

ارزیابی تاثیر جایگزین‌های قند روی برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، رئولوژیکی و حسی شکلات شیری

حنانه فرزان‌مهر^۱، سلیمان عباسی^۲، محمدعلی سحری^۳

۱- دانشآموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- نویسنده مسئول: استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس پست الکترونیکی: sabbasifood@modares.ac.ir

۳- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ پذیرش: ۸۷/۸/۲۵

تاریخ دریافت: ۸۷/۶/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: یکی از مشکلات عمدۀ ناشی از مصرف شکلات، میزان قند بالای آن است. به همین منظور، تاکنون تلاش‌های زیادی برای جایگزینی قند در شکلات صورت گرفته است که اغلب آنها به دلیل اثرات بافتی و گوارشی نامطلوب چندان مورد استقبال قرار نگرفته‌اند در این پژوهش تولید نوعی شکلات شیری کم‌کالری با ویژگی‌های پربایوپتیک به کمک طرح ترکیبی لاتیس ساده (Simplex Lattice Mixture Design) بررسی شد.

مواد و روش‌ها: از اینولین به عنوان ترکیب پربایوپتیک همراه با پلی‌دکستروز، مالتودکسترن و سوکرالوز به منظور جایگزینی قند در شکلات استفاده شد. شکلات‌های تولیدی از نظر برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، مکانیکی، رئولوژیکی و حسی، مورد بررسی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای ترکیبات جایگزین قند در مقایسه با سایر نمونه‌ها، رطوبت، گرانزوی و تنش تسلیم بیشتر و سختی کمتری داشتند. کمترین رطوبت، گرانزوی و تنش تسلیم و بیشترین سختی در نسبت‌های میانی این ترکیبات دیده شد. از بین ۴ مدل ریاضی ارزیابی شده، مدل کاسون مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی ویژگی‌های رئولوژیکی شکلات تشخیص داده شد. پذیرش کلی نمونه‌ها با افزایش میزان اینولین و پلی‌دکستروز افزایش و با افزایش مالتودکسترن، کاهش یافت. ادغام نمودارهای کانتور نشان داد که نسبت بهینه اینولین ۰/۳۰-۰/۳۰-۰/۲۸-۰/۲۸-۰/۵۸-۰/۴۸-۰/۶۷-۰/۸۶٪ و پلی‌دکستروز ۰/۴۸٪ مالتودکسترن ۰/۳۰٪ بود. نتایج حاصل از کاهش چربی هم نشان‌دهنده امکان کاهش چربی تا میزان ۵٪ در نتیجه، کاهش میزان کالری تا حدود ۲۹٪ در شکلات‌های تولید شده بود.

نتیجه‌گیری: طرح ترکیبی لاتیس ساده، برای یافتن ترکیب بهینه اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترن به منظور جایگزینی قند و تولید شکلات شیری کم‌کالری پربایوپتیک با ویژگی‌های مشابه شکلات معمولی، روش مناسبی تشخیص داده شد.

وازگان کلیدی: شکلات پربایوپتیک، رئولوژی، اینولین، پلی‌دکستروز، مالتودکسترن

• مقدمه

شکلات یک منبع انرژی با سوخت و ساز سریع و هضم خوب است. طعم و بافت منحصر به فرد شکلات و ایجاد احساس لذت پس از خوردن، از دلایل عمدۀ مصرف رو به رشد آن است (۱). ولی یکی از مشکلات عمدۀ در زمینه استفاده از شکلات، میزان قند بالای این ماده غذایی است که بسته به نوع شکلات در حدود ۳۵ تا ۵۰٪ می‌باشد (۲). تاکنون، کارهای زیادی به منظور کاهش یا جایگزینی قند در شکلات صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به این موارد اشاره کرد: سوربیتول و سیکلامات (۳)، زایلتول و پلی‌دکستروز (۴)، مالتیتول به تنها‌یی و به صورت

امروزه، اهمیت مسائل مربوط به سلامت و تغذیه و تقاضای عمومی مصرف کنندگان سبب تولید رو به رشد محصولات کم‌کالری، کم‌چرب و با محتوای شکر کم شده است (۱). مصرف کمتر مواد قندی برای بیماران دیابتی، کنترل وزن و جلوگیری از خرابی دندان همواره توصیه می‌شود (۲) و تاکنون، جایگزین‌های قندی مختلفی برای استفاده در مواد غذایی گوناگون پیشنهاد شده‌اند که از آن جمله می‌توان به شیرین‌کننده‌های مصنوعی، قندهای الکلی، پلی‌ال‌های دو قندی و نئوشوگرهای (neosugars) اشاره کرد (۳).

با توجه به این مطالب، هدف مطالعه حاضر، بررسی امکان جایگزین کردن قند شکلات با سه ترکیب اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترنین همراه با شیرین کننده سوکرالوز و تولید شکلات شیری کم‌کالری با ویژگی‌های پرپرایوتیک با استفاده از طرح ترکیبی لاتیس ساده به منظور دستیابی به نسبت بهینه این ترکیبات بود. در ضمن، تأثیر این ترکیبات روی برخی ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی، مکانیکی، رئولوژیکی و حسی شکلات‌های کم‌کالری و یافتن مدل رئولوژیکی مناسب نیز ارزیابی شد.

• مواد و روش‌ها

مواد: پودر کاکائو ساخت شرکت *Delfi* (Johor Darul Takzim, Malaysia)، کره کاکائو ساخت شرکت *Cargill* (Kuala Lumpur, Malaysia) خشک بدون چربی ساخت شرکت بینا رزن (رزن، ایران)، لسیتین تولید شرکت *ADM* (Illinois, USA)، ساکارز از شرکت سهامی قند و شکر ایران و پودر وانیل از سوپر مارکتی در تهران تهیه شدند. اینولین IQ *Frutafit* مخصوص (Roosendaal, Netherlands) *Cosun-Sensus* شرکت پلی‌دکستروز *LitessUltra* ساخت شرکت *Danisco* (Bönningstedt, Germany) دارای معادل دکستروز (DE) ۱۸ ساخت شرکت *SCT* (Bangkok, Thailand) و سوکرالوز *Splenda* (Alabama, USA) *Tate&Lyle* شرکت استفاده شده در این تحقیق، روغن نباتی لادن طلایی محصول شرکت صنعتی بهشهر (تهران، ایران) بود.

آماده‌سازی مواد: شیرخشک، اینولین، پلی‌دکستروز، مالتودکسترنین و شکر توسط آسیاب خانگی (*Cogen*) ساخت ژاپن خرد شد. پس از عبور از سری الک‌های آزمایشگاهی با اندازه مشاهی ۵۳، ۴۸، ۳۸ و ۲۰ میکرومتر، مواد باقیمانده در فاصله ۳۸-۲۰ میکرومتر برای انجام آزمایش‌ها استفاده شدند.

تهیه نمونه‌های شکلات: برای تهیه نمونه‌های ۱۰۰ گرمی شکلات شیری کم‌کالری، نخست کره کاکائو (۲۲ گرم) را در آون 60°C ذوب شد. سپس، پودر کاکائو (۱۱/۸۶ گرم)، جایگزین‌های قند شامل اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترنین را به تنها یا به شکل ترکیب با یکدیگر

ترکیبی با پلی‌دکستروز و اینولین (۵)، پلی‌دکستروز و آسپارتام (۸)، لاکتیتول و آسپارتام (۹)، ترکیب سه شیرین کننده حجم‌دهنده ایزومالت، زایلتول و مالتیتول (۱۰) و ترکیب اینولین، پلی‌دکستروز، مالتودکسترنین، سوکرالوز و آس‌سولفام K (۱۱) اشاره نمود.

مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که می‌توان از ترکیب مواد شیرین کننده با مواد پرپرایوتیک مانند اینولین به منظور توسعه محصولات رژیمی با ویژگی‌های مفید تغذیه‌ای استفاده کرد. اینولین، کربوهیدراتی مشتق شده از گیاهان، بسپاری غیرمنشعب از فروکتان با پیوند $\alpha \rightarrow \beta$ و یک مولکول گلوکز در انتهای زنجیر فروکتوز با اتصال $\beta \rightarrow \alpha$ است که در گیاهان مختلفی مانند مارچوبه، سیر، تره‌فرنگی، پیاز، کنگرفرنگی و کاسنی یافت می‌شود. اینولین از فیبرهای غذایی قابل تخمیر است و به بهبود عملکرد روده کمک می‌کند، نقش بیفیدیوژنیک (bifidiogenic) و پرپرایوتیک (prebiotic) دارد، جذب کلسیم را افزایش می‌دهد، در افراد دارای چربی بالا سبب کاهش تری‌گلیسریدها می‌شود و به ازای هر ۵ گرم ۱/۵ کیلوکالری انرژی تولید می‌کند (۱۲).

پلی‌دکستروز نیز بسپاری از گلوکز با اتصالات عرضی تصادفی است که دارای ویژگی‌های کاربردی شبیه ساکارز، ولی با محتوای انرژی ۱ کیلوکالری به ازای هر ۵ گرم است (۱). کالری کم این ترکیب به دلیل هضم ضعیف آن در روده کوچک و تخمیر ناقص آن در روده بزرگ است که سبب پذیرش آن به عنوان فیبر غذایی در بسیاری از کشورها شده است (۱۳).

مالتودکسترنین نیز بسپاری از گلوکز و ترکیب حجم دهنده غیرشیرینی است که از تجزیه اسیدی یا آنزیمی نشاسته، کمتر از میزان لازم برای تولید شربت نشاسته، تولید می‌شود (۱۴) و میزان معادل دکستروز (DE) آن کمتر از ۲۰ است (۱۵).

در این مطالعه برای ایجاد تعادل در میزان شیرینی از سوکرالوز استفاده شد که شیرین‌کننده‌ای با توان و کیفیت بالا، فوق العاده پایدار و دارای قدرت شیرین‌کنندگی ۶۰۰ برابر ساکارز است (۱۶).

ته صاف ۱/۶ میلی‌متری و سرعت نفوذ ۱/۵ میلی‌متر بر ثانیه مورد آزمون نفوذ قرار گرفت و نیروی حداکثر در عمق ۶ میلی‌متری به عنوان شاخص سختی گزارش شد (۲۰).
اندازه‌گیری ویژگی‌های رئولوژیکی: برای بررسی ویژگی‌های Phisica رئولوژیکی از دستگاه رئومتر UDS200 (Germany Messtechnik GmbH, Stuttgart, برای این منظور، نمونه‌های شکلات در ظرفی درسته حداقل به مدت ۷۵ دقیقه داخل آون 50°C قرار داده شد. سپس، نمونه‌های ذوب شده، درون فنجانک ژئومتری استوانه‌های هم مرکز مدل Z3 DIN ۴۰.۰ با سرعت اندازه‌گیری‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای 40°C ریخته شد و قبل از شروع تغییرات تنفس برشی به عنوان تابعی از سرعت برشی در دامنه $10\text{--}60\text{ s}^{-1}$ (شیب افزایشی) و $60\text{--}10\text{ s}^{-1}$ (شیب کاهشی) هر کدام در مدت ۳ دقیقه اندازه‌گیری شد. اطلاعات به دست آمده توسط مدل‌های ریاضی بینگهام (Bingham)، کاسون (Casson)، قانون توان (Power law) و هرشل-بالکلی (Herschel-Bulkley) مورد برآش قرار گرفت و شاخص‌های رئولوژیکی شامل گرانزوی و تنفس تسليم توسط بهترین مدل محاسبه شد (۲۱).

ارزیابی حسی: ویژگی‌های حسی نمونه‌های شکلات شامل میزان شیرینی، سفتی، سرعت ذوب شدن، پوشش دهانی، رنگ و پذیرش کلی با استفاده از آزمون هدونیک ۴ سطحی ($1=\text{غیرقابل قبول}$, $2=\text{نسبتاً رضایت‌بخش}$, $3=\text{خوب}$ و $4=\text{عالی}$) مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور از ۷ ارزیاب آموزش دیده استفاده شد. به هر نمونه به صورت تصادفی یک کد سه رقمی داده شد و نمونه‌ها به صورت تصادفی در اختیار ارزیاب‌ها قرار گرفتند.

طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری: برای بررسی اثر نسبت جایگزینی اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین روی برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، مکانیکی (سختی)، رئولوژیکی و حسی شکلات و تعیین بهترین ترکیب از طرح ترکیبی لاتیس ساده (Simplex LatticeMixture Design) استفاده شد. برای طراحی آزمایشات، محاسبه معادلات و ارزیابی آماری از

۴۱/۸) گرم، پودر شیرخشک (۱۴ گرم) و سوکرالوز (۰/۰۴) گرم) به کره کاکائو ذوب شده اضافه شد. مخلوط به دست آمده، بهوسیله مخلوط کنی با سرعت ۵۰ دور در دقیقه به مدت ۴ ساعت در حمام پارافین 65°C تحت عمل ورز دادن (conching) قرار گرفت. باقیمانده کره کاکائو (۹ گرم) و لیستین (۳/۰ گرم) در ۳۰ دقیقه نهایی ۲۴ ساعت داخل گرمانه 50°C نگهداری شدند. سپس، دمای این نمونه‌ها به 45°C رسانده شد و به مدت ۳۰ دقیقه در این دما نگهداری شد. سپس عملیات مشروط کردن دمایی (tempering) و قالب‌گیری انجام و شکلات‌های قالب‌گیری شده، پس از بسته‌بندی در ورقه‌های نگهداری شد (۱۷). نمونه شاهد نیز مانند روش بالا تهیه شد، فقط در ترکیب آن از ساکارز به جای جایگزین‌های قند استفاده شد. پس از تعیین نسبت بهینه ترکیبات استفاده شده جهت جایگزینی قند در شکلات، امکان کاهش چربی شکلات در سه سطح ۵، ۱۰ و ۲۰٪ بررسی شد و برای نمایش این نمونه‌ها به ترتیب از حروف اختصاری L, ۵L, ۱۰L و ۲۰L استفاده شد.

اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی شکلات: میزان رطوبت، چربی، پروتئین و pH نمونه‌های شکلات با استفاده از روش AOAC اندازه‌گیری شد (۱۸). فعالیت آبی نمونه‌های شکلات نیز توسط دستگاه Novasina Sprint (مدل 500 TH، ساخت کشور سوئیس) تعیین شد. میزان قندهای موجود در شکلات‌های تولید شده با استفاده از روش فهلینگ (Layne-Eynon) اندازه‌گیری شد (۱۹).

اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های مکانیکی و رئولوژیکی
اندازه‌گیری سختی: برای اندازه‌گیری میزان سختی، نمونه‌های شکلات نگهداری شده در یخزن، به مدت ۲ ساعت قبل از انجام آزمایش، در دستگاه انکوباتور یخچال دار (ساخت شرکت ژال تجهیز، تهران) قرار گرفت و دمای دستگاه در 20°C تنظیم شد. پس از این مدت، سختی نمونه‌های شکلات چهارگوش (اععاد تقریبی H50KS) توسط دستگاه بافت‌سنج (مدل $100 \times 25 \times 50\text{ mm}$ ساخت شرکت Hounsfield انگلستان)، مجهز به سمبه

ارزیابی (SPSS Inc.) و آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) مورد استفاده شد. اطلاعات به دست آمده از اندازه‌گیری‌های رئولوژیکی به منظور ارزیابی مدل‌های ریاضی مختلف با استفاده از رگرسیون خطی و غیرخطی توسط نرم‌افزار SPSS Inc. (SigmaPlot 2001) مورد بررسی قرار گرفت.

(۲۲، ۲۳).

نرم‌افزار SAS Institute Inc. (Jmp 5.1) استفاده شد. نسبت سطوح جایگزین‌های قند (اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترن) بین ۰-۱۰۰٪ تنظیم شد و سپس ۱۵ ترکیب احتمالی به دست آمده از ۳ نوع جایگزین قند، مورد آزمایش قرار گرفت (جدول ۱). برای تعیین اختلاف میان مقادیر میانگین‌ها و مقایسه‌ی آنها از نرم‌افزار SPSS 14.0

جدول ۱- نمایش درصد و نسبت وزنی جایگزین‌های قند مورد استفاده برای تولید شکلات شیری کم کالری

نموده	شماره	سطوح (درصد)			X _۱	X _۲	X _۳
		اینولین	پلی‌دکستروز	مالتودکسترن			
۱	۱	.	.	۴۱/۸	۱۰۰	.	.
۲	۲	۷۵	۲۵	۳۱/۳۵	۱۰/۴۵	۱۰/۴۵	.
۳	۳	۵۰	۵۰	۲۰/۹	۲۰/۹	۲۰/۹	.
۴	۴	۷۵	۷۵	۳۱/۳۵	۳۱/۳۵	۳۱/۳۵	.
۵	۵	۱۰۰	.	۴۱/۸	.	۴۱/۸	.
۶	۶	۲۵	۷۵	۳۱/۳۵	.	۳۱/۳۵	.
۷	۷	۲۵	۵۰	۱۰/۴۵	۱۰/۴۵	۱۰/۴۵	.
۸	۸	۲۵	۵۰	۲۰/۹	۲۰/۹	۲۰/۹	.
۹	۹	۲۵	۷۵	۱۰/۴۵	۳۱/۳۵	۳۱/۳۵	.
۱۰	۱۰	۵۰	۵۰	۲۰/۹	.	۲۰/۹	.
۱۱	۱۱	۵۰	۲۵	۱۰/۴۵	۱۰/۴۵	۲۰/۹	.
۱۲	۱۲	۵۰	۵۰	۲۰/۹	۲۰/۹	۲۰/۹	.
۱۳	۱۳	۷۵	۷۵	۳۱/۳۵	.	۳۱/۳۵	.
۱۴	۱۴	۷۵	۷۵	۳۵/۳۱	۱۰/۴۵	۱۰/۴۵	.
۱۵	۱۵	۱۰۰	.	۴۱/۸	.	۴۱/۸	.

● =اینولین، X_۲ = پلی‌دکستروز، X_۳ = مالتودکسترن

رطوبت در نمونه‌های ۱ و ۵ دیده شد. پس از این دو نمونه، بیشترین مقدار رطوبت به ترتیب به نمونه‌های مربوط ۲، ۶، ۳ و ۴ بود. پس از مقایسه نسبت ترکیبات جایگزین قند در نمونه‌های ذکر شده، در سه نمونه ۷، ۸ و ۱۱ نسبت یکی از ترکیبات جایگزین قند ۰.۵۰٪ و دو ترکیب دیگر ۰.۲۵٪ بود، در حالی که در نمونه شماره ۱ فقط از مالتودکسترن و در نمونه شماره ۵ فقط از پلی‌دکستروز با نسبت ۰.۱۰۰٪ استفاده شده است.

چربی و پروتئین: میانگین چربی و پروتئین در نمونه‌های شکلات به ترتیب ۳۴/۶ و ۷/۲۶ درصد بود. با توجه به میزان کره کاکائو استفاده شده (۰.۳۲)، اختلاف این دو عدد (۰.۲/۶) نشان دهنده میزان چربی موجود در شیرخشک و پودر کاکائو استفاده شده است.

۰ یافته‌ها
تأثیر جایگزین‌های قند روی برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی

pH و فعالیت آبی: مقادیر میانگین ۳ ویژگی رطوبت، pH و فعالیت آبی در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مورد دو ویژگی pH و فعالیت آبی، هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌ها با یکدیگر و با نمونه شاهد وجود نداشت. ولی پاسخ‌های به دست آمده برای رطوبت، حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار میان نمونه‌ها و نمونه شاهد بود. نتایج حاصل از بررسی میزان رطوبت نمونه‌های شکلات حاکی از آن بود که مقادیر رطوبت سه نمونه ۷، ۸ و ۱۱ فاقد اختلاف معنی‌دار با نمونه شاهد بود. بیشترین میزان

جدول ۲ تأثیر نسبت های مختلف جایگزین های فند روی برخی ویژگی های فیزیکی مشتبه ایانو و مکانیکی شکلات شیرین کم کالری

ردیف	نام و نام خانوادگی	شماره ثبت	میزان قند و جایگزین‌های قند (گرم در ۱۰۰ گرم شکلات)					
			پلی‌دی‌کسیتزو	ماشودکسیترین	اینوبین	اسکارز	میزان قند و جایگزین‌های قند (گرم در ۱۰۰ گرم شکلات)	
۱	آنوری لانگوز	۳۷۳۵	aV/+*	aV/+*	bD+*	bD+*	۴۱/۸	۴۱/۸
۲	(کیلوکالری در صد گرم)	b۵۰۴	aV/+*	aV/+*	aV/+*	aV/+*	۱۰/۴۵	۱۰/۴۵
۳	دروتین	d۴۷۲	aV/+*	aV/+*	cde\Y/F	aV/+*	۲۱/۳۵	۲۱/۳۵
۴	آبی	g۴۴۱	aV/+*	aV/+*	defg\Y/Y	aV/+*	۲۰/۹	۲۰/۹
۵	سختی (نوتون)	k۴۱*	aV/+*	aV/+*	bc\Y/F	bc\Y/F	۲۰/۹	۲۰/۹
۶	آبی	b۵۰۹	aV/+*	aV/+*	bc\Y/F	bc\Y/F	۲۱/۳۵	۲۱/۳۵
۷	غایل	q۴۷۸	aV/+*	aV/+*	bc\Y/\Delta	a*/\Delta*	۱۰/۴۵	۱۰/۴۵
۸	غایل	f۴۴۴۶	aV/+*	aV/+*	b\Y/\Delta	a*/\Delta*	۲۰/۹	۲۰/۹
۹	jk\Y/\Delta	aV/+*	aV/+*	bcd\Y/\Delta	a*/\Delta*	a*/\Delta*	۲۱/۳۵	۲۱/۳۵
۱۰	cd\Y/\Delta	aV/+*	aV/+*	bcd\Y/\Delta	a*/\Delta*	bc\Y/\Delta	۱۰/۴۵	۱۰/۴۵
۱۱	c\Y/\Delta	aV/+*	aV/+*	a\Y/\Delta	a*/\Delta*	hi\Y/\Delta	۲۰/۹	۲۰/۹
۱۲	ij\Y/\Delta	aV/+*	aV/+*	bc\Y/\Delta	a*/\Delta*	gh\Y/\Delta	۲۱/۳۵	۲۱/۳۵
۱۳	c\Y/\Delta	aV/+*	aV/+*	bcd\Y/\Delta	a*/\Delta*	g\Y/\Delta	۲۰/۹	۲۰/۹
۱۴	hi\Y/\Delta	aV/+*	aV/+*	cde\Y/\Delta	a*/\Delta*	f\Y/\Delta	۱۰/۴۵	۱۰/۴۵
۱۵	h۴۳۱	aV/+*	aV/+*	fg\Y/\Delta	a*/\Delta*	de\Y/\Delta	۲۱/۳۵	۲۱/۳۵
۱۶	g۴۳۵	aV/+*	aV/+*	fg\Y/\Delta	a*/\Delta*	i\Y/\Delta	۲۱/۳۵	۲۱/۳۵

حروف مختلف در هر سمت‌نی نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۹۵ درصد است ($p < 0.05$)

۴ کیلوکالری به ازای هر گرم، در هر نمونه، میزان انرژی مربوطه محاسبه شد. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار میان نمونه‌های شکلات مورد بررسی بود و به استثنای نمونه شماره ۱ که از نظر میزان انرژی برابر نمونه شاهد بود، میزان انرژی همه نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد پایین‌تر بود. به‌طور کلی بیشترین میزان انرژی در نمونه‌های حاوی نسبت‌های بالای مالتودکسترن و کمترین انرژی در نمونه‌های فقد مالتودکسترن یا دارای نسبت‌های پایین این ترکیب و نسبت‌های بالای پلی‌دکستروز و سپس اینولین دیده شد که به دلیل کالری بالای مالتودکسترن و میزان کالری کم دو ترکیب دیگر است.

جدول ۳- نتایج آزمون فهلهینگ نمونه‌های شکلات شیری

ساکاراز (درصد)	درصد قند احیا کننده			شماره نمونه
	بعد از آب کافت	قبل از آب کافت	درصد قند	
۱۴/۷	۱۴/۵	۱		
۱۷/۷	۱۲/۹	۲		
۲۱/۳	۱۱/۴	۳		
۲۴/۴	۹/۷۵	۴		
۲۷/۸	۸/۲۸	۵		
۲۳/۱	۱۳/۱	۶		
۲۶/۳	۱۱/۵	۷		
۳۱/۵	۱۰/۲	۸		
۳۳/۲	۸/۴	۹		
۳۱/۴	۱۱/۷	۱۰		
۳۶/۹	۱۰/۲	۱۱		
۳۸/۲	۸/۶۲	۱۲		
۴۰/۲	۱۰/۶	۱۳		
۴۳/۴	۹/۲۱	۱۴		
۴۸/۶	۹/۲۴	۱۵		
۴۱/۷	۵۰/۹	۷/۰۰	شاهد	

مواد قندی: نتایج به دست آمده (جدول ۳) نشان می‌دهد که در نمونه شماره ۱ (حاوی ۱۰۰٪ مالتودکسترن) میزان قند احیا کننده به دست آمده قبل و بعد از آب کافت تقریباً مشابه و نشان‌دهنده آن است که این آزمایش از توانایی کافی برای آب کافت کامل مالتودکسترن برخوردار نیست. در نتیجه، در نمونه‌های حاوی مالتودکسترن فقط امکان اندازه‌گیری میزان قند احیا کننده قبل از آب کافت وجود داشت. مقدار لاکتوز موجود در شیرخشک مصرف شده در حدود ۷٪ بود (با توجه به آزمایش نمونه شاهد، میزان قند احیا کننده قبل از آب کافت، نشان‌دهنده میزان لاکتوز موجود در شیرخشک مصرفی است). پس از کسر این مقدار از میزان قند احیا کننده قبل از آب کافت، میزان رطوبت (رطوبت مالتودکسترن مصرفی ۴/۱۲ درصد بود) از عدد محاسبه شده کسر شد. نتیجه این محاسبات ۱۷/۸ درصد بود که تقریباً برابر میزان DE گزارش شده برای نمونه توسط شرکت سازنده بود. در مورد پلی‌دکستروز، میزان قند احیا کننده قبل از آب کافت در نمونه شماره ۵ (حاوی ۱۰۰٪ پلی‌دکستروز) نشان‌دهنده وجود حدود ۳٪ قند احیا کننده قبل از آب کافت در نمونه پلی‌دکستروز مصرفی است. میزان قند احیا کننده بعد از آب کافت نشان داد که با استفاده از آزمون فهلهینگ امکان تشخیص در حدود ۵۰٪ از کل محتوای پلی‌دکستروز موجود در نمونه‌های شکلات وجود داشت. در مورد اینولین (نمونه شماره ۱۵) با استفاده از این آزمایش امکان تشخیص میزان مصرفی به صورت کامل وجود داشت و میزان قند احیا کننده قبل از آب کافت نشان‌دهنده وجود ۵/۴ درصد قند احیا کننده قبل از آب کافت در اینولین مصرفی بود.

انرژی: میزان هر یک از ترکیبات جایگزین قند (در مورد نمونه شاهد شکر) و چربی، لاکتوز و پروتئین مربوط به هریک از نمونه‌های شکلات شیری کم‌کالری و نمونه شکلات شیری شاهد تولیدی در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به نسبت وزنی و میزان کالری مربوط به این ترکیبات، اینولین، پلی‌دکستروز، مالتودکسترن و ساکاراز به ترتیب برابر ۱/۵، ۱، ۴ و ۴ کیلوکالری به ازای هر گرم و چربی، لاکتوز و پروتئین به ترتیب برابر ۹، ۹ و

المملکی در اندازه‌گیری گرانزوی شکلات از آن استفاده می‌شود (۲۵، ۲۱ و ۲۰). برای محاسبه گرانزوی کاسون و تنش تسلیم، نمودار ریشه دوم تنش برشی ($\sigma^{1/2}$) در برابر ریشه دوم سرعت برشی ($\gamma^{1/2}$) رسم شد. در نمودارهای رسم شده، شبیخ خط نشان‌دهنده گرانزوی کاسون و توان دوم عرض از مبدأ نشان‌دهنده تنش تسلیم بود (۲۴). نتایج مربوط به گرانزوی کاسون و تنش تسلیم در جدول ۵ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بین نمونه‌های شکلات مورد آزمایش، اختلاف معنی‌داری وجود دارد. گرانزوی کاسون دو نمونه ۸ و ۱۱ پایین‌تر و گرانزوی کاسون نمونه ۷ مشابه نمونه شاهد بود. قبلاً گفته شد که سه نمونه ۷، ۸ و ۱۱ کمترین رطوبت را در میان نمونه‌های تولید شده داشتند که این رطوبت کم شاید توجیه کننده گرانزوی کم این ترکیبات باشد. نمونه‌های ۱ تا ۶ دارای بیشترین میزان رطوبت بودند (جدول ۲). مشاهده اعداد مربوط به گرانزوی کاسون این ترکیبات (جدول ۵) هم نشان‌دهنده بالاترین میزان گرانزوی در میان نمونه‌های شکلات بود. با نگاهی به نسبت جایگزین‌های قند مشخص می‌شود که به استثنای نمونه ۳ در سایر موارد، این ترکیبات دارای نسبت‌های بالای پلی‌دکستروز و مالتودکسترن بودند (۷۵ تا ۱۰۰٪). پس از این نمونه‌ها دو نمونه شکلات شماره ۹ و ۱۵ به ترتیب دارای ۷۵٪ پلی‌دکستروز و ۲۵٪ مالتودکسترن و ۱۰۰٪ اینولین از گرانزوی بالاتری داشتند. مقادیر گرانزوی کاسون اندازه‌گیری شده در محدوده ۱/۸۷ تا ۱/۷۱ $\text{Pa}^{1/2}$ پاسکال. ثانیه یا ۳/۲۸ تا ۲۲/۸ پاسکال. ثانیه بود و نشان داد که گرانزوی کاسون بعضی نمونه‌های شکلات تولید شده بالاتر از مقادیر گرانزوی کاسون گزارش شده در مطالعات قبل برای شکلات شیری (۲/۲ تا ۵/۵ پاسکال. ثانیه) است (۲۶). مقادیر تنش تسلیم محاسبه شده برای نمونه‌های شکلات مورد آزمون در جدول ۵ نشان داده شده است. کمترین تنش تسلیم مربوط به نمونه‌های ۷، ۸ و ۱۱ یعنی نمونه‌های دارای کمترین گرانزوی کاسون است. ولی برخلاف روند مشاهده شده در مورد گرانزوی، مقادیر تنش تسلیم این نمونه‌ها دارای بیشترین اختلاف معنی‌دار

تأثیر جایگزین‌های قند روی برخی ویژگی‌های مکانیکی و رئولوژیکی

سختی: مطابق جدول ۲، نمونه‌های شماره ۱ و ۵ به ترتیب حاوی ۱۰۰٪ مالتودکسترن و ۱۰۰٪ پلی‌دکستروز، دارای کمترین میزان سختی در میان نمونه‌های شکلات تولید شده بودند؛ به طوری که حتی میزان سختی آنها پایین‌تر از نمونه شاهد بود و سختی نمونه شکلات حاوی ۱۰۰٪ اینولین (نمونه ۱۵)، شبیه به نمونه شاهد بود. در ضمن، نمونه ۱۱ دارای بیشترین سختی در میان نمونه‌های مورد آزمایش بود.

ویژگی‌های رئولوژیکی: به منظور دستیابی به مدل ریاضی مطلوب و قابل استفاده برای بررسی رفتار جریانی شکلات، برآش داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری‌های رئولوژیکی، با ۴ مدل ریاضی رایج شامل مدل‌های بینگهام (معادله ۱)، کاسون (معادله ۲)، قانون توان (معادله ۳) و هرشل-بالکلی (معادله ۴) مورد آزمون قرار گرفت.

$$\text{معادله ۱} \quad \sigma = \eta_{pl}(\gamma) + \sigma_0$$

$$\text{معادله ۲} \quad (\sigma)^{1/2} = K(\gamma)^{1/2} + (\sigma_0)^{1/2}$$

$$\text{معادله ۳} \quad \sigma = K\gamma^n$$

$$\text{معادله ۴} \quad \sigma = K\gamma^n + \sigma_0$$

در این معادلات، σ = تنش برشی، η_{pl} = گرانزوی پلاستیک، γ = سرعت برشی، σ_0 = تنش تسلیم، K = گرانزوی کاسون، n = شاخص قوام، γ = شاخص رفتار جریان هستند (۲۰، ۲۱، ۲۴).

پس از بررسی ضرایب تعیین به دست آمده از ۴ مدل مورد بررسی، مشاهده شد که دو مدل بینگهام و کاسون در تمامی موارد دارای بهترین ضرایب تعیین (r^2) بوده و پس از بررسی میزان انحراف استاندارد ($s_{x,y}$) به دست آمده از این دو مدل، مدل کاسون به دلیل دارا بودن ضریب تعیین بالا و انحراف استاندارد پایین مناسب‌ترین مدل جهت بررسی‌های رئولوژیکی شکلات‌های مورد آزمون انتخاب شد (جدول ۴). تناسب و قابل استفاده بودن این مدل برای شکلات در سال ۱۹۷۳ توسط اداره بین‌المللی کاکائو، شکلات و قنادی IOCCC (International office of cocoa, chocolate and sugarconfectionery) مورد تایید قرار گرفته و اکنون هم به عنوان یک استاندارد بین

شیری بر اساس یک اندازه‌گیری داخل آزمایشگاهی با استفاده از روش توصیه شده توسط IOCCC به ترتیب ۲ تا ۱۸ پاسکال گزارش شده است (۲۶) و مقادیر تنش تسلیم محاسبه شده برای برخی نمونه‌ها کمتر از مقادیر گزارش شده بود.

با نمونه شاهد بود. زیرا تنش تسلیم مربوط به نمونه شاهد از تمامی نمونه‌ها بیشتر بود. در مورد تنش تسلیم نیز بیشترین مقادیر (بعد از نمونه شاهد) مربوط به ۶ نمونه نخست جدول و سپس نمونه‌های ۹ و ۱۵ بود. مقادیر تنش تسلیم و گرانزوی گزارش شده در مورد شکلات

جدول ۴- مقایسه تأثیر جایگزین‌های قند روی میزان برازش داده‌های رئولوژیکی شکلات‌های شیری کم‌کالری با مدل‌های ریاضی متداول

شماره نمونه	مدل	ضریب تعیین (r ²)	انحراف استاندارد (S _{xy})	شماره نمونه	مدل	ضریب تعیین (r ²)	انحراف استاندارد
۱	بینگهام	۰/۹۹۸	۶/۵۳	۹	بینگهام	۰/۹۹۶	۴/۳۹
۲	کاسون	۰/۹۹۶	۰/۱۵۳	۱۰	بینگهام	۰/۹۹۸	۱/۹۱
۳	تون	۰/۹۸۹	۰/۱۹۶	۱۱	کاسون	۰/۹۹۷	۰/۲۰۴
۴	هرشل-بالکلی	۰/۹۸۰	۰/۳۱۸	۱۲	تون	۰/۹۹۶	۰/۴۹۵
۵	بینگهام	۰/۹۹۸	۷/۶۴	۱۳	کاسون	۰/۹۹۸	۵/۴۰
۶	کاسون	۰/۹۹۹	۰/۲۲۸	۱۴	تون	۰/۹۹۷	۰/۲۸۷
۷	تون	۰/۹۹۷	۰/۰۸۲	۱۵	هرشل-بالکلی	۰/۹۷۷	۰/۱۴۷
۸	هرشل-بالکلی	۰/۹۷۷	۰/۰۷۴	۱۶	بینگهام	۰/۹۹۸	۰/۳۳۴
۹	بینگهام	۰/۹۹۸	۶/۰۳	۱۷	کاسون	۰/۹۹۷	۶/۲۶
۱۰	کاسون	۰/۹۹۸	۰/۲۹۹	۱۸	تون	۰/۹۹۵	۰/۳۷۲
۱۱	تون	۰/۹۹۵	۰/۱۲۹	۱۹	هرشل-بالکلی	۰/۹۵۹	۰/۱۳۶
۱۲	بینگهام	۰/۹۹۸	۲/۳۹	۲۰	بینگهام	۰/۹۹۶	۰/۱۶۱
۱۳	کاسون	۰/۹۸۹	۰/۳۷۶	۲۱	تون	۰/۹۹۷	۰/۱۹۷
۱۴	تون	۰/۹۰۳	۰/۳۹۸	۲۲	هرشل-بالکلی	۰/۸۶۵	۰/۱۸۱
۱۵	هرشل-بالکلی	۰/۸۶۸	۰/۶۹۸	۲۳	بینگهام	۰/۹۶۶	۰/۱۷۹
۱۶	بینگهام	۰/۹۹۶	۵/۳۱	۲۴	کاسون	۰/۹۸۹	۰/۲۷۱
۱۷	کاسون	۰/۹۹۵	۰/۳۳۰	۲۵	تون	۰/۹۹۳	۰/۲۰۶
۱۸	تون	۰/۹۹۳	۰/۱۳۸	۲۶	هرشل-بالکلی	۰/۹۵۹	۰/۳۱۶
۱۹	بینگهام	۰/۹۹۴	۱۴/۳	۲۷	بینگهام	۰/۹۹۴	۰/۴۶۲
۲۰	کاسون	۰/۹۹۸	۰/۲۲۳	۲۸	کاسون	۰/۹۹۸	۰/۳۲۷
۲۱	تون	۰/۹۷۹	۰/۲۴۷	۲۹	تون	۰/۹۹۳	۰/۱۴۴
۲۲	هرشل-بالکلی	۰/۹۹۱	۰/۲۰۰	۳۰	بینگهام	۰/۹۶۶	۰/۳۷۶
۲۳	بینگهام	۰/۹۹۶	۴/۲۶	۳۱	کاسون	۰/۹۹۶	۰/۲۷۱
۲۴	کاسون	۰/۹۹۶	۰/۳۲۱	۳۲	کاسون	۰/۹۹۶	۰/۲۲۹
۲۵	تون	۰/۹۹۰	۰/۱۶۹	۳۳	تون	۰/۹۹۰	۰/۲۴۷
۲۶	هرشل-بالکلی	۰/۹۸۶	۰/۱۹۶	۳۴	هرشل-بالکلی	۰/۹۸۶	۰/۲۸۴
۲۷	بینگهام	۰/۹۹۷	۰/۱۷۵	۳۵	کاسون	۰/۹۹۷	۰/۱۷
۲۸	کاسون	۰/۹۹۸	۰/۱۷۵	۳۶	کاسون	۰/۹۹۸	۰/۳۸۶
۲۹	تون	۰/۹۸۸	۰/۱۴۸	۳۷	تون	۰/۹۸۸	۰/۲۱۹
۳۰	هرشل-بالکلی	۰/۹۴۸	۰/۰۹۶	۳۸	هرشل-بالکلی	۰/۹۹۶	۰/۳۷۷

شد که در هر دو ترکیب، میزان بالایی مالتودکسترن (به ترتیب ۱۰۰ و ۷۵٪) وجود داشت (جدول ۱). بیشترین امتیازات حسی مربوط به نمونه شاهد و سپس به ترتیب مربوط به دو نمونه‌های ۱۴ و ۱۲ بود (جدول ۶).

تعیین نسبت بهینه ترکیبات جایگزین قند: بر اساس وجود اختلاف معنی‌دار در میان پاسخ‌های به دست آمده و ضرایب تعیین ≤ 0.85 ، پنج ویژگی رطوبت، سختی، گرانروی، تنش تسليم و پذيرش كلی جهت بررسی و تعیین بهترین نسبت ترکیبات جایگزین قند مورد استفاده قرار گرفتند و برای هریک از ویژگی‌های مورد بررسی، معادلات پیش‌گویی مشخص شد (جدول ۷). نمودارهای کانتور مربوط به این معادلات و نمودارهای پیش‌گویی شده به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نمایش داده شده است.

نمودار کانتور مربوط به رطوبت (شکل ۱ الف) نشان‌دهنده بیشترین رطوبت در نسبت‌های بالای مالتودکسترن و سپس پلی‌دکستروز و اینولین بود. کمترین رطوبت در نسبت‌های میانی این ترکیبات دیده شد. نمودار پیش‌گویی در مورد رطوبت نشان داد که رطوبت نمونه‌های حاوی نسبت‌های کم اینولین پایین‌تر از رطوبت مشاهده شده در نمونه‌های حاوی نسبت‌های مشابه پلی‌دکستروز و مالتودکسترن بود (شکل ۲).

همان‌طور که مشاهده می‌شود، در نمودار کانتور مربوط به سختی (شکل ۱ ب) کمترین میزان سختی در نسبت‌های بالای مالتودکسترن و سپس نسبت‌های بالای پلی‌دکستروز و اینولین و بیشترین میزان سختی در نسبت‌های میانی هریک از ترکیبات مشاهده شد (شکل ۲).

بیشترین گرانروی کاسون در نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای مالتودکسترن و سپس پلی‌دکستروز و اینولین و کمترین گرانروی کاسون در نسبت‌های میانی این ترکیبات دیده شد (شکل ۱ ج). نمودار پیش‌گویی (شکل ۲) نشان داد که تنها استفاده از نسبت‌های بالای اینولین منجر به افزایش کمی در گرانروی نمونه‌ها شد و در نسبت‌های پایین‌تر، اینولین سبب کاهش گرانروی کاسون شد.

جدول ۵- مقایسه تأثیر نسبت‌های مختلف جایگزین‌های قند روی مقادیر میانگین گرانروی کاسون و تنش تسليم
نمونه‌های شکلات شیری کم کالری

شماره نمونه	شناخت رئولوژیکی گرانروی کاسون ^{a,b,c,d,e,f,g,h,i,j} (%) (پاسکال)	تنش تسليم ^{a,b,c,d,e,f,g,h,i,j} (%) (پاسکال، ثانیه)
۱	۴/۴۱ ^b	۴/۷۱ ^a
۲	۳/۶۹ ^c	۳/۳۲ ^d
۳	۲/۵۶ ^{de}	۳/۱۱ ^d
۴	۲/۶۳ ^d	۳/۱۰ ^d
۵	۲/۵۶ ^{de}	۳/۶۲ ^c
۶	۲/۸۰ ^c	۴/۱۰ ^b
۷	۱/۴۴ ^h	۲/۱۲ ^{hi}
۸	۱/۳۹ ^h	۱/۹۳ ^{ij}
۹	۲/۳۴ ^e	۲/۸۲ ^e
۱۰	۱/۹۰ ^{fg}	۲/۴۰ ^{fg}
۱۱	۱/۳۲ ^h	۱/۸۱ ^j
۱۲	۱/۷۲ ^g	۲/۲۳ ^{gh}
۱۳	۱/۹۲ ^{fg}	۲/۴ ^{fg}
۱۴	۱/۹۹ ^{fg}	۲/۵۲ ^f
۱۵	۲/۰۴ ^f	۲/۸۳ ^e
شاهد	۶/۴۰ ^a	۲/۱۲ ^{hi}

حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد است (p<0.05)

ارزیابی حسی: نتایج حاصل از ارزیابی حسی نمونه‌های شکلات در جدول ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه‌های مورد بررسی و نمونه شاهد از نظر میزان شیرینی و رنگ، هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند، ولی از نظر سه ویژگی دیگر یعنی سفتی، سرعت ذوب شدن و پوشش دهانی اختلاف معنی‌داری میان نمونه‌های شکلات دیده شد. از آنجا که هدف پژوهش، جایگزینی قند در شکلات با استفاده از سه ترکیب جایگزین قند و شیرین‌کننده مصنوعی سوکرالوز بود، قبل از طریق آزمایشات مقدماتی، میزان شیرینی نمونه‌ها در حدود شیرینی شاهد تنظیم شد. بنابراین، انتظار می‌رفت که نباید تفاوتی از نظر میزان شیرینی در میان نمونه‌ها دیده شود که نتایج به دست آمده هم این موضوع را تایید کرد. از نظر پذیرش کلی، سختی، سرعت ذوب شدن و پوشش دهانی، بیشترین اختلاف میان نمونه‌های ۱ و ۲ با نمونه شاهد و سایر نمونه‌ها بود. با مقایسه ترکیب این دو نمونه مشاهده

جدول ۶- مقایسه تأثیر جایگزین‌های قند روی برخی ویژگی‌های حسی نمونه‌های شکلات شیری کم‌کالری

پذیرش کلی	رنگ	پوشش دهانی	سرعت ذوب شدن	سفتی	میزان شیرینی	ویژگی حسی	شماره نمونه	
							ج	ج
۱۰/۵ ^g	۲/۷۱ ^a	۱/۲۸ ^e	۲/۰۰ ^{cd}	۱/۸۱ ^f	۲/۷۶ ^a		۱	
۱۰/۵ ^g	۲/۷۱ ^a	۱/۰۰ ^e	۲/۰۰ ^{cd}	۲/۱۴ ^{de}	۲/۷۱ ^a		۲	
۱۲/۵ ^e	۲/۹۰ ^a	۱/۹۵ ^d	۲/۴۳ ^{bc}	۲/۴۳ ^{bc}	۲/۷۶ ^a		۳	
۱۳/۰ ^e	۳/۰۰ ^a	۲/۵۷ ^{bcd}	۲/۲۴ ^c	۲/۲۹ ^{cd}	۲/۹۰ ^a		۴	
۱۳/۸ ^{cd}	۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^{abc}	۲/۳۳ ^c	۲/۴۳ ^{bc}	۳/۰۰ ^a		۵	
۱۱/ ^f	۲/۷۱ ^a	۲/۰۰ ^d	۱/۸۶ ^d	۱/۹۳ ^{ef}	۲/۷۱ ^a		۶	
۱۱/۵ ^f	۲/۹۰ ^a	۲/۰۰ ^d	۱/۵۷ ^d	۲/۲۹ ^{cd}	۲/۷۱ ^a		۷	
۱۳/۵ ^d	۳/۰۰ ^a	۲/۴۳ ^{cd}	۲/۴۵ ^{bc}	۲/۵۹ ^b	۳/۰۰ ^a		۸	
۱۴/۱ ^c	۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^{abc}	۲/۶۷ ^{bc}	۲/۴۴ ^{bc}	۳/۰۰ ^a		۹	
۱۲/۵ ^e	۳/۰۰ ^a	۲/۰۰ ^d	۲/۳۳ ^c	۲/۴۳ ^{bc}	۲/۷۱ ^a		۱۰	
۱۳/۸ ^{cd}	۳/۰۰ ^a	۲/۹۰ ^{abc}	۲/۵۷ ^{bc}	۲/۴۳ ^{bc}	۲/۹۰ ^a		۱۱	
۱۴/۶ ^b	۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^{abc}	۳/۰۰ ^{ab}	۲/۶۱ ^b	۳/۰۰ ^a		۱۲	
۱۲/۶ ^e	۳/۰۰ ^a	۲/۳۳ ^{cd}	۲/۴۳ ^{bc}	۲/۰۰ ^{ef}	۲/۸۶ ^a		۱۳	
۱۵/۱ ^a	۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^{abc}	۳/۱۹ ^a	۲/۸۶ ^a	۳/۰۰ ^a		۱۴	
۱۲/۹ ^e	۳/۰۰ ^a	۲/۱۴ ^d	۲/۲۹ ^c	۲/۵۷ ^b	۲/۸۶ ^a		۱۵	
۱۵/۵ ^a	۳/۰۰ ^a	۳/۳۳ ^a	۳/۱۹ ^a	۳/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^a	شاهد		

حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد است ($p < 0.05$)

جدول ۷- معادلات پیش‌گویی برخی ویژگی‌های شکلات شیری کم‌کالری بر اساس نسبت‌های مختلف جایگزین‌های قند

r^2	r	معادلات پیش‌گویی	متغیر
۰/۹۲	۰/۹۶	$۳X_2X_0/707 - ۳X_1X_1/14 - ۳X_1X_1/32 - ۳X_0/992 + ۳X_0/935 + X_0/823y =$	رطوبت
۰/۹۵	۰/۹۷	$۳X_2X_9/60 + ۳X_1X_12/2 + ۳X_1X_13/1 + ۳X_9/89 + ۴X_10/11 + X_10/5y =$	سختی
۰/۹۳	۰/۹۶	$۳X_2X_6/25 - ۳X_1X_5/25 - ۳X_1X_4/71 - ۳X_4/65 + ۳X_3/77 + X_2/88y =$	گرانروی کاسون
۰/۹۰	۰/۹۵	$۳X_2X_6/17 - ۳X_1X_6/02 - ۳X_1X_3/35 - ۳X_4/98 + ۳X_2/87 + X_2/22y =$	تنش تسلیم
۰/۹۲	۰/۹۶	$۳X_2X_0/231 - ۳X_1X_1/58 + ۳X_1X_5/23 + ۳X_10/2 + ۳X_13/8 + X_13/3y =$	پذیرش کلی

همان‌طور که در نمودار کانتور مربوط به پذیرش کلی (شکل ۵) مشاهده می‌شود، پذیرش کلی با افزایش نسبت اینولین و پلی‌دکستروز و کاهش نسبت مالتودکسترین افزایش و با کاهش دو ترکیب اول و افزایش مالتودکسترین کاهش یافت. نمودار پیش‌گویی مربوط به پذیرش کلی نیز تایید کننده این روند بود (شکل ۳).

مانند گرانروی کاسون، بیشترین تنش تسلیم در نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای ترکیبات جایگزین قند و کمترین تنش تسلیم در نسبت‌های میانی این ترکیبات دیده شد (شکل ۱، ۵) و کاربرد درصدهای بالای اینولین منجر به افزایشی اندک در تنش تسلیم نمونه‌های شکلات شد و در مقادیر پایین، اینولین سبب کاهش تنش تسلیم شد (شکل ۳).

درصد چربی آنها کاهش یافت. کاهش چربی نمونه‌ها سبب افزایش سختی نمونه‌ها شد و بیشترین سختی در نمونه شکلات تهیه شده با ۲۰٪ (۰L) چربی کمتر دیده شد. نتایج ارزیابی حسی نمونه‌های شکلات شیری کم کالری همراه با کاهش چربی هم نشان داد که نمونه‌های مورد آزمایش از نظر شیرینی و رنگ، اختلاف معنی دار نداشتند.

جدول ۸- تاثیر کاهش چربی بر مقادیر میانگین pH ویژگی، فعالیت آبی و سختی در نمونه‌های شکلات شیری کم کالری

۲۰L	۱۰L	۵L	نسبت کاهش چربی ویژگی
۰/۲۱۳ ^c	۰/۲۹۱ ^b	۰/۵۱۰ ^a	رطوبت
۷/۲۸ ^a	۷/۳۰ ^a	۷/۲۸ ^a	pH
۰/۲۶۳ ^a	۰/۲۷۰ ^a	۰/۲۷۲ ^a	فعالیت آبی
۱۹/۴ ^a	۱۳/۸ ^b	۱۰/۴ ^c	سختی (نیوتن)

حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۹۵ درصد است ($p < 0.05$)

کاهش چربی شکلات با کاهش امتیازات مربوط به سختی، پوشش دهانی، سرعت ذوب شدن و بنابراین، پذیرش کلی نمونه‌ها همراه بود و سبب افزایش سختی و کاهش سرعت ذوب شدن نمونه‌ها شد (جدول ۹). از میان نمونه‌های شکلات تهیه شده، میزان رطوبت، سختی و پذیرش کلی به دست آمده برای نمونه ۵L در مقایسه با مقادیر به دست آمده برای نمونه شاهد در محدوده مناسبی بود و نشان داد که کاهش چربی تا میزان ۵٪ در نمونه‌های شکلات کم کالری تهیه شده در این تحقیق امکان‌پذیر است. با کم کردن میزان کالری ناشی از کاهش چربی از کالری نمونه ۱۴ میزان کالری این ترکیب به ۳۸۰ و میزان کاهش کالری به ۲۹٪ رسید.

مقادیر بهینه: به منظور به دست آوردن بهترین نسبت‌های ترکیبات جایگزین قدر برای هر پنج ویژگی مورد آزمون، محدوده پذیرش برای هریک از این ویژگی‌ها (رطوبت، سختی، گرانروی کاسون، تنفس تسلیم و پذیرش کلی) با استفاده از معادلات پیش‌گویی (جدول ۷) محاسبه شد (به ترتیب برابر ۰/۶۸۲، ۱۳/۱، ۰/۵۲، ۰/۲۰۰ و ۰/۳۵) و نمودارهای کانتور در محدوده‌های ذکر شده با یکدیگر ادغام شدند (شکل ۳). قسمت‌هایی که در سه نمودار رسم شده با رنگ سفید مشخص شده است، نشانگر نسبت‌های بهینه ترکیبات ذکر شده است.

بر اساس نمودارهای کانتور ادغام شده، مقادیر بهینه این‌ولین برابر با ۰/۴۸-۶/۴۸٪، ۰/۳۲-۴/۶٪ و ۰/۶۷-۲/۸۶٪، پلی‌دکستروز ۰/۳-۰/۲۸٪ و ۰/۵۸-۰/۷۸٪ مالتودکسترنین ۰/۳۰-۰/۶٪ بود. از میان ۱۵ نمونه شکلات شیری کم کالری آزمایشی تهیه شده، نمونه‌های ۴، ۹، ۱۳ و ۱۴ در محدوده نسبت‌های بهینه به دست آمده بود. به دلیل ویژگی‌های مفید تغذیه‌ای این‌ولین و اثرات مفید آن در بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی، نمونه ۱۴ انتخاب و امکان کاهش چربی در سه سطح ۵، ۱۰ و ۲۰٪ در تولید شکلات شیری کم کالری بررسی شد.

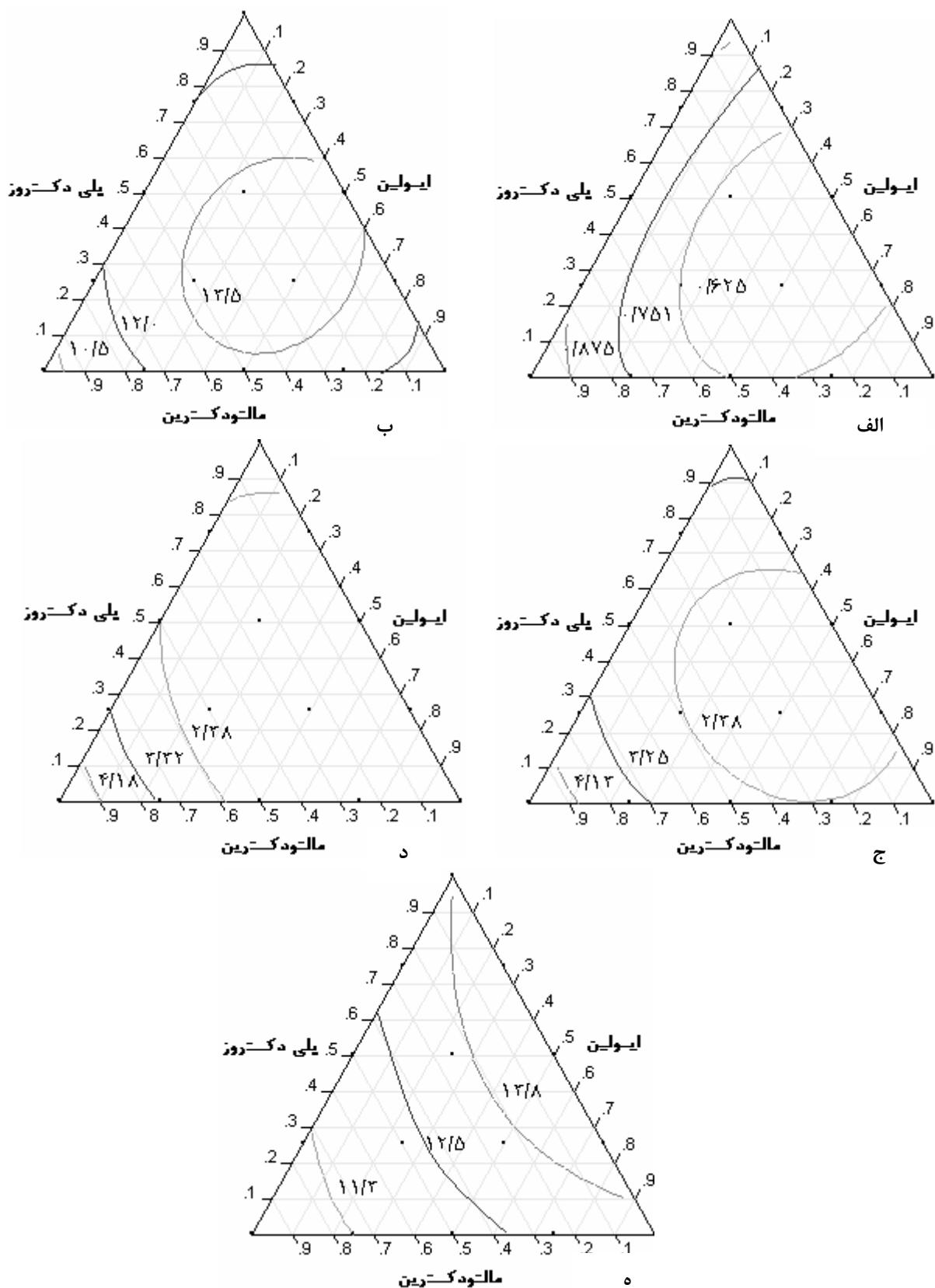
تولید شکلات شیری کم کالری با کاهش چربی: نتایج اندازه‌گیری رطوبت، pH، فعالیت آبی و سختی نمونه‌های شکلات شیری کم کالری همراه با کاهش چربی در جدول ۸ نشان داده شده است.

همان طور که مشاهده می‌شود، نتایج به دست آمده برای pH و فعالیت آبی در سه نمونه مورد آزمایش، اختلاف معنی دار نداشتند. میزان رطوبت نمونه‌های شکلات با کاهش

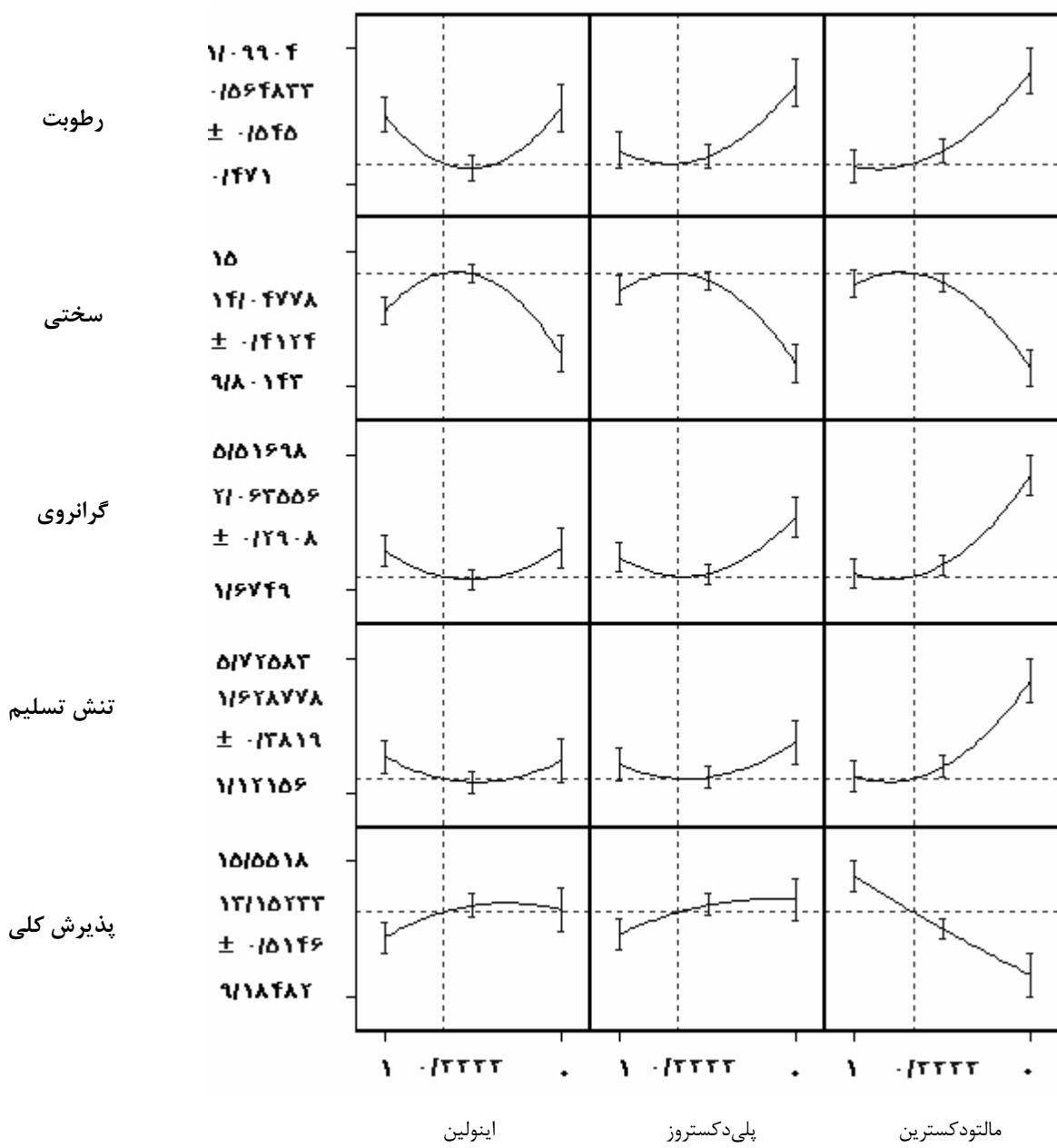
جدول ۹- تاثیر کاهش چربی بر مقادیر میانگین برخی ویژگی‌های حسی نمونه‌های شکلات شیری کم کالری

۵L	۱۰L	۲۰L	نسبت کاهش ویژگی
۲/۴۵ ^a	۲/۹۰ ^a	۲/۹۰ ^a	پذیرش کلی
۲/۰۰ ^b	۲/۸۵ ^a	۲/۸۵ ^a	پوشش دهانی
۱/۱۱ ^c	۲/۹۰ ^a	۲/۹۰ ^a	رنگ

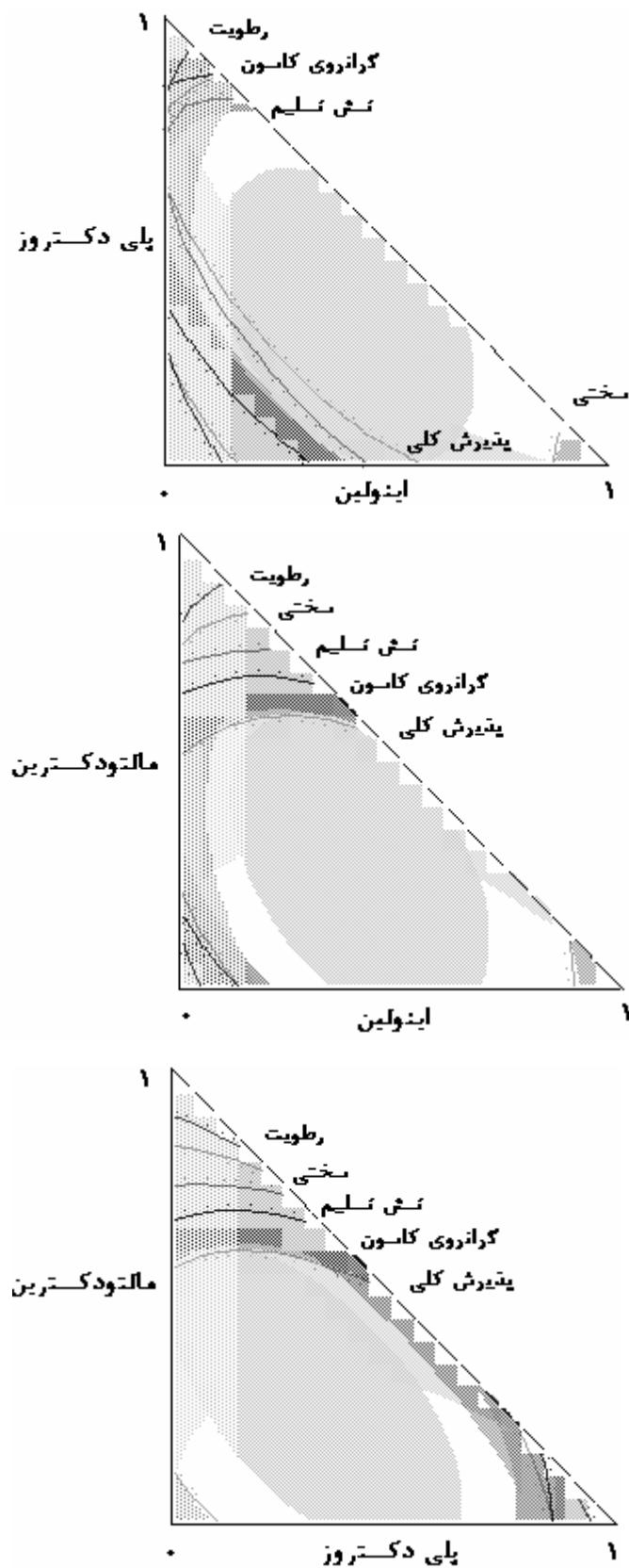
حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۹۵ درصد است ($p < 0.05$)



شکل ۱- شکل‌های کانتور سه‌تایی مربوط به نمایش تأثیر جایگزین‌های قند روی (الف) رطوبت ، (ب) سختی، (ج) گرانروی کاسون، (د) تنش تسليیم و (ه) پذیرش کلی شکلات‌های شیری کم کالری



شکل ۲- نمودارهای پیش‌گویی مربوط به نمایش تاثیر نسبت‌های مختلف جایگزین‌های قند روی رطوبت، سختی، گرانبروی کاسون، تنش تسلیم و پذیرش کلی



شکل ۳- نمودارهای کانتور ادغام شده اثر نسبت دوتایی اینولین، پلی دکستروز و مالتودکسترین روی رطوبت، سختی، گرانروی کاسون، تنش تسلیم و پذیرش کلی

اولیگوفروکتوز در پنیر *petit-suisse* مشاهده شد که با افزایش میزان اینولین، رطوبت نمونه‌ها افزایش یافت (۳۱). کمترین میزان سختی در نسبت‌های بالای ترکیبات جایگزین قند استفاده شده و بیشترین سختی در نسبت‌های میانی این ترکیبات مشاهده شد (شکل ۱ ب). نمودار پیش‌گویی (شکل ۲) هم نشان می‌دهد که افزایش اینولین تا حدود ۵۰٪ سبب افزایش و افزایش بیشتر به تدریج باعث کاهش سختی نمونه‌های شکلات می‌شود. در مورد مالتودکسترن و پلی‌دکستروز، این کاهش قبل از نسبت ۵۰٪ رخ داده و میزان کاهش بیشتری مشاهده شد که به دلیل جاذب‌الرطوبه بودن بیشتر این ترکیبات نسبت به اینولین است. سختی نمونه‌های تولید شده با میزان اینولین پایین، کمتر از نمونه‌های دارای نسبت پایین پلی‌دکستروز و سپس مالتودکسترن بود (شکل ۳). در پژوهشی هم که توسط Sudha و همکاران (۲۰۰۷) روی جایگزینی چربی در بیسکویت صورت گرفت، مشاهده شد که افزایش نسبت مالتودکسترن و پلی‌دکستروز سبب کاهش سختی نمونه‌ها شد و علت آن رطوبت بیشتر این نمونه‌ها بود (۳۲). کاهش سختی در پژوهشی که روی تولید نوعی شکلات کم‌کالری با استفاده از پلی‌دکستروز و ایزومالتوز صورت گرفت، نیز گزارش شده است (۸). به طور کلی، بیشترین گرانروی کاسون در نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای مالتودکسترن و سپس پلی‌دکستروز و اینولین و کمترین گرانروی کاسون در نسبت‌های میانی این ترکیبات دیده شد (شکل ۱ ج). استفاده از نسبت‌های مختلف اینولین منجر به تغییرات اندکی در گرانروی کاسون نمونه‌های شکلات شد. به طوری که تنها استفاده از نسبت‌های بالای اینولین منجر به افزایش مختصراً در گرانروی نمونه‌ها شد و در نسبت‌های پایین‌تر، اینولین سبب کاهش گرانروی کاسون شد (شکل ۲). کاهش گرانروی در ترکیبات حاوی اینولین قبلًا نیز گزارش شده است. در تحقیق Bolenz و همکاران (۲۰۰۶) استفاده از اینولین در نسبت ۲۰٪، سبب کاهش گرانروی شکلات شد (۳۳). افزایش گرانروی در نسبت‌های بالای اینولین احتمالاً به دلیل جاذب‌الرطوبه بودن این ترکیب و اتصال به مولکول‌های آب است که از

• بحث

افزایش ترکیبات جایگزین قند، سبب افزایش میزان رطوبت نمونه‌های شکلات شد و بیشترین میزان رطوبت، به ترتیب، در نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای مالتودکسترن، پلی‌دکستروز و اینولین دیده شد (شکل ۳ الف). همان‌طور که در نمودار پیش‌گویی مربوط به رطوبت نیز مشاهده می‌شود افزایش اینولین تا حدود نسبت ۵۰٪ سبب کاهش و ادامه افزایش منجر به افزایش تدریجی رطوبت نمونه‌های شکلات شد (شکل ۱، الف). افزایش میزان رطوبت در نمونه‌های حاوی پلی‌دکستروز و مالتودکسترن قبل از ۵۰٪ دیده شد و میزان آن بیشتر بود. بیشترین افزایش در نمونه‌های حاوی نسبت‌های بالای مالتودکسترن دیده شد که نشان می‌دهد میان سه ترکیب جایگزین قند استفاده شده به ترتیب، مالتودکسترن و پلی‌دکستروز در نسبت بالا بیشترین توان نگهداری رطوبت را دارا می‌باشند (شکل ۲).

مالتودکسترن دارای ویژگی آب‌دوسی است (۲۷). یکی از دلایل افزایش رطوبت در ترکیبات دارای نسبت بالای مالتودکسترن وجود قندهای با وزن مولکولی پایین در ترکیب این ماده بوده که بسیار جاذب‌الرطوبه هستند که میزان این ترکیبات بسته به نوع مالتودکسترن، متغیر است و با افزایش DE میزان آنها افزایش می‌یابد (۲۸). در مطالعات مختلف به ویژگی جاذب‌الرطوبه پلی‌دکستروز نیز اشاره شده است (۲۹). این ویژگی در تحقیقاتی که روی تهییه دسر کم‌کالری منجمد توسط پلی‌دکستروز و تعدادی ترکیبات دیگر جایگزین قند و تولید نوعی بیسکویت توسط سبوس گندم و پلی‌دکستروز صورت گرفت، نیز ثابت شده است. چنانکه نمونه‌های تولید شده با پلی‌دکستروز رطوبت بیشتری داشتند (۲۷، ۲۹). در مورد اینولین نیز با افزایش نسبت آن، رطوبت نمونه‌ها افزایش می‌یابد (۳۰). البته، اینولین در مقایسه با دو ترکیب دیگر توانایی جذب و نگهداری رطوبت کمتری دارد و فقط در نسبت‌های بسیار بالا به دلیل طبیعت جاذب‌الرطوبه بودن نسبی خود با پیوستن به مولکول‌های آب سبب افزایش رطوبت نمونه‌ها شد. این نتیجه، در مطالعات قبلی نیز گزارش شده است. برای مثال، در تحقیقی روی استفاده از اینولین و

نسبت‌های میانی این ترکیبات دیده شد (شکل ۱). افزایش اینولین تا نسبت ۵۰٪ سبب کاهش و افزایش بیشتر سبب افزایش اندکی در میزان تنش تسليم شد (شکل ۲). کاهش تنش تسليم نمونه‌های شکلات با افزایش اینولین قبلًا هم گزارش شده (۳۳) ولی تاکنون در مورد مالتودکسترن و پلی‌دکستروز چنین موردي گزارش نشده است. افزایش پلی‌دکستروز تا حدود ۵۰٪ سبب کاهش و افزایش بیشتر آن سبب افزایش تنش تسليم شد. افزایش تنش تسليم با مالتودکسترن از حدود نسبت ۳۰٪ شروع و میزان آن بیشتر بود (شکل ۲). دلایل افزایش تنش تسليم را می‌توان عواملی مانند جاذب‌الرطوبه بودن ترکیبات جایگزین قند، وزن مولکولی بالا، در ارتباط با پلی‌دکستروز و پدیده تجمع تخليه‌ای ناشی از مالتودکسترن عنوان کرد که قبلًا در قسمت مربوط به گرانروی کاسون توضیح داده شد. همان گونه که گفته شد، مقادیر تنش تسليم محاسبه شده در برخی نمونه‌های شکلات، کمتر از مقادیر تنش تسليم گزارش شده در مورد شکلات شیری بود. کاهش تنش تسليم شکلات در پژوهشی که توسط *Nebesny* و *Żyżelewicz* (۲۰۰۵) روی تولید نوعی شکلات کم‌کالری با استفاده از ایزومالت صورت گرفت، نیز گزارش شده است. علت آن، شکل متفاوت ذرات این ترکیب از ذرات ساکاراز پس از خرد شدن در آسیاب سیارهای بیان شد. بررسی‌های این دو پژوهشگر نشان داد که ذرات ایزومالت لبه‌های تقریباً مدور و بلورهای ساکاراز اشکال نامنظم و لبه‌های تیز دارند (۳۶). شاید علت کاهش تنش تسليم نمونه‌های شکلات در بررسی حاضر هم به شکل متفاوت ذرات ترکیبات جایگزین قند از شکل ذرات ساکاراز، بعد از آسیا کردن آنها، مربوط شود. البته، در این تحقیق، شکل ذرات مورد بررسی قرار نگرفت.

به طور کلی، پذیرش کلی نمونه‌های شکلات با افزایش نسبت اینولین و پلی‌دکستروز و کاهش نسبت مالتودکسترن افزایش یافت (شکل ۱ و شکل ۲). بهبود ویژگی‌های حسی در نمونه‌های شکلات شیری حاوی اینولین در تحقیقی روی استفاده از شکر و پرکننده‌ها قبلًا نیز گزارش شده است (۳۳). در پژوهش دیگری که به بررسی استفاده از اینولین و اولیگوفروکتووز در پنیر

کاهش رطوبت در مرحله ورز دادن می‌کاهد. در پژوهش *Akin* و همکاران (۲۰۰۷) درباره اثر میزان اینولین و شکر در ماست و بستنی مشاهده شد که افزایش اینولین سبب افزایش گرانروی نمونه‌ها می‌شود (۳۰). و همکاران (۱۹۹۵) هم در تحقیقی روی تولید نوعی شکلات کم‌کالری مشاهده کردند که پلی‌دکستروز سبب افزایش شدید و اینولین سبب افزایش جزئی گرانروی نمونه‌ها می‌شود (۵). با افزایش میزان پلی‌دکستروز از حدود نسبت ۵۰٪ گرانروی کاسون نمونه‌ها افزایش یافت. روند مشابهی در نمونه‌های حاوی مالتودکسترن مشاهده شد، ولی این روند قبل از نسبت ۵۰٪ شروع شد و میزان آن بیشتر بود (شکل ۲). علاوه بر ویژگی جاذب‌الرطوبه بودن مالتودکسترن، دلیل دیگر این موضوع ممکن است پدیده تجمع تخليه‌ای (depletion flocculation) در نسبت‌های بالای مالتودکسترن باشد. *Klinkesorn* و همکاران (۲۰۰۴) نیز در تحقیقی که روی پایداری امولسیون‌های روغن ذرت در آب حاوی مالتودکسترن انجام دادند، نشان دادند که مالتودکسترن در غلظت‌های بالاتر از غلظت بحرانی سبب افزایش گرانروی می‌شود و علت این پدیده را به تجمع تخليه‌ای نسبت دادند. زمانی که ذرات تجمع پیدا می‌کنند، گرانروی به دلیل درگیر شدن فاز پیوسته در میان ذرات توده شده افزایش می‌یابد. با کاهش DE مالتودکسترن، غلظت بحرانی بروز پدیده تجمع تخليه‌ای کاهش می‌یابد (۳۴). در مطالعات قبلی نیز مشاهده شد که افزایش گرانروی ترکیبات حاوی مالتودکسترن متناسب با افزایش نسبت و DE کمتر این ترکیب بود (۱۵). به نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر، این غلظت بحرانی در حدود ۵۰٪ باشد (جدول ۵). پلی‌دکستروز ترکیب دیگری بود که در غلظت‌های بالا سبب افزایش گرانروی شد. علاوه بر خاصیت جاذب‌الرطوبه بودن این ماده، در تحقیقی روی ویژگی‌های رئولوژیکی سامانه‌های حاوی جایگزین‌های قند، دلیل دیگر افزایش گرانروی ناشی از پلی‌دکستروز، وزن مولکولی بالای این ترکیب بیان شده است (۳۵).

بیشترین تنش تسليم در نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای ترکیبات جایگزین قند و کمترین تنش تسليم در

تنش تسلیم بیشتر و سختی کمتر در نمونه‌های شکلات تولیدی شد. کمترین رطوبت، گرانزوی و تنش تسلیم و بیشترین سختی در نسبت‌های میانی این ترکیبات دیده شد. ویژگی‌های حسی نمونه‌ها با افزایش میزان اینولین و پلی‌دکستروز، افزایش و با افزایش مالتودکسترن، کاهش یافت. از بین ۴ مدل ریاضی ارزیابی شده برای پیش‌بینی ویژگی‌های رئولوژیکی شکلات مدل کاسون مناسب‌ترین مدل تشخیص داده شد. نتایج حاصل از کاهش چربی در نمونه دارای نسبت بهینه ترکیبات جایگزین قند نیز امکان کاهش چربی را تا میزان ۵٪ نشان داد. به‌طور کلی طرح ترکیبی لاتیس ساده، روشی مناسب برای یافتن ترکیب بهینه اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترن به‌منظور جایگزینی قند و تولید شکلات شیری کم کالری پربایوتیک و دارای ویژگی‌های مشابه نمونه شکلات تهیه شده با شکر تشخیص داده شد.

سپاسگزاری

به این وسیله از مسئولان شرکت‌های *Sensus* و *Tate and Lyle* و *Danisco Deutschland* و کارخانجات شیرین‌تک تبریز و ماغنو/یا به جهت تامین مواد مورد نیاز این پژوهش قدردانی می‌شود.

• References

1. Bullock LM, Handel AP, Wasserman PA. Replacement of simple sugars in cookie dough. *Food Technol* 1992; 46 (1): 82–85.
2. Iop SCF, Silva RSF, Beleia AP. Formulation and evaluation of dry dessert mix containing sweetener combination using mixture response methodology. *Food Chem* 1999; 66: 167–171.
3. Sandrou DK, Arvanitoyannis IS. Low-fat/calorie foods: current state and perspectives. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2000; 40(5): 427–447.
4. Nuttall C. Chocolate marketing and other aspects of the confectionery industry worldwide. In: Beckett, S. T editor. *Industrial Chocolate Manufacture and Use*. London: Blackie Academic and Professional 1994: 362–385.
5. Rapaille A, Gonze M, Van Der Schueren F. Formulating sugar-free chocolate products with maltitol. *Food Technol* 1995; 49 (7): 51–54.
6. Riesen A. Inventor; Dietetic chocolate composition US Patent 4,011, 349. 1977.
7. Pepper T, Olinger PM. Inventors; Dietetic sweetening composition. 1992, US Patent 5,098,730. 1992.

petit-suisse پرداخته، اینولین باعث بهبود ویژگی‌های حسی نمونه‌های تولیدی شد (۳۱). دلیل کاهش پذیرش کلی در هنگام استفاده از مالتودکسترن احتمالاً ویژگی‌های حسی ضعیف (پوشش دهانی و سرعت ذوب شدن) نمونه‌های شکلات تولید شده با نسبت‌های بالای مالتودکسترن بود. همان‌طور که پیشتر بحث شد، مالتودکسترن به دلیل ویژگی جاذب‌الرطوبه بودن در نسبت‌های بالا سبب کاهش سختی نمونه‌های شکلات می‌شود که شاید دلیل این موضوع باشد. دلیل احتمالی دیگر برای امتیاز کم دو ویژگی سرعت ذوب شدن و پوشش دهانی این نمونه‌ها، آن است که نمونه‌های حاوی درصد بالایی از این ترکیب چسبنده‌تر بودند، پس از خوردن بیشتر در دهان باقی می‌ماندند و در داخل دهان، فیلمی ایجاد کردند. در تحقیقی که توسط *Akhtar* و همکاران (۲۰۰۶) روی حالت خامه‌ای امولسیون‌های لبنیاتی روغن در آب صورت گرفت، هم مشخص شد که مالتودکسترن دارای واکنش بیشتری با دهان است و حالت چسبندگی و خامه‌ای بودن بیشتری دارد (۳۷).

با توجه به نمودارهای کانتور ادغام شده (شکل ۳) و نسبت‌های بهینه به دست آمده، نمونه‌های دارای نسبت‌های بسیار بالا و نسبت‌های میانی اینولین و پلی‌دکستروز، فاقد ویژگی‌های مطلوب بودند که دلیل آن احتمالاً سختی نمونه‌های تولید شده با نسبت‌های میانی این ترکیبات و گرانزوی و رطوبت بالای نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای این ترکیبات است. مالتودکسترن خصوصیات نمونه‌های شکلات را به میزان قابل توجهی بهبود نداد و محدوده مجاز این ماده برای استفاده، کوچکتر از محدوده تعیین شده برای دو ترکیب دیگر است و با توجه به میزان کالری این ماده که برابر ساکارز (۴ کیلو کالری به‌هزای هر گرم) است استفاده از نسبت‌های پایین‌تر این ترکیب برای تولید شکلات کم کالری، مناسب‌تر است.

براساس نتایج این بررسی، ترکیبات مختلف اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترن اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های مختلف شکلات کم کالری داشتند. نسبت‌های بالای ترکیبات جایگزین قند سبب رطوبت، گرانزوی و

8. Takemorie T, Tsurumi T, Ito M, Kamiwaki T. Inventors; Low calorie chocolate. US Patent 5,629,040. 1997
9. Krüger, C. Sugar. In: Beckett, S. T editors. Industrial chocolate manufacture and use. London: Blackie Academic and Professional; 1994: 25–42.
10. Sokmen A, Gunes G. Influence of some bulk sweeteners on the rheological properties of chocolate. *LWT Food Sci Technol* 2006; 39: 1053–1058.
11. Goldman F. Inventor; Sugar substitute and bulking agent and chocolate. US Patent 20, 060, 088, 637. 2006.
12. Abbasi S, Farzanmehr H. Optimization of extracting conditions of inulin from Iranian artichoke with/without ultrasound using response surface methodology. *J Sci and Technol Agric and Natural Resources*. 2008 *in press* [In Persian].
13. Flood MT, Auerbach MH, Craig SAS: a review of the clinical toleration studies of polydextrose in food. *Food Chem Toxic* 2004; 42: 1531–1542.
14. Avaltroni F, Bouquerand PE, Normand V. Maltodextrin molecular weight distribution on the glass transition temperature and viscosity aqueous solutions. *Carbohydr Polym* 2004; 58: 323–324.
15. Baucal LD, Dokic P, Jakovljevic J. Influence of maltodextrins on properties of o/w emulsions. *Food Hydrocoll* 2004; 18: 233–239.
16. Miller GA. Sucralose, In: Nabros LO, Gelardi RC editors. Alternative Sweetener 2nd ed. New York: Marcer Dekker; 1991: 173–195.
17. Keogh MK, Murray CA, O'Kennedy BT. Effect of selected properties of ultrafiltered spray-dried milk powders on some properties of chocolate. *Intl Dairy J*. 2003; 13: 719–726.
18. AOAC Official Methods of Analysis, 17th ed; 2002.
19. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Chocolate: specifications and measuring methods. ISIRI no 608. Karaj: ISIRI; 2004 [In Persian].
20. Bourne, MC. Food texture and viscosity: Concept and measurement. 2nd ed. Translated by Abbasi S. Tehran: Marzedanesh Publications, 2007 [In Persian].
21. Barnes HA. Handbook of elementary rheology. Translated by Abbasi S. Tehran: Marzedanesh Publications, 2008 [In Persian].
22. Zamecnik JR, Crawford CL, Koopman DC. Large scale verification of 241-AN-102 (envelope c) sample. Available from: <http://www.sti.srs.gov/fulltext/tr2002093/tr2002093.pdf> 2002.
23. Zorba M, Kurt S. Optimization of emulsion characteristics of beef, chicken and turkey meat mixtures in model system using mixture design. *Meat Sci*. 2006; 73: 611–618
24. Steff JF. Rheological methods in food processing engineering, 2nd ed. East Lansing: Freeman Press; 1996: 1–93.
25. Chevalley J. Traditional chocolate making, In: Beckett, ST editor. *Industrial Chocolate manufacture and Use*. London: Blackie Academic and Professional; 1994: 1–7.
26. Aeschlimann JM, Beckett ST. International inter-laboratory trials to determine the factors affecting the measurement of chocolate viscosity. *J Texture Stud* 2000; 31: 541–576.
27. Specter SE, Setser CS. Sensory and physical properties of a reduced-calorie frozen dessert system made with milk fat and sucrose substitutes. *J Dairy Sci*. 1994; 77: 708–717.
28. Zheng M, Jin Z, Zhang Y. Effect of cross-linking and esterification on hygroscopicity and surface activity of cassava maltodextrins. *Food Chem* 2007; 103: 1375–1379.
29. Stanyon P, Costello C. Effects of wheat bran and polydextrose on the sensory characteristics of biscuits. *Cereal Chem* 1990; 67 (6): 545–547.
30. Akin MB, Akin MS, Kirmaci Z. Effects of inulin and sugar levels on the viability of yoghurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics in probiotic ice-cream. *Food Chem*. 2007; 104: 93–99.
31. Cardarelli HR, Buriti FCA, Castro IA, Saad SMI. Inulin and oligofructose improve sensory quality and increase probiotic viable count in potentially symbiotic in *petit-suisse* cheese. *LWT Food Sci Technol*. 2008; 41 (6): 1037–1046.
32. Sudha ML, Srivastava AK, Vetrimani R, Leelavathi K. Fat replacement in soft dough biscuits: its implications on dough rheology and biscuit quality. *J Food Eng* 2007; 80: 922–930.
33. Bolenz S, Amtsberg K, Schäpe R. Influence of milk components on properties and consumer acceptance of milk chocolate. *Eur Food Res Technol* 2003; 216: 28–33.
34. Klinkesorn U, Sophanodora P, Chinachoti P, McClements DJ. Stability and rheology of corn oil-in-water emulsions containing maltodextrin. *Food Res Int* 2004; 37: 851–859.
35. Ozdemir M, Sadikoglu H. Characterization of rheological properties of systems containing sugar substitutes and carrageenan. *Intl J Food Sci Technol* 1998; 33: 439–444.
36. Nebesny E, Żyżelewicz D. Effect of lecithin concentration on properties of sucrose-free chocolate masses sweetened with isomalt. *Eur Food Res Technol* 2005; 220: 131–135.
37. Akhtar M, Murray BS, Dickinson E. Perception of creaminess of model oil-in-water dairy emulsions: influence of the shear-thinning nature of a viscosity-controlling of a hydrocolloid. *Food Hydrocoll* 2006; 20: 839–847.