

## ارزیابی تاثیر جایگزین‌های قند روی برخی ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی، رئولوژیکی

## و حسی شکلات شیری

حنانه فرزانه مهر<sup>۱</sup>، سلیمان عباسی<sup>۲</sup>، محمدعلی سحری<sup>۳</sup>

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 عمده 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 پربایوتیک به کمک طرح ترکیبی لاتیس ساده (Simplex Lattice Mixture Design) بررسی شد.

**مواد و روش‌ها:** از اینولین به‌عنوان ترکیب پربایوتیک همراه با پلی‌دکستروز، مالتودکستروز و سوکرالوز به‌منظور 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، گرانی و تنش تسلیم بیشتر و سختی کمتری داشتند. کمترین رطوبت، گرانی 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 مالتودکستروز، کاهش یافت. ادغام نمودارهای کانتور نشان داد که نسبت بهینه اینولین ۶۴۸-۳۲۲/۴ و ۶۷/۲-۸۶/۲٪، پلی‌دکستروز ۰-۲۸/۳٪ و مالتودکستروز ۰-۳۰/۶٪ بود. نتایج حاصل از کاهش چربی هم نشان‌دهنده امکان کاهش چربی تا میزان ۵٪ و 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 مالتودکستروز به‌منظور جایگزینی قند و تولید شکلات شیری کم‌کالری پربایوتیک با ویژگی‌هایی مشابه شکلات معمولی، روش مناسبی تشخیص داده شد.

**واژگان کلیدی:** شکلات پربایوتیک، رئولوژی، اینولین، پلی‌دکستروز، مالتودکستروز

## • 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 عمده مصرف رو به رشد آن است (۴). ولی یکی از مشکلات عمده در زمینه استفاده از شکلات، میزان قند بالای این ماده غذایی است که بسته به نوع شکلات در حدود ۳۵ تا ۵۰٪ می‌باشد (۵). 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 (۶)، زایلیتول و پلی‌دکستروز (۷)، مالتیتول به تنهایی و به صورت

امروزه، اهمیت مسائل مربوط به سلامت و تغذیه و تقاضای عمومی مصرف‌کنندگان 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 نئوشوگرها (neosugars) اشاره کرد (۳).

با توجه به این مطالب، هدف مطالعه حاضر، بررسی امکان جایگزین کردن قند شکلات با سه ترکیب اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکستروز همراه با شیرین کننده سوکرالوز و تولید شکلات شیری کم‌کالری با ویژگی‌های پربایوتیک با استفاده از طرح ترکیبی لاتیس ساده به منظور دستیابی به نسبت بهینه این ترکیبات بود. در ضمن، تاثیر 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)، شیر خشک بدون چربی ساخت شرکت *بینا رزن* (رزن، ایران)، لسیترین تولید شرکت *ADM* (Illinois, USA)، ساکارز از شرکت *سهامی قند و شکر ایران* و پودر وانیل از سوپر مارکتی در تهران تهیه شدند. اینولین *Frutafit IQ* محصول شرکت *Cosun-Sensus* (Roosendaal, Netherlands)، پلی‌دکستروز *LitesUltra* ساخت شرکت *Danisco* (Bönningstedt, Germany)، مالتودکستروز مورد استفاده، دارای معادل دکستروز (DE) ۱۸ ساخت شرکت *SCT* (Bangkok, Thailand) و سوکرالوز *Splenda* محصول شرکت *Tate&Lyle* (Alabama, USA) بود. روغن نباتی استفاده شده در این تحقیق، روغن نباتی لادن طلایی محصول شرکت *صنعتی بهشهر* (تهران، ایران) بود.

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

**تهیه نمونه‌های شکلات:** برای تهیه نمونه‌های ۱۰۰ گرمی شکلات شیری کم‌کالری، نخست کره کاکائو (۲۳ گرم) را در آن ۶۰°C ذوب شد. سپس، پودر کاکائو (۱۱/۸۶ گرم)، جایگزین‌های قند شامل اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکستروز را به تنهایی یا به شکل ترکیب با یکدیگر

ترکیبی با پلی‌دکستروز و اینولین (۵)، پلی‌دکستروز و آسپارتام (۸)، لاکتیتول و آسپارتام (۹)، ترکیب سه شیرین کننده حجم دهنده ایزومالت، زایلنتول و مالتیتول (۱۰) و ترکیب اینولین، پلی‌دکستروز، مالتودکستروز، سوکرالوز و آسولفام K (۱۱) اشاره نمود.

مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که می‌توان از ترکیب مواد شیرین کننده با مواد پربایوتیک مانند اینولین به منظور توسعه محصولات رژیمی با ویژگی‌های مفید تغذیه‌ای استفاده کرد. اینولین، کربوهیدراتی مشتق شده از گیاهان، بسیاری غیرمنشعب از فروکتان با پیوند  $\beta(1\rightarrow2)$  و یک مولکول گلوکز در انتهای زنجیر فروکتوز با اتصال  $\alpha(1\rightarrow2)$  است که در گیاهان مختلفی مانند مارچوبه، سیر، تره‌فرنگی، پیاز، کنگر فرنگی و کاسنی یافت می‌شود. اینولین از فیبرهای غذایی قابل تخمیر است و به بهبود عملکرد روده کمک می‌کند، نقش بیفیدوژنیک (*bifidiogenic*) و پربایوتیک (*prebiotic*) دارد، جذب کلسیم را افزایش می‌دهد، در افراد دارای چربی بالا سبب کاهش تری‌گلیسریدها می‌شود و به ازای هر گرم ۱/۵ کیلوکالری انرژی تولید می‌کند (۱۲).

پلی‌دکستروز نیز بسیاری از گلوکز با اتصالات عرضی تصادفی است که دارای ویژگی‌های کاربردی شبیه ساکارز، ولی با محتوای انرژی ۱ کیلوکالری به ازای هر گرم است (۱۱). 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).

مالتودکستروز نیز بسیاری 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 شیرین کننده‌ای با توان و کیفیت بالا، فوق‌العاده پایدار و دارای قدرت شیرین کنندگی ۶۰۰ برابر ساکارز است (۱۶).

ته صاف ۱/۶ میلی متری و سرعت نفوذ ۱/۵ میلی متر بر ثانیه مورد آزمون نفوذ قرار گرفت و نیروی حداکثر در عمق ۶ میلی متری به عنوان شاخص سختی گزارش شد (۲۰).

اندازه گیری ویژگی های رئولوژیکی: برای بررسی ویژگی های رئولوژیکی از دستگاه رئومتر UDS200 (Phisica Germany Messtechnik GmbH, Stuttgart) استفاده شد. برای این منظور، نمونه های شکلات در ظرفی در بسته حداقل به مدت ۷۵ دقیقه داخل آن  $50^{\circ}\text{C}$  قرار داده شد. سپس، نمونه های ذوب شده، درون فنجانک ژئومتری استوانه های هم مرکز مدل Z3 DIN ریخته شد و قبل از شروع اندازه گیری ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  با سرعت برشی  $5\text{ S}^{-1}$  هم زده شد. سپس در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  میزان تغییرات تنش برشی به عنوان تابعی از سرعت برشی در دامنه  $0/01$  تا  $60\text{ S}^{-1}$  (شیب افزایشی) و  $60$  تا  $0/01\text{ S}^{-1}$  (شیب کاهش) هر کدام در مدت ۳ دقیقه اندازه گیری شد. اطلاعات به دست آمده توسط مدل های ریاضی بینگهام (Bingham)، کاسون (Casson)، قانون توان (Power law) و هرشل-بالکلی (Herschel-Bulkley) مورد برآش قرار گرفت و شاخص های رئولوژیکی شامل گرانروی و تنش تسلیم توسط بهترین مدل محاسبه شد (۲۱، ۱۰).

ارزیابی حسی: ویژگی های حسی نمونه های شکلات شامل میزان شیرینی، سفتی، سرعت ذوب شدن، پوشش دهانی، رنگ و پذیرش کلی با استفاده از آزمون هدونیک ۴ سطحی (۱=غیر قابل قبول، ۲=نسبتاً رضایت بخش، ۳=خوب و ۴=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 نمونه ها به صورت تصادفی در اختیار ارزیاب ها قرار گرفتند.

طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری: برای بررسی اثر نسبت جایگزینی اینولین، پلی دکستروز و مالتو دکسترین روی برخی ویژگی های فیزیکی-شیمیایی، مکانیکی (سختی)، رئولوژیکی و حسی شکلات و تعیین بهترین ترکیب از طرح ترکیبی لاتیس ساده (Simplex Lattice Mixture Design) استفاده شد. برای طراحی آزمایشات، محاسبه معادلات و ارزیابی آماری از

پودر شیرخشک (۱۴ گرم) و سوکرالوز (۰/۴ گرم) به کره کاکائو ذوب شده اضافه شد. مخلوط به دست آمده، به وسیله مخلوط کنی با سرعت ۵۰ دور در دقیقه به مدت ۴ ساعت در حمام پارافین  $65^{\circ}\text{C}$  تحت عمل ورز دادن (conching) قرار گرفت. باقیمانده کره کاکائو (۹ گرم) و لسیتین (۰/۳ گرم) در ۳۰ دقیقه نهایی ورز دادن اضافه شد (۱۰). شکلات های تهیه شده تا ۲۴ ساعت داخل گرمخانه  $50^{\circ}\text{C}$  نگهداری شدند. سپس، دمای این نمونه ها به  $45^{\circ}\text{C}$  رسانده شد و به مدت ۳۰ دقیقه در این دما نگهداری شد. سپس عملیات مشروط کردن دمایی (tempering) و قالب گیری انجام و شکلات های قالب گیری شده، پس از بسته بندی در ورقه های آلومینیومی تا زمان انجام آزمایش ها در شرایط یخچالی نگهداری شد (۱۷). نمونه شاهد نیز مانند روش بالا تهیه شد، فقط در ترکیب آن از ساکارز به جای جایگزین های 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 نمونه ها به ترتیب از حروف اختصاری ۵L، ۱۰L و ۲۰L استفاده شد.

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

اندازه گیری برخی ویژگی های مکانیکی و رئولوژیکی

اندازه گیری سختی: برای اندازه گیری میزان سختی، نمونه های شکلات نگهداری شده در یخزن، به مدت ۲ ساعت قبل از انجام آزمایش، در دستگاه انکوباتور یخچال دار (ساخت شرکت زال تجهیز، تهران) قرار گرفت و دمای دستگاه در  $20^{\circ}\text{C}$  تنظیم شد. پس از این مدت، سختی نمونه های شکلات چهار گوش (ابعاد تقریبی  $10 \times 25 \times 5\text{ mm}$ ) توسط دستگاه بافت سنج (مدل H50KS ساخت شرکت Hounsfield انگلستان)، مجهز به سمبه

نرم افزار JMP 5.1 (SAS Institute Inc.) استفاده شد. نسبت سطوح جایگزین‌های قند (اینولین، پلی دکستروز و مالتودکستروز) بین ۰ تا 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 (SPSS Inc.) Sigmaplot 2001 مورد بررسی قرار گرفت (۲۲، ۲۳).

نرم افزار JMP 5.1 (SAS Institute Inc.) استفاده شد. نسبت سطوح جایگزین‌های قند (اینولین، پلی دکستروز و مالتودکستروز) بین ۰ تا 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 (SPSS Inc.) Sigmaplot 2001 مورد بررسی قرار گرفت (۲۲، ۲۳).

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

شماره نمونه	نسبت (گرم در ۱۰۰ گرم شکلات)			سطوح (درصد)		
	مالتودکستروز	پلی دکستروز	اینولین	X <sub>۳</sub>	X <sub>۲</sub>	X <sub>۱</sub>
۱	۴۱/۸	۰	۰	۱۰۰	۰	۰
۲	۳۱/۳۵	۱۰/۴۵	۰	۷۵	۲۵	۰
۳	۲۰/۹	۲۰/۹	۰	۵۰	۵۰	۰
۴	۱۰/۴۵	۳۱/۳۵	۰	۲۵	۷۵	۰
۵	۰	۴۱/۸	۰	۰	۱۰۰	۰
۶	۳۱/۳۵	۰	۱۰/۴۵	۷۵	۰	۲۵
۷	۲۰/۹	۱۰/۴۵	۱۰/۴۵	۵۰	۲۵	۲۵
۸	۱۰/۴۵	۲۰/۹	۱۰/۴۵	۲۵	۵۰	۲۵
۹	۰	۳۱/۳۵	۱۰/۴۵	۰	۷۵	۲۵
۱۰	۲۰/۹	۰	۲۰/۹	۵۰	۰	۵۰
۱۱	۱۰/۴۵	۱۰/۴۵	۲۰/۹	۲۵	۲۵	۵۰
۱۲	۰	۲۰/۹	۲۰/۹	۰	۵۰	۵۰
۱۳	۱۰/۴۵	۰	۳۱/۳۵	۲۵	۰	۷۵
۱۴	۰	۱۰/۴۵	۳۵/۳۱	۰	۲۵	۷۵
۱۵	۰	۰	۴۱/۸	۰	۰	۱۰۰

• X<sub>۱</sub>=اینولین، X<sub>۲</sub>=پلی دکستروز، X<sub>۳</sub>=مالتودکستروز

## • یافته‌ها

تأثیر جایگزین‌های قند روی برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی  
 رطوبت، 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

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 ۵۰٪ و دو ترکیب دیگر ۲۵٪ بود، در حالی که در نمونه شماره ۱ فقط از مالتودکستروز و در نمونه شماره ۵ فقط از پلی دکستروز با نسبت 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 (۳۲٪)، اختلاف این دو عدد (۲/۶٪) نشان دهنده میزان چربی موجود در شیر خشک و پودر کاکائو استفاده شده است.

جدول ۲- تاثیر نسبت های مختلف جایگزین های قند روی ویژگی های فیزیکی-شیمیایی و مکانیکی شکلات شیری کم کالری

انرژی (کیلوکالری در صد گرم)	لاکتوز (درصد)	پروتئین (درصد)	چربی (درصد)	سختی (نیوتن)	فعالیت آبی	pH	رطوبت (درصد)	میزان قند و جایگزین های قند (گرم در ۱۰۰ گرم شکلات)			شماره نمونه
								مالتو دکستروز	پلی دکستروز	اینولین	
<sup>a</sup> ۵۲۵	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۳۴/۶	<sup>g</sup> ۱۰/۱	<sup>a</sup> ۰/۳۳۰	<sup>a</sup> ۷/۲۸	<sup>a</sup> ۰/۹۲۱	۴۱/۸	۰	۰	۱
<sup>b</sup> ۵۰۴	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۳۴/۶	<sup>efg</sup> ۱۱/۵	<sup>a</sup> ۰/۳۴۱	<sup>a</sup> ۷/۲۸	<sup>b</sup> ۰/۸۷۰	۳۱/۳۵	۱۰/۴۵	۰	۲
<sup>d</sup> ۴۷۳	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۳۴/۶	<sup>cde</sup> ۱۲/۴	<sup>a</sup> ۰/۳۲۳	<sup>a</sup> ۷/۲۹	<sup>bc</sup> ۰/۸۴۳	۲۰/۹	۲۰/۹	۰	۳
<sup>g</sup> ۴۴۱	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۳۴/۶	<sup>defg</sup> ۱۱/۷	<sup>a</sup> ۰/۳۱۰	<sup>a</sup> ۷/۲۸	<sup>bc</sup> ۰/۸۴۱	۱۰/۴۵	۳۱/۳۵	۰	۴
<sup>k</sup> ۴۱۰	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۳۴/۶	<sup>g</sup> ۱۰/۲	<sup>a</sup> ۰/۳۰۲	<sup>a</sup> ۷/۲۹	<sup>a</sup> ۰/۹۰۱	۰	۴۱/۸	۰	۵
<sup>b</sup> ۵۰۹	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۳۴/۶	<sup>cde</sup> ۱۲/۳	<sup>a</sup> ۰/۳۴۱	<sup>a</sup> ۷/۲۹	<sup>b</sup> ۰/۸۶۲	۳۱/۳۵	۰	۱۰/۴۵	۶
<sup>۴</sup> ۴۷۸	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۳۴/۶	<sup>bc</sup> ۱۳/۵	<sup>a</sup> ۰/۳۴۴	<sup>a</sup> ۷/۲۹	<sup>i</sup> ۰/۵۴۰	۲۰/۹	۱۰/۴۵	۰	۷
<sup>efg</sup> ۴۴۶	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۳۴/۶	<sup>b</sup> ۱۳/۸	<sup>a</sup> ۰/۳۲۳	<sup>a</sup> ۷/۲۹	<sup>hi</sup> ۰/۵۴۲	۱۰/۴۵	۲۰/۹	۰	۸
<sup>jk</sup> ۴۱۵	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۳۴/۶	<sup>bcde</sup> ۱۲/۶	<sup>a</sup> ۰/۳۰۲	<sup>a</sup> ۷/۳۰	<sup>ef</sup> ۰/۷۵۳	۰	۳۱/۳۵	۰	۹
<sup>cd</sup> ۴۸۲	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۳۴/۶	<sup>bcd</sup> ۱۲/۹	<sup>a</sup> ۰/۴۴۱	<sup>a</sup> ۷/۲۹	<sup>g</sup> ۰/۵۹۴	۲۰/۹	۰	۲۰/۹	۱۰
<sup>ef</sup> ۴۵۱	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۳۴/۶	<sup>a</sup> ۱۵	<sup>a</sup> ۰/۳۳۳	<sup>a</sup> ۷/۳۰	<sup>hi</sup> ۰/۵۴۰	۱۰/۴۵	۱۰/۴۵	۰	۱۱
<sup>ij</sup> ۴۲۰	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۳۴/۶	<sup>bc</sup> ۱۳/۵	<sup>a</sup> ۰/۳۱۰	<sup>a</sup> ۷/۳۰	<sup>gh</sup> ۰/۵۸۲	۰	۲۰/۹	۰	۱۲
<sup>۴</sup> ۴۵۷	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۳۴/۶	<sup>bcde</sup> ۱۲/۶	<sup>a</sup> ۰/۳۴۴	<sup>a</sup> ۷/۲۹	<sup>ef</sup> ۰/۷۲۰	۱۰/۴۵	۰	۳۱/۳۵	۱۳
<sup>hi</sup> ۴۲۵	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۳۴/۶	<sup>cde</sup> ۱۲/۴	<sup>a</sup> ۰/۳۲۵	<sup>a</sup> ۷/۲۸	<sup>f</sup> ۰/۷۱۲	۰	۱۰/۴۵	۰	۱۴
<sup>h</sup> ۴۳۱	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۳۴/۶	<sup>fg</sup> ۱۰/۷	<sup>a</sup> ۰/۳۲۲	<sup>a</sup> ۷/۲۹	<sup>de</sup> ۰/۷۶۳	۰	۰	۴۱/۸	۱۵
<sup>۵</sup> ۵۲۵	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۷/۲۶	<sup>a</sup> ۳۴/۶	<sup>fg</sup> ۱۰/۵	<sup>a</sup> ۰/۱۳۳	<sup>a</sup> ۷/۲۹	<sup>i</sup> ۰/۵۲۱	۰	۰	۰	شاهد

حروف مختلف در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۹۵ درصد است (p < ۰/۰۵)

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 مالتودکسترین و کمترین انرژی در نمونه‌های فاقد مالتودکسترین یا دارای نسبت‌های پایین این ترکیب و نسبت‌های بالای پلی‌دکستروز و سپس اینولین دیده شد که به دلیل کالری بالای مالتودکسترین و میزان کالری کم دو ترکیب دیگر است.

جدول ۳- نتایج آزمون فهلینگ نمونه‌های شکلات شیری

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

مواد قندی: نتایج به دست آمده (جدول ۳) نشان می‌دهد که در نمونه شماره ۱ (حاوی ۱۰۰٪ مالتودکسترین) میزان قند احیا کننده به دست آمده قبل و بعد از آب‌کافت تقریباً مشابه و نشان‌دهنده آن است که این آزمایش از توانایی کافی برای آب‌کافت کامل مالتودکسترین برخوردار نیست. در نتیجه، در نمونه‌های حاوی مالتودکسترین فقط امکان اندازه‌گیری میزان قند احیا کننده قبل از آب‌کافت 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 آب‌کافت، نشان‌دهنده میزان لاکتوز موجود در شیرخشک مصرفی است). پس از کسر این مقدار از میزان قند احیا کننده قبل از آب‌کافت، میزان رطوبت (رطوبت مالتودکسترین 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 آب‌کافت در نمونه شماره ۵ (حاوی ۱۰۰٪ پلی‌دکستروز) نشان‌دهنده وجود حدود ۳٪ قند احیا کننده قبل از آب‌کافت در نمونه پلی‌دکستروز مصرفی است. میزان قند احیا کننده بعد از آب‌کافت نشان داد که با استفاده از آزمون فهلینگ 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 به‌صورت کامل وجود داشت و میزان قند احیا کننده قبل از آب‌کافت نشان‌دهنده وجود ۵/۴ درصد قند احیا کننده قبل از آب‌کافت در اینولین مصرفی بود.

انرژی: میزان هر یک از ترکیبات جایگزین قند (در مورد نمونه شاهد شکر) و چربی، لاکتوز و پروتئین مربوط به هر یک 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، مالتودکسترین و ساکارز به ترتیب برابر ۱/۵، ۱، ۴ و ۴ کیلوکالری به ازای هر گرم و چربی، لاکتوز و پروتئین به ترتیب برابر ۹، ۴ و

## تأثیر جایگزین‌های قند روی برخی ویژگی‌های مکانیکی و رئولوژیکی

سختی: مطابق جدول ۲، نمونه‌های شماره ۱ و ۵ به ترتیب حاوی ۱۰۰٪ مالتودکسترین 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، برازش 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.

$$\sigma = \eta_{pl}(\dot{\gamma}) + \sigma_0 \quad (1 \text{ معادله})$$

$$(\sigma)^{1/5} = K (\dot{\gamma})^{1/5} + (\sigma_0)^{1/5} \quad (2 \text{ معادله})$$

$$\sigma = K \dot{\gamma}^n \quad (3 \text{ معادله})$$

$$\sigma = K \dot{\gamma}^n + \sigma_0 \quad (4 \text{ معادله})$$

در این معادلات،  $\sigma$  = تنش برشی،  $\eta_{pl}$  = گرانروی پلاستیک،  $\dot{\gamma}$  = سرعت برشی،  $\sigma_0$  = تنش تسلیم،  $K_1$  = گرانروی کاسون،  $K$  = شاخص قوام،  $n$  = شاخص رفتار جریان هستند (۲۴، ۲۱، ۲۰).

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

المللی در اندازه‌گیری گرانروی شکلات از آن استفاده می‌شود (۲۵، ۲۱ و ۲۰). برای محاسبه گرانروی کاسون و تنش تسلیم، نمودار ریشه دوم تنش برشی ( $\sigma^{1/5}$ ) در برابر ریشه دوم سرعت برشی ( $\dot{\gamma}^{1/5}$ ) رسم شد. در نمودارهای رسم شده، شیب خط نشان‌دهنده گرانروی کاسون و توان دوم عرض از مبدا نشان‌دهنده تنش تسلیم بود (۲۴).

نتایج مربوط به گرانروی کاسون و تنش تسلیم در جدول ۵ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بین نمونه‌های شکلات مورد آزمایش، اختلاف معنی‌داری وجود دارد. گرانروی کاسون دو نمونه ۸ و ۱۱ پایین‌تر و گرانروی 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 توجیه‌کننده گرانروی کم این ترکیبات باشد. نمونه‌های ۱ تا ۶ دارای بیشترین میزان رطوبت بودند (جدول ۲). مشاهده اعداد مربوط به گرانروی کاسون این ترکیبات (جدول ۵) هم نشان‌دهنده بالاترین میزان گرانروی 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 مالتودکسترین بودند (۷۵ تا ۱۰۰٪). پس از این نمونه‌ها دو نمونه شکلات شماره ۹ و ۱۵ به ترتیب دارای ۷۵٪ پلی‌دکستروز و ۲۵٪ مالتودکسترین و ۱۰۰٪ اینولین از گرانروی بالاتری داشتند. مقادیر گرانروی کاسون اندازه‌گیری شده در محدوده ۱/۸۷ تا ۴/۷۱<sup>۱/۵</sup> پاسکال. ثانیه یا ۳/۲۸ تا ۲۲/۸ پاسکال. ثانیه بود و نشان داد که گرانروی کاسون بعضی نمونه‌های شکلات تولید شده بالاتر از مقادیر گرانروی 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 گرانروی کاسون است. ولی برخلاف روند مشاهده شده در مورد گرانروی، مقادیر تنش تسلیم این نمونه‌ها دارای بیشترین اختلاف معنی‌دار

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 گرانیوی 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	شماره نمونه	مدل	ضریب تعیین ( $r^2$ )	انحراف استاندارد
۱	بینگهام	۰/۹۹۸	۶/۵۳	۹	بینگهام	۰/۹۹۶	۴/۳۹
	کاسون	۰/۹۹۶	۰/۱۵۳		کاسون	۰/۹۹۷	۱/۹۱
	توان	۰/۹۸۹	۰/۱۹۶		توان	۰/۹۷۹	۰/۲۰۴
	هرشل-بالکلی	۰/۹۸۰	۰/۳۱۸		هرشل-بالکلی	۰/۹۷۶	۰/۴۹۵
۲	بینگهام	۰/۹۹۸	۷/۶۴	۱۰	بینگهام	۰/۹۹۹	۵/۴۰
	کاسون	۰/۹۹۹	۰/۲۲۸		کاسون	۰/۹۹۸	۰/۲۸۷
	توان	۰/۹۹۷	۰/۰۸۲		توان	۰/۹۹۴	۰/۱۴۷
	هرشل-بالکلی	۰/۹۷۷	۰/۰۷۴		هرشل-بالکلی	۰/۹۷۰	۰/۳۳۴
۳	بینگهام	۰/۹۹۸	۶/۰۳	۱۱	بینگهام	۰/۹۹۹	۶/۲۶
	کاسون	۰/۹۹۸	۰/۲۹۹		کاسون	۰/۹۹۷	۰/۳۷۳
	توان	۰/۹۹۵	۰/۱۲۹		توان	۰/۹۹۵	۰/۱۳۶
	هرشل-بالکلی	۰/۹۵۹	۰/۳۹۶		هرشل-بالکلی	۰/۹۹۳	۰/۱۶۱
۴	بینگهام	۰/۹۹۸	۲/۳۹	۱۲	بینگهام	۰/۹۹۹	۲/۸۶
	کاسون	۰/۹۸۹	۰/۳۷۶		کاسون	۰/۹۹۷	۰/۱۹۷
	توان	۰/۹۰۳	۰/۳۹۸		توان	۰/۹۹۱	۰/۱۸۱
	هرشل-بالکلی	۰/۸۶۵	۰/۶۹۸		هرشل-بالکلی	۰/۹۹۱	۰/۱۷۹
۵	بینگهام	۰/۹۹۶	۵/۳۱	۱۳	بینگهام	۰/۹۹۷	۴/۶۲
	کاسون	۰/۹۹۵	۰/۳۳۰		کاسون	۰/۹۹۶	۰/۲۷۱
	توان	۰/۹۹۳	۰/۱۳۸		توان	۰/۹۸۱	۰/۲۰۶
	هرشل-بالکلی	۰/۹۵۹	۰/۳۶۹		هرشل-بالکلی	۰/۹۶۹	۰/۳۱۶
۶	بینگهام	۰/۹۹۴	۱۴/۳	۱۴	بینگهام	۰/۹۹۶	۹/۹۴
	کاسون	۰/۹۹۸	۰/۲۳۳		کاسون	۰/۹۹۸	۰/۳۲۷
	توان	۰/۹۷۹	۰/۲۴۷		توان	۰/۹۹۳	۰/۱۴۴
	هرشل-بالکلی	۰/۹۹۱	۰/۲۰۰		هرشل-بالکلی	۰/۹۶۸	۰/۳۷۶
۷	بینگهام	۰/۹۹۸	۴/۲۶	۱۵	بینگهام	۰/۹۹۸	۲/۴۶
	کاسون	۰/۹۹۶	۰/۳۲۱		کاسون	۰/۹۹۷	۰/۲۳۹
	توان	۰/۹۹۰	۰/۱۶۹		توان	۰/۹۷۵	۰/۲۴۷
	هرشل-بالکلی	۰/۹۸۶	۰/۱۹۶		هرشل-بالکلی	۰/۹۵۹	۰/۲۸۴
۸	بینگهام	۰/۹۹۷	۵/۳۳	شاهد	بینگهام	۰/۹۹۶	۵/۱۷
	کاسون	۰/۹۹۸	۰/۱۷۵		کاسون	۰/۹۹۲	۰/۳۸۶
	توان	۰/۹۸۸	۰/۱۴۸		توان	۰/۹۷۷	۰/۲۱۹
	هرشل-بالکلی	۰/۹۹۶	۰/۰۹۶		هرشل-بالکلی	۰/۹۴۸	۰/۳۷۷



جدول ۵- مقایسه تاثیر نسبت‌های مختلف جایگزین‌های قند روی مقادیر میانگین گرانی کاسون و تنش تسلیم نمونه‌های شکلات شیری کم‌کالری

شماره نمونه	شاخص رئولوژیکی	گرانی کاسون <sup>۱۱</sup> (پاسکال. ثانیه)	تنش تسلیم (σ <sub>۰</sub> ) (پاسکال)
۱	۴/۷۱ <sup>a</sup>	۴/۴۱ <sup>b</sup>	
۲	۳/۳۲ <sup>d</sup>	۳/۶۹ <sup>c</sup>	
۳	۳/۱۱ <sup>d</sup>	۲/۵۶ <sup>de</sup>	
۴	۳/۱۰ <sup>d</sup>	۲/۶۲ <sup>d</sup>	
۵	۳/۶۲ <sup>c</sup>	۲/۵۶ <sup>de</sup>	
۶	۴/۱۰ <sup>b</sup>	۳/۸۰ <sup>c</sup>	
۷	۲/۱۲ <sup>hi</sup>	۱/۴۴ <sup>h</sup>	
۸	۱/۹۳ <sup>ij</sup>	۱/۳۹ <sup>h</sup>	
۹	۲/۸۲ <sup>e</sup>	۲/۳۴ <sup>e</sup>	
۱۰	۲/۴۰ <sup>fg</sup>	۱/۹۰ <sup>fg</sup>	
۱۱	۱/۸۱ <sup>j</sup>	۱/۳۷ <sup>h</sup>	
۱۲	۲/۲۳ <sup>gh</sup>	۱/۷۲ <sup>g</sup>	
۱۳	۲/۴۰ <sup>fg</sup>	۱/۹۳ <sup>fg</sup>	
۱۴	۲/۵۲ <sup>f</sup>	۱/۹۹ <sup>fg</sup>	
۱۵	۲/۸۳ <sup>e</sup>	۲/۰۴ <sup>f</sup>	
شاهد	۲/۱۲ <sup>hi</sup>	۶/۴۰ <sup>a</sup>	

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

شد که در هر دو ترکیب، میزان بالای مالتودکسترین (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 به‌دست آمده و ضرایب تعیین  $\leq 0.85$ ، پنج ویژگی رطوبت، سختی، گرانی، تنش تسلیم و پذیرش کلی جهت بررسی و تعیین بهترین نسبت ترکیبات جایگزین قند مورد استفاده قرار گرفتند و برای هر یک 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 مالتودکسترین 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 مالتودکسترین بود (شکل ۲).

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

بیشترین گرانی کاسون در نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای مالتودکسترین و سپس پلی‌دکستروز و اینولین و کمترین گرانی 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 گرانی نمونه‌ها شد و در نسبت‌های پایین‌تر، اینولین سبب کاهش گرانی کاسون شد.

**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، قبلاً 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

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

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

متغیر	معادلات پیش‌گویی	$r$	$r^2$
رطوبت	$3 X_1 X_2 + 0.707 - 3 X_1 X_3 + 1/14 - 2 X_1 X_4 + 1/32 - 3 X_2 + 0.992 + 3 X_3 + 0.935 + 3 X_4 + 0.823 Y =$	۰/۹۶	۰/۹۲
سختی	$3 X_1 X_2 + 9/60 + 3 X_1 X_3 + 12/2 + 2 X_1 X_4 + 13/1 + 3 X_2 + 9/89 + 3 X_3 + 10/1 + 3 X_4 + 10/57 Y =$	۰/۹۷	۰/۹۵
گرانروی کاسون	$3 X_1 X_2 + 6/25 - 2 X_1 X_3 + 5/25 - 2 X_1 X_4 + 7/1 - 3 X_2 + 4/65 + 3 X_3 + 7/77 + 3 X_4 + 2/88 Y =$	۰/۹۶	۰/۹۳
تنش تسلیم	$3 X_1 X_2 + 6/17 - 2 X_1 X_3 + 6/02 - 2 X_1 X_4 + 3/35 - 3 X_2 + 4/98 + 3 X_3 + 2/87 + 3 X_4 + 2/22 Y =$	۰/۹۵	۰/۹۰
پذیرش کلی	$3 X_1 X_2 + 0.231 - 3 X_1 X_3 + 1/58 + 3 X_1 X_4 + 5/23 + 3 X_2 + 10/2 + 3 X_3 + 13/8 + 3 X_4 + 13/3 Y =$	۰/۹۶	۰/۹۲

همان‌طور که در نمودار کانتور مربوط به پذیرش کلی (شکل ۲ ه) مشاهده می‌شود، پذیرش کلی با افزایش نسبت اینولین و پلی‌دکستروز و کاهش نسبت مالتودکستروز افزایش و با کاهش دو ترکیب اول و افزایش مالتودکستروز 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، د) و کاربرد درصد‌های بالای اینولین منجر به افزایش 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٪ (۲۰L) چربی کمتر دیده شد. نتایج ارزیابی حسی نمونه‌های شکلات شیری کم‌کالری همراه با کاهش چربی هم نشان داد که نمونه‌های مورد آزمایش از نظر شیرینی و رنگ، اختلاف معنی‌دار نداشتند.

جدول ۸- تاثیر کاهش چربی بر مقادیر میانگین ۴ ویژگی رطوبت، pH، فعالیت آبی و سختی در نمونه‌های شکلات شیری کم‌کالری

ویژگی	نسبت کاهش چربی		
	۲۰L	۱۰L	۵L
رطوبت	۰/۲۱۳ <sup>c</sup>	۰/۳۹۱ <sup>b</sup>	۰/۵۱۰ <sup>a</sup>
pH	۷/۲۸ <sup>a</sup>	۷/۳۰ <sup>a</sup>	۷/۲۸ <sup>a</sup>
فعالیت آبی	۰/۲۶۳ <sup>a</sup>	۰/۲۷۰ <sup>a</sup>	۰/۲۷۳ <sup>a</sup>
سختی (نیوتن)	۱۹/۴ <sup>a</sup>	۱۳/۸ <sup>b</sup>	۱۰/۴ <sup>c</sup>

حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار 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 به‌دست 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 کم‌کالری 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 به‌دست آوردن بهترین نسبت‌های ترکیبات جایگزین قند برای هر پنج ویژگی مورد آزمون، محدوده پذیرش برای هریک از این ویژگی‌ها (رطوبت، سختی، گرانیروی کاسون، تنش تسلیم و پذیرش کلی) با استفاده از معادلات پیش‌گویی (جدول ۷) محاسبه شد (به‌ترتیب برابر ۰/۶۸۲، ۱۳/۱، ۲/۵۲، ۲/۰۰ و ۱۳/۵) 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 ۶/۴۸-۳۲/۴٪ و ۶۷/۲-۸۶/۲٪، پلی‌دی‌دکستروز ۰-۲۸/۳٪ و ۵۸/۸-۷۸/۳٪ و مالتودکسترین ۰-۳۰/۶٪ بود. از میان ۱۵ نمونه شکلات شیری کم‌کالری 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 کم‌کالری بررسی شد.

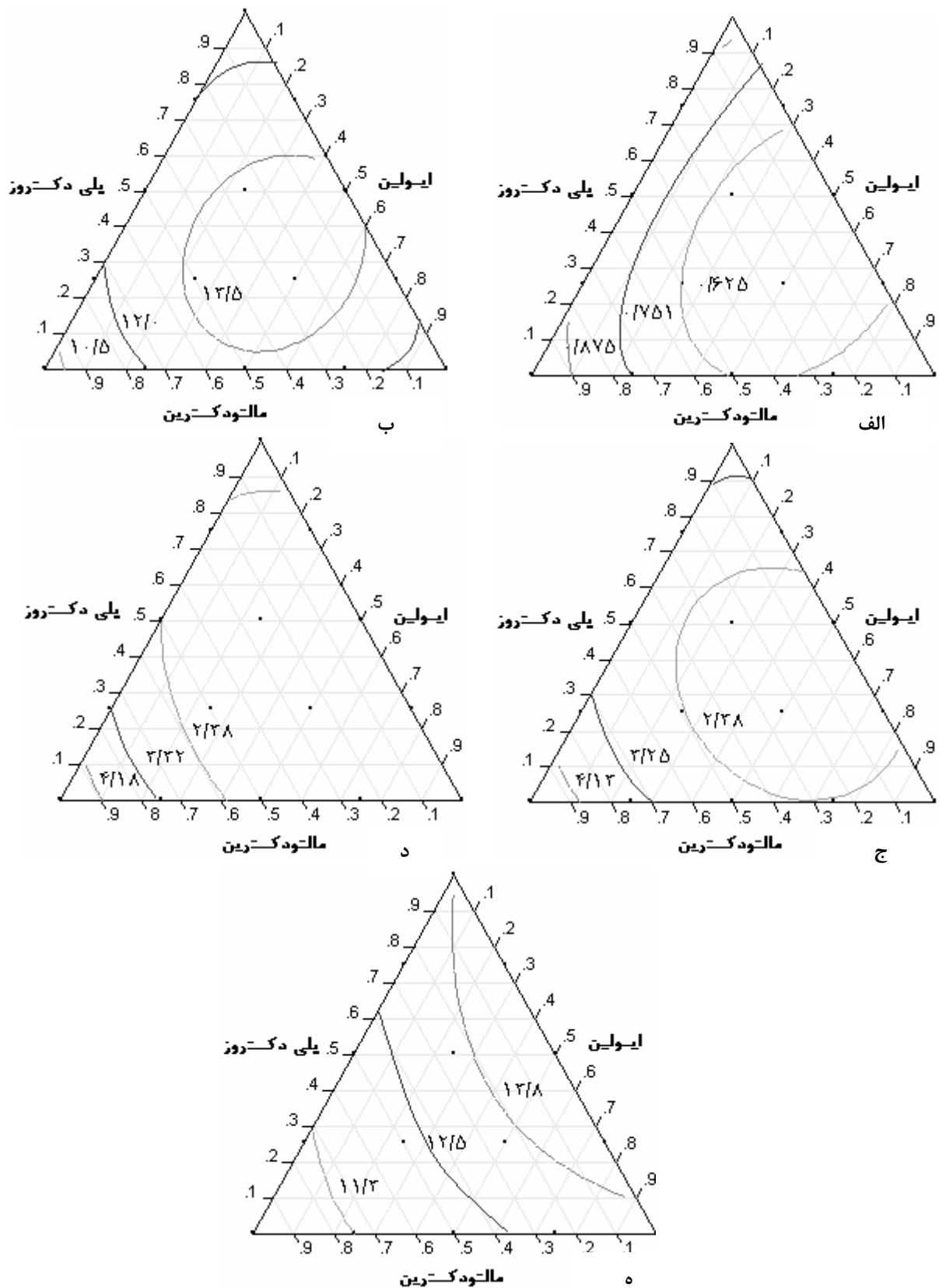
تولید شکلات شیری کم‌کالری با کاهش چربی: نتایج اندازه‌گیری رطوبت، pH، فعالیت آبی و سختی نمونه‌های شکلات شیری کم‌کالری همراه با کاهش چربی در جدول ۸ نشان داده شده است.

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

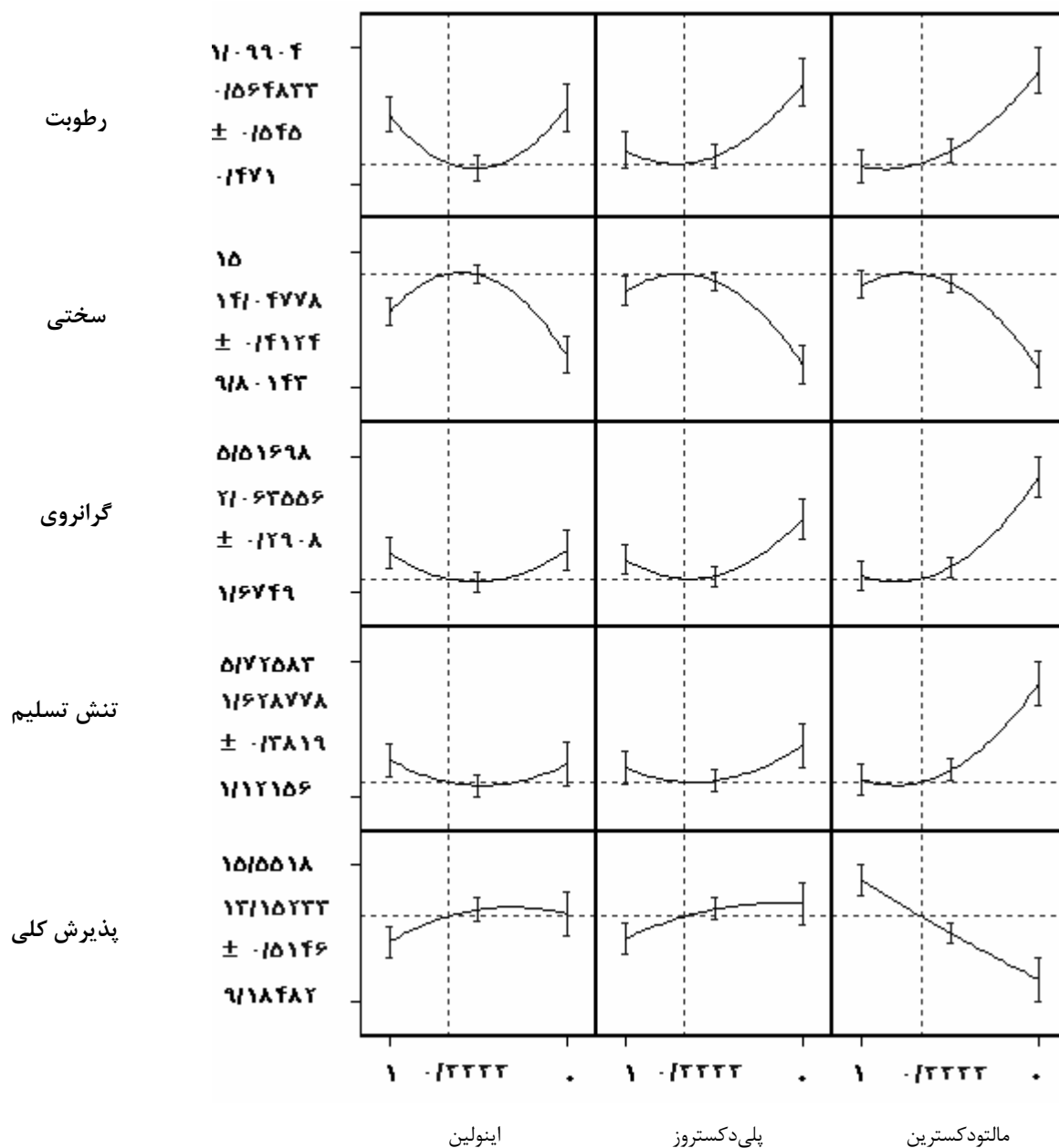
جدول ۹- تاثیر کاهش چربی بر مقادیر میانگین برخی ویژگی‌های حسی نمونه‌های شکلات شیری کم‌کالری

نسبت کاهش	ویژگی					
	پذیرش کلی	رنگ	پوشش دهانی	سرعت ذوب شدن	سختی	شیرینی
۵L	۱۳/۴ <sup>a</sup>	۲/۹۰ <sup>a</sup>	۲/۶۴ <sup>a</sup>	۲/۵۵ <sup>a</sup>	۲/۴۵ <sup>a</sup>	۲/۹۰ <sup>a</sup>
۱۰L	۱۰/۹ <sup>b</sup>	۲/۹۰ <sup>a</sup>	۱/۸۳ <sup>b</sup>	۱/۳۰ <sup>b</sup>	۲/۰۰ <sup>b</sup>	۲/۸۶ <sup>a</sup>
۲۰L	۹/۱۱ <sup>c</sup>	۳/۰۰ <sup>a</sup>	۱/۰۰ <sup>c</sup>	۱/۱۰ <sup>c</sup>	۱/۱۱ <sup>c</sup>	۲/۹۰ <sup>a</sup>

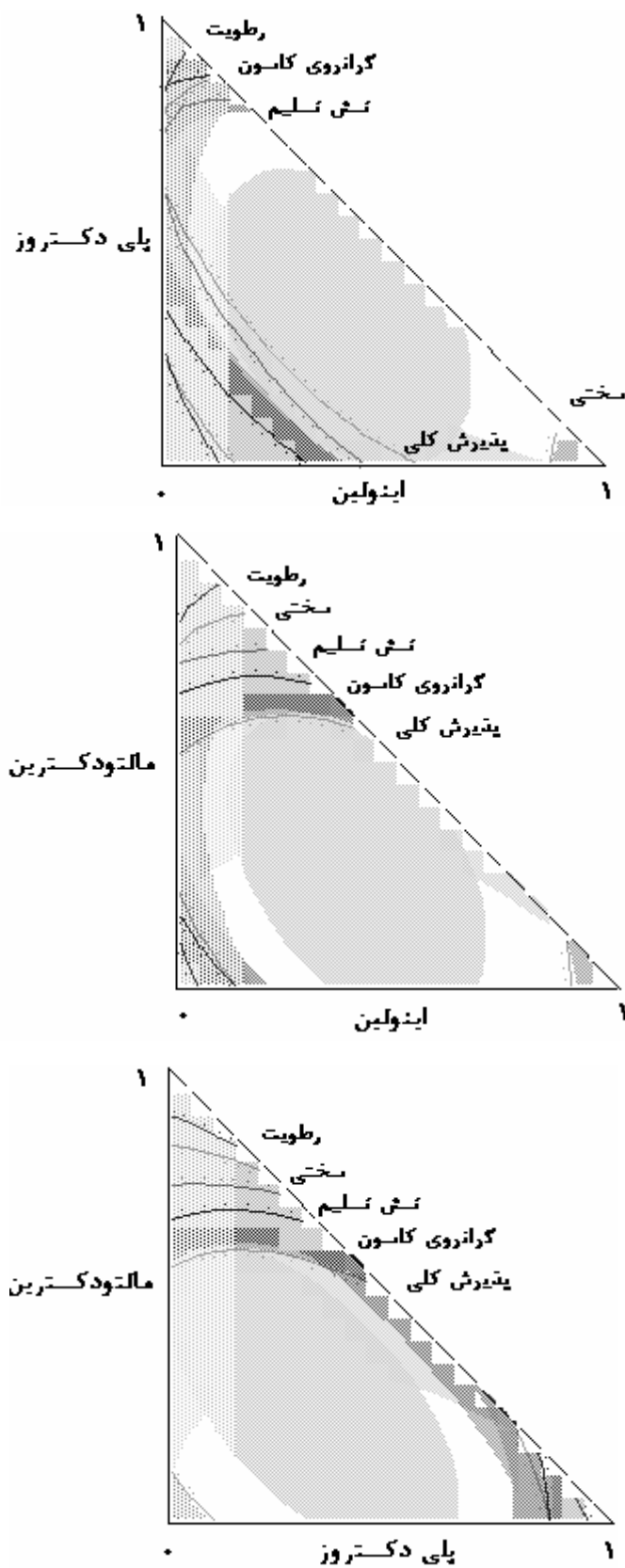
حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد است ( $p < 0.05$ )



شکل ۱- شکل‌های کانتور سه‌تایی مربوط به نمایش تأثیر جایگزین‌های قند روی الف) رطوبت، ب) سختی، ج) گرانی کاسون، د) تنش تسلیم و ه) پذیرش کلی شکلات‌های شیری کم‌کالری



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



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

## • بحث

افزایش ترکیبات جایگزین قند، سبب افزایش میزان رطوبت نمونه‌های شکلات شد و بیشترین میزان رطوبت، به ترتیب، در نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای مالتودکسترین، 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 مالتودکسترین قبل از ۵۰٪ دیده شد و میزان آن بیشتر بود. بیشترین افزایش در نمونه‌های حاوی نسبت‌های بالای مالتودکسترین دیده شد که نشان می‌دهد میان سه ترکیب جایگزین قند استفاده شده به ترتیب، مالتودکسترین و پلی‌دکستروز در نسبت بالا بیشترین توان نگهداری رطوبت را دارا می‌باشند (شکل ۲).

مالتودکسترین دارای ویژگی آب‌دوستی است (۲۷). یکی از دلایل افزایش رطوبت در ترکیبات دارای نسبت بالای مالتودکسترین وجود قندهای با وزن مولکولی پایین در ترکیب این ماده بوده که بسیار جاذب‌الرطوبه هستند که میزان این ترکیبات بسته به نوع مالتودکسترین، 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 تهیه 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

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 مالتودکسترین 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 مالتودکسترین بود (شکل ۳). در پژوهشی هم که توسط *Sudha* و همکاران (۲۰۰۷) روی جایگزینی چربی در بیسکویت صورت گرفت، مشاهده شد که افزایش نسبت مالتودکسترین 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). به‌طور کلی، بیشترین گرانیروی کاسون در نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای مالتودکسترین و سپس پلی‌دکستروز و اینولین و کمترین گرانیروی کاسون در نسبت‌های میانی این ترکیبات دیده شد (شکل ۱ ج). استفاده از نسبت‌های مختلف اینولین منجر به تغییرات اندکی در گرانیروی کاسون نمونه‌های شکلات شد. به‌طوری‌که تنها استفاده از نسبت‌های بالای اینولین منجر به افزایش مختصری در گرانیروی نمونه‌ها شد و در نسبت‌های پایین‌تر، اینولین سبب کاهش گرانیروی کاسون شد (شکل ۲). کاهش گرانیروی در ترکیبات حاوی اینولین قبلاً نیز گزارش شده است. در تحقیق *Bolenz* و همکاران (۲۰۰۶) استفاده از اینولین در نسبت ۲۰٪، سبب کاهش گرانیروی شکلات شد (۳۳). افزایش گرانیروی در نسبت‌های بالای اینولین احتمالاً به دلیل جاذب‌الرطوبه بودن این ترکیب و اتصال به مولکول‌های آب است که از

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

به‌طور کلی، پذیرش کلی نمونه‌های شکلات با افزایش نسبت اینولین و پلی‌دکستروز و کاهش نسبت مالتودکستروز افزایش یافت (شکل ۱ ه و شکل ۲). بهبود ویژگی‌های حسی در نمونه‌های شکلات شیری حاوی اینولین در تحقیقی روی استفاده از شکر و پرکننده‌ها قبلاً نیز گزارش شده است (۳۳). در پژوهش دیگری که به بررسی استفاده از اینولین و اولیگوفروکتوز 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). *Rapaille* 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 مالتودکستروز مشاهده شد، ولی این روند قبل از نسبت ۵۰٪ شروع شد و میزان آن بیشتر بود (شکل ۲). علاوه بر ویژگی جاذب‌الرطوبه بودن مالتودکستروز، دلیل دیگر این موضوع ممکن است پدیده تجمع تخلیه‌ای (*depletion flocculation*) در نسبت‌های بالای مالتودکستروز باشد. *Klinkesorn* و همکاران (۲۰۰۴) نیز در تحقیقی که روی پایداری امولسیون‌های روغن ذرت در آب حاوی مالتودکستروز انجام دادند، نشان دادند که مالتودکستروز در غلظت‌های بالاتر از غلظت بحرانی سبب افزایش گرانروی می‌شود و علت این پدیده را به تجمع تخلیه‌ای نسبت دادند. زمانی که ذرات تجمع پیدا می‌کنند، گرانروی به‌دلیل درگیر شدن فاز پیوسته در میان ذرات توده شده افزایش می‌یابد. با کاهش *DE* مالتودکستروز، غلظت بحرانی بروز پدیده تجمع تخلیه‌ای کاهش می‌یابد (۳۴). در مطالعات قبلی نیز مشاهده شد که افزایش گرانروی ترکیبات حاوی مالتودکستروز 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 تسلیم در نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای ترکیبات جایگزین قند و کمترین تنش تسلیم در



تنش تسلیم بیشتر و سختی کمتر در نمونه‌های شکلات تولیدی شد. کمترین رطوبت، گرانیروی 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 مالتودکسترین، 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 مالتودکسترین به‌منظور جایگزینی قند و تولید شکلات شیری کم‌کالری پربایوتیک و دارای ویژگی‌های مشابه نمونه شکلات تهیه شده با شکر تشخیص داده شد.

#### سپاسگزاری

به این وسیله از مسئولان شرکت‌های *Sensus* و *Danisco Deutschland* و *Tate and Lyle* و کارخانجات شیرین‌تک تبریز و ماگنولیا 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 مالتودکسترین احتمالاً ویژگی‌های حسی ضعیف (پوشش دهانی و سرعت ذوب شدن) نمونه‌های شکلات تولید شده با نسبت‌های بالای مالتودکسترین بود. همان‌طور که پیشتر بحث شد، مالتودکسترین به‌دلیل 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 می‌مانند 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 مالتودکسترین 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 به‌دست 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 گرانیروی و رطوبت بالای نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای این ترکیبات است. مالتودکسترین 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 به‌ازای هر گرم) است استفاده از نسبت‌های پایین‌تر این ترکیب برای تولید شکلات کم‌کالری، مناسب‌تر است.

براساس نتایج این بررسی، ترکیبات مختلف اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های مختلف شکلات کم‌کالری داشتند. نسبت‌های بالای ترکیبات جایگزین قند سبب رطوبت، گرانیروی 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 Poly 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 synbiotic in *petit-suisse* cheese. LWT Food Sci Technol. 2008; 41 (6): 1037–1046.
32. Sudha ML, Srivastava AK, Vetrmani 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 Intl 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.