مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال هشتم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۲، صفحات ۶۲-۴۹

تولید شکلات تلخ کم‌کالری پری‌بیوتیک با استفاده از اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین

شکوفه بیطرف[۱]، سلیمان عباسی[۲]، زهره حمیدی[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۲- نویسنده مسئول: دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، پست الکترونیکی: sabbasifood@modares.ac.ir
۳- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۹۱/۴/۴ تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: شکلات یکی از مواد غذایی بسیار پرطرفدار است که علاوه بر اثرات مفید تغذیه‌ای، به دلیل کالری زیاد مشکلاتی را برای مصرف‌کنندگان ایجاد می‌کند. به نظر می‌رسد که یکی از راه‌های کاهش این خطرات، استفاده از مواد کم‌کالری و پری‌بیوتیک باشد. به همین دلیل، در پژوهش حاضر امکان جایگزینی ساکارز با اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین به منظور تولید شکلات تلخ کم‌کالری و پری‌بیوتیک به کمک طراحی ترکیبی لاتیس ساده بررسی شد.

مواد و روش‌ها: برای تهیه‌ی شکلات تلخ کم‌کالری، به جای ساکارز از شیرین‌کننده‌ی مصنوعی (سوکرالوز) و نسبت‌های متفاوتی از اینولین (ترکیب پری‌بیوتیک)، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین (به عنوان مواد حجم‌دهنده) استفاده شد. تأثیر نسبت‌ها و ترکیب‌های مختلف این عوامل روی برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی (pH، رطوبت، فعالیت آبی، چربی و پروتئین)، مکانیکی و رئولوژیکی (سفتی و ویژگی‌های جریانی) و هم‌چنین حسی (شیرینی، رنگ و احساس دهانی) بررسی شد.

یافته‌ها: نمونه‌های شکلاتی که نسبت‌های بالایی از ترکیبات جایگزین قند داشتند، دارای رطوبت بیشتر، سختی کمتر و گرانروی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها بودند. از بین ۵ مدل ریاضیِ ارزیابی شده جهت پیش‌بینی ویژگی‌های رئولوژیکی شکلات، مدل کاسون مناسب‌ترین مدل برای این منظور تشخیص داده شد. از لحاظ ویژگی‌های حسی نیز تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌ها و نمونه‌ی شاهد دیده نشد. نتایج ادغام نمودارهای کانتور نشان داد که نسبت بهینه‌ی اینولین برابر با صفر تا ۶٪ و ۱۱تا ۱۵٪، پلی‌دکستروز۲۲ تا ۳۸٪ و ۶۴ تا ۷۹٪ و مالتودکسترین ۲۱ تا ۳۱٪ و ۶۲ تا ۷۷٪ بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این بررسی نشان داد که برای تولید شکلات تلخ کم‌کالری با ویژگی‌های فراسودمند و پری‌بیوتیک می‌توان به جای ساکارز از مواد شیرین‌کننده و برای بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی از غلظت‌های بهینه‌ی مواد حجم‌دهنده استفاده کرد. هم‌چنین، با این روش می‌توان ضمن کاهش کالری، فراورده‌ای تولید کرد که از لحاظ اغلب ویژگی‌ها قابل رقابت با شکلات تلخ است و محدودیت مصرف چندانی برای کودکان، بزرگسالان و افراد دارای محدودیت رژیم غذایی ندارد.

واژگان کلیدی: شکلات تلخ، اینولین، پلی‌دکستروز، مالتودکسترین، رئولوژی، پری‌بیوتیک

• مقدمه

امروزه، به دلیل افزایش آگاهی‌های تغذیه‌ای و تغییر نگرش مردم در جوامع مختلف، غذاهایی که سلامتی را ارتقا داده و خطر ابتلا به بیماری‌ها را کاهش دهند، بسیار مورد توجه هستند. در ضمن، مصرف‌کنندگان معمولاً به این دلیل به غذاها و نوشیدنی‌های کم‌کالری تمایل نشان می‌دهند که بتوانند مزه‌ی شیرین را بدون دریافت کالری یا خطر پوسیدگی دندان تجربه کنند. لازم به ذکر است که این غذاها برای بیماران دیابتی و افراد چاق نیز بسیار مناسب هستند (۱). تاکنون، جایگزین‌های قندی مختلفی برای استفاده در مواد غذایی گوناگون پیشنهاد شده‌اند که از آن جمله می‌توان به شیرین‌کننده‌های مصنوعی، قند الکل‌ها، قند الکل‌های دوقندی و قندهای نو (نئوشوگرز) اشاره کرد (۲).

شکلات یک ماده‌ی غذایی پرکالری با سوخت و ساز سریع و هضم خوب است که طعم و بافت منحصر به فرد آن و احساس لذت پس از خوردن آن از دلایل مصرف روزافزون انواع شکلات است. ولی یکی از مشکلات عمده در زمینه‌ی استفاده از این ماده‌ی غذایی، میزان بالای قند آن (بسته به نوع شکلات در حدود ۳۵ تا ۵۰ درصد) است (۳).

شکلات تیره اثرات مثبت فراوانی بر سلامت قلب و عروق، کاهش فشار خون، کاهش کلسترول، تحریک تولید اندورفین

و ... دارد (۴). به نظر می‌رسد که اثرات مفید شکلات تیره به علت عملکرد فلاونوئیدهای آن باشد. زیرا آن‌ها خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارند و می‌توانند رادیکال‌های آزاد را شلاته کنند (۵). با این حال مصرف زیاد شکلات تلخ به علت چربی، شکر و کالری بالای آن اثرات سوئی بر سلامت مصرف‌کنندگان دارد.

از دیدگاه تغذیه‌ای، پروتئین‌ها، چربی‌ها و کربوهیدرات‌ها عوامل اصلی تولید انرژی هستند و نقش دو مورد اخیر از مورد اول مهم‌تر است. به همین دلیل اغلب برای کاهش کالری مواد غذایی، کاهش چربی و کربوهیدرات آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. نشان داده شده است که اگر مقدار چربی شکلات بسیار پایین آورده شود و به کمتر از ۲۷ درصد وزنی/ وزنی برسد، شکلات نرمی خود را از دست می‌دهد و ذوب آن در دهان دچار اشکال می‌شود (۶). بنابراین، به نظر می‌رسد یک راه عملی‌تر برای تولید شکلات با کالری کاهش یافته، جایگزین کردن ساکارز با بعضی شیرین‌کننده‌های دیگر است (۷). نکته‌ی مهم این است که چنین جایگزین‌هایی تغییرات قابل ملاحظه‌ای در ویژگی‌های حسی فراورده ایجاد نکنند و شکلات‌های با کالری کاهش یافته تا حد ممکن تفاوت‌های ناچیزی با شکلات‌های معمولی داشته باشند (۸). زیرا همان‌طور که می‌دانیم ساکارز علاوه بر شیرین‌کنندگی نقش‌های دیگری نیز دارد؛ مانند: ایجاد بافت و گرانروی مناسب، ایجاد رنگ قهوه‌ای مطلوب (۹). چون ساکاروز درصد بالایی از ترکیب شکلات را تشکیل می‌دهد و هیچ جایگزینی به تنهایی نمی‌تواند تمام ویژگی‌های این ماده را دارا باشد، بهتر است ترکیبی از شیرین‌کننده‌ها و حجم‌دهنده‌ها به کار رود (۷). در این بررسی از شیرین‌کننده مصنوعی سوکرالوز و اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین (به عنوان حجم‌دهنده) استفاده شد.

اینولین پلیمری غیرمنشعب از فروکتان است که تعداد واحدهای فروکتوز در این زنجیره‌ها معمولاً بین ۲ تا ۶۰ واحد است. اینولین به عنوان فیبر غذایی قابل تخمیر ضمن بهبود عملکرد روده دارای نقش بیفیدوژنیک و پری‌بیوتیک است و علاوه بر افزایش جذب کلسیم سبب کاهش تری‌گلیسیریدها می‌شود و هر گرم آن حدود ۱/۵ کیلوکالری انرژی تولید می‌کند. البته باید توجه شود که مصرف زیاد اینولین ممکن است سبب نفخ و دردهای شکمی شود (۱۰).

پلی‌دکستروز پلیمر محلول در آب گلوکز است که در غذاها بافت و حجمی مشابه با ساکاروز اما با کالری کمتر (۱ کیلو کالری به ازای هر گرم) ایجاد می‌کند. کالری کم این ترکیب به دلیل هضم ضعیف آن در روده‌ی کوچک و تخمیر ناقص آن در روده بزرگ است که سبب پذیرش آن به عنوان فیبر غذایی در بسیاری از کشورها شده است. البته، مصرف زیاد پلی‌دکستروز خاصیت ملینی دارد (۱۱).

مالتودکسترین محصول هیدرولیز اسیدی یا آنزیمی نشاسته است که از الیگومرها یا پلیمرهای D- گلوکز با پیوندهای α(۱،۴) تشکیل شده و معمولاً معادل دکستروز (DE) کمتر از ۲۰ دارد (۱۲).

شیرینی نسبی سوکرالوز که یک شیرین‌کننده‌ی مصنوعی است تقریباً ۶۰۰ برابر ساکارز است. این ماده، غیرمغذی و بدون کالری است و پس از مصرف جذب نمی‌شود و به علت پایداری بسیار زیاد در بسیاری از سامانه‌های غذایی به کار می‌رود (۱۳). ایمنی سوکرالوز در مطالعات سم‌شناسی در طی ۱۳سال به اثبات رسیده است (۱۴).

تاکنون مطالعات محدودی در خصوص جایگزینی ساکاروز با ترکیبات پری‌بیوتیک و حجم‌دهنده به منظور کاهش کالری شکلات صورت گرفته است. در سال ۱۳۸۸ *شوریده* و همکاران تأثیر کاربرد D- تاگاتوز و اینولین به عنوان جایگزین ساکارز بر بعضی ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی شکلات ساده و شیری را بررسی کردند (۱۵). *فرزان‌مهر* و همکاران در سال ۱۳۸۶ نوعی شکلات شیری کم‌کالری با استفاده از سوکرالوز به عنوان شیرین‌کننده و اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین به عنوان حجم‌دهنده تولید کردند (۱۶). *Shah* و همکاران در سال ۲۰۱۰ امکان تولید نوعی شکلات شیری بدون ساکاروز را با استفاده از عصاره‌ی استویا به عنوان شیرین‌کننده و اینولین و پلی‌دکستروز به عنوان حجم‌دهنده بررسی کردند (۱۷). البته، چندین پژوهش دیگر نیز در همین ارتباط انجام شده است (۱۵، ۷) ولی اغلب این پژوهش‌ها روی شکلات شیری انجام شده و گزارشی در خصوص شکلاتِ تلخِ کم‌کالری منتشر نشده است. در بررسی حاضر، امکان استفاده از اینولین و دو ترکیب دیگر به عنوان حجم‌دهنده در نسبت های مختلف به همراه نسبت ثابت سوکرالوز به منظور جایگزینی ساکاروز و تأثیر آن‌ها روی برخی ویژگی های مهم شکلات تلخ کم‌کالری ارزیابی شد از طرح ترکیبی لاتیس ساده به منظور یافتن نسبت بهینه‌ی این مواد استفاده شد.

• مواد و روش‌ها

مواد: پودر کاکائو از شرکت *Delfi* (مالزی) کره کاکائو از شرکت *Cargill* (مالزی)، لسیتین از شرکت *ADM* (آمریکا)، ساکاروز از شرکت *آرشه* (ایران)، پودر وانیل از شرکت *گل‌ها* (ایران)، اینولین Frutafit IQ از شرکت *Cosun- Sensus* (هلند)، پلی‌دکستروز Litte Ultra از شرکت *Danisco*

(آلمان)، مالتودکسترین (DE=16.5) از شرکت *دکستروز ایران* (ایران) و سوکرالوز Splenda از شرکت *Tate & Lyle* (آمریکا) خریداری شدند. در ضمن، سایر مواد شیمیایی مورد استفاده از شرکت مواد شیمیایی Merck (آلمان) تهیه شدند.

روش تهیه‌ی نمونه‌های شکلات: ابتدا پودر اینولین، پلی-دکستروز، مالتودکسترین و شکر توسط آسیاب خانگی (Moulinex مدل 320 ساخت اسپانیا) خرد شدند. سپس از الک‌های آزمایشگاهی (۲۰ تا ۳۸ میکرون) عبور داده شدند. سپس برای تهیه‌ی نمونه‌های ۱۰۰ گرمی شکلات تلخ کم-کالری، نخست کره کاکائو (۲۰ گرم) در گرمخانه‌ی ۶۰°C (Memmert مدل UFE500 ساخت آلمان) ذوب شد سپس پودر کاکائو (۲۶/۲ گرم) و جایگزین‌های قند شامل اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین به تنهایی و در ترکیب با یکدیگر (جدول ۱)، سوکرالوز (۰/۰۲ گرم) و وانیلین (۰/۵ گرم) به کره‌ی کاکائوی ذوب شده اضافه شدند. مخلوط به دست آمده به وسیله‌ی مخلوط‌کن طراحی شده در آزمایشگاه با سرعت ۵۰ دور در دقیقه به مدت ۴ ساعت در حمام پارافین ۶۵ °C تحت عمل ورزدادن قرار گرفت. به منظور اختلاط بهتر مواد و بهبود عملیات ورزدادن، تعدادی ساچمه‌ی ضد زنگ و ضد سایش به قطر ۸ میلی‌متر به مخلوط فوق اضافه شد. باقی مانده‌ی کره‌ی کاکائو (۱۰ گرم) و لسیتین (۰/۵ گرم) در ۳۰ دقیقه‌ی آخر ورزدادن اضافه شدند (۱۶، ۷). نمونه‌های تهیه شده تا ۲۴ ساعت داخل گرمخانه ۶۰°C نگهداری شدند. سپس دمای آن‌ها به ۵۵ °C رسانده شد و به مدت ۳۰ دقیقه در این دما باقی ماندند. جهت انجام عملیات مشروط کردن دمایی (tempering) در حین مخلوط‌کردن توسط مخلوط‌کن، دمای نمونه‌ها در مدت ۲۰ تا ۲۵ دقیقه به ۲۸ °C رسانده شد و به مدت ۱۰ دقیقه در این دما نگهداری شدند. سپس ۵ دقیقه قبل از انتقال نمونه‌ها به قالب‌های پلاستیکی دما تا ۳۰ °C افزایش یافت. پس از طی این مدت، نمونه‌ها به قالب‌ها منتقل شدند و در دمای ۱۵ °C به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شدند. نمونه‌ها پس از خروج از قالب‌ها درون ورق‌های آلومینیومی بسته‌بندی شده و تا زمان انجام آزمایش‌ها در یخچال نگهداری شدند (۱۸، ۱۶). نمونه‌ی شاهد نیز به همین روش تهیه شد، با این تفاوت که در ترکیب آن به جای جایگزین‌های قند از ساکاروز استفاده شد.

روش اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شکلات: میزان pH، رطوبت (روش کارل فیشر)، پروتئین (روش کلدال) و چربی (روش سوکسله) نمونه‌های شکلات با استفاده از روش AOAC اندازه‌گیری شد (۱۹).

فعالیت آبی نمونه‌های شکلات توسط دستگاه Novasina Sprint (مدل TH 500، ساخت سوئیس) تعیین شد. برای اندازه‌گیری رنگ نمونه‌های شکلات از دستگاه هانترلب (Colorflex.VA مدل ۴۵/۰ ساخت آمریکا) استفاده شد. ابتدا دستگاه توسط استانداردهای موجود کالیبره شد، سپس نمونه‌های رنده شده داخل بشقابک شیشه‌ای در محل مخصوص دستگاه قرار گرفت. آن‌گاه شاخص‌های a^*، b^* و L^* از روی دستگاه خوانده شد (۲۰).

روش اندازه‌گیری سختی: جهت اندازه‌گیری میزان سختی نمونه‌های شکلات ابتدا یک سری آزمون‌های مقدماتی با تعدادی سمبه با قطرهای مختلف (۱/۲، ۱/۶ و ۳/۲ میلی‌متر) به منظور تشخیص بهترین اندازه صورت گرفت. در نهایت، سمبه‌ی ته صاف با قطر ۱/۶ میلی‌متر برای انجام این آزمایش مناسب تشخیص داده شد. نمونه‌های شکلات دو ساعت قبل از انجام آزمایش در دستگاه انکوباتور یخچال‌داری قرار گرفت که دمای آن روی ۲۰°C تنظیم شده بود. سپس سختی نمونه‌های شکلات (۵×۴۰×۲۵ میلی‌متر) توسط دستگاه بافت‌سنج (Texture Analyzer) (مدل H5KS ساخت شرکت Hounsfield انگلستان)، مجهز به سمبه‌ی ته صاف به قطر۱/۶ میلی‌متر و سرعت پیشانی ۹۰ میلی‌متر در دقیقه مورد آزمون قرار گرفت. میزان نیروی بیشینه در عمق ۴ میلی‌متری به عنوان شاخص سختی گزارش شد. در این آزمایش از load cell ۵۰۰ نیوتنی استفاده شد (۱۶).

بررسی ویژگی‌های رئوژیکی: برای بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه‌ها از دستگاه رئومتر (Physica Anton Paar، مدل MCR 300 ساخت اتریش) مجهز به ژئومتری استوانه‌های هم‌مرکز (مدل CC27) استفاده شد. ابتدا نمونه-های شکلات در ظرفی دربسته حداقل به مدت ۷۵ دقیقه داخل گرمخانه ۵۰ °C قرار داده شدند. سپس نمونه‌های ذوب شده درون فنجانک ژئومتری استوانه‌های هم‌مرکز ریخته شدند. بعد از قرار دادن استوانه‌ی داخلی و قبل از شروع اندازه‌گیری‌ها نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴۰°C با سرعت برشی $5\ S^{-1}$ هم زده شدند. سپس در دمای ۴۰°C میزان تغییرات تنش برشی به عنوان تابعی از سرعت برشی در دامنه‌ی ۰/۰۱ تا $60\ S^{-1}$ (شیب افزایشی) و ۶۰ تا $0/01\ S^{-1}$ (شیب کاهشی) هرکدام در مدت ۳ دقیقه اندازه‌گیری شد. سپس مدل‌های ریاضی بینگهام (معادله‌ی ۱)، کاسون (معادله‌ی ۲)، توان (معادله‌ی ۳)، هرشل-بالکلی (معادله‌ی ۴) و ویندهب (معادله‌ی ۵) بر داده‌های تجربی به دست آمده برازش داده شد. مناسب‌ترین مدل ریاضی بر اساس شاخص‌های ضریب تعیین R^2، RMSE و χ^2 انتخاب و

سرانجام، شاخص‌های رئولوژیکی برای هر یک از نمونه‌ها گزارش شد (۲۲-۲۰).

معادله۱) $\sigma = \eta_{pl} (\gamma^{\circ}) + \sigma_0$

معادله۲) $(\sigma)^{0.5} = K_1(\gamma^{\circ})^{0.5} + (\sigma_0)^{0.5}$

معادله۳) $\sigma = K \gamma^{\circ n}$

معادله۴) $\sigma = K \gamma^{\circ n} + \sigma_0$

معادله۵) $\sigma = \sigma_0 + (\sigma_1-\sigma_0).[1- \exp(-\gamma^{\circ}/\gamma_{*})] + \eta_{\infty}.\gamma^{\circ}$

در این معادلات σ= تنش برشی، σ_0 = تنش تسلیم، η_{pl} = گرانروی پلاستیک، γ°= سرعت برشی، K_1 = گرانروی کاسون، K = شاخص قوام، n = شاخص رفتار جریان، σ_1= تنش برشی خطی، η_{∞} =گرانروی در نرخ برش‌های بالا و γ_{*} نرخ برشی مشخصه است.

ارزیابی حسی: ویژگی‌های حسی نمونه‌های شکلات شامل شیرینی، بافت، نحوه‌ی ذوب در دهان، رنگ و پذیرش کلی با استفاده از آزمون هدونیک ۵ سطحی (۱= خیلی بد، ۲= بد، ۳= متوسط، ۴= خوب، ۵= خیلی خوب) توسط ۱۵ ارزیاب در محدوده‌ی سنی ۲۳ تا ۴۳ سال ارزیابی شد. به هر نمونه به صورت تصادفی یک کد سه رقمی داده شد. نمونه‌ها به صورت تصادفی در اختیار ارزیاب‌ها قرار گرفتند.

تجزیه و تحلیل آماری: برای بررسی اثر نسبت جایگزینی اینولین (x_1)، پلی‌دکستروز (x_2) و مالتودکسترین (x_3) روی برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، مکانیکی، رئولوژیکی و حسی شکلات و تعیین بهترین ترکیب این مواد از طراحی ترکیبی لاتیس ساده (Simplex Lattice Mixture Design) استفاده شد (جدول ۱). برای طراحی آزمایش‌ها، محاسبه‌ی معادلات و ارزیابی آماری از نرم‌افزار Jmp 8 (SAS Institute Inc.) استفاده شد. نسبت سطوح جایگزین‌های قند (اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین) بین ۰ تا ۱۰۰ درصد تنظیم شد. سپس ۱۵ ترکیب احتمالی به دست آمده از سه نوع جایگزین قند مورد آزمایش قرار گرفت (جدول۱). پس از بررسی پاسخ‌ها، ویژگی‌هایی که دارای بیشترین اختلاف معنی‌دار میان پاسخ‌های به دست آمده بودند جهت بررسی و تعیین نسبت بهینه‌ی ترکیبات جایگزین قند انتخاب و معادلات پیشگویی برای هریک از این ویژگی‌ها تعیین شد. نمودارهای کانتور رسم شد و به منظور به دست آوردن بهترین نسبت‌های جایگزین قند، نمودارهای کانتور با یکدیگر ادغام شد. برای ارزیابی آماری داده‌ها از نرم افزار $SPSS_{16}$ استفاده شد. به منظور بررسی معنی‌دار بودن اختلاف موجود بین میانگین‌ها در آزمون‌های دستگاهی از روش ANOVA و جهت تعیین اختلافات از روش مقایسه‌ی چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. رسم نمودارها با کمک نرم افزار Excel انجام گرفت. اطلاعات به دست آمده از آزمایش‌های رئولوژیکی با استفاده از نرم افزارهای Excel و MATLAB 2008a به منظور تعیین مدل ریاضی مناسب مورد برازش قرار گرفت. در این راستا از رگرسیون‌های خطی و غیرخطی استفاده شد.

جدول ۱. نمایش سطوح (درصد) و مقدار (برحسب گرم در ۱۰۰ گرم شکلات) جایگزین‌های قند در تولید شکلات تلخ کم‌کالری

شماره‌ی نمونه	سطوح (درصد)			اینولین (گرم)	پلی‌دکستروز (گرم)	مالتودکسترین (گرم)
	X_1	X_2	X_3			
۱	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۴۲/۸
۲	۰	۲۵	۷۵	۰	۱۰/۷	۳۲/۱
۳	۰	۵۰	۵۰	۰	۲۱/۴	۲۱/۴
۴	۰	۷۵	۲۵	۰	۳۲/۱	۱۰/۷
۵	۰	۱۰۰	۰	۰	۴۲/۸	۰
۶	۲۵	۰	۷۵	۱۰/۷	۰	۳۲/۱
۷	۲۵	۲۵	۵۰	۱۰/۷	۱۰/۷	۲۱/۴
۸	۲۵	۵۰	۲۵	۱۰/۷	۲۱/۴	۱۰/۷
۹	۲۵	۷۵	۰	۱۰/۷	۳۲/۱	۰
۱۰	۵۰	۰	۵۰	۲۱/۴	۰	۲۱/۴
۱۱	۵۰	۲۵	۲۵	۲۱/۴	۱۰/۷	۱۰/۷
۱۲	۵۰	۵۰	۰	۲۱/۴	۲۱/۴	۰
۱۳	۷۵	۰	۲۵	۳۲/۱	۰	۱۰/۷
۱۴	۷۵	۲۵	۰	۳۲/۱	۱۰/۷	۰
۱۵	۱۰۰	۰	۰	۴۲/۸	۰	۰
شاهد	۰	۰	۰	۰	۰	۰

• یافته‌ها

تأثیر جایگزینی ساکاروز با مواد مورد استفاده روی برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شکلات: مقادیر میانگین رطوبت، فعالیت آبی و pH در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مورد ویژگی pH هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌ها با یکدیگر و با نمونه‌ی شاهد وجود نداشت جایگزین کردن قند با اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین تأثیری روی این ویژگی نداشت. ولی پاسخ‌های به دست آمده برای رطوبت و فعالیت آبی حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار میان نمونه‌ها و نمونه‌ی شاهد بود. همه‌ی نمونه‌ها رطوبت بیشتری از نمونه‌ی شاهد داشتند. بیشترین میزان رطوبت به ترتیب در نمونه‌های ۱ و ۵ و کمترین میزان رطوبت در نمونه‌ی ۱۴ مشاهده شد. میزان رطوبت پودرهای اینولین، مالتودکسترین و پلی-دکستروز به ترتیب حدود ۰/۹۸، ۱/۵۳ و ۲/۳۹ درصد بود. در بین سه ترکیب جایگزین قند به ترتیب مالتودکسترین، پلی-دکستروز و اینولین در نسبت بالا بیشترین توان نگهداری رطوبت را داشتند. این موضوع در تحقیقی که در مورد تولید شکلات شیری کم‌کالری توسط *فرزان‌مهر* انجام گرفت، نیز ذکر شده است (۲۳).

در نمونه‌های تولیدی، میانگین پروتئین ۵/۱۸ درصد و میانگین چربی ۳۳/۸ درصد بود.

در ارتباط با میزان انرژی سهم هریک از ترکیبات جایگزین قند (در مورد نمونه‌ی شاهد ساکاروز)، چربی و پروتئین هریک از نمونه‌های شکلات تلخ کم‌کالری و نمونه‌ی شکلات تلخ شاهد تولیدی نشان داده شده است (جدول ۲). اینولین، پلی‌دکستروز، مالتودکسترین و ساکاروز به ازای هرگرم به ترتیب ۱/۵، ۱، ۴ و ۴ کیلوکالری و چربی و پروتئین به ترتیب ۹ و ۴ کیلوکالری انرژی به ازای هر گرم تولید می-کنند. با توجه به این اعداد و در نظر گرفتن نسبت وزنی هریک از این ترکیبات در هر نمونه میزان انرژی نمونه‌ها محاسبه شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تمامی نمونه‌ها (به استثنای نمونه‌ی شماره ۱ که از نظر میزان انرژی برابر نمونه‌ی شاهد بود) نسبت به نمونه‌ی شاهد میزان انرژی پایین‌تری دارند. نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای پلی‌دکستروز، کمترین میزان کالری و نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای مالتودکسترین بیشترین میزان کالری را داشتند.

جدول۲. تأثیر نوع، نسبت و ترکیب جایگزین‌های قند روی برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، مکانیکی، رئولوژیکی و رنگی شکلات تلخ کم‌کالری

شماره‌ی نمونه	رطوبت (٪)	pH	فعالیت آبی	چربی (٪)	پروتئین (٪)	سختی (نیوتن)	انرژی (kCal/100g)	گرانروی کاسون $(Pa.s)^{0.5}$	تنش تسلیم (پاسکال)	L^*	a^*	b^*
۱	^{a}۴/۴۱	^{a}۷/۰۹	^{f}۰/۴۰۷	۳۳/۸	۵/۱۸	^{i}۲/۵۱	۴۹۶/۱۲	۳/۳۰	۱۳/۸۲	^{c}۲۳/۲۵	^{c}۱/۹۵	^{b}۱/۳۳
۲	^{ab}۴/۲۶	^{a}۷/۰۷	^{d}۰/۴۳۴	۳۳/۸	۵/۱۸	^{ef}۳/۳۲	۴۶۴/۰۲	۳/۳۳	۱۲/۷۶	^{a}۲۷/۳۱	^{c}۱/۹۳	^{c}۰/۹۱
۳	^{ab}۴/۲۳	^{a}۷/۰۷	^{g}۰/۳۹۹	۳۳/۸	۵/۱۸	^{ef}۳/۴۱	۴۳۱/۹۲	۳/۳۰	۱۴/۴۳	^{d}۲۱/۷۸	^{c}۱/۹۳	^{c}۰/۹۱
۴	^{ab}۴/۲۳	^{a}۷/۰۹	^{k}۰/۳۷۸	۳۳/۸	۵/۱۸	^{c}۴/۷۸	۳۹۹/۸۲	۳/۲۲	۱۵/۳۳	^{d}۲۱/۷۸	^{c}۱/۹۵	^{b}۱/۳۳
۵	^{a}۴/۳۸	^{a}۷/۰۷	^{l}۰/۳۶۵	۳۳/۸	۵/۱۸	^{h}۲/۶۲	۳۶۷/۷۲	۲/۵۳	۴/۵۳	^{d}۲۱/۷۸	^{b}۲/۲۰	^{b}۱/۳۹
۶	^{bc}۴/۰۱	^{a}۷/۱۰	^{a}۰/۴۸۱	۳۳/۸	۵/۱۸	^{d}۴/۲	۴۶۹/۳۷	۲/۸۵	۶/۹۶	^{c}۲۳/۲۵	^{b}۲/۲۰	^{b}۱/۳۹
۷	^{ab}۴/۳۳	^{a}۷/۱۰	^{h}۰/۳۹۵	۳۳/۸	۵/۱۸	^{a}۵/۷۰	۴۳۷/۲۷	۲/۹۶	۸/۳۳	^{c}۲۳/۲۵	^{b}۲/۲۰	^{b}۱/۳۹
۸	^{bc}۳/۹۶	^{a}۷/۱۰	^{c}۰/۴۴۱	۳۳/۸	۵/۱۸	^{d}۴/۲	۴۰۵/۱۷	۳/۰۰	۴/۷	^{d}۲۱/۷۸	^{b}۲/۰۸	^{c}۰/۹۱
۹	^{cd}۳/۷۲	^{a}۷/۱۰	^{j}۰/۳۸۵	۳۳/۸	۵/۱۸	^{f}۳/۱۳	۳۷۳/۰۷	۲/۶۷	۱۰/۷۳	^{b}۲۴/۳۱	^{c}۱/۹۳	^{b}۱/۳۳
۱۰	^{bc}۳/۹۶	^{a}۷/۰۷	^{f}۰/۴۱۰	۳۳/۸	۵/۱۸	^{e}۳/۵۰	۴۴۲/۶۲	۲/۷۷	۶/۴۴	^{c}۲۳/۲۵	^{a}۲/۹۳	^{a}۲/۱۸
۱۱	^{bc}۳/۹۸	^{a}۷/۱۰	^{i}۰/۳۹۱	۳۳/۸	۵/۱۸	^{g}۲/۸۳	۴۱۰/۵۲	۲/۷۱	۵/۳۶	^{b}۲۴/۳۱	^{b}۲/۲۰	^{b}۱/۳۹
۱۲	^{bc}۳/۹۷	^{a}۷/۱۰	^{f}۰/۴۱۰	۳۳/۸	۵/۱۸	^{a}۵/۷۰	۳۷۸/۴۲	۲/۶۹	۵/۲۸	^{b}۲۴/۳۱	^{c}۱/۹۵	^{b}۱/۳۳
۱۳	^{bc}۳/۹۷	^{a}۷/۰۹	^{c}۰/۴۳۸	۳۳/۸	۵/۱۸	^{b}۵/۱۱	۴۱۵/۸۷	۲/۹۲	۶/۹۵	^{d}۲۱/۷۸	^{b}۲/۲۰	^{b}۱/۳۹
۱۴	^{d}۳/۴۶	^{a}۷/۱۰	^{gh}۰/۳۹۸	۳۳/۸	۵/۱۸	^{d}۴/۲	۳۸۳/۷۷	۲/۹۵	۷/۵۱	^{d}۲۱/۷۸	^{a}۲/۹۳	^{a}۲/۱۸
۱۵	^{bc}۳/۹۶	^{a}۷/۱۰	^{e}۰/۴۱۴	۳۳/۸	۵/۱۸	^{g}۲/۸۳	۳۸۹/۱۲	۳/۶۹	۹/۵۶	^{d}۲۱/۷۸	^{b}۲/۲۰	^{b}۱/۳۹
شاهد	^{e}۲/۲۱	^{a}۷/۱۰	^{b}۰/۴۵۵	۳۳/۸	۵/۱۸	^{e}۳/۵۰	۴۹۶/۱۲	۲/۶۹	۱۱/۲۵	^{c}۲۳/۲۵	^{b}۲/۲۰	^{a}۲/۱۸

حروف مختلف در هر ستون به معنی اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵٪ است ($p<۰/۰۵$).

تأثیر جایگزینی ساکاروز روی برخی شاخص‌های رنگ: برخی ویژگی‌های رنگی نمونه‌ها در سامانه CIELAB و با سه متغیر L^* (درخشندگی) در محدوده‌ی صفر (سیاه) تا صد (سفید)، a^* (از سبز تا قرمز) و b^* (از آبی تا زرد) با مقادیر ۱۲۰- تا ۱۲۰+ سنجیده شد. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، از لحاظ میزان L^* نمونه‌های ۱، ۶، ۷ و ۱۰ با نمونه‌ی شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند. نمونه‌های ۳، ۴، ۵، ۸، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ با میزان L^* برابر، دارای کمترین میزان L^* و نمونه‌های ۲، ۹، ۱۱ و ۱۲ دارای بیشترین میزان L^* بودند. در مورد میزان a^* نمونه‌های ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ با نمونه‌ی شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند و نمونه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۹ و ۱۲ دارای کمترین میزان a^* بودند، اما بین این نمونه‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. نمونه‌های ۱۰ و ۱۴ با میزان a^* برابر، دارای بیشترین میزان a^* بودند. از لحاظ میزان b^* نمونه‌های۱۰و ۱۴ با نمونه‌ی شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند و بیشترین میزان b^* را داشتند نمونه-های ۲، ۳ و ۸ از کمترین میزان b^* برخوردار بودند.

تأثیر جایگزینی ساکاروز روی سختی شکلات: مطابق جدول ۲ به ترتیب نمونه‌های شماره ۱، ۵، ۱۱، ۱۵، ۹، ۲ و ۳ دارای کمترین میزان سختی در میان نمونه‌های شکلات تولید شده بودند. به طوری که حتی میزان سختی آن‌ها از نمونه‌ی شاهد نیز کمتر بود. سختی نمونه‌ی ۱۰ مشابه نمونه‌ی شاهد بود. نمونه‌های شماره ۷ و ۱۲ دارای بیشترین میزان سختی بودند. نمونه‌هایی که درصد بالایی از مالتودکسترین داشتند (نمونه‌های ۱، ۲ و ۳) در مقایسه با نمونه‌های دیگر از سختی کمتری برخوردار بودند.

تأثیر جایگزینی ساکاروز روی برخی ویژگی‌های رئولوژیکی: به منظور دستیابی به بهترین و مناسب‌ترین مدل برای ارزیابی رفتار جریانی شکلات، داده‌های به دست آمده با پنج مدل بینگهام، کاسون، توان، هرشل-بالکلی و ویندهب تطابق داده شدند و ضریب تعیین (R^2)، ریشه‌ی دوم خطای میانگین از استاندارد RMSE (Root Mean Standard Error) و χ^2 برای هر مدل تعیین شد. پس از بررسی ضرایب به دست آمده چون ضریب تعیین (R^2) مدل کاسون برای همه نمونه‌ها بالای ۹۹٪ بود و بین نمونه‌ها تفاوت زیادی مشاهده نشد، این مدل به عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب شد. تناسب این مدل برای شکلات در سال ۱۹۷۳ توسط *اداره بین‌المللی کاکائو، شکلات و قنادی* International office of sugar confectionery) IOCCC cocoa, chocolate and) مورد تأیید قرار گرفته و اکنون به عنوان یک استاندارد بین‌المللی در اندازه‌گیری گرانروی شکلات از آن استفاده می‌شود (۲۵، ۲۴، ۲۱). گرانروی کاسون نمونه‌های مختلف در جدول ۲ آورده شده است. گرانروی کاسون نمونه‌های ۵ و ۹ پایین‌تر و گرانروی کاسون نمونه‌ی ۱۲ مشابه نمونه شاهد بود. از آنجا که نمونه‌های ۵، ۹ و ۱۲ به ترتیب دارای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد پلی‌دکستروز و صفر، ۲۵ و ۵۰ درصد اینولین بودند، شاید بتوان نتیجه گرفت پلی‌دکستروز و اینولین، بیشتر از مالتودکسترین موجب کاهش گرانروی شده است. کاهش گرانروی در ترکیبات حاوی اینولین و پلی‌دکستروز قبلاً نیز گزارش شده بود. نمونه‌ی ۱۵ با ۱۰۰٪ اینولین دارای بالاترین میزان گرانروی بود. میزان گرانروی کاسون برای شکلات تلخ بین ۲/۱ تا ۳/۹ پاسکال.ثانیه گزارش شده است (۲۶) که تمامی نمونه‌ها در این محدوده قرار داشتند.

تنش تسلیم یکی از ویژگی‌های مواد است که نشان دهنده‌ی حداقل تنش برشی لازم برای جریان یافتن ماده است (۲۱). مقادیر تنش تسلیم محاسبه شده برای نمونه‌های مورد آزمون در جدول ۲ آورده شده است. تنش تسلیم کاسون برای شکلات تلخ بین ۴ تا ۳۲ پاسکال گزارش شده است (۲۶) که تمامی نمونه‌ها در این محدوده قرار داشتند. تقریباً تمامی نمونه‌ها (به استثنای نمونه‌های ۱و ۲) دارای تنش تسلیم کمتری از نمونه شاهد بودند. پس می‌توان نتیجه گرفت که جایگزینی ساکاروز با ترکیبات جایگزین سبب کاهش تنش تسلیم شده است. کمترین تنش تسلیم به ترتیب مربوط به نمونه‌های ۵، ۸ و ۱۲ بود. چون نمونه‌ی ۵ دارای ۱۰۰٪ و نمونه‌های ۸ و ۱۲ دارای ۵۰٪ پلی‌دکستروز بودند، می‌توان نتیجه گرفت پلی‌دکستروز بیش از دو ترکیب دیگر سبب کاهش تنش تسلیم شده است. بیشترین تنش تسلیم مربوط به نمونه‌های ۱ و ۲ بود که به ترتیب دارای ۱۰۰ و ۷۵ درصد مالتودکسترین بودند.

تأثیر جایگزینی ساکاروز روی برخی ویژگی‌های حسی: نتایج حاصل از ارزیابی حسی نمونه‌های شکلات در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می-شود، نمونه‌های مورد بررسی و نمونه‌ی شاهد از نظر بافت، نحوه‌ی ذوب در دهان، رنگ و پذیرش کلی تفاوت‌هایی با هم دارند؛ هرچند این اختلاف در سطح ۹۵٪ معنی‌دار نیست. نوع، نسبت و ترکیب جایگزین‌های قند روی ویژگی‌های حسی تأثیر داشت، هرچند این اختلاف در سطح اطمینان مورد نظر معنی‌دار نبود. از نظر شیرینی نمونه‌های ۴ و ۱۰ دارای اختلاف معنی‌دار با نمونه‌ی شاهد بودند. چون در تمام نمونه‌ها از میزان مساوی سوکرالوز استفاده شده، تفاوت جزئی در شیرینی مواد پرکننده، احتمالاً از خطای ارزیاب‌ها ناشی شده است.

جدول ۳. مقایسه تأثیر جایگزین‌های قند بر برخی ویژگی‌های حسی نمونه‌های شکلات تلخ کم‌کالری

شماره ی نمونه	شیرینی	بافت	ذوب در دهان	رنگ	پذیرش کلی
۱	^{ab}۳/۰۷	^{a}۲/۸۶	^{a}۲/۹۳	^{a}۳/۸۶	^{a}۳/۲۱
۲	^{ab}۳/۴۳	^{a}۲/۸۶	^{a}۳/۰۷	^{a}۴/۰۰	^{a}۳/۲۱
۳	^{ab}۳/۲۹	^{a}۳/۲۱	^{a}۳/۳۶	^{a}۴/۰۷	^{a}۳/۴۳
۴	^{a}۲/۹۳	^{a}۳/۰۷	^{a}۳/۱۴	^{a}۳/۹۳	^{a}۳/۰۷
۵	^{ab}۳/۸۶	^{a}۳/۱۴	^{a}۳/۴۳	^{a}۴/۰۰	^{a}۳/۶۴
۶	^{ab}۳/۳۶	^{a}۳/۱۴	^{a}۳/۱۴	^{a}۴/۰۰	^{a}۳/۱۴
۷	^{ab}۳/۰۷	^{a}۳	^{a}۳/۲۱	^{a}۳/۹۳	^{a}۳/۳۶
۸	^{ab}۳/۴۳	^{a}۳/۳۶	^{a}۳/۷۱	^{a}۴/۱۴	^{a}۳/۵۷
۹	^{ab}۳/۰۷	^{a}۳/۰۷	^{a}۳/۵۷	^{a}۴/۰۷	^{a}۳/۲۱
۱۰	^{a}۲/۹۳	^{a}۳	^{a}۳/۲۱	^{a}۴/۰۷	^{a}۳/۱۴
۱۱	^{ab}۳/۳۶	^{a}۳/۲۹	^{a}۳/۵۰	^{a}۴/۲۱	^{a}۳/۵۰
۱۲	^{ab}۳/۰۷	^{a}۳/۱۴	^{a}۳/۳۶	^{a}۴/۰۷	^{a}۳/۲۱
۱۳	^{ab}۳/۷۱	^{a}۳/۲۹	^{a}۳/۴۳	^{a}۴/۰۰	^{a}۳/۷۱
۱۴	^{ab}۳/۳۶	^{a}۲/۸۶	^{a}۳/۲۱	^{a}۴/۲۱	^{a}۳/۲۱
۱۵	^{ab}۳/۶۴	^{a}۳/۲۱	^{a}۳/۵۷	^{a}۴/۲۱	^{a}۳/۶۴
شاهد	^{b}۴/۱۴	^{a}۳/۲۱	^{a}۳/۷۹	^{a}۴/۲۱	^{a}۳/۹۳

حروف مختلف در هر ستون به معنی اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ ٪ است (p<۰/۰۵)

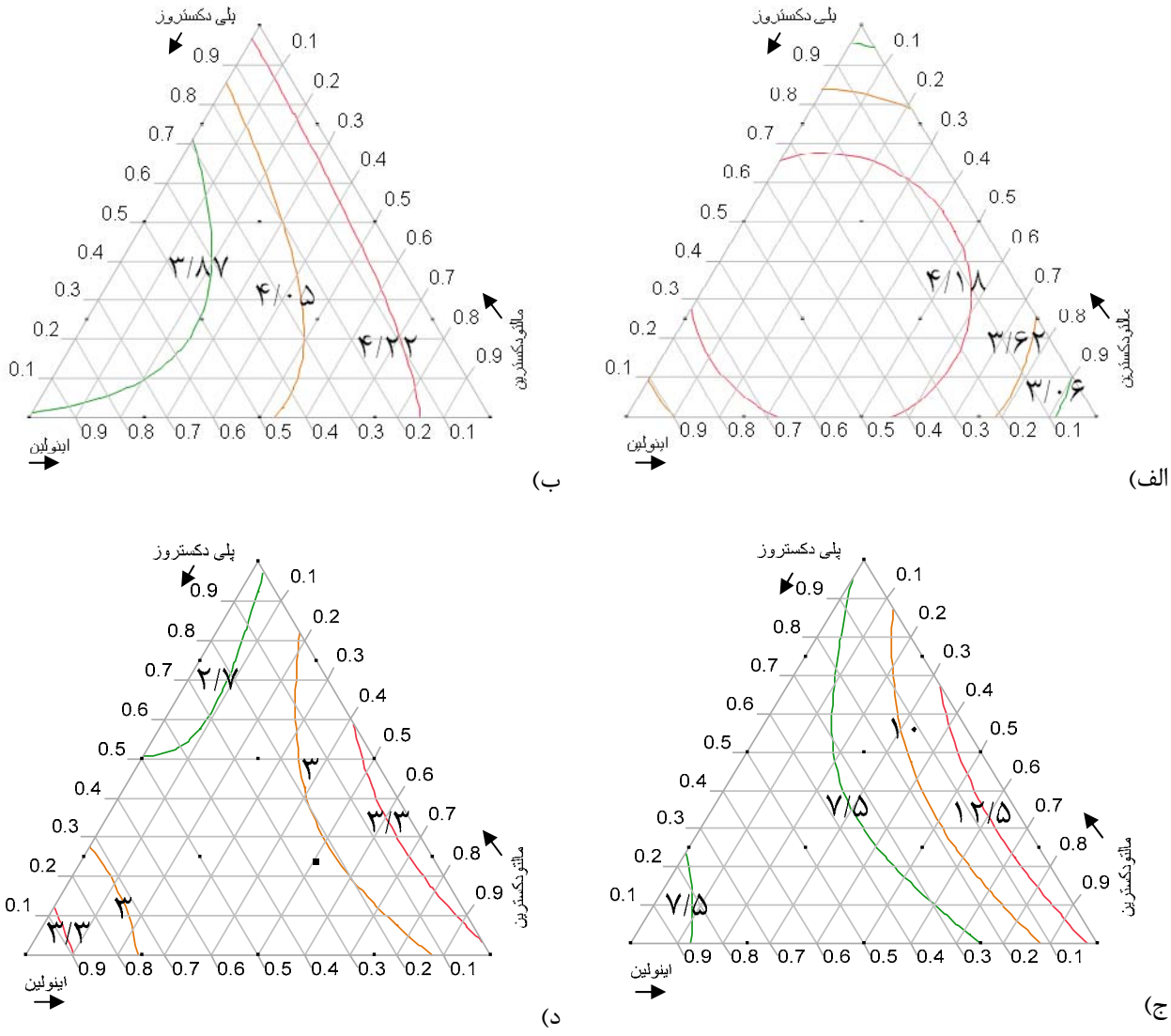
تعیین نسبت بهینه‌ی ترکیبات جایگزین قند: از میان نتایج به دست آمده چهار ویژگی سختی، رطوبت، گرانروی کاسون و تنش تسلیم به دلیل وجود اختلاف معنی‌دار در میان پاسخ‌های به دست آمده، جهت بررسی و تعیین بهترین نسبت ترکیبات جایگزین قند انتخاب شدند. معادلات پیشگویی مربوط به هریک از ویژگی‌های مورد بررسی در جدول ۴ نشان داده شده است. متأسفانه بجز گرانروی، همبستگی خوبی میان مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیشگویی شده توسط معادلات به دست آمده وجود نداشت. در میان ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، بیشترین ضریب تعیین و ضریب همبستگی مربوط به گرانروی بود که نشان‌دهنده‌ی توانایی بیشتر معادله‌ی مربوط به این ویژگی در پیشگویی روند تغییرات گرانروی نمونه‌ها با تغییر در ترکیب نمونه‌ها نسبت به سایر معادلات است. کمترین ضریب تعیین و ضریب همبستگی مربوط به سختی بود که نشان‌دهنده‌ی توانایی کمتر معادله‌ی مربوط به این ویژگی در پیشگویی روند تغییرات گرانروی نمونه‌ها با تغییر در ترکیب نمونه‌ها نسبت به سایر معادلات است.

نمودارهای کانتور مربوط به این معادلات و نمودارهای پیشگویی شده به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. لازم به یادآوری است که در هر یک از گوشه‌های نمودارهای مثلثی رسم شده، نسبت یکی از ترکیبات ۱۰۰ و ترکیب دیگر صفر درصد است. با حرکت از هر یک از رئوس به سمت جلو نسبت ترکیب موجود در این رأس کاهش می‌یابد و به صفر می‌رسد، ولی نسبت ترکیب دیگر به تدریج تا ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد. محل قرارگیری ۱۵ ترکیب شکلات آزمایشی در گوشه‌ها، روی اضلاع و در قسمت‌های مرکزی این نمودارها است. در کانتورهای سه‌تایی، درصد سه ترکیب جایگزین قند و روند تغییرات پاسخ‌های به دست آمده برای هر ویژگی توسط اعداد درج شده روی خطوط رسم شده‌ی درون کانتورها مشخص شده است (شکل ۱). نمودارهای پیشگویی روند پیشگویی حاصل از تأثیر جداگانه هریک از سه ماده‌ی جایگزین قند را در نسبت‌های مختلف مصرف شده روی ویژگی‌های مورد آزمون و حدود بالا، پایین و میانی پاسخ‌های به دست آمده نشان می‌دهد (شکل ۲).

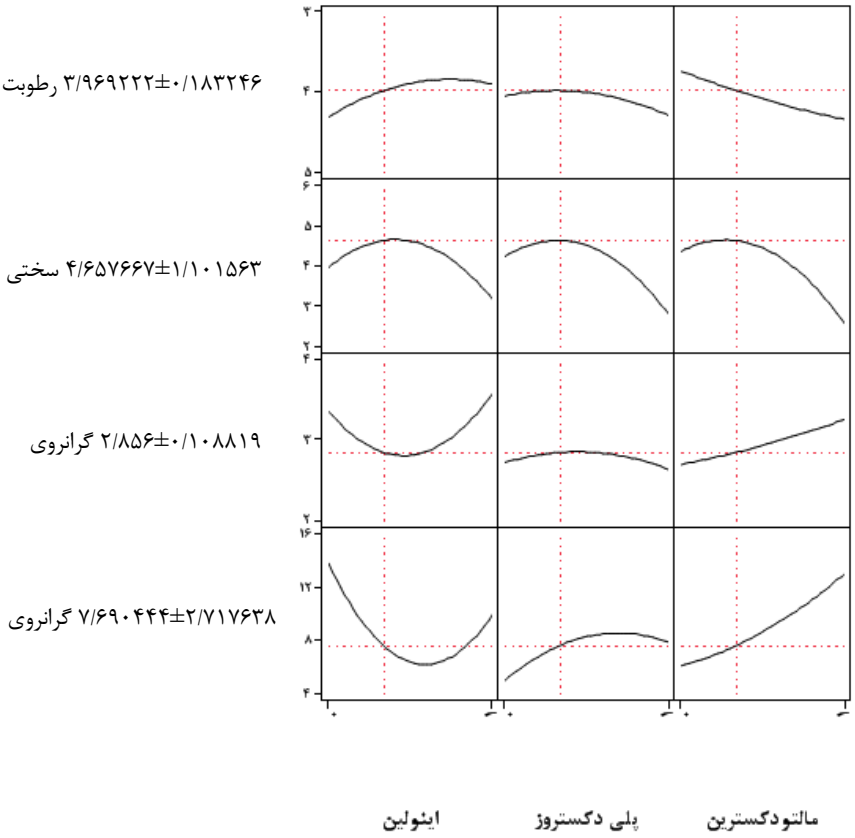
در نمودار کانتور مربوط به رطوبت (شکل ۱. الف) بیشترین رطوبت در نسبت‌های بالای مالتودکسترین سپس پلی‌دکستروز و اینولین و کمترین میزان رطوبت در مقادیر بالای اینولین و متوسط پلی‌دکستروز دیده شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، با افزایش میزان رطوبت، سختی نمونه‌ها کاهش و با کاهش آن، سختی نمونه‌ها افزایش یافت. بیشترین افزایش رطوبت در نمونه‌های حاوی مالتودکسترین بالا دیده شد به بیان دیگر خصوصیت جذب رطوبت مالتودکسترین در میان سه ترکیب فوق، بیشتر بود (شکل ۲).

جدول۴. معادلات پیشگویی برخی ویژگی‌های شکلات تلخ کم‌کاری بر اساس نسبت‌های مختلف جایگزین قند

ویژگی مورد آزمون	معادلات پیشگویی	r	r^2
رطوبت	$y = ۳/۸۸x_1 + ۴/۲۸x_2 + ۴/۳۲x_3 - ۱/۴۲x_1x_2 - ۰/۲۹x_1x_3 - ۰/۰۵\ x_2x_3$	۰/۶۸	۰/۴۹
سختی	$y = ۳/۱۸x_1 + ۲/۸۱x_2 + ۲/۵۷x_3 + ۵/۵۴x_1x_2 + ۵/۴۸x_1x_3 + ۵/۱۸\ x_2x_3$	۰/۳۳	-۰/۰۴
گرانروی	$y = ۳/۵۹x_1 + ۲/۴۶x_2 + ۳/۲۶x_3 - ۱/۶۴x_1x_2 - ۲/۸۰x_1x_3 + ۱/۶۴\ x_2x_3$	۰/۹۲	۰/۸۸
تنش تسلیم	$y = ۱۰x_1 + ۷/۹۱x_2 + ۱۳/۰۷x_3 - ۱۱/۱۴x_1x_2 - ۲۵/۷۲x_1x_3 + ۱۳/۰۷\ x_2x_3$	۰/۶۶	۰/۴۶



شکل ۱. نمودارهای کانتور سه‌تایی مربوط به تأثیر جایگزین‌های قند روی الف) رطوبت، ب) سختی، ج) گرانروی کاسون و د) تنش تسلیم شکلات تلخ کم‌کالری



شکل ۲. نمودارهای پیشگویی مربوط به تأثیر نسبت‌های مختلف جایگزین‌های قند روی رطوبت، سختی، گرانروی کاسون و تنش تسلیم شکلات تلخ کم‌کالری

همان‌طور که در نمودار کانتور مربوط به سختی (شکل ۱. ب) مشاهده می‌شود کمترین میزان سختی در نسبت‌های بالای مالتودکسترین و سپس پلی‌دکستروز و اینولین و بیشترین میزان سختی در نسبت‌های میانی هر یک از این ترکیبات دیده می‌شود. نمودار پیشگویی مربوط به سختی، نشان می‌دهد که افزایش اینولین تا حدود ۵۰٪ سبب افزایش سختی نمونه‌های شکلات می‌شود، ولی افزایش بیشتر به تدریج باعث کاهش سختی نمونه‌های شکلات شد. در مورد مالتودکسترین و پلی‌دکستروز این کاهش قبل از نسبت ۵۰٪ رخ داد و کاهش بیشتری در سختی نمونه‌ها مشاهده شد که احتمالاً دلیل آن جاذب‌الرطوبه بودن بیشتر این ترکیبات نسبت به اینولین است.

در نمودار کانتور مربوط به گرانروی کاسون (شکل ۱. ج) بیشترین گرانروی کاسون در نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای اینولین و مالتودکسترین و کمترین گرانروی کاسون در نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای پلی‌دکستروز دیده شد.

در نمودار کانتور مربوط به تنش تسلیم (شکل ۱. د) بیشترین تنش تسلیم در نسبت‌های بالای مالتودکسترین و سپس پلی‌دکستروز و اینولین و کمترین تنش تسلیم در نسبت‌های میانی این ترکیبات دیده شد.

مقادیر بهینه: محدوده‌ی پذیرش برای هریک از ویژگی‌های مورد آزمون (رطوبت، سختی، گرانروی کاسون و تنش تسلیم) با استفاده از معادلات پیشگویی (جدول ۴) محاسبه شد که به ترتیب ۴/۰۵، ۳/۶۲، ۳ و ۱۰ بود. برای به دست آوردن بهترین نسبت‌های جایگزین قند برای هر چهار ویژگی مورد آزمون، نمودارهای کانتور در محدوده‌های ذکر شده با یکدیگر ادغام شدند. بر اساس نمودارهای کانتور ادغام شده، مقادیر بهینه‌ی اینولین برابر با ۰ تا ۶٪ و ۱۱ تا ۱۵٪، پلی‌دکستروز ۲۲ تا ۳۸٪ و ۶۴ تا ۷۹٪ و مالتودکسترین ۲۱ تا ۳۱٪ و ۶۲ تا ۷۷٪ است. بر اساس این نتایج، نمونه‌های دارای نسبت‌های پایین اینولین و نسبت‌های میانی پلی‌دکستروز و مالتودکسترین از ویژگی‌های مطلوبی برخوردار بودند. البته، باید توجه داشت که به دلیل پیچیدگی رفتار نمونه‌های تولیدی (به عنوان مثال، افزایش یک ترکیب و کاهش یک ترکیب هر دو سبب افزایش رطوبت شد) معادلات پیشگویی به طور مناسب قادر به

توضیح رفتار این نمونه‌ها نیست جدول ۴ نیز مؤید این نکته است. زیرا همان‌طور که دیده می‌شود، ضرایب تعیین و همبستگی کمی برای معادلات پیشگویی به دست آمده است. از میان ۱۵ نمونه‌ی شکلات تلخ کم‌کالری آزمایشی تهیه شده نمونه‌های ۲، ۳ و ۴ در محدوده‌ی نسبت‌های بهینه‌ی به دست آمده قرار داشتند.

• بحث

تأثیر افزودن اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین بر رطوبت و فعالیت آبی: افزایش اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین موجب افزایش رطوبت نمونه‌های شکلات تولیدی نسبت به نمونه شاهد شد (جدول ۲). احتمالاً این مسئله به دلیل جاذب‌الرطوبه بودن اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین و جذب رطوبت در مرحله‌ی ورز دادن و سایر مراحل تولید شکلات بوده است. بیشترین میزان رطوبت، به ترتیب در نمونه های دارای نسبت های بالای مالتودکسترین، پلی دکستروز و اینولین دیده شد که نشان می دهد میان سه ترکیب جایگزین قند استفاده شده به ترتیب، مالتودکسترین و پلی دکستروز در نسبت بالا بیشترین ظرفیت نگهداری رطوبت را دارند. نتایج نشان داده شده در جدول ۲ نیز مؤید این موضوع است. مالتودکسترین دارای ویژگی آب‌دوستی است. این ویژگی به نوع و میزان ساکاریدهای با وزن ملکولی پایین موجود در مالتودکسترین بستگی دارد (۲۷). در مطالعات مختلف به ویژگی جاذب‌الرطوبه بودن پلی‌دکستروز اشاره شده است (۲۸، ۱۷). به ویژگی جاذب‌الرطوبه بودن اینولین نیز در بررسی‌های مختلف اشاره شده است. در بررسی‌های انجام شده روی تأثیر کاربرد D- تاگاتوز و اینولین بر ویژگی‌های شکلات ساده و شیری و بررسی دیگری روی نوعی شیرینی کم‌چرب حاوی اینولین نیز نتایج نشان داد نمونه‌های حاوی اینولین رطوبت بالاتری داشتند (۲۹، ۱۵).

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، تمامی نمونه‌ها (به استثنای نمونه‌ی شماره ۶) دارای فعالیت آبی کمتری از نمونه شاهد بودند. اگرچه جایگزینی ساکارز با سه ترکیب فوق سبب افزایش رطوبت نمونه‌ها شد، ولی فعالیت آبی آن‌ها نسبت به نمونه‌ی شاهد کاهش یافت. این ترکیبات به علت جاذب‌الرطوبه بودن احتمالاً با ملکول‌های آب به خوبی پیوند برقرار می‌کنند و رطوبت بیشتری را در خود نگه می‌دارند. بنابراین، سبب کاهش آب در دسترس و فعالیت آبی می‌شوند. کم بودن فعالیت آبیِ نمونه‌های دارای درصد بالای پلی‌دکستروز (نمونه‌های ۵، ۴ و ۹) نیز نشان می‌دهد که این ترکیب احتمالاً نسبت به اینولین و مالتودکسترین می‌تواند رطوبت بیشتری را حفظ کند.

تأثیر افزودن اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین بر رنگ: از لحاظ متغیرهای رنگ بین نمونه‌ها تفاوت‌هایی دیده می‌شود. از آن جاکه تمامی نمونه‌ها اساساً تحت شرایط یکسان تولید شدند، بعید است که این تفاوت‌ها ناشی از متغیرهای فرایند و تفاوت‌های ساختاری باشد. شاید بتوان تفاوت در میزان L^* را به تغییرات در ویژگی‌های سطحی به خصوص زبری شکلات نسبت داد که در اثر ترکیب اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین ایجاد می‌شود (۱۷). *Brioned* و همکاران گزارش کردند که اگر شکلات سطح صافی داشته باشد، رنگ روشن‌تری خواهد داشت (۳۰). *Afoakwa* گزارش کرده که میزان L^* به اندازه‌ی ذرات، میزان چربی و لسیتین شکلات نیز بستگی دارد (۳۱). البته، در پژوهش حاضر چربی و لسیتین مورد استفاده ثابت و برابر بود، ولی شاید اندازه‌ی ذرات دلیل تفاوت رنگ در نمونه‌ها باشد.

تأثیر افزودن اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین بر سختی: به طور کلی، سختی تیمارهای تهیه شده کمتر از نمونه شاهد بود که شاید بتوان دلیل این رفتار را به رطوبت بیشتر آن‌ها و تفاوت مقاومت جایگزین‌ها با شکر نسبت داد. کمترین میزان سختی در نسبت های بالای ترکیبات جایگزین قند و بیشترین سختی در نسبت های میانی این ترکیبات مشاهده شد. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، نمونه‌ها بادرصد بالایی از مالتودکسترین سختی کمی داشتند. که شاید ناشی از جذب رطوبت بیشتر مالتودکسترین نسبت به دو شیرین‌کننده‌ی دیگر باشد. *Aeschlimann* و *Beckett* بیان کردند که رطوبت (حتی در مقادیر بسیار پایین) سبب افزایش سختی شکلات می‌شود (۲۶) اما شاید در این‌جا آب موجود در نمونه توسط جایگزین‌های قند جذب می‌شود، در حالی‌که در گزارش فوق، افزایش سختی به علت افزایش رطوبت در دسترس بوده است. در همین ارتباط *Afoakwa* و همکاران بیان کردند که عوامل مختلفی مثل ساختار، شرایط تولید و مشروط کردن و پلی‌مورفیسم بلورهای چربی نیز سختی شکلات را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۲۰). بنابراین، شاید بتوان تفاوت سختی نمونه‌ها با نمونه‌ی شاهد را به مرحله‌ی مشروط کردن دمایی نیز نسبت داد؛ زیرا این نمونه‌ها در شرایط آزمایشگاهی تولید شدند و چون ظرف تولید شکلات در بسته نبود، امکان کنترل دما به خوبی فراهم نشد. در پژوهش *فرزان‌مهر* در

سال ۱۳۸۶ هم کاهش سختی تأیید شد (۲۳). در پژوهشی که روی تولید نوعی شکلات شیری بدون ساکاروز با استفاده از عصاره‌ی استویا و اینولین و پلی‌دکستروز انجام شد، هم نمونه‌های حاوی اینولین نسبت به نمونه‌ی شاهد سختی کمتری داشتند (۱۷).

تأثیر افزودن اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین بر ویژگی‌های رئولوژیکی: به طورکلی، گرانروی کاسون اکثر نمونه‌ها از نمونه‌ی شاهد بیشتر بود. همان‌طور که دیده می‌شود نمونه دارای ۱۰۰ درصد اینولین بالاترین گرانروی کاسون را داشت. این گرانروی بالا به دلیل جاذب‌الرطوبه بودن اینولین و اتصال به ملکول‌های آب است که از کاهش رطوبت در مرحله‌ی ورزدادن و سایر مراحل تولید شکلات جلوگیری می‌کند. همان‌طور که قبلاً دیده شد، این نمونه رطوبت بالایی هم داشت. اما نسبت‌های پایین اینولین سبب کاهش گرانروی کاسون شد. در سایر مطالعات نیز اینولین در نسبت‌های بالا سبب افزایش و در نسبت‌های پایین سبب کاهش گرانروی شد (۲۶، ۱۵). نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای مالتودکسترین گرانروی بالایی داشتند. افزایش گرانروی در ترکیبات دارای مالتودکسترین نیز قبلاً گزارش شده بود (۳۲). علاوه بر ویژگی جاذب‌الرطوبه بودن مالتودکسترین که ممکن است یکی از دلایل گرانروی بالاتر این نمونه‌ها باشد، دلیل دیگر این امر ممکن است پدیده‌ی تجمع تخلیه‌ای در نسبت‌های بالای مالتودکسترین باشد. *Klinkesorn* و همکاران در تحقیق روی پایداری امولسیون‌های روغن ذرت در آب حاوی مالتودکسترین نشان دادند که مالتودکسترین در غلظت‌های بالاتر از غلظت بحرانی سبب افزایش گرانروی می‌شود. آن‌ها علت این پدیده را تجمع تخلیه‌ای (Depletion flocculation) ذکر کردند. زیرا زمانی که ذرات تجمع پیدا می‌کنند، گرانروی به دلیل درگیر شدن فاز پیوسته در میان ذرات توده شده افزایش می‌یابد. در بررسی اخیر هم به نظر می‌رسد که غلظت بحرانی در حدود ۵۰٪ است (۳۳). پلی‌دکستروز در نسبت‌های بسیار زیاد سبب کاهش اما به طور کلی سبب افزایش گرانروی شد. علاوه بر خاصیت جاذب‌الرطوبه بودن این ماده، در تحقیق روی ویژگی های رئولوژیکی سامانه‌های حاوی جایگزین‌های قند، دلیل دیگر افزایش گرانروی ناشی از پلی‌دکستروز، وزن ملکولی بالای این ترکیب بیان شده است (۲۳).

تنش تسلیم نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای مالتودکسترین و پلی‌دکستروز از نمونه‌ی شاهد بیشتر بود. دلایل افزایش تنش تسلیم را می‌توان عواملی مانند جاذب الرطوبه بودن ترکیبات جایگزین قند، وزن ملکولی بالا و پدیده‌ی تجمع تخلیه‌ای عنوان کرد (۲۳). تنش تسلیم بقیه‌ی نمونه‌ها کمتر از نمونه‌ی شاهد بود. شاید علت کاهش تنش تسلیم نمونه‌های شکلات در پژوهش حاضر همانند برخی گزارش‌های موجود (۳۴، ۲۳) به متفاوت بودن شکل ذرات ترکیبات جایگزین قند با شکل ذرات ساکارز بعد از آسیاب کردن آن‌ها مربوط شود.

حدود۴۰ تا ۵۰ درصد از ذرات جامد معلق در چربی موجود در شکلات را ساکارز تشکیل می‌دهد و ویژگی‌های عملکردی آن شامل شیرینی، پایداری، توزیع اندازه‌ی ذرات و اثر آن بر بافت و ویژگی‌های رئولوژیکی محصول در تولید شکلات اهمیت ویژه‌ای دارد (۷). بنابراین، شاید بتوان یکی از دلایل اختلاف ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه‌های تولیدی با نمونه شاهد را به نبودن ساکارز نسبت داد. هم‌چنین، عواملی مانند میزان چربی، توزیع اندازه‌ی ذرات، امولسیفایرها، میزان رطوبت، زمان ورزدادن و دما ویژگی‌های رئولوژیکی شکلات را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۷) که ممکن است بخشی از اختلاف‌های دیده شده در ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه‌ها در این بررسی هم ناشی از این عوامل به‌ویژه توزیع اندازه‌ی ذرات و میزان رطوبت باشد. دلیل دیگر تفاوت ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه‌ها با نمونه‌ی شاهد، بالا بودن رطوبت آن‌هاست. همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد، چون نمونه‌ها در شرایط آزمایشگاهی تهیه شدند و دسترسی به تجهیزات صنعتی ممکن نبود، احتمالاً در مرحله‌ی ورزدادن رطوبت نمونه‌ها به خوبی خارج نشده است.

تأثیر افزودن اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین بر ویژگی‌های حسی: از لحاظ ویژگی‌های حسی، نمونه‌های مورد بررسی و نمونه‌ی شاهد از نظر بافت، نحوه‌ی ذوب در دهان، رنگ و پذیرش کلی تفاوت‌هایی با هم داشتند؛ هرچند این اختلاف در سطح ۹۵٪ معنی‌دار نبود. ویژگی‌های رئولوژیکی، اندازه‌ی ذرات، ترکیب ساختاری و بافت شکلات از مهم‌ترین عوامل موثر بر ویژگی‌های حسی شکلات هستند (۹) به طوری که شکلات با گرانروی بالا احساس دهانی خمیری دارد و در دهان ایجاد چسبندگی و ماسیدگی می‌کند (۲۰). گرانروی شکلات بر مدت زمانی هم که طول می‌کشد تا ذرات جامد شکلات به گیرنده‌های چشایی برسد، تأثیر دارد (۳۵).

نسبت‌های بهینه‌ی اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین: با توجه به نمودارهای کانتور ادغام شده (شکل ۱) و نسبت‌های بهینه به دست آمده، نمونه‌های دارای نسبت‌های پایین اینولین و نسبت‌های میانی پلی‌دکستروز و مالتودکسترین ویژگی‌های مطلوبی داشتند. البته، باید توجه داشت که به دلیل پیچیدگی رفتار نمونه‌های تولیدی (به عنوان مثال، افزایش یک ترکیب و کاهش یک ترکیب هر دو سبب افزایش رطوبت شد) معادلات پیشگویی به طور مناسب قادر به توضیح رفتار این نمونه‌ها نیست جدول ۴ نیز مؤید این نکته است.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج این پژوهش، اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، مکانیکی، رئولوژیکی و حسی نمونه‌های شکلات تلخ کم‌کالری داشتند. نمونه‌های دارای میزان بالای مالتودکسترین بیشترین رطوبت و کمترین سختی را در میان نمونه‌ها نشان دادند. از بین مدل‌های ریاضیِ ارزیابی شده جهت پیشگویی ویژگی‌های رئولوژیکی شکلات، مدل کاسون مناسب‌ترین مدل برای این منظور تشخیص داده شد. در ضمن، طراحی ترکیبی لاتیس ساده برخلاف قابلیت استفاده از آن در شکلات شیری (۲۲) روش چندان مناسبی برای یافتن ترکیب بهینه‌ی اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین به منظور جایگزینی قند در تولید شکلات تلخ کم‌کالری تشخیص داده نشد. هم‌چنین، با استفاده از یافته‌های تحقیق حاضر می‌توان شکلات تلخ کم‌کالری پری‌بیوتیکی تولید کرد که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، مکانیکی، رئولوژیکی و حسی مطلوبی مشابه نمونه شکلات تهیه شده با شکر داشته باشد این فراورده ضمن برطرف کردن نیاز افراد مبتلا به دیابت، بیماری‌های قلبی عروقی و سرطان دستگاه گوارش، فراورده‌ای بسیار مفید برای همه‌ی افراد جامعه و مناسب برای جلوگیری از رشد بی‌رویه‌ی چاقی در جامعه است.

سپاسگزاری

نگارندگان به این وسیله مراتب سپاس خود را از مسئولان محترم شرکت‌های *Sensus* ، *Danisco* و *کارخانه شکلات باراکا* به جهت تامین برخی مواد مورد نیاز جهت انجام این پژوهش اعلام می‌دارند.

• References

1. Kroger M, Meister K, Kava R. Low-calorie sweeteners and other sugars: a review of the safety issues. Compr Rev Food Sci F 2006; 5 :35–47.
2. Sandrou DK, Arvanitoyannis IS. Low-fat/calorie foods: current state and perspectives. Crit Rev Food Sci Nutr 2000; 40(5): 427–47.
3. Rapaille A, Gonze M, Van Der Schueren F. Formulating sugar-free chocolate products with maltitol. Food Technol 1995; 49 (7): 51–4.
4. Stibich M. Health benefits of chocolate. Available at: http://www.longevity.about.co.com/od/lifelongnutrition/p/chocolate.htm. Accessed on 2013.
5. Beck L. The health benefits of dark chocolate. Available at: http://www.lesliebeck.com/ingredients/chocolate. Accessed on 2013.
6. Nebesny E, Żyżelewicz D, Motyl I, Libudzisz Z. Properties of sucrose–free chocolates enriched with viable lactic acid bacteria. Eur Food Res Technol 2005; 220: 358–62.
7. Sokmen A, Gunes G. Influence of some bulk sweeteners on the rheological properties of chocolate. LWT Food Sci Technol 2006; 39: 1053–58.
8. Medeiros de Melo LLM, Bolini HMA, Efraim, P. Sensory profile, acceptability, and their relationship for diabetic/ reduced calorie chocolates. Food Qual Prefer 2009; 20: 138–43.
9. Afoakwa EO, Paterson A, Fowler M. Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate. Trends Food Sci Technol 2007; 18(6): 290–98.
10. Niness KR. Inulin and oligofructose: what are they? J Nutr 1999;129 suppl 7: S1402–6.
11. Flood MT, Auerbach MH, Craig SAS. A review of the clinical toleration studies of polydextrose in food. Food Chem Toxic 2004; 42: 1531−42.
12. Whelan AP, Vega C, Kerry JP, Goff HD. Physicochemical and sensory optimisation of a low glycemic index ice cream formulation. Int J Food Sci Technol 2008; 43:1520–7.
13. Grice HC, Goldsmith LA. Sucralose-an overview of the toxicity data. Food Chem Toxico 2000; 38 Suppl 2: S1–6.

14. Goldsmith LA. Acute and subchronic toxicity of sucralose. Food and Chem Toxicol 2000; 38 Suppl 2: S53–69.

15. Shourideh M, Taslimi A, Azizi MH, Mohammadifar MA, Mashayekh M. Effects of D-Tagatose , inulin and stevia as sugar substitutes on the physical, chemical, rheological and sensory properties of dark chocolate. Iranian J Nutr Sci Food Technol 2010; 5 (3) :29–38[in Persian].

16. Farzanmehr H, Abbasi S, Sahari MA. Effect of sugar replacer on some physicochemical, rheological and sensory properties of milk chocolate. Iranian J Nutr Sci Food Technol 2008; 3(3):65–82[in Persian].

17. Shah AB, Jones GP, Vasiljevic T.Sucrose-free chocolate sweetened with Stevia rebaudiana extract and containing different bulking agents — effects on physicochemical and sensory properties. Int J Food Sci Technol 2010; 45: 1426–35.

18. Keogh, MK. Murray, CA, O'Kennedy, BT. Effect of selected properties of ultrafiltered spray-dried milk powders on some properties of chocolate. Int Dairy J 2003; 13: 719–726.

19. AOAC Official Methods of Analysis, 17th ed; 2002.

20. Afoakwa EO, Paterson A, Fowler M, Vieira J. Particle size distribution and compositional effects on textural properties and appearance of dark chocolates. J Food Eng 2008 ; 87: 181–90.

21. Barnes HA. Handbook of elementary rheology. Translated by Abbasi S. Tehran: Marzedanesh Publications; 2008 [In Persian].

22. Abbasi S, Farzanmehr H. Optimization of the formulation of prebiotic milk chocolate based on rheological properties. Food Technol Biotechnol 2009; 47 (4): 396–403.

23. Farzanmehr H, Abbasi S. Effects of inulin and bulking agents on some physicochemical, textural and sensory properties of milk chocolate. J Texture Stud 2009; 40: 536–53.

24. Bourne, MC. Food texture and viscosity: Concept and measurement. 2nd ed. Translated by Abbasi S. Tehran: Marzedanesh Publications; 2007 [In Persian].

25. Chevalley J. Traditional chocolate making, In: Beckett, ST editor. Industrial chocolate manufacture and use. London: Blackie Academic and Professional; 1994.

26. Aeschlimann JM, Beckett ST. International interlaboratory trials to determine the factors affecting the measurement of chocolate viscosity. J Texture Stud 2000; 31: 541−76.

27. Zheng M, Jin Z, Zhang Y. Effect of cross-linking and esterification on hygroscopicity and surface activity of cassava maltodextrins. Food Chem 2007; 103: 1375–9.

28. Huda N, Leng OH, Nopianti R. Cryoprotective effects of different levels of polydextrose in threadfin bream surimi during frozen storage. J Fish Aquat Sci 2011; 10: 1–13.

29. Devereux HM, Jones GP, McCormax L, Hunter WC. Consumer acceptability of low fat foods containing inulin and oligofructose. J Food Sci 2003; 68(5): 1850–54.

30. Briones V, Aguilera JM Brown C. Effect of surface topography on color and gloss of chocolate samples. J Food Eng 2006; 77: 776–83.

31. Afoakwa, E.O. Chocolate science and technology. 1st ed. Oxford, Wiley-Blackwell Publishers, Inc: 2010.

32. Udomrati S, Ikeda Sh, Gohtani Sh. The effect of tapioca maltodextrins on the stability of oil-in-water emulsions. Starch 2011; 63: 347–353

33. Klinkesorn U, Sophanodora P, Chinachoti P, McClements DJ. Stability and rheology of corn oil in water emulsions containing maltodextrin. Food Res Intl 2004; 37: 851–9.

34. Nebesny E, Żyżelewicz D. Effect of lecithin concentration on properties of sucrose-free chocolate masses sweetened with isomalt. Eur Food Res Technol 2005; 220: 131–5.

35. Beckett ST. The science of chocolate. 1st ed. Cambridge, RSC Paperbacks: 2000.

Production of low-energy prebiotic dark chocolate using inulin, polydextrose, and maltodextrin

Bitaraf Sh[1], Abbasi S[2], Hamidi Z[3]*

1- MSc in Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

*2-*Corresponding author: Associate Prof, Dept. of Food Science and Technology (Food Colloids and Rheology Group), Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: sabbasifood@modares.ac.ir*

3- Associate Prof, Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Received 24 Jun, 2012 **Accepted 16 Oct, 2012**

Background and Objective: Chocolate is one of the most popular food products, which, despite its desirable nutritional and health effects, can cause health risks/problems in consumers due to its high energy content. One way to reduce these risks/problems is to replace the sucrose with low-energy prebiotic compounds.The objective of the present study wasto explore the possibility of replacing sucrose with inulin, polydextrose, and maltodextrin in producing a low-energy dark chocolate with prebiotic properties using a Simplex Lattice Mixture Design.

Materials and Methods: Sucralose (an artificial sweetener substituted for sucrose), was used along with inulin (a prebiotic), polydextrose and maltodextrin (bulking agents) with different ratios (0, 25, 50, 75 and 100%) to produce samples of a dark chocolate. The physicochemical (pH, water activity, and moisture, fat, and protein contents), mechanical and rheological (hardness, viscosity and yield value), as well as sensory (sweetness, firmness, mouth coating, and color) properties of the samples were examined.

Results: The results showed that chocolate samples containing high levels of sugar substitutes had the highest moisture content and viscosity, as well as lower hardness. Out of the 5 mathematical models tested to predict the rheological characteristics of the chocolates produced, the Casson model was found to be the most suitable. There were no statistically significant differences between the treated and control samples as regards sensory characteristics. Furthermore, the results of superimposed contour plot showed optimum ranges to be 0–6% and 11–15% for inulin, 22–38% and 64–79% for polydextrose and 21–31% and 62–77% for maltodextrin.

Conclusion: The findings show that a low-energy dark chocolate with prebiotic functional food properties can be produced using a low-energy sweetener (substituted for sucrose) and bulking agents (to improve rheological and sensory properties). Such a chocolate can compete with ordinary dark chocolate and can be consumed by children, adults and dieters with little restriction.

Keywords: Dark chocolate, Inulin, Polydextrose, Maltodextrin, Rheology, Prebiotic