مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال سوم، شماره۳، پاییز ۱۳۸۷ ، صفحات ۸۲-۶۵

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 دریافت: ۸۷/۶/۲۵ تاریخ پذیرش: ۸۷/۸/۲۵

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، مالتودکسترین 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، گرانروی و تنش تسلیم بیشتر و سختی کمتری داشتند. کمترین رطوبت، گرانروی 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 مالتودکسترین، کاهش یافت. ادغام نمودارهای کانتور نشان داد که نسبت بهینه اینولین ۶/۴۸–۳۲/۴٪ و ۶۷/۲–۸۶/۲٪، پلی‌دکستروز ۰–۲۸/۳٪ و ۵۸/۸–۷۸/۳٪ و مالتودکسترین 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 مالتودکسترین 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، مالتودکسترین

• مقدمه

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 آن‌جمله می‌توان به شیرین‌کننده‌های مصنوعی، قندهای الکلی، پلی‌ال‌های دو قندی و نئوشوگرها (neosugars) اشاره کرد (۳).

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)، زایلتول و پلی‌دکستروز (۷)، مالتیتول به تنهایی و به صورت

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-05-24]

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

مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که می‌توان از ترکیب مواد شیرین‌کننده با مواد پربایوتیک مانند اینولین به‌منظور توسعه محصولات رژیمی با ویژگی‌های مفید تغذیه‌ای استفاده کرد. اینولین، کربوهیدراتی مشتق شده از گیاهان، بسپاری غیرمنشعب از فروکتان با پیوند (۱→۲) β و یک مولکول گلوکز در انتهای زنجیر فروکتوز با اتصال (۲→۱) α 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 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 بسپاری از گلوکز با اتصالات عرضی تصادفی است که دارای ویژگی‌های کاربردی شبیه ساکارز، ولی با محتوای انرژی ۱ کیلوکالری به ازای هر گرم است (۱). کالری کم این ترکیب به‌دلیل هضم ضعیف آن در روده کوچک و تخمیر ناقص آن در روده بزرگ است که سبب پذیرش آن به‌عنوان فیبر غذایی در بسیاری از کشورها شده است (۱۳).

مالتودکسترین 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، فوق‌العاده پایدار و دارای قدرت شیرین‌کنندگی ۶۰۰ برابر ساکارز است (۱۶).

با توجه به این مطالب، هدف مطالعه حاضر، بررسی امکان جایگزین کردن قند شکلات با سه ترکیب اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین 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 کم کالری 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 Lumpor, Malaysia)، شیر 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 Frutafit IQ محصول شرکت *Cosun-Sensus* (Roosendaal, Netherlands)، پلی‌دکستروز LitessUltra ساخت شرکت *Danisco* (Bönningstedt, Germany)، مالتودکسترین 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: شیرخشک، اینولین، پلی‌دکستروز، مالتودکسترین 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 آون ۶۰°C ذوب شد. سپس، پودر کاکائو (۱۱/۸۶ گرم)، جایگزین‌های قند شامل اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین را به تنهایی یا به شکل ترکیب با یکدیگر

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-05-24]

(۴۱/۸ گرم)، پودر شیرخشک (۱۴ گرم) و سوکرالوز (۰/۰۴ گرم) به کره کاکائو ذوب شده اضافه شد. مخلوط به‌دست آمده، به‌وسیله مخلوط‌کنی با سرعت ۵۰ دور در دقیقه به مدت ۴ ساعت در حمام پارافین ۶۵°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). شکلات‌های تهیه شده تا ۲۴ ساعت داخل گرمخانه۵۰°C نگهداری شدند. سپس، دمای این نمونه‌ها به ۴۵°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 آلومینیومی تا زمان انجام آزمایش‌ها در شرایط یخچالی نگهداری شد (۱۷). نمونه شاهد نیز مانند روش بالا تهیه شد، فقط در ترکیب آن از ساکارز به‌جای 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 به‌ترتیب از حروف اختصاری 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 TH 500، 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 یخچال‌دار (ساخت شرکت *ژال تجهیز*، تهران) قرار گرفت و دمای دستگاه در ۲۰°C تنظیم شد. پس از این مدت، سختی نمونه‌های شکلات چهارگوش (ابعاد تقریبی ۱۰×۲۵×۵۰mm) توسط دستگاه بافت‌سنج (مدل H50KS ساخت شرکت *Hounsfield* انگلستان)، مجهز به سمبه ته‌صاف ۱/۶ میلی‌متری و سرعت نفوذ ۱/۵ میلی‌متر بر ثانیه مورد آزمون نفوذ قرار گرفت و نیروی حداکثر در عمق ۶ میلی‌متری به‌عنوان شاخص سختی گزارش شد (۲۰).

اندازه‌گیری ویژگی‌های رئولوژیکی: برای بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی از دستگاه رئومتر UDS200 (Phisica Germany Messtechnik GmbH, Stuttgart,) استفاده شد. برای این منظور، نمونه‌های شکلات در ظرفی دربسته حداقل به‌مدت ۷۵ دقیقه داخل آون ۵۰°C قرار داده شد. سپس، نمونه‌های ذوب شده، درون فنجانک ژئومتری استوانه‌های هم‌مرکز مدل Z3 DIN ریخته شد و قبل از شروع اندازه‌گیری‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴۰°C با سرعت برشی ۵ S^{-1} هم زده شد. سپس در دمای ۴۰°C میزان تغییرات تنش برشی به عنوان تابعی از سرعت برشی در دامنه۰/۰۱ تا ۶۰S^{-1} (شیب افزایشی) و ۶۰ تا ۰/۰۱ 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 برازش قرار گرفت و شاخص‌های رئولوژیکی شامل گرانروی و تنش تسلیم توسط بهترین مدل محاسبه شد (۲۱، ۱۰).

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 (۱=غیرقابل قبول، ۲=نسبتاً رضایت‌بخش، 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 نمونه‌ها به صورت تصادفی در اختیار ارزیاب‌ها قرار گرفتند.

طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری: برای بررسی اثر نسبت جایگزینی اینولین، پلی‌دکستروز و مالتو دکسترین 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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-05-24]

نرم‌افزار Jmp 5.1 (SAS Institute Inc.) استفاده شد. نسبت سطوح جایگزین‌های قند (اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین) بین ۰تا۱۰۰٪ تنظیم شد و سپس ۱۵ ترکیب احتمالی به‌دست 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.) و آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) مورد استفاده شد. اطلاعات به دست آمده از اندازه‌گیری‌های رئولوژیکی به‌منظور ارزیابی مدل‌های ریاضی مختلف با استفاده از رگرسیون خطی و غیرخطی توسط نرم‌افزار Sigmaplot 2001 (SPSS Inc.) مورد بررسی قرار گرفت (۲۳، ۲۲).

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

شماره نمونه	سطوح (درصد)			نسبت (گرم در ۱۰۰ گرم شکلات)		
	X_1	X_2	X_3	اینولین	پلی‌دکستروز	مالتودکسترین
۱	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۴۱/۸
۲	۰	۲۵	۷۵	۰	۱۰/۴۵	۳۱/۳۵
۳	۰	۵۰	۵۰	۰	۲۰/۹	۲۰/۹
۴	۰	۷۵	۲۵	۰	۳۱/۳۵	۱۰/۴۵
۵	۰	۱۰۰	۰	۰	۴۱/۸	۰
۶	۲۵	۰	۷۵	۱۰/۴۵	۰	۳۱/۳۵
۷	۲۵	۲۵	۵۰	۱۰/۴۵	۱۰/۴۵	۲۰/۹
۸	۲۵	۵۰	۲۵	۱۰/۴۵	۲۰/۹	۱۰/۴۵
۹	۲۵	۷۵	۰	۱۰/۴۵	۳۱/۳۵	۰
۱۰	۵۰	۰	۵۰	۲۰/۹	۰	۲۰/۹
۱۱	۵۰	۲۵	۲۵	۲۰/۹	۱۰/۴۵	۱۰/۴۵
۱۲	۵۰	۵۰	۰	۲۰/۹	۲۰/۹	۰
۱۳	۷۵	۰	۲۵	۳۱/۳۵	۰	۱۰/۴۵
۱۴	۷۵	۲۵	۰	۳۵/۳۱	۱۰/۴۵	۰
۱۵	۱۰۰	۰	۰	۴۱/۸	۰	۰

● X_1=اینولین، X_2= پلی‌دکستروز، X_3=مالتودکسترین

• یافته‌ها

تاثیر 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 حالی‌که در نمونه شماره ۱ فقط از مالتودکسترین و در نمونه شماره ۵ فقط از پلی‌دکستروز 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 شیرخشک و پودر کاکائو استفاده شده است.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-05-24]

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-05-24]

جدول۲- تاثیر نسبت‌های مختلف جایگزین‌های قند روی برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی و مکانیکی شکلات شیری کم‌کالری

شماره نمونه	میزان قند و جایگزین‌های قند (گرم در۱۰۰ گرم شکلات)				رطوبت (درصد)	pH	فعالیت آبی	سختی (نیوتن)	چربی (درصد)	پروتئین (درصد)	لاکتوز (درصد)	انرژی (کیلوکالری در صد گرم)
	ساکارز	اینولین	پلی‌دکستروز	مالتودکسترین								
۱	۰	۰	۰	۴۱/۸	^{a}۰/۹۲۱	^{a}۷/۲۸	^{a}۰/۳۳۰	^{g}۱۰/۱	^{a}۳۴/۶	^{a}۷/۲۶	^{a}۷/۰۰	^{a}۵۳۵
۲	۰	۰	۱۰/۴۵	۳۱/۳۵	^{b}۰/۸۷۰	^{a}۷/۲۸	^{a}۰/۳۴۱	^{efg}۱۱/۵	^{a}۳۴/۶	^{a}۷/۲۶	^{a}۷/۰۰	^{b}۵۰۴
۳	۰	۰	۲۰/۹	۲۰/۹	^{bc}۰/۸۴۳	^{a}۷/۲۹	^{a}۰/۳۲۳	^{cde}۱۲/۴	^{a}۳۴/۶	^{a}۷/۲۶	^{a}۷/۰۰	^{d}۴۷۲
۴	۰	۰	۳۱/۳۵	۱۰/۴۵	^{bc}۰/۸۴۱	^{a}۷/۲۸	^{a}۰/۳۱۰	^{defg}۱۱/۷	^{a}۳۴/۶	^{a}۷/۲۶	^{a}۷/۰۰	^{g}۴۴۱
۵	۰	۰	۴۱/۸	۰	^{a}۰/۹۰۱	^{a}۷/۲۹	^{a}۰/۳۰۲	^{g}۱۰/۲	^{a}۳۴/۶	^{a}۷/۲۶	^{a}۷/۰۰	^{k}۴۱۰
۶	۰	۱۰/۴۵	۰	۳۱/۳۵	^{b}۰/۸۶۲	^{a}۷/۲۹	^{a}۰/۳۴۱	^{cde}۱۲/۳	^{a}۳۴/۶	^{a}۷/۲۶	^{a}۷/۰۰	^{b}۵۰۹
۷	۰	۱۰/۴۵	۱۰/۴۵	۲۰/۹	^{i}۰/۵۴۰	^{a}۷/۲۹	^{a}۰/۳۳۴	^{bc}۱۳/۵	^{a}۳۴/۶	^{a}۷/۲۶	^{a}۷/۰۰	^{c}۴۷۸
۸	۰	۱۰/۴۵	۲۰/۹	۱۰/۴۵	^{hi}۰/۵۴۲	^{a}۷/۲۹	^{a}۰/۳۲۳	^{b}۱۳/۸	^{a}۳۴/۶	^{a}۷/۲۶	^{a}۷/۰۰	^{fg}۴۴۶
۹	۰	۱۰/۴۵	۳۱/۳۵	۰	^{ef}۰/۷۵۳	^{a}۷/۳۰	^{a}۰/۳۰۲	^{bcde}۱۲/۶	^{a}۳۴/۶	^{a}۷/۲۶	^{a}۷/۰۰	^{jk}۴۱۵
۱۰	۰	۲۰/۹	۰	۲۰/۹	^{g}۰/۵۹۴	^{a}۷/۲۹	^{a}۰/۴۳۱	^{bcd}۱۲/۹	^{a}۳۴/۶	^{a}۷/۲۶	^{a}۷/۰۰	^{cd}۴۸۲
۱۱	۰	۲۰/۹	۱۰/۴۵	۱۰/۴۵	^{hi}۰/۵۴۰	^{a}۷/۳۰	^{a}۰/۳۳۳	^{a}۱۵	^{a}۳۴/۶	^{a}۷/۲۶	^{a}۷/۰۰	^{ef}۴۵۱
۱۲	۰	۲۰/۹	۲۰/۹	۰	^{gh}۰/۵۸۲	^{a}۷/۳۰	^{a}۰/۳۱۰	^{bc}۱۳/۵	^{a}۳۴/۶	^{a}۷/۲۶	^{a}۷/۰۰	^{ij}۴۲۰
۱۳	۰	۳۱/۳۵	۰	۱۰/۴۵	^{ef}۰/۷۲۰	^{a}۷/۲۹	^{a}۰/۳۳۴	^{bcde}۱۲/۶	^{a}۳۴/۶	^{a}۷/۲۶	^{a}۷/۰۰	^{e}۴۵۷
۱۴	۰	۳۱/۳۵	۱۰/۴۵	۰	^{f}۰/۷۱۲	^{a}۷/۲۸	^{a}۰/۳۳۵	^{cde}۱۲/۴	^{a}۳۴/۶	^{a}۷/۲۶	^{a}۷/۰۰	^{hi}۴۲۵
۱۵	۰	۴۱/۸	۰	۰	^{de}۰/۷۶۳	^{a}۷/۲۹	^{a}۰/۳۲۲	^{fg}۱۰/۷	^{a}۳۴/۶	^{a}۷/۲۶	^{a}۷/۰۰	^{h}۴۳۱
شاهد	۴۱/۸	۰	۰	۰	^{i}۰/۵۳۱	^{a}۷/۲۹	^{a}۰/۱۳۳	^{fg}۱۰/۵	^{a}۳۴/۶	^{a}۷/۲۶		^{a}۵۳۵

حروف مختلف در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد است (p<۰/۰۵)

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 احیاکننده 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 احیاکننده 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 نشان‌دهنده‌ی 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 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، مالتودکسترین و ساکارز به‌ترتیب برابر ۱/۵، ۱، ۴ و ۴ کیلوکالری به ازای هر گرم و چربی، لاکتوز و پروتئین به‌ترتیب برابر ۹، ۴ و 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

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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-05-24]

تاثیر جایگزین‌های قند روی برخی ویژگی‌های مکانیکی و رئولوژیکی

سختی: مطابق جدول ۲، نمونه‌های شماره ۱ و ۵ به‌ترتیب حاوی ۱۰۰٪ مالتودکسترین و ۱۰۰٪ پلی‌دکستروز، دارای کمترین میزان سختی در میان نمونه‌های شکلات تولید شده بودند؛ به‌طوری‌که 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: به‌منظور 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 (معادله‌ی ۱)، کاسون (معادله ۲)، قانون توان (معادله ۳) و هرشل- بالکلی (معادله ۴) مورد آزمون قرار گرفت.

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

معادله ۲) $(\sigma)^{0.5} = K_1(\dot{\gamma})^{0.5} + (\sigma_0)^{0.5}$

معادله ۳) $\sigma = K\dot{\gamma}^{n}$

معادله ۴) $\sigma = K\dot{\gamma}^{n} + \sigma_0$

در این معادلات، σ = تنش برشی، η_{pl} = گرانروی پلاستیک، $\dot{\gamma}$ = سرعت برشی، σ_0 = تنش تسلیم، K_1 = گرانروی کاسون، K = شاخص قوام، n = شاخص رفتار جریان هستند (۲۴، ۲۱ ، ۲۰).

پس از بررسی ضرایب تعیین به‌دست 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 ($s_{x,y}$) به‌دست آمده از این دو مدل، مدل کاسون به‌دلیل 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 ($\sigma^{0.5}$) در برابر ریشه دوم سرعت برشی ($\dot{\gamma}^{0.5}$) 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 توجیه کننده 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 تا۱۰۰٪). پس از این نمونه‌ها دو نمونه شکلات شماره ۹ و ۱۵ به‌ترتیب 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 $^{0.5}$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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-05-24]

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

جدول ۴- مقایسه تاثیر 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 (s_{xy})
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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-05-24]

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

شاخص رئولوژیکی / شماره نمونه	گرانروی کاسون $(\eta_{pl})^{0.5}$ (پاسکال. ثانیه)	تنش تسلیم (σ_0) (پاسکال)
۱	۴/۷۱^{a}	۴/۴۱^{b}
۲	۳/۳۲^{d}	۳/۶۹^{c}
۳	۳/۱۱^{d}	۲/۵۶^{de}
۴	۳/۱۰^{d}	۲/۶۲^{d}
۵	۳/۶۲^{c}	۲/۵۶^{de}
۶	۴/۱۰^{b}	۳/۸۰^{c}
۷	۲/۱۲^{hi}	۱/۴۴^{h}
۸	۱/۹۳^{ij}	۱/۳۹^{h}
۹	۲/۸۲^{e}	۲/۳۴^{e}
۱۰	۲/۴۰^{fg}	۱/۹۰^{fg}
۱۱	۱/۸۱^{j}	۱/۳۲^{h}
۱۲	۲/۲۳^{gh}	۱/۷۲^{g}
۱۳	۲/۴۰^{fg}	۱/۹۳^{fg}
۱۴	۲/۵۲^{f}	۱/۹۹^{fg}
۱۵	۲/۸۳^{e}	۲/۰۴^{f}
شاهد	۲/۱۲^{hi}	۶/۴۰^{a}

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، 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 شد که در هر دو ترکیب، میزان بالایی مالتودکسترین (به ترتیب ۱۰۰ و ۷۵٪) وجود داشت (جدول ۱). بیشترین امتیازات حسی مربوط به نمونه شاهد و سپس به‌ترتیب 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 $\geq$ ۰/۸۵، پنج ویژگی رطوبت، سختی، گرانروی، تنش تسلیم و پذیرش کلی 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 به‌ترتیب 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 هریک از ترکیبات مشاهده شد (شکل ۲).

بیشترین گرانروی کاسون در نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای مالتودکسترین 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.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-05-24]

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

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

حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد است (p<۰/۰۵)

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

متغیر	معادلات پیش‌گویی	r	r^2
رطوبت	$y = x_1$۰/۸۲۳ + $x_2$۰/۹۳۵ + $x_3$۰/۹۹۲ - $x_1x_2$۱/۳۲ - $x_1x_3$۱/۱۴ - $x_2x_3$۰/۷۰۷	۰/۹۶	۰/۹۲
سختی	$y = x_1$۱۰/۵ + $x_2$۱۰/۱ + $x_3$۹/۸۹ + $x_1x_2$۱۳/۱ + $x_1x_3$۱۲/۲ + $x_2x_3$۹/۶۰	۰/۹۷	۰/۹۵
گرانروی کاسون	$y = x_1$۲/۸۸ + $x_2$۳/۷۷ + $x_3$۴/۶۵ - $x_1x_2$۴/۷۱ - $x_1x_3$۵/۲۵ - $x_2x_3$۶/۲۵	۰/۹۶	۰/۹۳
تنش تسلیم	$y = x_1$۲/۲۲ + $x_2$۲/۸۷ + $x_3$۴/۹۸ - $x_1x_2$۳/۳۵ - $x_1x_3$۶/۰۲ - $x_2x_3$۶/۱۷	۰/۹۵	۰/۹۰
پذیرش کلی	$y = x_1$۱۳/۳ + $x_2$۱۳/۸ + $x_3$۱۰/۲ + $x_1x_2$۵/۲۳ + $x_1x_3$۱/۵۸ - $x_2x_3$۰/۲۳۱	۰/۹۶	۰/۹۲

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 افزایشی اندک در تنش تسلیم نمونه‌های شکلات شد و در مقادیر پایین، اینولین سبب کاهش تنش تسلیم شد (شکل ۳).

همان‌طور که در نمودار کانتور مربوط به پذیرش کلی (شکل۲ ه) 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).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-05-24]

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، گرانروی 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 نمودارِ 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٪، پلی‌دکستروز 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.

به‌دلیل 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، ۱۰و 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 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	۵L	۱۰L	۲۰L
رطوبت	۰/۵۱۰[a]	۰/۲۹۱[b]	۰/۲۱۳[c]
pH	۷/۲۸[a]	۷/۳۰[a]	۷/۲۸[a]
فعالیت آبی	۰/۲۷۲[a]	۰/۲۷۰[a]	۰/۲۶۳[a]
سختی (نیوتن)	۱۰/۴[c]	۱۳/۸[b]	۱۹/۴[a]

حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد است ($p<0/05$)

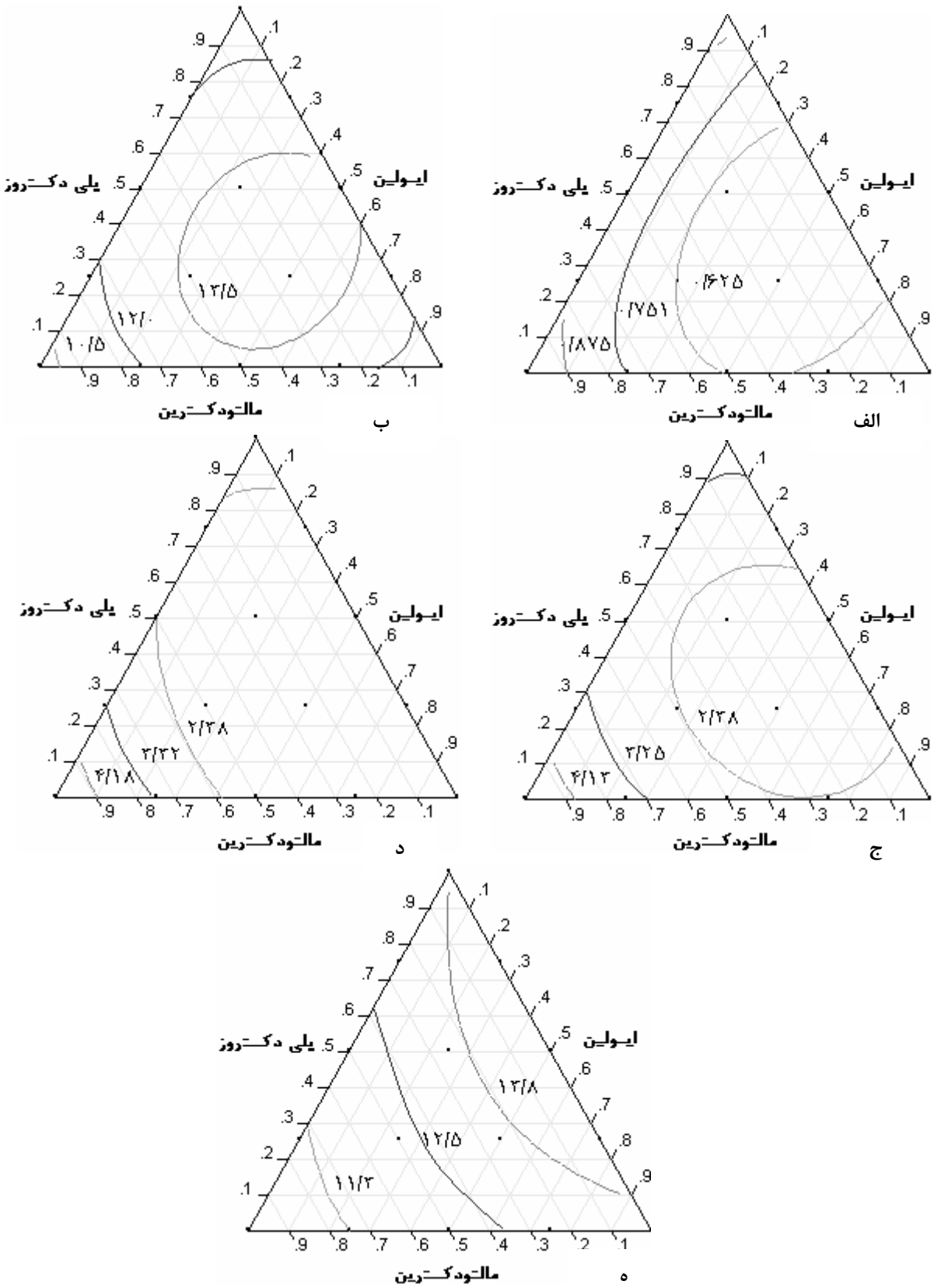
کاهش چربی شکلات با کاهش امتیازات مربوط به سختی، پوشش دهانی، سرعت ذوب شدن و بنابراین، پذیرش کلی نمونه‌ها همراه بود و سبب افزایش سختی و کاهش سرعت ذوب شدن نمونه‌ها شد (جدول ۹). از میان نمونه‌های شکلات تهیه شده، میزان رطوبت، سختی و پذیرش کلی به‌دست آمده برای نمونه ۵L در مقایسه با مقادیر به دست آمده برای 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.

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

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

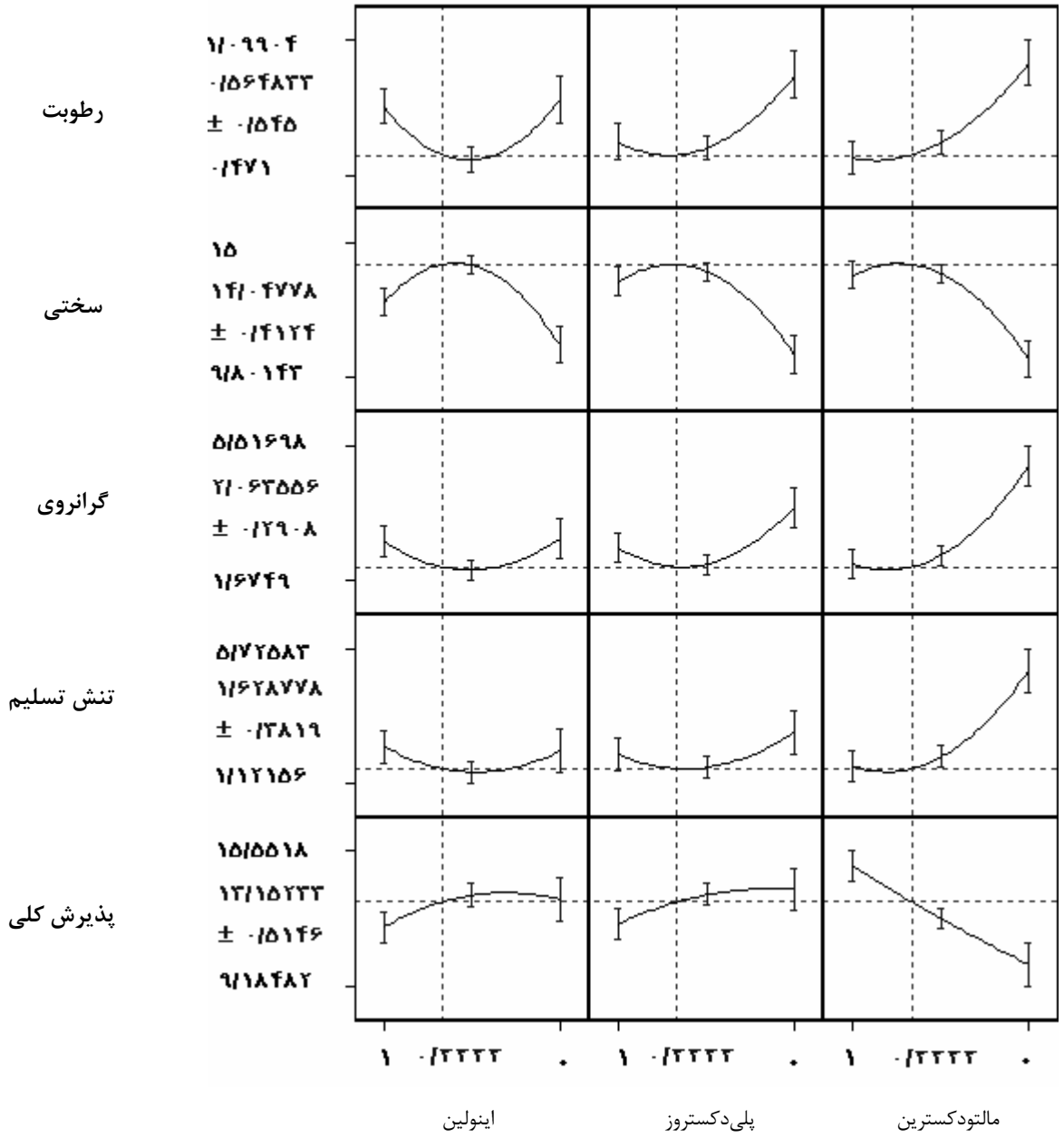
حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد است ($p<0/05$)

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-05-24]



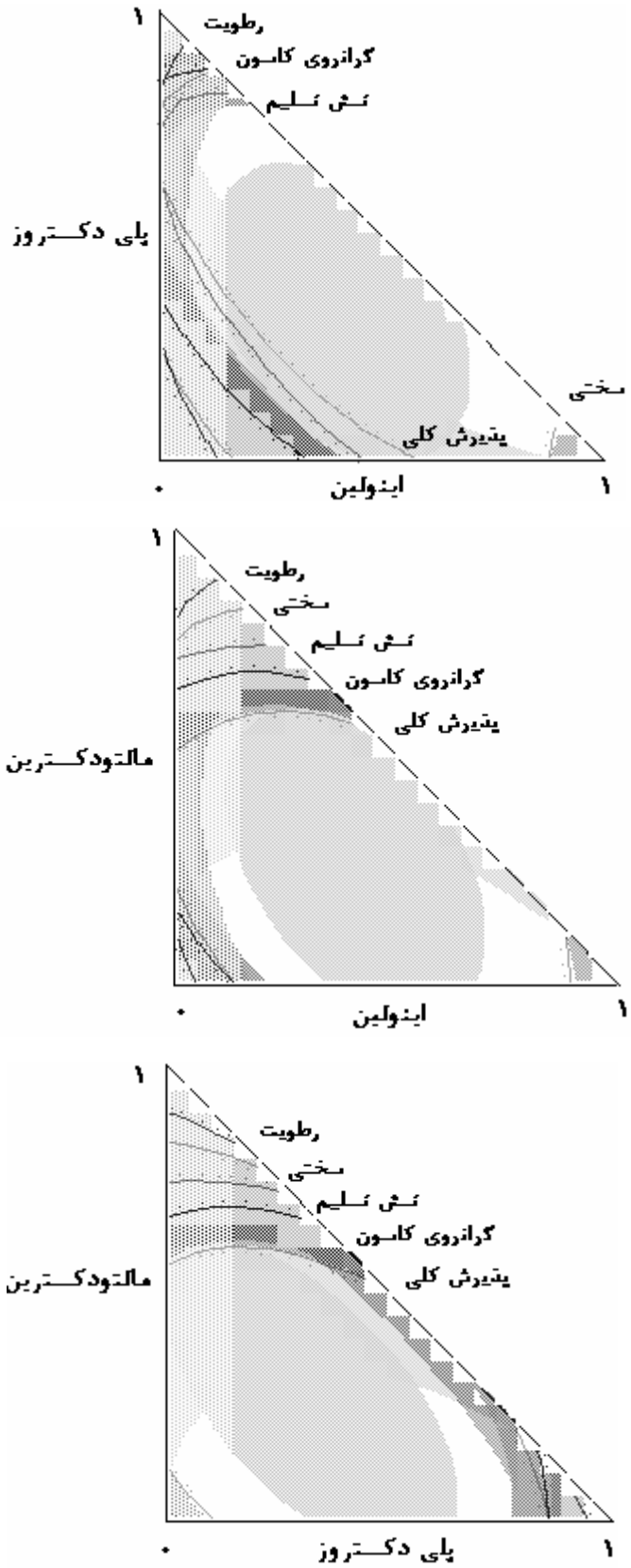
شکل ۱- شکل‌های کانتور سه‌تایی مربوط به نمایش تاثیر جایگزین‌های قند روی الف) رطوبت ، ب) سختی، ج) گرانروی کاسون، د) تنش تسلیم و ه) پذیرش کلی شکلات‌های شیری کم‌کالری

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-05-24]



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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-05-24]



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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-05-24]

• 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 به‌ترتیب، 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 به‌نوع 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 (۲۹، ۲۷). 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 به‌تدریج 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 به‌دلیل 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 گرانروی کاسون در نمونه‌های دارای نسبت‌های بالای مالتودکسترین 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. به‌طوری‌که تنها استفاده از نسبت‌های بالای اینولین منجر به افزایش مختصری در گرانروی نمونه‌ها شد و در نسبت‌های پایین‌تر، اینولین سبب کاهش گرانروی کاسون شد (شکل ۲). کاهش گرانروی در ترکیبات حاوی اینولین قبلاً 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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-05-24]

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 مالتوکسترین مشاهده شد، ولی این روند قبل از نسبت ۵۰٪ شروع شد و میزان آن بیشتر بود (شکل ۲). علاوه بر ویژگی جاذب‌الرطوبه بودن مالتودکسترین، دلیل دیگر این موضوع ممکن است پدیده تجمع تخلیه‌ای (depletion flocculation) در نسبت‌های بالای مالتودکسترین باشد. Klinkesorn و همکاران (۲۰۰۴) نیز در تحقیقی که روی پایداری امولسیون‌های روغن ذرت در آب حاوی مالتودکسترین انجام دادند، نشان دادند که مالتودکسترین در غلظت‌های بالاتر از غلظت بحرانی سبب افزایش گرانروی می‌شود و علت این پدیده را به تجمع تخلیه‌ای نسبت دادند. زمانی‌که ذرات تجمع پیدا می‌کنند، گرانروی به‌دلیل درگیر شدن فاز پیوسته در میان ذرات توده شده افزایش می‌یابد. باکاهش DE مالتودکسترین، غلظت بحرانی بروز پدیده تجمع تخلیه‌ای کاهش می‌یابد (۳۴). در مطالعات قبلی نیز مشاهده شد که افزایش گرانروی ترکیبات حاوی مالتودکسترین 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 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 مالتودکسترین 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 مالتودکسترین 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 مالتودکسترین 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 *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 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 مالتودکسترین 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

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-05-24]

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 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 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 گرانروی 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، گرانروی و تنش تسلیم بیشتر و سختی کمتر در نمونه‌های شکلات تولیدی شد. کمترین رطوبت، گرانروی 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. به‌طورکلی 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*، *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.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-05-24]

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, 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 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.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-05-24]