-679.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.009>

Dobrev, V., Nachev, V., Dobrev, G., Hadjikinova, R., Boyanova, P., Panajotova, H. & Zhekova, B. (2025). Effect of physicochemical properties of maltitol on color characteristics of sugar free sponge cakes. *InBIO Web of Conferences*, 170, 01008.
<https://doi.org/10.1051/bioconf/202517001008>

Edwards, CH., Rossi, M., Corpe, CP., Butterworth, PJ. & Ellis, PR. (2016). The role of sugars and sweeteners in food, diet and health: Alternatives for the future. *Trends in food science & technology*, 56, 158-166.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.07.008>

Emami, N., Nateghi, L. & Eshaghi, M.R. (2020). The study of the effect of sucrose replacement by sucralose-isomalt mixture on the qualitative characteristics of Kermanshah's traditional baklava. *Food Industry Research*, 30(2), 175–188 [In Persian].

Faghei shahrbabaki, M., Shahab Lavasani, A. & Zand, N. (2021). The optimization of dietic cake using different concentrations Farsi gum and Maltitol sweetener. *Iranian journal of food science and technology*, 18(113), 247-259 [In Persian]. <https://sid.ir/paper/373966/en>

Ghosh, S. & Sudha, M.L. (2012). A review on polyols: new frontiers for health-based bakery products. *International journal of food sciences and nutrition*, 63(3), 372-379.
<https://doi.org/10.3109/09637486.2011.627846>

Gökçe, C., Bozkurt, H. & Maskan, M. (2023). The use of carob flour and stevia as sugar substitutes in sponge cake: Optimization for reducing sugar and wheat flour in cake formulation. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 32, 100732.
<https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100732>

Grujić, S. & Odžaković, B. (2021). Sweet bakery products for diabetic's diet and analysis of risk associated with selected ingredients. *Journal of Engineering & Processing Management*, 13(2), 54-66.
<https://doi.org/10.7251/JEPM2102054G>

Hojjatol eslami, M. & Jahadi, M. (2014). Study on the effect of replacing sucrose with Sucralose-Maltodextrin on the rheological properties and the amount of calories in Ghotab- A traditional confectionary, *Journal of Innovative Food Technology*, 1(2), 49-58.
10.22104/jift.2013.28. [In Persian].

Hoseney, R. C. & Rogers, D. E. (1994). Mechanism of sugar functionality in cookies, pp, 203 -226.

Hussein, A.M.S., Hegazy, N.A., Kamil, M.M. & Mohamed, O.S.S. (2016). Utilization of yoghurt and sucralose to produce low-calorie cakes. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 11(3), pp.108–114

Kheiri, Z., Mahdavi Adeli, H.R. & Brokerage, M. (2017). Production of low gluten chocolate cake enriched with coriander flour. Master Thesis - Food Science and Technology. Islamic Azad University - Faculty of Marine Science and Technology - North Tehran Branch.
<https://doi.org/10.29252/fsct.18.04.20>. [In Persian].

Kim, J.N., Park, S. & Shin, WS. (2014). Textural and sensory characteristics of rice chiffon cake formulated with sugar alcohols instead of sucrose. *Journal of Food Quality*, 37(4), 281-290.
<https://doi.org/10.1111/jfq.12083>

Lee, C.C., Wang, F. & Lin, D. (2008). Effect of Isomaltooligosaccharide syrup on quality characteristics of sponge cake. *Cereal Chemistry*, 85(4), 515-521. <https://doi.org/10.1094/CCEM-85-4-0515>

Li, X., Zhang, R. & Liu, Y. (2024). Sorbitol as a Water Activity Reducer in Baked Goods: Effects on Microbial Stability and Shelf-Life Extension. *Food Microbiology*, 118, 104412.

Lothrop, R.S. (2012). Physicochemical and Sensory Quality of Chiffon Cake Prepared with Rebaudioside-A and Erythritol as Replacement for Sucrose. *Department of Food Science and Human Nutrition*, 24-29.

Manisha, G., Soumya, C. & Indrani, D. (2012). Studies on Interaction Between stevioside, liquid Sorbitol, Hydrocolloids and Emulsifiers For Replacement of Sugar in Cakes. *Food Hydrocolloids*, 29, 363- 373. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.04.011>

Martinengo, P., Arunachalam, K. & Shi, C. (2021). Polyphenolic antibacterials for food preservation: review, challenges, and current applications. *Foods*, 10(10), 2469. <https://doi.org/10.3390/foods10102469>

Mitchell, H. (2006). *Sweeteners and sugar alternatives in food technology*. Blackwell Publishing. UK.

Mousavivand, H., Hojati, M., Jooyandeh, H., Barzegar, H. & Zaki Dizaji, H. (2020). Effect of replacing sugar with grape syrup powder on characteristics of cup cake. *Food Industry Research*, 30(2), 175-188. <https://sid.ir/paper/963577/en>. [In Persian].

Naseri Monfared, E., Movahed, S. & Ahmadi Chenarbon, H. (2020). Substituting Sucrose with Erythritol and Sucralose in Diet Sponge Cakes. *Food Processing and Preservation Journal*, 11(2), 77-94 . 10.22069/ejfp.2020.14296.1459. [In Persian].

Nourmohammadi, E., Peighambaroust, S.H., Oladghafari, A., Azadmard-Damirchi, S. & Hesari, J. (2011). Effect of replacing sucrose with polyols and aspartame on the properties of sponge cake. *Food Industry Research*, 21(2), 155-165. <https://sid.ir/paper/148677/en>. [In Persian].

Obadi, M., Li, Y. & Xu, B. (2023). Recent advances in extending the shelf life of fresh wet noodles: Influencing factors and

preservation technologies. *Journal of Food Science*, 88(9), 3626-3648. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16719>

Petković, M. (2019). Alternatives for sugar replacement in food technology: Formulating and processing key aspects.

Pasha, I., Butt, M.S., Anjum, F.M. & Shahzadi, N. (2002). Effect of dietetic sweeteners on the quality cookies. *International Journal of Agriculture and Biology*, 4, 245-248.

Psimouli, V. & Oreopoulou, V. (2012). The effect of alternative sweeteners on batter rheology and cake properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(1), 99-105. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4547>

Roze, M., Crucean, D., Diler, G., Rannou, C., Catanéo, C., Jonchère, C., Le-Bail, A. & Le-Bail, P. (2021). Impact of Maltitol and Sorbitol on Technological and Sensory Attributes of Biscuits. *Foods*, 10, 2545. <https://doi.org/10.3390/>

Saedi, Sh., Jaghrian, S., Roozbeh Nasirai, L. & Alaidini, B. (1979). Formulation of Diet Cakes with Natural Sugar and Fat Substitutes. First National Conference on New Ideas in Engineering, Rasht, Conference Secretariat, Gilan Industrial Engineering Mobility Organization, 1-10 [In Persian].

Slade, L., Kweon, M. & Levine, H. (2021). Exploration of the functionality of sugars in cake-baking, and effects on cake quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(2), 283-311. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1729694>

Souhani Agini, A., Movahhed, S. & Ahmadi Chenarbon, H. (2017). The effect of guar and xanthan gums as partial fat substitutes on the qualitative properties of oil cake. *Journal of Food Science and Technology*, 69(14), 295-306 [In Persian]. <http://fsct.modares.ac.ir/article-7-1745-fa.html>

Tarzi, B.G., Damanafshan, P. & Bakhoda, H. (2015). Effects of Polyols (Glycerin, propylene glycol, sorbitol), invert syrup and glucose syrup on specific volume of batter and shelf life of shortened cake. *Journal of Food Science & Technology*, (2008-8787), 13(53) [In Persian].

The Effect of Replacing Sucrose with Sorbitol and Maltitol on the Physicochemical, Microbial and Sensory Properties of Low-Calorie Cakes

A. Nasrollah zade ^{a*}, M. Tayefe ^a, A. Najar Tamiz kar ^b

^a Assistant Professor of the Department of Food Science and Technology, La.C., Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

^b MSc Graduated of the Department of Food Science and Technology, La.C., Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

Received: 20 September 2025

Accepted: 16 October 2025

Abstract

Introduction: With the increasing consumer demand for low-calorie and diet-friendly bakery products, the present study aimed to evaluate the substitution sucrose with sugar alcohols; sorbitol and maltitol and the effect on the physicochemical, textural, microbial, and sensory properties of the sponge cake. Since sweeteners play a critical role in determining the structure, flavor, and stability of bakery products, selecting an appropriate combination can significantly affect the overall quality and consumer acceptance of the final product.

Materials and Methods: Ten sponge cake formulations were prepared using different combinations of sucrose, sorbitol, and maltitol. The sucrose content ranged from 25% to 100%, while the total proportion of sugar alcohols (sorbitol and maltitol) varied between 12.5% and 75%, depending on the treatment. The control sample contained only sucrose, whereas the other formulations consisted of binary or ternary mixtures of the three sweeteners. The samples were analyzed for moisture content, peroxide value, pH, acidity, textural parameters, color attributes, mold and yeast growth, and sensory characteristics.

Results: Among the formulations, Sample S8 (containing 25% sucrose and 75% sorbitol) exhibited the highest moisture content, brightness, and oxidative stability. However, it had a firmer texture, lower elasticity, and reduced sensory acceptability. In contrast, Sample S1 (containing 75% sucrose and 25% maltitol), showed a spongy texture, golden color, pleasant flavor, and high overall acceptance (average score of 4.3 out of 5), closely resembling the traditional control cake. Formulations containing sorbitol effectively suppressed microbial growth during the entire storage period, while maltitol-based formulations maintained acceptable shelf life for up to 14 days. In comparison, the control sample showed significant microbial growth after 7 days.

Conclusion: The formulation containing 75% sucrose and 25% maltitol is recommended as an optimal approach for producing reduced-calorie sponge cake with desirable physicochemical, sensory, and microbial stability characteristics.

Keywords: Low-Calorie Cake, Maltitol, Oxidative Stability, Sorbitol, Textural Properties.

* Corresponding Author: azinnasr@iau.ac.ir