



جایگزینی ساکارز با شیرین کننده‌های اریتریتول و سوکرالوز در کیک‌های اسفنجی رژیمی

الهام ناصری منفرد^۱، سارا موحد^{۲*}، حسین احمدی چناربن^۳

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین، پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران

^۲دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین، پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران

^۳استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد ورامین، پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۲۱

چکیده

سابقه و هدف: کیک یکی از فرآورده‌های مهم و پر مصرف غلات و محصولی از آرد گندم بوده که به دلیل بالا بودن مقادیر چربی و شکر در فرمولاسیون آن، مصرف مداوم و طولانی مدت این ماده غذایی، چاقی و به دنبال آن مشکلاتی برای سلامتی ایجاد می‌کند. یکی از راه‌های تولید محصولات غذایی سالم‌تر، حذف یا جایگزینی بخشی از ترکیبات سرشار از انرژی مانند ساکارز و جایگزین کردن این ترکیب با سایر عوامل کم کالری می‌باشد.

مواد و روش‌ها: تیمارهای آزمون شامل نمونه‌های حاوی ۱۰۰ درصد ساکارز (C)، ۵۰ درصد ساکارز به همراه ۵۰ درصد اریتریتول و سوکرالوز (M)، ۵۰ درصد سوکرالوز و ۵۰ درصد اریتریتول (SE)، ۱۰۰ درصد اریتریتول (E) و همچنین ۱۰۰ درصد سوکرالوز (S) بودند که در ادامه نمونه‌های خمیر تحت آزمون‌های رئولوژیکی و نمونه‌های نان تحت آزمون‌های فیزیکی، شیمیایی و ارگانولپتیکی قرار گرفتند.

یافته‌ها: طبق نتایج، در تیمارهای شاهد و M بیشترین مقدار دانسیته (۲/۳۵ و ۲/۱۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب) اما در تیمار E کمترین مقدار آن (۱/۲۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب) مشاهده گردید ($P \leq 0/05$). همچنین تیمار E از بیشترین مقدار ویسکوزیته (۳۹/۹۳ پاسکال در ثانیه) اما تیمارهای C، M، SE و S به ترتیب از کمترین مقدار این صفت برخوردار بودند ($P \leq 0/05$). با توجه به نتایج، در تیمارهای شاهد و M بیشترین مقدار رطوبت (۲۷/۱۱ و ۲۶/۷۲ درصد) اما در تیمار S کمترین مقدار آن (۲۰/۲۰ درصد) اندازه‌گیری شد ($P \leq 0/05$). همچنین در تیمارهای E و S بیشترین مقدار چربی (۲۰/۰۲ و ۱۹/۵۹ درصد) اما در تیمار C کمترین مقدار آن (۱۸/۴۶ درصد) مشاهده گردید. طبق نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها، تیمارهای S، E، SE به ترتیب دارای بیشترین مقدار خاکستر (۰/۸۸، ۰/۸۵ و ۰/۸۳ درصد) و پروتئین (۱۰/۱۴، ۹/۹۳ و ۹/۷۹ درصد) اما پس از آنها تیمارهای M و شاهد دارای کمترین مقدار خاکستر (۰/۷۵ و ۰/۷۰ درصد) و پروتئین (۸/۷۸ و ۸/۲۵ درصد) بودند. در ادامه این‌که در تیمار E بیشترین میزان روشنایی ($L^* = 55/65$) اما در تیمار C کمترین میزان آن شاخص ($L^* = 46/15$) اندازه‌گیری شد ($P \leq 0/05$). در همین راستا تیمار C دارای بیشترین میزان فاکتور قرمزی ($a^* = 2/22$)، زردی ($b^* = 33/52$) و اختلاف رنگ کل ($\Delta E = 7/4$) اما تیمار E دارای کمترین میزان فاکتور قرمزی ($a^* = 1/1$)، زردی ($b^* = 21/54$) و اختلاف رنگ کل ($\Delta E = 1/2$) بودند ($P \leq 0/05$). همچنین در تیمار شاهد C بیشترین حجم (۹۱۰/۳۲ سانتی‌متر مکعب) و پس از آن در تیمار SE کمترین میزان حجم (۵۵۱/۲۶ سانتی‌متر مکعب) را داشتند.

*مسئول مکاتبه: movahhed@iauvaramin.ac.ir

مکعب) مشاهده گردید ($P \leq 0/05$). ضمن این که در تیمار شاهد بیشترین (۶۴۰۰ کالری) و در تیمار S (حاوی ۱۰۰ درصد سوکرالوز) کمترین مقدار انرژی (۱۵۰۰ کالری) اندازه گیری شد. طبق نتایج حاصل شده، در روزهای اول، سوم و هفتم بیشترین میزان بیاتی به روش دستگامی در تیمارهای E (۲۶/۵۱۷ نیوتن) و S (۲۶/۴۴۶ نیوتن) اما کمترین مقدار آن به ترتیب در تیمارهای C (۹/۹۰۸ نیوتن) و M (۱۰/۲۵ نیوتن) به دست آمد ($P \leq 0/05$). طبق نتایج آزمون های حسی، تیمارهای شاهد و M دارای بیشترین امتیاز نرمی بافت و ساختار (۸/۶)، قابلیت جویدن (۹)، طعم و مزه (۹)، پوکی و تخلخل (۹)، شکل و فرم ظاهری (۸/۸) و تازگی (۶) اما تیمار E (دارای تفاوت معنی دار با سایر تیمارها) دارای کمترین امتیاز نرمی بافت و ساختار (۱)، قابلیت جویدن (۱)، طعم و مزه (۳/۴)، پوکی و تخلخل (۳/۸)، شکل و فرم ظاهری (۴) و تازگی (۱) بودند ($P \leq 0/05$). قابل توجه این که از لحاظ ویژگی های سطح فوقانی و ویژگی مغز کیک، بین کلیه تیمارها اختلاف معنی دار مشاهده نشد ($P > 0/05$).

نتیجه گیری: بر اساس نتایج حاصل از آزمون های فیزیکی و شیمیایی، رئولوژیکی، بیاتی و حسی، تیمار حاوی ۵۰ درصد اریتریتول و سوکرالوز و ۵۰ درصد ساکارز (M) بیشترین شباهت را از نظر مقادیر صفاتی نظیر دانسیته، ویسکوزیته، رطوبت، خاکستر، پروتئین، بیاتی (حسی و دستگامی) و تمام ویژگی های حسی، به تیمار شاهد نشان داد و به عنوان بهترین تیمار پیشنهاد گردید.

واژه های کلیدی: ساکارز، شیرین کننده، اریتریتول، سوکرالوز، کیک اسفنجی رژیمی.

مقدمه

کیک یکی از فرآورده‌های پختنی پر مصرف و محصولی بر پایه آرد گندم محسوب می‌شود و با توجه به نوع آن حاوی ۲۰-۵۰٪ چربی، ۱۰-۳۰٪ شکر، آرد گندم، تخم مرغ و شیر می‌باشد. اما از سوی دیگر به دلیل مقادیر بالای چربی و شکر در فرمولاسیون آن و در نتیجه دارا بودن کالری بالا، مصرف مداوم و طولانی مدت این ماده غذایی، چاقی و به دنبال آن مشکلات سلامتی را به همراه خواهد داشت. شکر به عنوان مهم‌ترین شیرین‌کننده در محصولات نانوائی، علاوه بر ایجاد طعم مطلوب شیرین، در تأمین و نگهداری رطوبت، ایجاد بافت، کاهش بیاتی و افزایش عمر ماندگاری محصولات نقش به‌سزایی دارد. لذا به دلیل سهم بالای شکر در فرمولاسیون کیک‌ها، حذف یکباره این ماده تأثیر نامطلوبی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کیفی کیک خواهد داشت. از آنجایی که شیرین‌کننده‌های سنتزی قادر به تأمین تمامی ویژگی‌های ساکارز نمی‌باشند، می‌توان از ترکیباتی مانند قندهای الکلی به عنوان ترکیبات پرکننده جایگزین ساکارز در فرمولاسیون کیک‌های اسفنجی استفاده نمود. همچنین برای تشدید طعم شیرین کیک، می‌توان شیرین‌کننده‌های مصنوعی را به کار برد زیرا در مقایسه با مقدار قندی که به طور معمول برای شیرین کردن مورد استفاده قرار می‌گیرد، مقدار مصرف آن‌ها اندک بوده و سبب افزایش کالری جیره غذایی نمی‌شوند (۸). امروزه استفاده از پلی‌ال‌ها با منشأ طبیعی در بسیاری از کشورها مورد استقبال قرار گرفته است. جذب قندهای الکلی (پلی‌ال‌ها) در بدن ناقص بوده و به واسطه این متابولیسم ناقص و تجزیه تخمیری، اسیدهای چرب کوتاه زنجیر و گاز در بدن تولید می‌شود که نتیجه آن تولید انرژی کمتر است. قندهای مذکور به علت جذب آرام، سبب افزایش سریع گلوکز خون نشده،

لذا می‌توان از آنها در فرمولاسیون کیک‌ها و کوکی‌های رژیمی استفاده نمود. از مهم‌ترین شیرین‌کننده‌های پلی‌ال می‌توان به سوربیتول، مانیتول، زایلیتول، اریتریتول، لاکتیتول و مالتیتول اشاره کرد. اریتریتول نوعی قند الکلی چهار کربنه بوده که شیرینی آن حدود ۶۰-۸۰ درصد ساکارز است و میزان کالری آن ۰/۵ کیلو کالری بر گرم نسبت به شکر کمتر می‌باشد که می‌تواند در تولید غذاهای کم کالری استفاده شود. از سوی دیگر سوکرالوز تنها شیرین‌کننده بدون کالری است که از شکر مشتق می‌شود و طعم آن شبیه به قند است اما ۶۰۰ مرتبه از آن شیرین‌تر می‌باشد. جایگزینی سه مولکول کلر در ساختار آن سبب شده که سوکرالوز برخلاف شکر قابل شکستن و متابولیسه شدن نباشد بنابراین بدون تغییر و به سرعت از بدن عبور کرده و مقدار بسیار کمی از آن جذب می‌شود (۹). در تحقیقی تولید کیک کم کالری به وسیله جایگزینی ساکارز با اریتریتول و لیگوفروکتوز بررسی گردید. با توجه به نتایج، کیک‌های حاوی مخلوط ساکارز، لیگوفروکتوز و اریتریتول از نزدیک‌ترین نتایج نسبت به نمونه کیک شاهد برخوردار بودند (۱۸). در پژوهشی دیگر اثر پلی‌ال‌ها و لیگوساکاریدهای غیرقابل هضم بر کیفیت کیک‌های اسفنجی بدون قند مورد ارزیابی قرار گرفت که بهترین نتایج در تیمارهای حاوی زایلیتول و مالتیتول مشاهده شد به طوری که کیک‌های اسفنجی حاوی این ترکیبات از بیشترین شباهت نسبت به کیک شاهد برخوردار بودند (۲۰). همچنین در بررسی کیفیت کیک‌های آماده شده با دکستروز و سوکرالوز به عنوان جایگزین‌های ساکارز، جایگزینی بخشی از ساکارز با سوکرالوز و دکستروز در کیک‌ها منجر به تولید کیک‌های کم کالری گردید. ضمن آنکه ویژگی‌های حسی و فیزیکوشیمیایی کیک‌های تولیدی مشابه کیک شاهد بود (۷). همچنین در بررسی تأثیر

کالری کمتری بود (۹). حال با توجه به موارد مطرح شده و تحقیقات پیشین به نظر می‌رسد که می‌توان قندهای الکلی همراه با قندهای مصنوعی را در فرمولاسیون کیک‌های اسفنجی، به منظور تولید یک محصول کم کالری و با مقبولیت قابل قبول، مورد استفاده قرار داد. لذا در تحقیق حاضر تأثیر استفاده از سوکرالوز و اریتریتول در جایگزینی با ساکارز، بر برخی ویژگی‌های کیفی، حسی و بیاتی کیک‌های اسفنجی رژیمی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در سال ۱۳۹۳ در آزمایشگاه گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین - پیشوا انجام شد. در این پژوهش از شیرین کننده‌های سوکرالوز و اریتریتول به عنوان جایگزین بخشی از ساکارز به منظور بهبود ویژگی‌های کیفی کیک‌های اسفنجی از ساکارز استفاده گردید. تیمارهای مورد آزمون در جدول ۱ ارائه شده است.

اریتریتول بر ویژگی‌های کیفی کیک‌های دانمارکی کم کالری، با افزایش سطوح اریتریتول و کاهش ساکارز، شیرینی کیک‌ها کمتر و رنگ آنها روشن‌تر گردید اما تفاوتی در میزان رطوبت، پروتئین، چربی و خاکستر آنها مشاهده نشد (۸). از سوی دیگر در بررسی تأثیر قندهای مالتیتول، مانیتول، زایلیتول، سوربیتول، ایزومالتوز، الیگوفروکتوز و پلی دکستروز به عنوان جایگزین ساکارز، بهترین نتیجه جایگزینی، متعلق به زایلیتول و مالتیتول بود که از لحاظ اکثر ویژگی‌ها مشابه نمونه شاهد (حاوی ساکارز) بودند ضمن آنکه بیشترین مقبولیت حسی را نسبت به سایر تیمارها داشتند (۵). در همین راستا در تحقیقی دیگر ویژگی‌های حسی و فیزیکوشیمیایی کیک‌های حاوی ریودیوسید A و اریتریتول به عنوان جایگزین ساکارز مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج، جایگزینی ساکارز با ترکیبات مذکور هیچ‌گونه تأثیری در میزان نگهداری هوای خمیر، حجم کیک و رطوبت نهایی محصول نسبت به شاهد نداشت اما میزان فعالیت آبی کیک تغییر نمود و محصول تولید شده حاوی قند و

جدول ۱- تیمارهای تحقیق

Table 2. Treatments of study

کد تیمارها Treatments code	تیمارها Treatments
C	فرمولاسیون حاوی ۱۰۰ درصد شکر (ساکارز) (نمونه شاهد) Formulation containing 100% sugar (sucrose); Control
SE	کیک رژیمی حاوی مخلوط سوکرالوز و اریتریتول نسبت به شیرینی ساکارز Reduced-calorie cake containing sucralose and erythritol towards sucrose sweets
S	کیک رژیمی حاوی ۱۰۰ درصد سوکرالوز نسبت به شیرینی ساکارز Reduced-calorie cake containing 100% sucralose towards sucrose sweets
E	کیک رژیمی حاوی ۱۰۰ درصد اریتریتول نسبت به شیرینی ساکارز Reduced-calorie cake containing 100% erythritol towards sucrose sweets
M	کیک رژیمی حاوی ۵۰ درصد اریتریتول و سوکرالوز و ۵۰ درصد ساکارز Reduced-calorie cake containing 50% (sucralose and erythritol) and 50% sucrose sweets

از شرکت پرارین پارس، روغن آفتابگردان از کارخانه روغن نباتی بهشهر، بکینگ پودر و وانیل از شرکت افزودنی‌ها، تخم مرغ از شرکت تلاونگ و نمک از

مواد اولیه مورد نیاز شامل آرد گندم نول از کارخانه آرد سفید طوس مشهد، اریتریتول از شرکت اکتیوشیمی، سوکرالوز با نام تجاری قند ماردیسن

استاندارد بین‌المللی AACC به شماره ۱۶-۴۴)، خاکستر (طبق استاندارد بین‌المللی AACC به شماره ۰۱-۰۸)، پروتئین (طبق استاندارد بین‌المللی AACC به شماره ۱۲-۴۶)، چربی (طبق استاندارد بین‌المللی AACC به شماره ۱۰-۳۰) و حجم (طبق استاندارد بین‌المللی AACC به شماره ۰۱/۰۵-۱۰) بودند (۱ و ۲). همچنین رنگ کیک با استفاده از دستگاه Hunter-Lab مورد ارزیابی قرار گرفت (۶).

آزمون میزان بیاتی کیک‌های تولید شده به روش دستگاهی: به منظور تعیین میزان بیاتی نمونه‌های کیک به روش دستگاهی، از دستگاه بافت سنج یا اینستران، مدل M350-10CT، ساخت کشور انگلستان و مطابق (استاندارد بین‌المللی AACC به شماره ۷۴-۳۰)، استفاده گردید. این آزمون در فواصل زمانی ۱، ۳ و ۷ روز پس از پخت نمونه‌ها انجام شد (۲).

آزمون‌های حسی (ارگانولپتیکی) نمونه‌های کیک: جهت ارزیابی ویژگی‌های حسی کیک‌های تولیدی، از تجزیه و تحلیل خصوصیات کیک با کاربرد حواس پنجگانه و روش هدونیک استفاده گردید. ملاک عمل، نظر و تمایل شخصی افراد متخصص و آموزش دیده نسبت به محصول بود. در این تحقیق، نمونه‌های کیک پس از خنک‌شدن و انجام برش، کد گذاری گردیدند و توسط ۱۰ ارزیاب آموزش دیده مورد بررسی قرار گرفتند. ارزیابی در روز اول پخت، بر اساس ویژگی‌های کیک (رنگ پوسته، تناسب شکل، قابلیت جویدن، بافت، عطر و بو، طعم و مزه و...) صورت گرفت (۴).

آزمون میزان بیاتی کیک‌های تولید شده به روش حسی: آزمون تعیین میزان بیاتی به روش حسی، مطابق (استاندارد بین‌المللی AACC به شماره ۷۴-۳۰)، انجام پذیرفت. بر اساس استاندارد، دامنه انتخاب امتیاز برای صفت مذکور (۶-۱) در نظر گرفته شد. بالا بودن عدد، نشان از کم بودن میزان بیاتی

شرکت دریانی تهیه شدند. به منظور تهیه خمیر کیک، نسبت به وزن آرد مصرفی، ۵۰٪ روغن، ۶۰٪ تخم مرغ، ۵٪ وانیل، ۱/۳۴٪ بکینگ پودر، ۱/۸٪ نمک، شکر، اریتریتول و سوکرالوز با توجه به نسبت مورد استفاده در هر یک از تیمارها توزین گردیدند. در ادامه جهت تهیه خمیر کیک، از روش کرم _ شکر استفاده شد. در این روش ابتدا آرد گندم، نمک، بکینگ پودر سه بار الک شده، شکر، سوکرالوز و اریتریتول با سرعت کم و سپس با سرعت متوسط هر کدام به مدت یک دقیقه و بعد از آن با سرعت زیاد به مدت ۲ دقیقه هم زده شدند. سپس تخم مرغ و وانیل اضافه گردید و دوباره مخلوط به مدت ۵ دقیقه با سرعت زیاد، هم زده شد. آن‌گاه روغن اضافه شد و به مدت ۲-۳ دقیقه با سرعت کم، ترکیب صورت گرفت و در نهایت مخلوط حاصل به مدت ۲ دقیقه دیگر با سرعت متوسط مخلوط گردید. در ادامه خمیر حاصل به داخل قالب کیک ریخته شد و در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۵ دقیقه و درون فر پخته شد (۱۹).

آزمون‌های شیمیایی آرد: آزمون‌های شیمیایی به عمل آمده بر روی آرد گندم مصرفی، شامل اندازه‌گیری رطوبت (طبق استاندارد بین‌المللی AACC به شماره ۱۶-۴۴)، خاکستر (طبق استاندارد بین‌المللی AACC به شماره ۰۱-۰۸)، پروتئین (طبق استاندارد بین‌المللی AACC به شماره ۱۲-۴۶)، و pH (طبق استاندارد بین‌المللی AACC به شماره ۵۲-۰۲) بودند (۱، ۲).

آزمون‌های خمیر کیک: آزمون‌های رئولوژیکی به عمل آمده بر روی خمیر کیک‌ها شامل محاسبه‌ی دانسیته (طبق استاندارد بین‌المللی AACC به شماره ۷۴-۰۹) و ویسکوزیته (طبق استاندارد بین‌المللی AACC به شماره ۷۴-۳۰) بودند (۱).

آزمون‌های کیک: آزمون‌های انجام شده بر روی کیک‌های تولیدی شامل اندازه‌گیری رطوبت (طبق

تیمار مذکور در مقایسه با تیمار شاهد داشت. این آزمون در فواصل زمانی ۱، ۳ و ۷ روز پس از پخت نمونه‌ها انجام شد (۲).

اندازه‌گیری میزان کالری کیک: میزان انرژی کیک‌های تولید شده به وسیله بمب کالری متر Gallenkamp Ballistic اندازه‌گیری شد. برای انجام این آزمون ابتدا جرم مشخصی از ماده‌ی واکنش‌دهنده درون فنجانک دستگاه قرار داده شد سپس گاز اکسیژن درون مخزن تزریق گردید. آن‌گاه بمب در مقدار معینی آب که در یک مخزن عایق کاری شده قرار داشت، گذاشته شد. در این مرحله دمای آب T₁ یادداشت گردید و در ادامه با گرم کردن سیم داخل نمونه، واکنش سوختن آغاز شد. در پایان واکنش، دمای نهایی آب T₂ ثبت گردید و با استفاده از رابطه ۱ میزان انرژی هریک از نمونه‌های کیک تعیین شد (در آزمایشگاه‌ها معمولاً از بنزوئیک اسید که دارای آنتالپی مشخص است، استفاده می‌شود) (۱).

$$\Delta H = \Delta U + nR\Delta T \quad (1)$$

که در آن:

ΔT = اختلاف دمای اولیه و نهایی واکنش، n = تعداد مول گاز، R = ثابت عمومی گازها ۸/۳۱۴ J/k.mol
انرژی حاصل از سوختن اسید بنزوئیک = ۲۶/۴۲۱ kJ/g

آنالیزهای آماری: به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمون‌ها (غیر از بیاتی به روش‌های حسی و دستگاهی) از طرح کاملاً تصادفی و در مورد آزمون بیاتی به روش‌های حسی و دستگاهی از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده گردید. در تمام موارد مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد و با کمک نرم افزار SPSS نسخه ۱۴ انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج مقایسه میانگین داده‌های مربوط به آزمون‌های دانسیته و ویسکوزیته نمونه‌های خمیر کیک در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از آزمون‌های دانسیته (g/cm³) و ویسکوزیته (Pa.s) در نمونه‌های خمیر کیک

Table 2. Mean comparison results of density (g/cm³) and viscosity (Pa.s) tests data in the samples of cake dough

E	S	SE	M	C	تیمار Treatment
1.29±0.1 ^b	1.30±0.1 ^b	1.30±0.1 ^b	2.19±0.2 ^a	2.35±0.21 ^a	دانسیته Density
39.93±0.02 ^a	33.20±0.1 ^d	35.80±0.2 ^c	37.77±0.3 ^b	38.04±0.3 ^b	ویسکوزیته Viscosity

در هر ردیف میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

In each row mean that at least one letter in common, according to Duncan's test not significant at the 5% level

(C) کیک حاوی ۱۰۰ درصد شکر (ساکارز) (نمونه شاهد)، (SE) کیک رژیمی حاوی مخلوط سوکرالوز و اریتریتول نسبت به شیرینی ساکارز، (S) کیک رژیمی حاوی ۱۰۰ درصد سوکرالوز نسبت به شیرینی ساکارز، (E) کیک رژیمی حاوی ۱۰۰ درصد اریتریتول نسبت به شیرینی ساکارز، (M) کیک رژیمی حاوی ۵۰ درصد اریتریتول و سوکرالوز و ۵۰ درصد ساکارز

(C) Cake containing 100% sugar (sucrose) (Control); (SE) Reduced-calorie cake containing sucralose and erythritol towards sucrose sweets; (S) Reduced-calorie cake containing 100% sucralose towards sucrose sweets; (E) Reduced-calorie cake containing 100% erythritol towards sucrose sweets; (M) Reduced-calorie cake containing 50% (sucralose and erythritol) and 50% sucrose sweets.

سانتی‌متر مکعب) برخوردار بودند. همچنین بین تیمارهای شاهد و M (عدم تفاوت معنی‌دار با یکدیگر) با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار مشاهده

با توجه به جدول ۲، تیمارهای شاهد C و M از بیشترین (۲/۳۵ و ۲/۱۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و تیمار E از کمترین میزان دانسیته (۱/۲۹ گرم بر

ویسکوزیته بسیار تأثیرگذار بوده به طوری که با افزایش پیوندهای هیدروژنی، سطوح اتصالات افزایش و میزان تحرک آب آزاد کاهش می یابد که نتیجه آن افزایش کمی ویسکوزیته می باشد. میشل (۲۰۰۸)، بیان داشت که ویسکوزیته خمیر تحت تأثیر وزن مولکولی قند قرار می گیرد. هر قدر وزن مولکولی قند مورد استفاده کمتر باشد، ویسکوزیته خمیر یک بیشتر خواهد بود. از طرفی ویسکوزیته خمیر یک در ارتباط با حلالیت قند مورد استفاده در فرمولاسیون خمیر یک است. وزن مولکولی کم اریتریتول و حلالیت زیاد این قند، سبب ایجاد بالاترین ویسکوزیته در خمیر تهیه شده با این قند می گردد (۱۳).

گردید اما بین سایر تیمارها اختلاف معنی دار نبود. کاهش یا افزایش میزان دانسیته به عواملی نظیر ترکیب و ساختار مولکولی، وزن مولکولی، نوع پیوندهای مولکولی و نوع ترکیب ماده غذایی بستگی دارد. ساکارز در مقایسه با سایر شیرین کننده ها به خصوص پلی ال ها از لحاظ وزن مولکولی و ماهیت ساختاری از دانسیته بیشتری برخوردار است. با توجه به نتایج جدول ۲، تیمار E از بیشترین (۳۹/۹۳) پاسکال در ثانیه) و تیمارهای C، M، SE و S به ترتیب از کمترین مقدار ویسکوزیته برخوردار بودند. همچنین بین کلیه تیمارها (به جز C و M) اختلاف معنی دار مشاهده شد ($P \leq 0.05$). ساختار مولکولی قندها در میزان

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین داده های حاصل از آزمون های شیمیایی در نمونه های یک (٪)
Table 3. Mean comparison results of chemical test data in the samples of cake (%)

S	E	SE	M	C	تیمار Treatment
20.20±0.1 ^d	21.32±0.2 ^c	22.60±0.1 ^b	26.72±0.4 ^a	27.11±0.42 ^a	رطوبت Moisture
0.85±0.03 ^a	0.88±0.05 ^a	0.83±0.08 ^{ab}	0.75±0.08 ^b	0.70±0.08 ^b	خاکستر Ash
9.93±0.22 ^a	10.14±0.21 ^a	9.79±0.41 ^a	8.78±0.55 ^b	8.25±0.55 ^b	پروتئین Protein
19.59±0.51 ^{ab}	20.02±0.51 ^a	18.73±0.20 ^b	18.54±0.20 ^b	18.46±0.34 ^b	چربی Fat

در هر ردیف میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی دار ندارند.

In each row mean that at least one letter in common, according to Duncan's test not significant at the 5% level

(C) یک کیکی حاوی ۱۰۰ درصد شکر (ساکارز) (نمونه شاهد)، (SE) یک کیکی رژیمی حاوی مخلوط سوکرالوز و اریتریتول نسبت به شیرینی ساکارز، (S) یک کیکی رژیمی حاوی ۱۰۰ درصد سوکرالوز نسبت به شیرینی ساکارز، (E) یک کیکی رژیمی حاوی ۱۰۰ درصد اریتریتول نسبت به شیرینی ساکارز، (M) یک کیکی رژیمی حاوی ۵۰ درصد اریتریتول و سوکرالوز و ۵۰ درصد ساکارز

(C) Cake containing 100% sugar (sucrose) (Control); (SE) Reduced-calorie cake containing sucralose and erythritol towards sucrose sweets; (S) Reduced-calorie cake containing 100% sucralose towards sucrose sweets; (E) Reduced-calorie cake containing 100% erythritol towards sucrose sweets; (M) Reduced-calorie cake containing 50% (sucralose and erythritol) and 50% sucrose sweets.

آن با سوکرالوز و اریتریتول از بیشترین میزان رطوبت و نمونه حاوی سوکرالوز از کمترین آن برخوردار بودند. به طور کلی اکثر قندها به دلیل ویژگی آب دوستی شدید و حلالیت آن ها، محلول های بسیار غلیظ و اسمزیک تولید می کنند. آکسون و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی یک های حاوی مخلوط

با توجه به جدول ۳، تیمارهای شاهد و M (عدم تفاوت معنی دار با یکدیگر) از بیشترین (۲۷/۱۱) و ۲۶/۷۲ درصد) و تیمار S از کمترین میزان رطوبت (۲۰/۲۰) درصد) برخوردار بودند. ضمن آنکه بین کلیه تیمارها اختلاف معنی دار مشاهده گردید ($P \leq 0.05$). به عبارتی کاربرد ساکارز به تنهایی و ترکیب ۵۰ درصد

خاکستر نمونه‌ها ایجاد نمی‌نماید (۸). از آنجایی که در کلیه تیمارهای این آزمایش از آرد یکسانی استفاده شد لذا تفاوت معنی‌دار بین اغلب تیمارها مشاهده نگردید. با توجه به جدول ۳، تیمارهای S، E و SE از بیشترین (۱۰/۱۴، ۹/۹۳ و ۹/۷۹ درصد) (عدم تفاوت معنی‌دار با یکدیگر) و سپس تیمارهای M و C از کمترین میزان پروتئین (۸/۷۸ و ۸/۲۵ درصد) (عدم تفاوت معنی‌دار) با یکدیگر برخوردار بودند. مانیشا و همکاران (۲۰۱۲)، در تحقیقات خود بیان داشتند که تفاوت در مقادیر کمی پروتئین محصولات پخت بستگی مستقیم به مقدار ازت، مقادیر اسیدهای آمینه و نوع فرمولاسیون مصرفی دارد (۱۱). لین و همکاران (۲۰۰۸)، با بررسی کوکی‌های دانمارکی کم کالری حاوی اریتریتول نشان دادند که افزایش سطح جایگزینی اریتریتول تفاوت چندانی در میزان پروتئین نمونه‌ها ایجاد نمی‌کند (۸).

سوکرالوز- پلی دکستروز نشان دادند که کیک‌های تهیه شده در مقایسه با کیک شاهد از مقدار رطوبت کمتری برخوردارند که دلیل آن را به کاهش اتصالات هیدروفیلیک قندهای مذکور نسبت دادند (۳). همچنین شیرمر و همکاران (۲۰۱۲) عنوان کردند که جایگزین نمودن ساکارز تا ۱۲ درصد با شیرین کننده‌های ماکرومولکول در کاهش محتوی آب محصول بسیار مؤثر می‌باشد (۲۲). براساس نتایج حاصل از جدول ۳، تیمارهای S، E و SE به ترتیب دارای بیشترین (۰/۸۸، ۰/۸۵ و ۰/۸۳ درصد) (عدم تفاوت معنی‌دار با یکدیگر) و پس از آن تیمارهای M و شاهد دارای کمترین مقدار خاکستر (۰/۷۵ و ۰/۷۰ درصد) بودند ضمن آنکه بین تیمارهای M، SE و C تفاوت معنی‌دار مشاهده نگردید. تحقیقات لین و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی کوکی‌های دانمارکی کم کالری حاوی اریتریتول نشان داد که افزایش سطح جایگزینی اریتریتول تفاوت چندانی در میزان

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از آزمون‌های رنگ سنجی، حجم و انرژی در نمونه‌های کیک

Table 4. Mean comparison results of colorimetric, volume and energy tests data in the samples of cakes

C	M	S	SE	E	تیمار Treatment
46.15±0.31 ^d	48.20±0.54 ^c	48.74±0.55 ^c	50.73±0.22 ^b	55.65±0.12 ^a	L*
2.22±0.02 ^a	1.36±0.01 ^b	1.24±0.01 ^c	1.23±0.01 ^c	1.1±0.03 ^d	a*
33.52±0.45 ^a	26.72±0.1 ^b	25.79±0.1 ^{bc}	24.75±0.14 ^c	21.54±0.21 ^d	b*
7.4±0.3 ^a	7.1±0.3 ^a	5.4±0.2 ^b	2.4±0.1 ^c	1.2±0.1 ^d	ΔE
910.32±2.7 ^a	777.25±5.31 ^b	720.19±5.80 ^c	551.26±6.18 ^d	725.34±6.37 ^c	حجم (cm ³) Volume (cm ³)
6400±210 ^a	5000±150 ^b	1500±89 ^c	3000±1032 ^d	4000±167 ^c	انرژی (کالری) Energy (cal)

در هر ردیف میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

In each row mean that at least one letter in common, according to Duncan's test not significant at the 5% level

(C) کیک حاوی ۱۰۰ درصد شکر (ساکارز) (نمونه شاهد)، (SE) کیک رژیمی حاوی مخلوط سوکرالوز و اریتریتول نسبت به شیرینی ساکارز، (S) کیک رژیمی حاوی ۱۰۰ درصد سوکرالوز نسبت به شیرینی ساکارز، (E) کیک رژیمی حاوی ۱۰۰ درصد اریتریتول نسبت به شیرینی ساکارز، (M) کیک رژیمی

حاوی ۵۰ درصد اریتریتول و سوکرالوز و ۵۰ درصد ساکارز

(C) Cake containing 100% sugar (sucrose) (Control); (SE) Reduced-calorie cake containing sucralose and erythritol towards sucrose sweets; (S) Reduced-calorie cake containing 100% sucralose towards sucrose sweets; (E) Reduced-calorie cake containing 100% erythritol towards sucrose sweets; (M) Reduced-calorie cake containing 50% (sucralose and erythritol) and 50% sucrose sweets.

سوکرالوز و مالتودکسترین، مقدار روشنایی به طور معنی دار افزایش درحالی که مقادیر قرمزی و زردی به طور معنی دار کاهش یافت (۱۷). با توجه به نتایج جدول ۴، بیشترین مقدار فاکتور زردی ($b^*=33/52$) در تیمار C و کمترین مقدار آن ($b^*=21/54$) در تیمار E مشاهده گردید. با افزایش میزان حرارت، ساکارز تبدیل به قندهای انهدرو از جمله گلوکوزان و لولوزان می شود که این قندها باعث به وجود آمدن هیدروکسی متیل فوفورال و ایجاد ترکیبات مؤثر در رنگ می شوند. نکته دیگر آنکه در اثر کاهش آب و افزایش دما، ترکیباتی از جمله کاراملان، کاراملن و کاراملین به وجود می آیند که این ترکیبات نیز در ایجاد رنگ نقش موثری دارند. کاهش در رنگ را می توان به فقدان گروه های عاملی در قندهای جایگزین و عدم توانایی آن ها برای شرکت در واکنش های قهوه ای شدن مایلارد نیز نسبت داد (۲۰). همچنین با توجه به جدول ۴، تیمار شاهد از بیشترین ($\Delta E=7/4$) اما تیمار E از کمترین میزان اختلاف رنگ کل ($\Delta E=1/2$) برخوردار بودند ($P \leq 0/05$). نتایج پژوهش ساویتا و همکاران (۲۰۰۸)، بر روی بیسکویت نشان داد که افزایش سطوح جایگزینی ساکارز با مخلوط سوکرالوز و مالتودکسترین سبب روشن تر شدن رنگ سطح پوسته می گردد (۲۱). طبق جدول ۴، تیمار شاهد C از بیشترین ($910/32$) سانتی متر مکعب) و پس از آن تیمار SE از کمترین میزان حجم ($551/26$ سانتی متر مکعب) برخوردار بودند. ضمن این که بین تمامی تیمارها به جز تیمارهای E و S تفاوت معنی دار مشاهده گردید ($P \leq 0/05$). به عبارتی تیمارهای حاوی ساکارز و ساکارز با دو قند دیگر از بیشترین میزان حجم کیک برخوردار بودند. دلیل افزایش حجم را می توان به ساختار کیک، توسعه کامل یا نسبی حباب های هوا، ریز بودن یا درشت بودن حباب ها، وجود یا عدم

با توجه به جدول ۳، تیمارهای E و S از بیشترین میزان چربی (۲۰/۰۲ و ۱۹/۵۹ درصد) (عدم تفاوت معنی دار با یکدیگر) برخوردار بودند. مانیشا و همکاران (۲۰۱۲)، در تحقیقات خود عدم وجود اختلاف معنی دار در چربی تیمارها را به نوع و مقدار آرد و چربی مورد استفاده در فرمولاسیون بیسکویت نسبت دادند (۱۱). در تحقیق حاضر با توجه به این که در تیمارهای مورد آزمون، میزان آرد، نوع آرد مصرفی و نیز مقادیر چربی نمونه ها یکسان بود، لذا تفاوت محسوسی در میزان چربی اکثر تیمارها مشاهده نشد. با توجه به جدول ۴، تیمار E از بیشترین میزان روشنایی ($L^*=55/65$) و دارای تفاوت معنی دار با سایر تیمارها اما تیمار C از کمترین میزان روشنایی ($L^*=46/15$) برخوردار بودند. در ایجاد روشنایی و رنگ قرمز و زرد محصولات غذایی، عوامل متعددی نظیر pH محیط، وجود قندهای احیاکننده، نوع قند، وجود اسیدهای آمینه آزاد، مقاومت حرارتی، میزان فعالیت آبی، درصد مواد خشک و میزان درجه حرارت تاثیرگذار است که در تحقیق حاضر ساکارز به قهوه ای شدن در شرایط غیر اسیدی کمک نمود و با کاهش فعالیت آبی، درصد ماده خشک افزایش و شدت واکنش مایلارد کاهش پیدا کرد. با توجه به این که نمونه شاهد حاوی ساکارز بود و در اثر حرارت، ساکارز به گلوکز و فروکتوز تبدیل می شود و از آنجا که این قندها (مونوساکاریدها) در فرآیند مایلارد و کاراملیزاسیون شرکت می کنند، نمونه شاهد از اندیس قهوه ای شدن بالاتری نسبت به تیمارهای دیگر برخوردار بود. طبق جدول ۴، تیمار C دارای بیشترین ($2/22$) و تیمار E دارای کمترین ($1/1$) میزان فاکتور قرمزی (a^*) بودند ($P \leq 0/05$). نتایج حاصل با نتایج تحقیقات نورمحمدی و همکاران (۱۳۹۰) تطابق داشت. آنها بیان داشتند که در قطاب های تولید شده، با افزایش میزان جایگزینی ساکارز با مخلوط

تیمار S (حاوی ۱۰۰ درصد سوکرالوز) از کمترین مقدار انرژی (۱۵۰۰ کالری) برخوردار بودند. هر ۱ گرم ساکارز و اریتریتول به ترتیب معادل ۴ کیلو کالری بر گرم و ۰/۵ کیلو کالری بر گرم انرژی تولید می‌کنند. بعلاوه سوکرالوز تنها شیرین‌کننده فاقد کالری می‌باشد. ما و همکاران (۲۰۰۷)، بیان نمودند که سوکرالوز میزان جذب گلوکز از روده کوچک را تغییر نمی‌دهد و طی عبور از بدن با مقادیر ناچیز جذب در دستگاه گوارش تقریباً بدون تغییر باقی می‌ماند در نتیجه مصرف سوکرالوز برای بیماران دیابتی، امن تلقی شده چون هیچ اثری بر متابولیسم کربوهیدرات ندارد (۱۰). ساویتا و همکاران (۲۰۰۸)، در بررسی تأثیر جایگزینی ساکارز با سوکرالوز و مالتودکسترین بر برخی خواص بیسکویت بیان نمودند، جایگزینی ۳۰٪ شکر در فرمولاسیون بیسکویت توسط مخلوط سوکرالوز و مالتودکسترین منجر به تولید بیسکویت‌های کم کالری با شیرینی قابل قبول می‌گردد (۲۱).

وجود بهبود دهنده‌ها، تحرک یا عدم تحرک حباب‌های هوا در خمیر، نوع مواد اولیه، نوع قندها و سرعت خروج حباب‌های هوا از خمیر طی مراحل مختلف نسبت داد (۱۵). به علاوه مشخص شد که ساکارز در خمیر کیک، مسئول افزایش دمای ژلاتینه شدن نشاسته بوده که این مساله تضمین‌کننده توسعه کامل حباب‌های هوا در مرحله اول پخت و بهبود ساختار کیک است که افزایش تخلخل و حجم را به همراه دارد. همچنین ویسکوزیته خمیر تعیین‌کننده سرعت حرکت حباب‌های هوا به سطح می‌باشد. وجود ویسکوزیته مناسب، در کاهش تحرک حباب‌های هوا و نگه داشتن آنها در خمیر و لذا افزایش پایداری حجم تاثیرگذار است. از سویی بین میزان دانسیته، حجم و تخلخل رابطه مستقیم وجود دارد به طوری که کاهش در حجم قندهای جایگزین می‌تواند به علت خروج سریعتر حباب‌های هوا سبب کاهش حجم و تخلخل محصول گردد (۲۳). با توجه به جدول ۴، تیمار شاهد از بیشترین (۶۴۰۰ کالری) و

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از تأثیر متقابل (تیمار × زمان) بر میزان بیابتی به روش دستگاهی در نمونه‌های کیک (نیوتن)

Table 5. Mean comparison results of interaction between (treatment × times) on staling of cake samples by instron (N)

Time (day)	زمان (روز)	تیمار	
روز هفتم	روز سوم	روز اول	
Seventh day	Third day	First day	
26.517±0.12 ^a	19.163±0.40 ^b	19.035±0.51 ^b	E
26.446±0.10 ^a	19.110±0.40 ^b	14.273±0.35 ^e	S
19.550±0.21 ^b	17.434±0.37 ^c	12.605±0.12 ^f	SE
17.195±0.31 ^c	14.525±0.31 ^e	10.258±0.32 ^g	M
16.070±0.12 ^d	14.247±0.32 ^e	9.908±0.45 ^g	C

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی دار ندارند.

Mean that at least one letter in common, according to Duncan's test not significant at the 5% level

(C) کیک حاوی ۱۰۰ درصد شکر (ساکارز) (نمونه شاهد)، (SE) کیک رژیمی حاوی مخلوط سوکرالوز و اریتریتول نسبت به شیرینی ساکارز، (S) کیک رژیمی حاوی ۱۰۰ درصد سوکرالوز نسبت به شیرینی ساکارز، (E) کیک رژیمی حاوی ۱۰۰ درصد اریتریتول نسبت به شیرینی ساکارز، (M) کیک رژیمی حاوی ۵۰ درصد اریتریتول و سوکرالوز و ۵۰ درصد ساکارز

(C) Cake containing 100% sugar (sucrose) (Control); (SE) Reduced-calorie cake containing sucralose and erythritol towards sucrose sweets; (S) Reduced-calorie cake containing 100% sucralose towards sucrose sweets; (E) Reduced-calorie cake containing 100% erythritol towards sucrose sweets; (M) Reduced-calorie cake containing 50% (sucralose and erythritol) and 50% sucrose sweets.

سخت‌تر شدن مغز کیک و کاهش معنی‌دار مقبولیت کلی توسط مصرف‌کننده می‌گردد (۵). نور محمدی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی بر روی کیک کم کالری حاوی اریتریتول و الیگوفروکتوز دریافتند که کیک‌های حاوی اریتریتول نسبت به نمونه شاهد از بیشترین و کمترین میزان سفتی برخوردارند، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت نشان داد (۱۷). آکسون و همکاران (۲۰۰۹)، با بررسی کلوچه‌هایی که در آن بخشی از ساکارز با مخلوط سوکرالوز و پلی دکستروز جایگزین شده بود، بیان کردند که جایگزینی تا سطح ۵۰ درصد تغییر زیادی در ویژگی‌های بافتی نمونه‌ها ایجاد نمی‌کند اما افزایش جایگزینی ساکارز سبب کاهش کیفیت بافت و سفتی بیشتر نمونه‌ها می‌شود (۳).

با توجه به جدول ۵، باگذشت زمان بر میزان بیاتی هریک از تیمارها افزوده شد. در روزهای اول، سوم و هفتم بیشترین میزان بیاتی برای تیمارهای E و S و کمترین آن به ترتیب در C و M مشاهده گردید ($P \leq 0.05$). سفتی بافت کیک تا حدود زیادی تحت تأثیر قابلیت باند کردن آب در قندهای الکلی و از دست دادن آن طی دوره نگهداری و همین‌طور برهم کنش این قندها با نشاسته که می‌تواند بر رتروگراداسیون اجزا نشاسته به‌ویژه آمیلوپکتین در طول نگهداری کیک مؤثر باشد، قرار می‌گیرد. سفتی بافت محصولات غله‌ای نظیر کیک، با میزان رطوبت محصول ارتباط معکوس داشته به طوری که با افزایش یکی از دیگری کاسته می‌شود. لی و لین (۲۰۰۵)، بیان داشتند جایگزینی شکر در سطح ۸۰٪ با مخلوط سوکرالوز و دکستروز در کیک‌های شیفون، سبب

جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از آزمون ویژگی‌های حسی نمونه‌های کیک

Table 6. Mean comparison results of sensory properties evaluation of cake samples

E	SE	S	M	C	تیمار Treatment
1±0.01 ^d	3±0.01 ^c	4.2±0.02 ^b	8.6±0.01 ^a	8.6±0.01 ^a	نرمی بافت softness
1±0.01 ^d	3±0.02 ^c	5±0.01 ^b	9±0.02 ^a	9±0.02 ^a	قابلیت جویدن Chewiness
3.4±0.1 ^c	6.4±0.1 ^b	8.8±0.2 ^a	9±0.2 ^a	9±0.2 ^a	طعم و مزه Taste
3.8±0.4 ^b	4.2±0.4 ^b	4.2±0.4 ^b	9±0.02 ^a	9±0.02 ^a	پوکی و تخلخل Porosity
4±0.2 ^c	5.2±0.6 ^b	6±0.8 ^b	8.8±0.02 ^a	8.8±0.02 ^a	شکل ظاهری Appearance
9±0.1 ^a	9±0.1 ^a	9±0.1 ^a	9±0.1 ^a	9±0.1 ^a	سطح فوقانی crust
8.8±0.2 ^a	8.8±0.2 ^a	8.8±0.2 ^a	8.8±0.2 ^a	8.8±0.2 ^a	ویژگی مرکز کیک crumb properties

در هر ردیف میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

In each row mean that at least one letter in common, according to Duncan's test not significant at the 5% level

(C) کیک حاوی ۱۰۰ درصد شکر (ساکارز) (نمونه شاهد)، (SE) کیک رژیمی حاوی مخلوط سوکرالوز و اریتریتول نسبت به شیرینی ساکارز، (S) کیک رژیمی حاوی ۱۰۰ درصد سوکرالوز نسبت به شیرینی ساکارز، (E) کیک رژیمی حاوی ۱۰۰ درصد اریتریتول نسبت به شیرینی ساکارز، (M) کیک رژیمی حاوی ۵۰ درصد اریتریتول و سوکرالوز و ۵۰ درصد ساکارز

(C) Cake containing 100% sugar (sucrose) (Control); (SE) Reduced-calorie cake containing sucralose and erythritol towards sucrose sweets; (S) Reduced-calorie cake containing 100% sucralose towards sucrose sweets; (E) Reduced-calorie cake containing 100% erythritol towards sucrose sweets; (M) Reduced-calorie cake containing 50% (sucralose and erythritol) and 50% sucrose sweets.

یکدیگر) از کمترین امتیاز (۳/۴) برای صفت بو، طعم و مزه برخوردار بودند ($P \leq 0/05$). مارتینز و همکاران (۲۰۱۲)، نشان دادند که تأثیر جایگزینی شکر توسط سوکرالوز و پلی دکستروز بر خواص رئولوژیکی و حسی در نمونه های مافین به لحاظ ویژگی های ظاهری، رنگ، بافت و طعم بسیار شبیه نمونه شاهد می باشد (۱۲). طبق نتایج تحقیقات لی و لین (۲۰۰۵)، جایگزینی ساکارز (تا سطح ۵۰ درصد ساکارز) به وسیله مخلوط سوکرالوز و دکستروز، هیچ گونه اختلافی را بین نمونه شاهد و تیمارهای رژیمی از نظر ارزیابان حسی ایجاد نکرد (۷). با توجه به نتایج حاصل از جدول ۶، تیمارهای C و M از بیشترین امتیاز (۹) (عدم تفاوت معنی دار با یکدیگر) و پس از آن به ترتیب تیمار E (عدم تفاوت معنی دار با یکدیگر) از کمترین امتیاز مربوط به پوکی و تخلخل (۳/۸) برخوردار بودند. به عبارتی استفاده از ساکارز به تنهایی و ترکیب با سوکرالوز و اریتریتول سبب بهبود پوکی و تخلخل کیک ها گردید. علت نتیجه حاصل شده را می توان به انبساط حباب های ریز هوا در خمیر کیک نسبت داد که در این راستا ساکارز به حفظ بیشتر حباب های هوا در خمیر کمک نمود و این امر سبب ایجاد پوکی و تخلخل محصول گردید (۱۵). با توجه به نتایج حاصل از جدول ۶، تیمارهای شاهد و M از بیشترین امتیاز (۸/۸) (عدم تفاوت معنی دار با یکدیگر) و پس از آن تیمار E از کمترین امتیاز مربوط به شکل و فرم ظاهری (۴) برخوردار بودند. با توجه به اینکه ساکارز در توسعه کامل حباب های هوا در مراحل اولیه پخت نقش دارد لذا سبب بهبود ساختار کیک، افزایش تخلخل و حجم آن گردید، همچنین با ایجاد حباب های یکنواخت، منجر به شکل ظاهری مطلوب تر محصول شد (۲۳). با توجه به جدول ۶، از لحاظ ویژگی های سطح فوقانی، بین کلیه تیمارها ها هیچ گونه اختلاف معنی دار مشاهده نگردید.

طبق جدول ۶، تیمارهای شاهد (C) و M از بیشترین امتیاز (۸/۶) (عدم اختلاف معنی دار با یکدیگر) و پس از آن تیمار E (دارای تفاوت معنی دار با یکدیگر) از کمترین امتیاز نرمی بافت و ساختار (۱) برخوردار بودند ($P \leq 0/05$). نرمی بافت ارتباط مستقیم با درصد رطوبت دارد. آب باعث کاهش سفتی فیلم های پروتئینی و ورود بهتر هوا به بافت خمیر و نرم شدن بافت و ساختار محصول کیک می گردد. نورمحمدی و همکاران (۱۳۹۰) دریافتند در کیک های رژیمی، جایگزینی ۱۰٪ ساکارز توسط اریتریتول، باعث افت نرمی بافت کیک ها می گردد که نتایج تحقیقات آنها با نتایج این پژوهش مطابقت نشان داد (۱۷). مطابق جدول ۶، تیمارهای شاهد و M از بیشترین امتیاز (۹) (عدم اختلاف معنی دار با یکدیگر) و پس از آن تیمار E (دارای اختلاف معنی دار با یکدیگر) از کمترین امتیاز (۱) قابلیت جویدن برخوردار بودند ($P \leq 0/05$). به طور کلی میزان رطوبت تأثیر مستقیمی روی ویژگی های بافتی فرآورده های نانوائی دارد به گونه ای که با افزایش جذب آب، نرمی بافت افزایش و قابلیت جویدن بهبود پیدا می کند (۱۰). ساویتا و همکاران (۲۰۰۸)، بیان داشتند که جایگزین نمودن ساکارز تا میزان ۱۲ درصد با شیرین کننده های ماکرومولکول سبب کاهش قابل توجه محتوی آب محصول، سخت تر شدن بافت کیک و کاهش قابلیت جویدن می گردد (۲۱). همچنین سفتی بافت کیک تا حدود زیادی تحت تأثیر قابلیت باند کردن آب در قندهای الکلی و از دست دادن آن در طول نگهداری و همین طور برهم کنش این قندها با نشاسته که می تواند بر رتروگرا داسیون اجزا نشاسته به ویژه آمیلوپکتین در طول نگهداری کیک مؤثر باشد قرار می گیرد (۲۰). مطابق جدول ۶، تیمارهای C، S و M از بیشترین امتیاز (۹) (عدم اختلاف معنی دار با یکدیگر) و تیمار E (دارای اختلاف معنی دار با

موحد و همکاران (۲۰۱۲)، با مطالعه بر روی کیک کم کالری دریافتند که هیچ‌گونه اختلاف معنی‌دار از لحاظ ویژگی‌های مغز بین تیمارهای حاوی استویا و سوکرالوز و نمونه شاهد وجود ندارد (۱۴).

موحد و همکاران (۲۰۱۲)، عنوان نمودند که به کارگیری قندهای استویا و سوکرالوز به جای ساکارز تأثیر منفی بر روی سطح فوقانی محصول نداشته است (۱۴). با توجه به نتایج جدول ۶، از لحاظ ویژگی مغز کیک، در کلیه تیمارها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد.

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از تأثیر متقابل (تیمار × زمان) بر میزان تازگی نمونه‌های کیک به روش حسی

Table 7. Mean comparison results of interaction between (treatment × times) on freshness of cake samples (Sensory method)

Time (day)	زمان (روز)	تیمار	
روز هفتم	روز سوم	روز اول	
Seventh day	Third day	First day	
5±0.1 ^b	5±0.1 ^b	6±0.1 ^a	C
4±0.2 ^c	4±0.2 ^c	5±0.1 ^b	M
4±0.2 ^c	4±0.2 ^c	4±0.2 ^c	SE
2±0.1 ^e	3±0.1 ^d	3±0.1 ^d	S
1±0.1 ^f	1±0.1 ^f	2±0.1 ^e	E

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

Mean that at least one letter in common, according to Duncan's test not significant at the 5% level

(C) کیک حاوی ۱۰۰ درصد شکر (ساکارز) (نمونه شاهد)، (SE) کیک رژیمی حاوی مخلوط سوکرالوز و اریتریتول نسبت به شیرینی ساکارز، (S) کیک رژیمی حاوی ۱۰۰ درصد سوکرالوز نسبت به شیرینی ساکارز، (E) کیک رژیمی حاوی ۱۰۰ درصد اریتریتول نسبت به شیرینی ساکارز، (M) کیک رژیمی حاوی ۵۰ درصد اریتریتول و سوکرالوز و ۵۰ درصد ساکارز

(C) Cake containing 100% sugar (sucrose) (Control); (SE) Reduced-calorie cake containing sucralose and erythritol towards sucrose sweets; (S) Reduced-calorie cake containing 100% sucralose towards sucrose sweets; (E) Reduced-calorie cake containing 100% erythritol towards sucrose sweets; (M) Reduced-calorie cake containing 50% (sucralose and erythritol) and 50% sucrose sweets.

کیک‌های حاوی شکر در مقایسه با کیک‌های حاوی جایگزین شکر دیرتر بیات می‌شوند (۱۶). نور محمدی و همکاران (۱۳۹۰)، در تحقیقی بر روی کیک‌های کم کالری حاوی اریتریتول و الیگوفروکتوز نشان دادند که نمونه‌های حاوی اریتریتول نسبت به نمونه شاهد از سفتی بیشتری برخوردارند. از سوی دیگر کمترین سفتی به کیک‌های حاوی ساکارز و یا مخلوط آن با سایر شیرین‌کننده‌ها تعلق داشت (۱۷).

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج آزمون‌های شیمیایی، تیمار شاهد دارای بیشترین و تیمار E (حاوی ۱۰۰٪ اریتریتول) دارای کمترین درصد رطوبت اما تیمار E از بیشترین

طبق جدول مقایسه میانگین ۷، با گذشت زمان بر میزان بیاتی هریک از تیمارها افزوده شد و تیمارها در روز هفتم کمترین امتیاز را کسب نمودند. با توجه به نتایج، در روزهای اول، سوم و هفتم بیشترین تازگی در تیمار C و کمترین آن در تیمار E مشاهده گردید (P≤۰/۰۵). نورمحمدی و همکاران (۱۳۹۰)، در تحقیقی تأثیر جایگزینی ساکارز با سوربیتول، اریتریتول، آسپارتام، مالتیتول و زایلیتول را بر بیاتی کیک اسفنجی مورد بررسی قرار دادند، با توجه به نتایج، کیک حاوی اریتریتول، سفت‌ترین و بیات‌ترین بافت را در بین تیمارها دارا بود (۱۷). نیل و جونز (۲۰۱۲)، در بررسی ماندگاری کیک‌های پوند حاوی استویا، سوکرالوز و ساکارین بیان نمودند که

طبق آزمون‌های حسی، از لحاظ نرمی بافت و ساختار، قابلیت جویدن، بو و طعم و مزه، پوکی و تخلخل و شکل و فرم ظاهری، تیمارهای شاهد و M دارای بیشترین امتیاز بودند اما از لحاظ ویژگی‌های سطح فوقانی و ویژگی‌های مغز، بین تیمارها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. با توجه به ارزیابی میزان انرژی، نمونه شاهد از بیشترین و نمونه حاوی ۱۰۰ درصد سوکرالوز از کمترین مقدار انرژی برخوردار بودند. قابل توجه این‌که سایر تیمارها از مقدار انرژی کمتری در مقایسه با نمونه شاهد برخوردار بودند. در ادامه این‌که تیمار حاوی ۵۰ درصد اریتریول و سوکرالوز و ۵۰ درصد ساکارز (M) بیشترین شباهت را به تیمار شاهد نشان داد و به عنوان بهترین تیمار پیشنهاد گردید.

منابع

1. AACC. 2000. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th Edition, American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN.
2. AACC. 1999. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th Edition, American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN.
3. Akewan, A. 2009. Quality of reduced fat chiffon cakes prepared with Polydextrose and Sucralose as replacement of sugar. Pakistan Journal of Nutrition. 8(9): 1383-1386.
4. Gobetti, M., Angelis, M., Corsetti, A., and Cagno, R. 2005. Biochemistry and physiology of sour dough lactic Acid Bacteria. Trends in Food Science Technology. 16: 57-69.
5. Lee, C.C., Wang, F., and Lin, D. 2008. Effect of Isomaltooligosaccharide syrup on quality characteristics of sponge cake. Cereal Chemistry. 85(4): 515-521.
6. Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F., and Leon, J. 2006. Color measurement in

و تیمار شاهد از کمترین درصد پروتئین، چربی و خاکستر برخوردار بودند. طبق نتایج آزمون‌های خمیر، تیمار شاهد از بیشترین و تیمار E از کمترین میزان دانسیته اما تیمار E از بیشترین و تیمار S از کمترین میزان ویسکوزیته برخوردار بودند. با توجه به نتایج آزمون‌های رنگ سنجی، بیشترین میزان روشنایی (L^*) در تیمار E و کمترین میزان آن در تیمار شاهد و از سوی دیگر بیشترین میزان قرمزی و زردی نمونه‌ها به ترتیب (a^*) و (b^*) در تیمار شاهد و کمترین میزان شاخص‌های مذکور در تیمار E مشاهده گردید. بر اساس نتایج آزمون بافت سنجی به روش دستگاهی در نمونه‌های کیک، تیمار شاهد دارای نرم‌ترین بافت و تیمار E دارای سفت‌ترین بافت بودند. طبق نتایج حاصل از آزمون حجم سنجی، تیمار شاهد از بیشترین و تیمار SE از کمترین میزان حجم برخوردار بودند.

- $L^*a^*b^*$ units from RGB digital images. Food Research International, 39: 1084-1091.
7. Lin, S., and Lee, C. 2005. Qualities of chiffon cake prepared with indigestible dextrin and sucralose as replacement for sucrose. Cereal Chemistry. 4: 405-413.
 8. Lin, S., Lee, C., Mau, J., Lin, L., and Chion, S. 2008. Effect of erythritol on quality characteristics of reduced calorie Danish cookies. Journal of Food Quality. 33:14-26.
 9. Lothrop, R. 2012. Physicochemical and sensory quality of chiffon cake prepared with rebaudioside-A and erythritol as replacement for sucrose. Food Science and Human Nutrition. 2: 1-27.
 10. Ma, J., Bellon, M., Wishart, J.M., and Jones, K. 2007. Effect the artificial sweetener, sucralose, on gastric emptying and incretin hormone release in healthy subjects. American Journal of Physiology. 296 (4): 735-739.
 11. Manishia, G., Symia, C., and Indrani, D. 2012. Studies on interaction between stevioside, liquid sorbitol, hydrocolloids and emulsifiers for replacement of sugar

- in cakes. *Food Hydrocolloids*, 29: 363-373.
12. Martinez, Z., Delahera, E., Sanz, T., Gomez, M., and Salvador, A. 2012. Effect of using erythritol as a sucrose replacer in making Spanish muffins incorporating xanthan gum. *Food Bioprocess and Technology*. 5(8): 3203-3216.
13. Mitchell, H. 2008. *Sweeteners and sugar alternatives in food technology*, John Wiley & Sons.
14. Movahed, S., and Vafaei, M. 2012. Rheological characteristics of chapatti bread containing guar & carboxyl methyl cellulose gums. *Annals of Biological Research*. 3(3): 1622-1635.
15. Movahed, S. 2012. *Science of Bread*. Marze Danesh Publications. Tehran, Iran; 188 pp. (In Persian).
16. Neal, E., and Jones, Ch. 2012. The effect of sugar, stevia, splenda and sweet n'low on the shelf life of a pound cake. *International Journal of Agriculture & Biology*. 4(2): 294-263.
17. Nourmohammadi, E., Peighambardoust, S. H., Olad Ghaffari, A., Azadmard-Damirchi, S., and Hesari, J. 2011. Effect of sucrose replacement with polyols and aspartame on the characteristics of sponge cake. *Journal of Food Research*. 21(2): 155-165. (In Farsi).
18. Nourmohammadi, E., Peighambardoust, S.H., and Olad Ghaffari, A. 2012. Feasibility study of low-calorie cake preparation with erythritol and oligo-fructose. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*. 1(7): 85-92. (In Persian).
19. Peighambardoust, S.H. 2009. *Technology of Cereal Products (vol. 2)*. Tabriz University of Medical Sciences Publications. Tabriz, Iran; 300 pp. (In Persian).
20. Ronda, F., Gomez, M., Blanco, C., and Caballero, P. 2005. Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cake. *Food Chemistry*. 90: 549-555.
21. Savitha, Y., Indrani, D., and Parkash, J. 2008. Effect of sugar with sucralose and maltodextrin on rheological characteristics of wheat flour dough and quality of soft dough and quality of soft dough biscuit. *Journal of Texture Studies*. 39: 605-616.
22. Schirmer, M., Jekle, M., Arendt, E., and Backer, T. 2012. Physicochemical interactions of polydextrose for sucrose replacement in pound cake. *Food Research International*. 48: 291-298.

Substituting Sucrose with Erythritol and Sucralose in reduced-calorie Sponge Cake

E. Naseri Monfared¹, S. Movahhed^{2*}, H. Ahmadi Chenarbon³

¹M.Sc. Graduate, Department of food science and technology, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran

²Associated professor, Department of food science and technology, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.

³Assistant professor, Department of Agronomy, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran

Received: 2017/11/23; Accepted: 2018/06/11

Abstract

Background and objectives: Cake is one of the most important and high-quality cereal products. Because of high fat and sugar content in the formulation, its long consumption may result in obesity and some health problems. One option to produce more healthy food products is to remove some of the energy-rich compounds, such as sucrose, or to replace it with other non-energy or low energy sources.

Materials and Methods: The treatments included the samples containing 100% of sucrose (C), 50% of sucrose with 50% of erythritol and sucralose (M), 50% of sucralose and 50% erythritol (SE), 100% of erythritol (E) and 100% of sucralose (S). Then the dough samples were subjected to rheological tests and the produced breads were subjected to physical, chemical and organoleptic tests.

Results: According to the results, the control and M samples had the highest (2.35 and 2.19 g/cm³), but the sample E had the lowest density (1.29g/cm³) (P≤0.05). The sample E had the highest (39.93Pa.s), but C, M, SE and S treatments had the lowest viscosity (P≤0.05). According to the results, the highest moisture contents (27.11 and 26.72%) were observed in the control and M but the lowest moisture content (20.20%) was measured in S treatment (P ≤0.05). Also, the highest amounts of fat (20.02 and 19.59%) were observed in E and S treatments, while the lowest (18.46%) in treatment C. According to the results of mean comparisons, E, S and SE treatments contained the highest amount of ash (0.88, 0.85 and 0.83%) and protein (10.14, 9.93 and 9.79%), respectively. After that, M and control treatments had the lowest amount of ash (0.75 and 0.70%) and protein (8.78 and 8.25%). The sample E had the highest amount of luminance (L*= 55.65), while the sample C had the lowest amount (L*=46.15) (P ≤0.05). In the same way, the treatment C had the highest amount of redness (a*=2.22), yellowness (b*=33.52) and total color difference (ΔE = 7.4), but the treatment E showed the lowest amount of redness (a*=1.1), yellowness (b*= 21.54) and total color difference (ΔE=1.2)(P≤0.05). Moreover, the highest volume (910.32cm³) was observed in control sample while the lowest volume (551.26cm³) was observed in SE treatment (P≤0.05). Meanwhile, the highest (6400 calories) and the lowest amount of energy (1500calories) were measured in control and S treatments (containing 100% sucralose), respectively. According to the results, in the first, third and seventh days, the highest degree of staling were found in treatments E (26.517N) and S(26.446N), but its lowest amounts were observed in treatments C (9.908N) and M (10.25N) (P≤0.05). In addition, the control and M treatments had the highest score of texture and structure

*Corresponding author; movahhed@iauvaramin.ac.ir

(8.6), chewiness (9), taste and flavor (9), porosity (9), apparent shape and form (8.8) and freshness (6). Notably, no significant difference was observed between all treatments in terms of properties of crust and crumb ($P>0.05$).

Conclusion: According to the results of physicochemical, rheological, staling and sensory tests, the sample containing 50% erythriol and sucralose and 50% sucrose (M) showed the highest similarity to the control treatment in terms of different properties such as density, dough viscosity, moisture content, ash, protein, and staling (sensory and instrumental) and all sensory properties, and therefore is recommended as the best treatment.

Keywords: Sucrose, Sweetener, Erythritol, Sucralose, Reduced-calorie Sponge Cakes.

