مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال پنجم، شماره ۳، پاییز ۱۳۸۹، صفحات ۳۸-۲۹

تأثیر کاربرد D- تاگاتوز، اینولین و استویا به عنوان جایگزین ساکارز بر بعضی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، رئولوژیکی و حسی شکلات تیره

مهری شوریده[۱]، اقدس تسلیمی[۲]، محمدحسین عزیزی[۳]، محمدامین محمدی‌فر[۴]، مرتضی مشایخ[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
۲- نویسنده مسئول: مربی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی پست الکترونیکی: taslimifeyzipour@yahoo.com
۳- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۴- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۸۹/۵/۱۰

چکیده

سابقه و هدف: شکلات در گروه‌های سنی مختلف محصولی پرطرفدار و پرمصرف است، ولی مصرف آن به علت داشتن ساکارز و کالری بالا برای افراد مبتلا به چاقی و دیابت محدودیت دارد. بنابراین، از طریق جایگزین کردن ساکارز با کربوهیدرات‌های با قابلیت هضم کم می‌توان ضمن کاهش کالری و نمایه گلایسمی، از فساد دندان‌ها نیز جلوگیری کرد. در این پژوهش، ترکیب دو جایگزین قند که دارای خواص تغذیه‌ای مطلوب هستند، در تولید شکلات تیره بررسی شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه اینولین که یک فیبر رژیمی محسوب می‌شود و D- تاگاتوز که یک ستوهگزوز طبیعی و با شیرین‌کنندگی مشابه ساکارز است، به عنوان جایگزین ساکارز انتخاب شدند و با درصدهای اختلاط ۱۰۰ : صفر، ۷۵ : ۲۵، ۵۰ : ۵۰، ۲۵ : ۷۵، صفر : ۱۰۰ در شکلات تیره مورد استفاده قرار گرفتند و خواص فیزیکی، شیمیایی، رئولوژیکی و حسی نمونه‌های حاصل بررسی شد.

یافته‌ها: با کاهش میزان اینولین و افزایش میزان تاگاتوز، درصد رطوبت نمونه‌ها کاهش، ولی میزان فعالیت آبی(a_w) آنها افزایش یافت. سختی نمونه‌ها با افزایش میزان تاگاتوز افزایش یافت و بیشترین سختی در نمونه حاوی ۱۰۰٪ تاگاتوز مشاهده شد که مشابه نمونه شاهد (ساکارز) بود. در مورد شاخص‌های رنگ، کمترین مقادیر L^*، a^*، b^*، c^* و hue° در نمونه دارای ۱۰۰٪ اینولین مشاهده شد. این مقادیر با افزایش تاگاتوز افزایش یافتند. با کاهش میزان اینولین در نمونه‌ها گرانروی ظاهری و پلاستیک کاهش یافت، در حالی که مقادیرτ_0 و τ_1 افزایش یافت و به این ترتیب، مشخص شد که نمونه حاوی۱۰۰٪ اینولین دارای کمترین تنش تسلیم واقعی و خطی است. کمترین گرانروی ظاهری در نمونه حاوی ۲۵٪ اینولین– ۷۵٪ تاگاتوز و کمترین گرانروی پلاستیک در نمونه ۱۰۰٪ تاگاتوز مشاهده شد که با نمونه شاهد، اختلاف معنی‌داری نداشت. با افزایش میزان تاگاتوز، پذیرش کلی نمونه‌ها افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به دست آمده، نمونه‌های ۲۵٪ اینولین- ۷۵٪ تاگاتوز و ۱۰۰٪ تاگاتوز از قابلیت بهتری برای جایگزینی ساکارز برخوردار بودند. از آنجا که اینولین، فیبر رژیمی است و تاگاتوز و اینولین هر دو خاصیت پری‌بیوتیک دارند، این نمونه‌های شکلات، خصوصیات تغذیه‌ای ویژه‌ای داشته و به عنوان ماده غذایی عملگر (فراسودمند) شناخته می‌شوند.

واژگان کلیدی: شکلات تیره، اینولین، تاگاتوز، استویا، رئولوژی

• مقدمه

در دهه‌های اخیر، مصرف مواد غذایی کم‌کالری حاوی جایگزین‌های قند به منظور کاهش انرژی دریافتی، کنترل وزن بدن و بیماری‌هایی مانند دیابت و کاهش قند خون رواج یافته است. شکلات که به علت دارا بودن طعم، مزه و بافت منحصر به فرد و مواد فعال بیولوژیکی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی ویژه، یکی از محصولات پر مصرف در بین همه گروه‌های سنی است. برای کاهش کالری و نمایه گلایسمی و جلوگیری از فساد دندان‌ها می‌توان ساکارز را با کربوهیدرات‌های با قابلیت هضم کم (Low Digestible Carbohydrates) از قبیل پلی‌ال‌ها مانند ایزومالت، لاکتیتول و سوربیتول و قندهای کمیاب مانند D- تاگاتوز و لاکتولوز و پلی‌ساکاریدها مانند اینولین

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-21]

جایگزین کرد(۱). امروزه، پلی‌ال‌ها به طور وسیع در شکلات بدون قند استفاده می‌شوند مانند: ایزومالت، زایلیتول و مالتیتول (۲) مالتیتول با یا بدون پلی دکستروز و اینولین (۳) و لاکتیتول، پلی دکستروز و آسپارتام (۴). استفاده از بعضی پلی‌ال‌ها باعث افزایش گرانروی و تنش تسلیم (yield stress) شکلات می‌شود و در مراحل تولید شکلات یا در پذیرش کلی محصول مشکلاتی را به وجود می‌آورد. امروزه، استفاده از سایر کربوهیدارت‌های با قابلیت هضم کم که باعث بهبود رئولوژی، بافت و پذیرش کلی می‌شوند، مورد توجه قرار گرفته است.

D- تاگاتوز یک ستوهگزوز طبیعی و ایزومر D-گالاکتوز است و به عنوان یک قند احیا کننده در حدود ۹۲٪ شیرینی ساکارز را با طعم مشابه آن دارد و پس‌طعم یا اثر خنک‌کنندگی را ایجاد نمی‌کند (۵). D– تاگاتوز در فهرست GRAS است و از طرف *کمیته افزودنی‌های موادغذایی* (JECFA) با مقدار دریافت روزانه بدون محدودیت پذیرفته شده است(۷، ۶). D- تاگاتوز نمایه گلایسمی پایینی دارد، نشانه‌های همراه با دیابت نوع ۲ و هایپرگلایسمی را کاهش می‌دهد، چاقی را مهار می‌کند، تشدیدکننده طعم است و با دیگر شیرین‌کننده‌ها اثر سینرژیستی دارد. به علاوه، این قند خاصیت پری‌بیوتیک (Prebiotic) دارد و باعث خرابی دندان‌ها نمی‌شود .تقریبا ۱/۵ kcal/g انرژی تولید می‌کند و بیش از ۲۵٪ آن در قسمت فوقانی روده جذب نمی‌شود (۹-۷). D-تاگاتوز می‌تواند به عنوان عامل شیرین‌کننده کم‌کالری در محصولاتی مانند غلات، شکلات، آب‌نبات، آدامس و محصولات مشابه استفاده شود.

اینولین، پلی‌ساکارید استخراج شده از گیاهانی مانند پیازها، ریشه مارچوبه، کنگر فرنگی و کاسنی، مخلوطی از الیگومرها و پلیمرهای فروکتان است و واحدهای فروکتوز آن با پیوند (۱→۲) β به هم متصل شده و یک ملکول گلوکز در انتهای زنجیره فروکتوز با اتصال (۴→۱) α قرار دارد. تحقیقات نشان داده است که اینولین و الیگوفروکتوز بر قند سرم تأثیری ندارند و باعث تحریک ترشح انسولین نمی‌شوند و تری‌گلیسرید سرم و کبد و سطح کلسترول خون را کاهش می‌دهند. اینولین جذب کلسیم و منیزیم را در انسان افزایش می‌دهد (۱۱، ۱۰). اینولین پری‌بیوتیک است و به عنوان ماده‌ای حجم دهنده، کم‌کالری و پر فیبر در شکلات بدون ساکارز همراه با یک پلی ال یا فروکتوز به کار می‌رود، مقاوم به حرارت است و حدود ۱۰٪ شیرینی ساکارز را دارد (۱۲).

چون اینولین و تاگاتوز نسبت به ساکارز شیرینی کمتری دارند، برای تنظیم میزان شیرینی از استویا (Stevia) استفاده شد. استویا ترکیبی از گلیکوزیدهای طبیعی وکم‌کالریِ مشتق شده ازگیاه(Stevia rebaudiana(Bertoni با شیرینی حدود ۱۲۰ برابر ساکارز است. قابلیت انحلال این شیرین‌کننده قوی در آب زیاد است و با دیگر شیرین کننده‌ها اثر سینرژیستی داشته و پس طعم شبیه به منتول دارد (۷). JECFA جذب روزانه 2mg/kg وزن بدن را مجاز و FDA مصرف آن را به عنوان مکمل غذایی مجاز دانسته است (۱۳، ۹).

در این مطالعه از دو نوع جایگزین ساکارز یعنی D– تاگاتوز و اینولین که علاوه بر تأمین شیرینی و کاهش کالری شکلات، اثرات مفید تغذیه‌ای دیگری نیز دارند، در تولید و فرمولاسیون شکلات تیره در نسبت‌های ترکیبی صفر:۱۰۰، ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ و ۱۰۰: صفر استفاده شد. سپس اثر جایگزینی آنها بر خواص فیزیکی، شیمیایی، رئولوژیکی و حسی شکلات تیره در مقایسه با تیمار شاهد (ساکارز) مورد بررسی قرار گرفت.

• مواد و روش‌ها

آماده سازی نمونه‌ها: پودر شکر، اینولین و تاگاتوز با اندازه ذرات ۵۳ تا ۹۰ میکرون جهت تولید نمونه‌ها آماده شد. مواد اولیه پس از توزین در داخل بالمیل (Ball mill) آزمایشگاهی ریخته شدند و عمل کاهش اندازه ذرات (Refining) و عمل ورز دادن شکلات(Conching) به طور همزمان انجام پذیرفت. مخزن دستگاه دارای حدود ۲۵ کیلوگرم ساچمه با قطر ۸mm از جنس فولاد ضد زنگ و ضد سایش بود. شکلات در دمای ۵۰°C و به مدت ۳ ساعت در بالمیل با همزن ۸۵ دور در دقیقه تهیه شد.

نمونه شکلات، تخلیه شد و برای کاهش بیشتر رطوبت به مدت ۱۲ ساعت در انکوباتور ۵۰°C قرار داده شد. نمونه‌ها توسط تمپرینگ آزمایشگاهی (با همزن ۷۵ دور در دقیقه) مشروط دمایی شد. شکلات در قالب‌های از جنس پلی‌کربنات ریخته شد و در یخچال ۵°C سرد شد. سرانجام، نمونه‌های شکلات پس از قالب‌گیری ابتدا در فویل آلومینیوم پیچیده شد و سپس در ظروف "در بسته" تا زمان انجام آزمون‌ها در یخچال ۱۰°C نگهداری شدند (۱۴).

مواد اولیه عبارت بودند از: پودرکاکائو قلیایی شده(۱۰ تا ۱۲٪ چربی) Schokinag- آلمان، کره کاکائو بی‌بو شرکت Klk-kepong – مالزی، وانیل پاندا – چین، اینولین (Orafti(Beneo-GR – بلژیک ، D- تاگاتوز شرکت Damhert– بلژیک، شیرین‌کننده استویا شرکت Stevian Biotechnology- مالزی، لسیتین شرکت Cargill– هلند و شکر کارون.

فرمول شکلات شامل : ۵۱/۴ گرم ساکارز یا جایگزین‌های ساکارز (اینولین و تاگاتوز به تنهایی یا با نسبت‌های ترکیبی)، ۱۶ گرم پودر کاکائو،۳۲ گرم کره کاکائو، ۰/۵ گرم لسیتین و ۰/۱ گرم وانیلین در ۱۰۰ گرم محصول بود. برای محاسبه

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-21]

میزان استویا در تیمارهای جایگزین ساکارز از موازنه میزان شیرینی استفاده شد. شیرینی ساکارز معادل ۱، تاگاتوز ۰/۹۲، اینولین ۰/۱۰ و استویا ۱۲۰ برابر شیرینی ساکارز در نظر گرفته شد.

روش آزمایش:

اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی: میزان رطوبت مطابق روش AOAC شماره ۱۰- ۹۷۷ به روش کارل فیشر، میزان چربی مطابق روش AOAC شماره ۱۵-۹۶۳ به روش سوکسله(۱۵) و میزان قند به روش لین - اینون مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۶۰۸ (۱۶) انجام شد. در ضمن، فعالیت آبی(a_w)نمونه‌ها توسط دستگاه Novasina Labmaster (ساخت سوئیس) در دمای ۲۵°C اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری سختی بافت شکلات: سختی شکلات به روش‌های متعددی با دستگاه بافت‌سنج (Texture Analyzer) اندازه‌گیری می‌شود. در این مطالعه از روش اندازه‌گیری میزان نفوذ استفاده شد که نشانگر سختی مربوط به گاز زدن شکلات است. برای این منظور از دستگاه بافت سنج Hounsfield-H5K5 (ساخت انگلستان) استفاده شد. ابتدا قطعات شکلات با ابعاد ۱۰×۲۰×۱۰۰میلی‌متر آماده شد و سپس به مدت ۶ ساعت در انکوباتور یخچال‌دار Rumed-type 1001 در دمای ۲۰°C نگهداری شد. در این آزمون از پروب شماره ۱/۶، سرعت نفوذ ۱/۵ میلی‌متر در ثانیه و عمق نفوذ ۶mm استفاده شد. حداکثر نیروی اندازه‌گیری شده به عنوان شاخص سختی گزارش شد (۱۷).

اندازه‌گیری رنگ: جهت تعیین وضعیت رنگ نمونه‌ها از دستگاه رنگ‌سنج مدل Hunter Lab-025-9000 (ساخت آمریکا) استفاده شد. نمونه شکلات به صورت دایره‌ای به قطر ۹۰mm و ضخامت ۱۰mm تهیه شد و در دمای محیط(۲۵°C) و در سیستم CIELAB فاکتورهای L^* (درخشندگی) در محدوده‌ای از صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید)، a^* (از سبز تا قرمز) و b^* (از آبی تا زرد) با مقادیر از ۱۲۰- تا ۱۲۰+ سنجیده شد. مقادیر c^* (درجه اشباع شدگی) و hue^0 (میزان درخشندگی) با توجه به مقادیر b^* و a^* و از طریق روابط زیر محاسبه شد (۱۷).

$$c^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$
$$hue^0 = \arctan (b^*/a^*)$$

اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های رئولوژیکی: برای اندازه‌گیری ویژگی‌های رئولوژیکی از دستگاه رئومتر Anton paar - MCR 301 ساخت اتریش مجهز به سیستم تنظیم دمای Peltier Plate و سیرکولاتور آب با دقت ±۰/۰۱ °C استفاده شد.

ابتدا نمونه‌ها در گرمخانه در دمای ۵۰ °C به مدت ۷۵ دقیقه ذوب شده، سپس برای اندازه‌گیری گرانروی از ژئومتری استوانه‌های هم‌مرکز مدل CC27 (معادل با ISO 3219 و Z3 DIN) استفاده شد. برای هموژن کردن و کنترل درجه حرارت در دمای ۴۰ ±۰/۰۱ °C در سرعت برشی ۵ s^{-1} به مدت ۵۰۰ ثانیه هم زده شد و هیچ نقطه‌ای در این فاصله ثبت نشد. سپس سرعت برشی در دامنه ۲s^{-1} تا ۵۰s^{-1} افزایش یافت (Ramp up) و ۱۸ نقطه در مدت ۱۸۰ ثانیه اندازه‌گیری شد. در مرحله سوم، مدت ۶۰ ثانیه سرعت برشی در ۵۰s^{-1} ثابت نگه داشته شد. سپس سرعت برشی از ۵۰ s^{-1} تا ۲ s^{-1} کاهش یافت (Ramp Down) و ۱۸ نقطه طی ۱۸۰ ثانیه اندازه‌گیری و ثبت شد (۱۸).

مدل‌های ریاضی ویندهب (Windhab)، کاسون (Casson)، هرشل بالکلی (Hershel Bulkley) بینگهام (Bingham)و استوالد-دوال (Ostwald-de Waal) بر داده‌های تجربی به دست آمده برازش داده شد. IOCCC (International office of cocoa,chocolate and confectionery) از سال ۲۰۰۱مدل ویندهب را برای شکلات ذوب شده (در ۴۰°C) در محدوده‌ای از سرعت برش ۲s^{-1} تا ۵۰s^{-1} (یا دامنه وسیع‌تری از ۱s^{-1} تا ۱۰۰ s^{-1}) توصیه کرده است (۱۹).

این مدل چهار پارامتری عبارت است از:

$$\tau = \tau_0+(\tau_1-\tau_0).[1-\exp(-\dot{\gamma}/\dot{\gamma}^*)]+\eta_\infty \dot{\gamma}$$

که در آن τ_0 تنش تسلیم، τ_1 تنش برشی خطی، η_∞ گرانروی در نرخ برش‌های بالا و $\dot{\gamma}^*$ نشان دهنده نرخ برشی مشخصه است.

در مدل‌های هرشل بالکلی(۱)، کاسون (۲)، بینگهام (۳) و استوالد- دوال (۴) : τ = تنش برشی، τ_0 = تنش تسلیم، $\dot{\gamma}$ = نرخ برشی، η_p = گرانروی پلاستیک، n_1 = اندیس رفتار جریان، k_1 =گرانروی کاسون، k_2 = شاخص قوام و n_2 = شاخص قانون توان است(۲).

(1) : $\tau = \tau_0+ \eta_p(\dot{\gamma})^{n_1}$ (3) : $\tau = \tau_0 + \eta_p \dot{\gamma}$

(2) : $\tau^{0.5} = \tau_0^{0.5}+ k_1 (\dot{\gamma})^{0.5}$ (4) : $\tau=k_2 \dot{\gamma}^{n_2}$

مدل مناسب با محاسبه R^2 (ضریب تعیین) و SE (خطای استاندارد) تعیین و شاخص‌های رئولوژیکی محاسبه شدند.

آزمون حسی: نمونه‌های شکلات با کدهای سه رقمی به طور تصادفی شماره‌گذاری شد و همراه با پرسشنامه در اختیار ۱۵ نفر ارزیاب از کارکنان شرکت رضوان شکلات (In house) در گروه سنی ۲۰ تا ۴۷ سال (زن و مرد) قرار گرفت که آموزش‌های لازم را دراین زمینه دیده بودند. از آنها خواسته شد که ویژگی‌های کیفی رنگ، عطر و بو، طعم و مزه، شیرینی، احساس دهانی، تردی(سختی)، نحوه ذوب در دهان و بافت را از عدد ۱ تا ۶ رتبه بندی نمایند (روش رتبه‌بندی - Ranking). برای بهترین کیفیت عدد ۶ و برای نازل‌ترین کیفیت عدد ۱ در نظر گرفته شد (۲۰).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-21]

بررسی جنبه اقتصادی: برای این منظور از محاسبه قیمت تمام شده فرمول‌های تأیید شده (نمونه‌های ۴ و ۵) و نمونه شاهد و مقایسه آنها با قیمت شکلات‌های رژیمی بدون قند موجود در بازار استفاده شد. قیمت تمام شده با توجه به درصد هر یک از مواد اولیه و با احتساب قیمت واحد آنها محاسبه شد. قیمت هر کیلوگرم از مواد اولیه به این شرح بود: تاگاتوز حدود ۳ یورو (معادل ۴۱۰۰۰ ریال)، اینولین حدود ۱/۵ یورو(معادل ۲۰۰۰۰ ریال)، استویا حدود ۸۵ دلار (معادل ۸۵۰۰۰۰ ریال)، ساکارز ۱۰۰۰۰ ریال، کره کاکائو ۹۰۰۰۰ ریال، پودر کاکائو ۶۰۰۰۰ ریال، لسیتین ۱۵۰۰۰ ریال و وانیلین ۲۰۰۰۰۰ ریال.

آنالیز آماری نتایج: در مورد ویژگی‌های کمی از شاخص‌های میانگین و انحراف معیار استفاده شد و برای مقایسه میانگین نتایج آزمون‌ها از آنالیز واریانس یک طرفه در سطح α=۰/۰۵ و در صورت معنی‌دار بودن، برای تعیین تفاوت میانگین‌ها از آزمون توکی استفاده شد. آنالیز داده‌ها با نرم‌افزار $SPSS_{12}$ انجام گرفت.

• یافته‌ها

همان طور که درجدول ۱ مشاهده می‌شود، با کاهش میزان اینولین، رطوبت نمونه‌ها کاهش معنی‌داری یافت. میانگین رطوبت نمونه‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشت و نمونه‌ها بجز نمونه ۵ (۱۰۰٪ تاگاتوز) با نمونه شاهد نیز اختلاف معنی‌داری نشان دادند (P<۰/۰۵). ولی با کاهش درصد اینولین، میزان فعالیت آبی نمونه‌ها افزایش یافت. فعالیت آبی نمونه‌های ۱، ۲ و ۳ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشت (P <۰/۰۵) ولی نمونه‌های ۴، ۵ و نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۱).

درصد چربی ۳۳/۴۱ به دست آمد که با میزان کره کاکائو فرمولاسیون و چربی حاصل از پودر کاکائو مطابقت داشت. میزان قند قبل از آبکافت با افزایش میزان تاگاتوز افزایش یافت. اندازه‌گیری قند بعد از آبکافت، نشان داد که در نمونه‌ها آبکافت اسیدی به خوبی انجام گرفته است.

با کاهش میزان اینولین، میزان سختی نمونه‌ها افزایش یافت. بیشترین میزان سختی مربوط به نمونه ۵ (۱۰۰٪ تاگاتوز) و کمترین سختی مربوط به نمونه ۱ (۱۰۰٪ اینولین) بود. نمونه‌های داری اختلاف کم در مقدار اینولین، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند. همچنین نمونه شماره ۵ با شاهد اختلاف معنی‌داری در سطح (P <۰/۰۵) نشان نداد (جدول ۱).

در مورد شاخص‌های رنگ سنجی، میانگین L^* با کاهش میزان اینولین و افزایش میزان تاگاتوز افزایش یافت و نمونه ۱ کمترین و نمونه ۵ بیشترین مقدار L^* را دارا بودند. میانگین مقادیر a^* و b^* نیز با افزایش تاگاتوز، افزایش یافت و مقدار a^* شاهد با نمونه ۴ مشابه و اختلاف معنی‌داری در سطح (P<۰/۰۵) نداشت. مقادیر c^* نیز با کاهش میزان اینولین از ۵/۸۳ تا ۱۳/۵۳ افزایش یافت و مقادیر hue° نیز با افزایش میزان تاگاتوز از ۳۵/۷ تا ۵۷/۶۳ افزایش یافت. همه نمونه‌ها در مقادیر b^* ، c^* ، L^* و hue° اختلاف معنی‌داری در سطح (P<۰/۰۵) نشان دادند (جدول ۲).

برای بررسی خواص رئولوژیکی، نمودار تنش برشی در برابر سرعت برشی برای نمونه‌ها رسم شد. همان طور که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود، در همه نمونه‌ها رفتار تیکسوتروپی مشاهده شد و بین دو نمودار افزایش و کاهش سرعت برشی، حلقه‌های پس ماند (Hystersis Loop) وجود داشت و مقادیر تنش برشی و گرانروی در سرعت برشی یکسان، کاهش یافتند. به منظور دستیابی به بهترین و مناسب‌ترین مدل برای ارزیابی رفتار جریان نمونه‌های شکلات، داده‌های به دست آمده با پنج مدل ویندهب، هرشل بالکلی، کاسون، بینگهام و استوالد (توان) بررسی شد و R^2 (ضریب تعیین) و SE (خطای استاندارد) رگرسیون خط حاصل برای تعیین بهترین مدل مورد قضاوت قرار گرفت. پس از بررسی ضرایب به دست آمده، مشخص شد که مدل ویندهب دارای بهترین ضرایب تعیین (R^2) و کمترین میزان خطای استاندارد (SE) است و بعد از آن به ترتیب، مدل هرشل بالکلی و کاسون قرار داشتند. نتایج در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۱- نتایج برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی شکلات تیره

نمونه	درصد رطوبت	فعالیت آبی	درصد قند قبل از آبکافت	درصد قند بعد از آبکافت	میزان سختی	میزان کالری	درصد کاهش کالری
۱(۱۰۰٪اینولین)	۱/۷۹±۰/۰۱۵ [a]	۰/۲۸۱±۰/۰۰۱ [a]	۲/۲۰ ± ۰/۰۶	۵۰/۹۸±۰/۱۲	۲۱/۵۰±۰/۲۲ [a]	۳۷۹/۶	۲۷/۵
۲(۷۵٪اینولین۲۵٪تاگاتوز)	۱/۵۲±۰/۰۳ [b]	۰/۳۱۵±۰/۰۰۴ [b]	۱۳/۹۸ ± ۰/۱۳	۵۰/۹ ± ۰/۳۶	۲۲/۶۵±۰/۹۳ [ab]	۳۸۳/۵	۲۶/۷
۳(۵۰٪اینولین-۵۰٪تاگاتوز)	۱/۳۴± ۰/۰۱ [c]	۰/۳۲۵±۰/۰۰۳ [c]	۲۵/۶ ±۰/۳۳	۵۱/۲ ±۰/۰۳	۲۴/۳۵±۰/۳۸ [b]	۳۸۷/۴	۲۶
۴(۲۵٪اینولین-۷۵٪تاگاتوز)	۱/۰۵±۰/۰۴۱ [d]	۰/۳۳۵±۰/۰۰۵ [d]	۳۹/۱ ± ۰/۲	۵۱/۱۸ ± ۰	۲۶/۱۲±۰/۷۶ [bc]	۳۹۱/۲	۲۵/۲
۵(۱۰۰٪تاگاتوز)	۰/۷۱±۰/۰۲ [e]	۰/۳۳۶±۰/۰۰۲ [d]	۵۱/۳ ± ۰	۵۱/۴ ± ۰/۰۹	۲۷/۸۲±۰/۵۸ [c]	۳۹۵/۱	۲۴/۵
شاهد	۰/۶۸±۰/۰۱ [e]	۰/۳۳۳±۰/۰۰۴ [c d]	۰/۳۷ ±۰/۰۲	۵۱/ ۹±۰/۱۷	۲۶/۸۰±۱ [c]	۵۲۳/۶	-

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف مختلف نشان داده شده‌اند، با آزمون توکی و در سطح α =۰/۰۵ با یگدیگر اختلاف معنی‌دار دارند.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-21]

جدول ۲- تأثیر جایگزینی ساکارز با اینولین و تاگاتوز بر شاخص‌های رنگ سنجی

نمونه	L^*	a^*	b^*	c^*	hue°
۱	۱۶/۰۹±۰/۱۱[a]	۴/۹۵ ±۰/۰۴[a]	۳/۰۸ ± ۰/۰۱[a]	۵/۸۳ ±۰/۰۴[a]	۳۵/۷ ±۰/۲۶[a]
۲	۱۸/۴ ±۰/۱۴[b]	۶/۰۵ ± ۰/۰۶[b]	۴/۱۱ ± ۰/۰۱[b]	۷/۲۶ ±۰/۱۲[b]	۳۸/۹۳ ±۰/۳۲[b]
۳	۱۹/۵۸ ±۰/۰۷[c]	۶/۶ ±۰/۰۳[c]	۴/۷۵ ± ۰/۰۱[c]	۸/۱۴ ±۰/۰۵[c]	۴۱/۰۶ ±۰/۳۰[c]
۴	۲۰/۰۸ ±۰/۰۷[d]	۷/۴۸ ±۰/۰۳[d]	۶/۶۵ ±۰/۰۲[d]	۱۰/۰۴ ±۰/۰۷[d]	۵۰/۹۴ ±۰/۳۷[d]
۵	۲۲/۱۷ ±۰/۱۲[e]	۹/۴۷±۰/۰۴[e]	۹/۵۳ ±۰/۰۳[e]	۱۳/۵۳ ±۰/۱۸[e]	۵۷/۶۳ ±۰/۰۷[e]
شاهد	۱۷/۶ ± ۰/۰۲[f]	۷/۴۸ ± ۰/۰۱[d]	۶/۰۱ ±۰/۰۲[f]	۹/۶۳ ±۰/۰۸[f]	۴۵/۹۹ ±۰/۱۲[f]

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف مختلف نشان داده شده‌اند، با آزمون توکی و در سطح α =۰/۰۵ با یگدیگر اختلاف معنی‌دار دارند.

جدول ۳- ضریب تعیین و خطای استاندارد در ۵ مدل متداول رئولوژی

نمونه	مدل	ضریب تعیین(R^2)	انحراف استاندارد(SE)	نمونه	مدل	ضریب تعیین(R^2)	انحراف استاندارد(SE)
۱	ویندهب	۰/۹۹۹۹۹	۰/۷۰۱۴۹	۴	ویندهب	۰/۹۹۹۹۹	۰/۱۴۷۲۷
	هرشل	۰/۹۹۹۹۸	۰/۷۵۲۲۲		هرشل	۰/۹۹۹۹۶	۰/۴۲۳۷۷
	کاسون	۰/۹۹۹۶۹	۳/۷۵۲۸		کاسون	۰/۹۹۹۱	۲/۱۱۷
	بینگهام	۰/۹۹۹۸۶	۶/۲۷۵۶		بینگهام	۰/۹۹۷۵۱	۳/۵۲۳۶
	استوالد	۰/۹۹۵۲۹	۱۴/۵۰۴		استوالد	۰/۹۸۴۸۲	۸/۶۶۵۹
۲	ویندهب	۰/۹۹۹۹۶	۰/۱۸۱۵۱	۵	ویندهب	۰/۹۹۹۹۸	۰/۱۹۵۶۸
	هرشل	۰/۹۹۹۹۷	۰/۵۵۲۴۲		هرشل	۰/۹۹۹۷۹	۰/۷۷۱۷۷
	کاسون	۰/۹۹۹۳۸	۳/۰۳۲۶		کاسون	۰/۹۹۸۹۳	۲/۴۳۵۵
	بینگهام	۰/۹۹۸۵۲	۴/۹۸۱۵		بینگهام	۰/۹۹۴۹۴	۳/۹۴۵۲
	استوالد	۰/۹۹۱۲۱	۱۱/۳۸۲		استوالد	۰/۹۶۵۱۱	۹/۸۵۴۲
۳	ویندهب	۰/۹۹۹۹۸	۰/۲۲۸۵	شاهد	ویندهب	۰/۹۹۹۹۸	۰/۴۲۹۴۱
	هرشل	۰/۹۹۹۹۷	۰/۴۸۶۰۹		هرشل	۰/۹۹۹۸۱	۱/۰۵۲۵
	کاسون	۰/۹۹۹۰۵	۲/۶۳۲۹		کاسون	۰/۹۹۹۷۹	۱/۵۸۰۶
	بینگهام	۰/۹۹۶۶۴	۳/۴۹۶۱		بینگهام	۰/۹۹۸۳۷	۴/۳۶۰۴
	استوالد	۰/۹۷۰۳۶	۹/۵۷۱۶		استوالد	۰/۹۷۸۱	۱۱/۳۷۹

همان طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، با کاهش میزان اینولین و افزایش میزان تاگاتوز، میانگین تنش تسلیم (τ_0) در هر سه مدل ویندهب، هرشل و کاسون افزایش یافت. بیشترین و کمترین تنش تسلیم به ترتیب در نمونه شاهد و نمونه ۱ مشاهده شد. نمونه شاهد با نمونه ۵ اختلاف معنی‌داری نداشت، ولی نمونه‌های دیگر اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان دادند (P <۰/۰۵). میزان تنش تسلیم خطی در مدل ویندهب نیز با افزایش میزان تاگاتوز و کاهش میزان اینولین افزایش یافت. بیشترین τ_1 در نمونه شاهد و کمترین τ_1 در نمونه ۱ با بیشترین مقدار اینولین مشاهده شد.

گرانروی ظاهری در نرخ برش ۴۰ عکس ثانیه محاسبه شد. نمونه ۱ گرانروی ظاهری نسبتا بالایی را نشان داد و اختلاف آن با نمونه ۲ و سایر نمونه‌ها زیاد بود. گرانروی ظاهری با کاهش مقدار اینولین کاهش یافت و کمترین گرانروی ظاهری در نمونه ۴ (۲۵٪ اینولین و۷۵٪ تاگاتوز) دیده شد. نمونه ۵ با نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان نداد، ولی اختلاف سایر نمونه‌ها با یکدیگر و با شاهد، معنی‌دار بود(P <۰/۰۵).

همچنین با کاهش مقدار اینولین، گرانروی پلاستیک روندی نزولی داشت و بیشترین گرانروی پلاستیک در نمونه ۱ و کمترین در نمونه ۵ و بدون اختلاف معنی‌دار با نمونه ۴ و شاهد مشاهده شد(P <۰/۰۵).

اندیس رفتار جریان (flow index) که در مدل هرشل بالکلی به آن اندیس هرشل بالکلی نیز می‌گویند، با کاهش اینولین کاهش یافت و بیشترین مقدار در نمونه ۱ و کمترین در شاهد مشاهده شد که با نمونه‌های ۴ و ۵ اختلاف معنی‌داری نشان نداد(P<۰/۰۵).

در مورد ارزیابی حسی با کاهش میزان اینولین و افزایش میزان تاگاتوز، امتیاز حاصل از ویژگی‌های حسی بجز ویژگی رنگ افزایش یافت. از لحاظ رنگ، بیشترین پذیرش مربوط به نمونه ۱ و کمترین پذیرش مربوط به نمونه ۵ بود. از لحاظ ویژگی‌های عطر و بو، نحوه ذوب، احساس دهانی و بافت، نمونه ۴ بیشترین امتیاز را بدون اختلاف معنی‌دار با نمونه ۵ و شاهد نشان داد (P<۰/۰۵). نمونه ۵ بیشترین امتیاز را از لحاظ طعم و مزه و تردی (سختی) کسب کرد و اختلاف معنی‌داری با نمونه ۴ و شاهد نداشت. شاهد، بیشترین امتیاز ویژگی شیرینی و بدون اختلاف معنی‌دار با نمونه‌های ۵ و۴ و ۳ را به دست آورد (P <۰/۰۵). در همه ویژگی‌های فوق کمترین امتیاز، مربوط به نمونه ۱ (۱۰۰٪ اینولین) بود. از لحاظ پذیرش کلی نمونه ۱ کمترین و نمونه ۵ بیشترین

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-21]

امتیاز را بدون اختلاف معنی‌دار با نمونه ۴ و شاهد کسب کردند ($P<0/05$).

با محاسبه قیمت تمام شده قیمت هر کیلوگرم شکلات نمونه ۴ (۷۵٪تاگاتوز-۲۵٪اینولین) حدود ۵۸۰۰۰ ریال، نمونه ۵ (۱۰۰٪ تاگاتوز) حدود ۶۰۰۰۰ ریال و نمونه شاهد(حاوی ساکارز) حدود ۴۴۰۰۰ ریال به دست آمد. قیمت شکلات‌های رژیمی بدون قند موجود در بازار از ۱۰۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰۰ ریال به ازای هرکیلوگرم متغیر است.

جدول ۴- نتایج برخی ویژگی‌های رئولوژیکی حاصل از برازش داده‌ها در سه مدل ویندهب ، کاسون و هرشل بالکلی

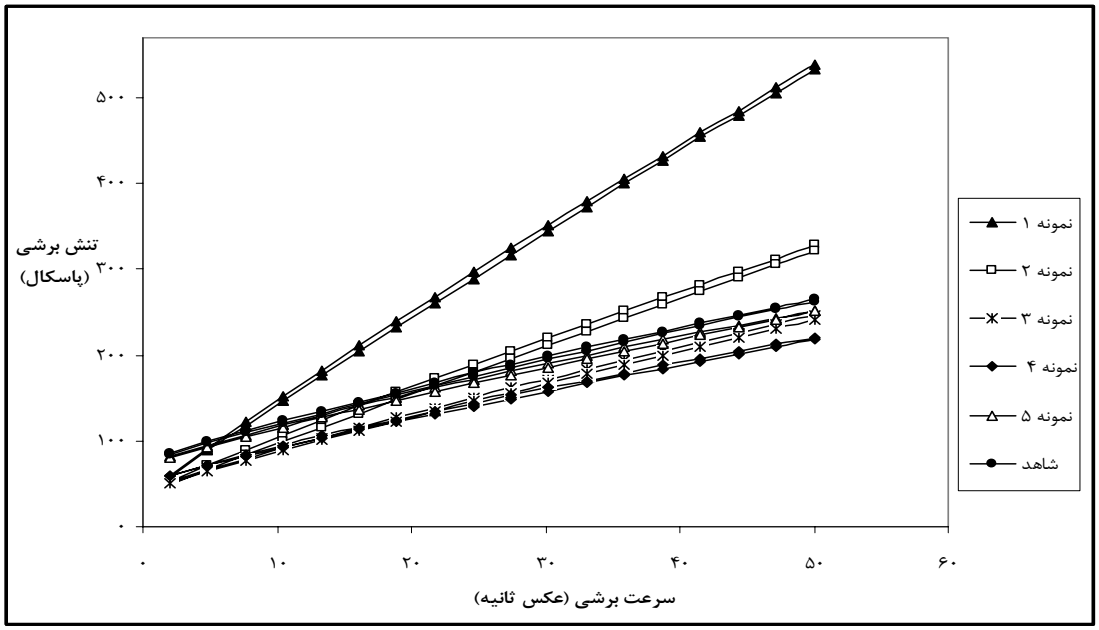
مدل	مدل ویندهب			مدل کاسون	مدل هرشل بالکلی		گرانروی
نمونه	تنش تسلیم واقعی	تنش تسلیم خطی	η_∞	گرانروی کاسون	اندیس هرشل بالکلی	گرانروی پلاستیک	ظاهری در ۴۰عکس ثانیه
۱	۳۳/۹۶±۰/۸۸ a	۶۱/۲۴±۱/۱ a	۹/۴۴±۰/۳۳ a	۲/۷۳±۰/۰۴ a	۰/۹۴±۰/۰۱ a	۱۲/۲۱±۰/۳ a	۱۰/۹۵±۰/۲۶ a
۲	۳۶/۹۳±۰/۷۳ b	۶۲/۶۶±۱/۱ a b	۵/۳۴±۰/۲۰ b	۱/۹۳±۰/۰۳ b	۰/۹۰±۰/۰۲ a b	۸/۵۳±۰/۳۸ b	۶/۸۴±۰/۱۵ b
۳	۴۱/۱۴±۰/۷۷ c	۶۵/۱۴±۱/۶ b	۳/۶۳±۰/۱۱ c	۱/۵۱±۰/۰۱ c	۰/۸۷±۰/۰۲ b c	۶/۸۶±۰/۴ c	۵/۲۳±۰/۱۸ c
۴	۵۰/۳۹±۰/۸۴ d	۷۷/۹۲±۱/۴ c	۲/۸۸±۰/۱۲ d e	۱/۲۷±۰/۰۳ d	۰/۸۳±۰/۰۳ c d	۶/۶۹±۰/۲۵ c	۴/۷۸±۰/۱۴ d
۵	۷۲/۵۶±۰/۷۱ e	۱۱۳/۴۱±۱/۳ d	۲/۵۳±۰/۱۱ d	۱/۲۶±۰/۰۱ d	۰/۸۲±۰/۰۱ d	۶/۷۸±۰/۴ c	۵/۵۵±۰/۱۵ e
شاهد	۷۵±۰/۸۰ f	۱۲۷/۸۷±۱/۱ e	۳/۰۵±۰/۱۴ e	۱/۳۲±۰/۰۲ d	۰/۸۰±۰/۰۴ d	۷/۴۱±۰/۷ c	۵/۸۲±۰/۱۴ e

میانگین‌هایی که در هر ستون با حروف مختلف نشان داده شده‌اند، با آزمون توکی و در سطح α =۰/۰۵ با یگدیگر اختلاف معنی‌دار دارند.

جدول ۵- میانگین امتیازات ارزیابی حسی و پذیرش کلی

نمونه	رنگ	عطرو بو	طعم و مزه	نحوه ذوب در دهان	شیرینی	احساس دهانی	سختی (تردی)	بافت	پذیرش کلی
۱	۵/۳۳ a	۱/۶۶ a	۱/۹۳ a	۲/۰۶ a	۲ a	۱/۸ a	۱/۶۶ a	۱/۸ a	۱۴/۸۶a
۲	۴/۶ a b	۲/۱ a	۲/۳۳ a	۲/۶ a	۲/۷۳ a	۲/۲۶ a	۲/۶۶ b	۲/۲۶ a	۱۸/۲۶b
۳	۳/۶ c	۳/۴۶ b	۳/۲ b	۳/۹ b	۳/۷۳ b	۴ b	۳/۳۳ b c	۳/۵۳ b	۲۸/۶۰c
۴	۱/۸۶ d	۴/۸ c	۴/۴ c	۴/۴ b	۴/۰۶ b	۴/۴۶ b	۴/۱۳ c d	۴/۶۶ c	۳۵/۴۶ d
۵	۱/۴ d	۴/۴ b c	۴/۷ c	۴/۳ b	۴/۲ b	۴/۳۳ b	۴/۸ d	۴/۴۶ c	۳۶/۹۳d
شاهد	۴/۳ b	۴/۵۳ c	۴/۶۶ c	۳/۸ b	۴/۳۳ b	۴/۱۳ b	۴/۴۶ d	۴/۲۶ c b	۳۳/۴۶ d

میانگین‌هایی که با حروف مختلف نشان داده شده‌اند در سطح α =۰/۰۵ با یگدیگر اختلاف معنی‌دار دارند.



شکل۱- نمودار جریان و حلقه‌های پسماند نمونه‌های شکلات در دمای ۴۰°C

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-21]

• بحث

تأثیر افزودن اینولین و تاگاتوز بر رطوبت: با افزایش درصد اینولین، رطوبت نمونه‌ها افزایش یافت. علت این موضوع را می‌توان به وجود گروه‌های آبدوست و طبیعت جاذب الرطوبه آن نسبت داد. همچنین، پودر اینولین مصرفی نسبت به شکر و تاگاتوز رطوبت بیشتری داشت و به دلیل حفظ رطوبت در مدت ورزدادن مقدار کمتری رطوبت از دست داد. نمونه‌های حاوی درصد بالایی از اینولین، رطوبت بالاتری داشتند. این موضوع در تحقیقات متعددی که از اینولین به عنوان ماده اولیه استفاده شده گزارش شده است. در تحقیقی که توسط *Deverux* و همکاران (سال ۲۰۰۳) روی Cookies کم‌چرب حاوی اینولین انجام گرفت، نمونه‌های حاوی اینولین درصد رطوبت بیشتری را نشان دادند (۲۱). همچنین، در تحقیقات *Franck* نشان داده است که افزودن اینولین و الیگوفروکتوز به نان و کیک آنها را مرطوب نگه داشته و تازگی آنها را به مدت طولانی‌تری حفظ می‌کند (۱۲).

همچنین، در مطالعه *فرزان مهر* و همکاران (۱۳۸۷) روی شکلات کم‌کالری، با افزایش میزان اینولین، میزان رطوبت افزایش یافت و با نمونه حاوی شکر (شاهد) اختلاف معنی‌داری نشان داد (۲۲). میزان رطوبت نمونه‌های حاوی ۱۰۰٪ تاگاتوز اختلاف معنی‌داری با شاهد(حاوی شکر) نشان ندادند. این موضوع را می‌توان ناشی از تمایل کم تاگاتوز به جذب و حفظ رطوبت دانست. همچنین، پودر تاگاتوز نسبت به پودر اینولین درصد رطوبت اولیه کمتری برخوردار بود. در مطالعه انجام گرفته توسط شرکت *Gaio* روی شکلات تیره حاوی تاگاتوز، میزان رطوبت نمونه‌های حاوی تاگاتوز مشابه نمونه‌های حاوی شکر (شاهد) گزارش شد (۲۳).

تأثیر افزودن اینولین و تاگاتوز بر فعالیت آبی (a_w): با افزایش اینولین، مقدار رطوبت، روندی صعودی و افزایشی، ولی میزان فعالیت آبی روندی نزولی پیدا کرد. این موضوع بر خاصیت جذب آب و حفظ رطوبت بالای اینولین دلالت می‌کند و نشان می‌دهد که اینولین به دلیل پیوند با ملکول‌های آب باعث کاهش آب در دسترس و فعالیت میکروب‌ها شده است.*Frank* (۲۰۰۲) گزارش کرده است که اینولین به علت ویژگی حفظ رطوبت، فعالیت آبی را کاهش داده و پایداری میکروبی بالایی را در فراورده به وجود آورد (۱۲). فعالیت آبی تاگاتوز مشابه ساکارز بود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که جذب و حفظ رطوبت آن همانند ساکارز است.

تأثیر جایگزینی اینولین و تاگاتوز بر سختی: با کاهش میزان اینولین و افزایش میزان تاگاتوز، میزان سختی نمونه‌ها افزایش یافت. به طوری که بیشترین سختی در نمونه حاوی ۱۰۰٪ تاگاتوز بدون اختلاف معنی‌دار با نمونه شاهد مشاهده شد. این موضوع را می‌توان به دلیل رطوبت پایین تاگاتوز و مشابه با شکر دانست. درحالی که اینولین با جذب و حفظ رطوبت باعث کاهش سختی نمونه‌ها شد. با اندازه‌گیری میزان نفوذ در شکلات تیره و شکلات شیری حاوی تاگاتوز در مطالعه شرکت *Gaio* سختی نمونه‌های شکلات حاوی تاگاتوز با نمونه‌های شکلات حاوی ساکارز، یکسان و روند افت سختی با افزایش درجه حرارت مشابه بود. ولی سختی نمونه‌های شکلات تیره بیشتر از شکلات شیری بود (۲۳).

Deverux و همکاران (۲۰۰۳) مشاهده کردند که نمونه‌های Cookies حاوی اینولین به علت رطوبت بالاتر، تردی کمتری داشتند (۲۱). با توجه به تحقیقات انجام گرفته مشخص می‌شود که افزودن اینولین به علت خاصیت جذب و حفظ رطوبت آن باعث کاهش سختی (تردی) محصولات شده است.

تأثیر افزودن اینولین وتاگاتوز بر رنگ: اینولین به دلیل جذب آب باعث کاهش پراکنش نور شده و در نتیجه، درجه درخشندگی کاهش یافته و شکلات، تیره‌تر به نظر می‌رسد. در مطالعه *Bolenz* و همکاران (۲۰۰۶) در مورد مصرف پرکننده‌ها در شکلات شیری کمترین مقدار L^*(Lightness) در شکلات حاوی ۲۰٪ اینولین مشاهده شد. همچنین، نمونه حاوی اینولین نسبت به نمونه شاهد b^* (زردی) کمتر و a^* (قرمزی) بیشتری نشان داد. نمونه حاوی اینولین در مطالعات حسی نیز به عنوان قهوه‌ای‌ترین(تیره‌ترین) نمونه مشخص شد (۲۴).

با افزایش میزان تاگاتوز مقادیر a^* , b^* , c^* , L^* و hue° افزایش یافت. با توجه به اینکه تاگاتوز یک قند احیاکننده است، انتظار می‌رفت که نمونه‌های شکلات در اثر واکنش میلارد نسبت به نمونه شاهد، رنگ تیره‌تری داشته باشند. ولی چون a_w شکلات پایین و دمای فرآوری شکلات ۵۰°C بود، رنگ تیره در اثر واکنش میلارد ایجاد نشد. *Hoskin* و *Dimick* (۱۹۹۹) نشان دادند در شکلاتی که در ۷۱°C به مدت ۴۸ ساعت کونچ شده، غلظت آمینواسیدها و قندهای احیا کننده هیچ تغییری نکرد (۲۵). در نتیجه، تاگاتوز به عنوان قند احیاکننده باعث افزایش درخشندگی، افزایش a^* و b^* شده و در نتیجه c^* و hue° بالاتری را در شکلات ایجادکرده و به همین دلیل، نمونه ۵ از همه نمونه‌ها روشن‌تر به نظر می‌رسید. همچنین، در مطالعه شرکت *Gaio* مشخص شد که رنگ نمونه‌های شکلات حاوی تاگاتوز از نمونه شکلات حاوی ساکارز روشن تر است (۲۳).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-21]

تأثیر افزودن اینولین وتاگاتوز بر تنش تسلیم و تنش تسلیم خطی: افزودن اینولین باعث کاهش تنش تسلیم در شکلات می‌شود. تنش تسلیم کمتر در نمونه‌های حاوی درصد بالای اینولین نشان دهنده ضعیف‌تر بودن نیروهای برهم کنش بین ذرات اینولین است که برای غلبه بر آنها و جریان یافتن شکلات به نیروی کمتری نیاز است. تفاوت در ساختار اینولین (الیگوساکاریدی با زنجیره بلند) با تاگاتوز (تک قندی شش کربنه) و ساکارز (دوقندی دوازده کربنه) می‌تواند یکی از عوامل موثر در برهم کنش بین ذرات و در نتیجه، مقاومت آنها در برابر جریان یافتن باشد. کاهش تنش تسلیم با استفاده از اینولین به عنوان پرکننده در تهیه شکلات در مطالعه *Bolenze* و همکاران در سال ۲۰۰۶ گزارش شد (۲۴). نمونه‌های حاوی درصد بالای تاگاتوز، با شاهد اختلاف جزئی داشتند که این موضوع را می‌توان در شباهت ساختار این دو قند دانست. تنش تسلیم کاسون برای شکلات ۱۰ Pa تا ۲۰۰ و برای روکش‌های شکلاتی ۰Pa تا ۲۰ گزارش شده است (۲۶) که نتایج به دست آمده از این مطالعه نیز در همین محدوده قرار دارد.

تأثیر افزودن اینولین وتاگاتوز برگرانروی پلاستیک کاسون و گرانروی ظاهری: اینولین در مقادیر بالا باعث افزایش گرانروی پلاستیک و گرانروی ظاهری، ولی در مقادیر کم باعث بهبود خواص جریان و کاهش گرانروی ظاهری شد. اینولین با جذب رطوبت در غذاهایی که درصد رطوبت بالایی دارند، باعث تشکیل ژل و افزایش گرانروی در آنها می‌شود. به طور مثال، افزودن اینولین باعث افزایش گرانروی و بهبود بافت محصولات کم چرب و بدون چربی مانند ماست، سس‌های سالاد، شکلات و دسر موس می‌شود (۲۷).

افزایش گرانروی در مقادیر بالای اینولین را می‌توان به توانایی جذب بالا و حفظ رطوبت در آن مرتبط دانست. *Crittenden* و *Playne* (۱۹۹۶) معتقدند که در مقایسه با مونو و دی‌ساکاریدها، الیگوساکاریدها و پلی‌ساکاریدها به دلیل وزن ملکولی بالاتر، گرانروی بیشتری ایجاد می‌کنند که منجر به بهبود بافت و احساس دهانی می‌شود (۲۸). در مطالعه *Golob* و همکاران (۲۰۰۴) مکمل اینولین بر گرانروی و قابلیت انحلال شکلات اثر منفی داشت، ولی در مقادیر کمتر باعث کاهش گرانروی و بهبود آن شد (۲۹). در مطالعه *Bolenze* و همکاران (۲۰۰۶) با افزودن ۲۰٪ اینولین به عنوان پرکننده، گرانروی و تنش تسلیم کمتری از شاهد (نمونه حاوی ساکارز) مشاهده شد (۲۴). نتیجه تحقیق فوق با نتایج حاصل از این مطالعه مطابقت دارد. در این مطالعه نیز کمترین گرانروی در نسبت ۲۵٪ اینولین و ۷۵٪ تاگاتوز مشاهده شد.

نمونه‌های شکلات حاوی ۱۰۰٪ تاگاتوز (نمونه ۵) از نظر گرانروی تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان ندادند و از گرانروی مناسبی برخودار بودند. در مطالعه شرکت *Gaio* شکلات شیری و تیره حاوی تاگاتوز گرانروی مشابهی با شاهد (حاوی شکر) نشان داد (۲۳).

گرانروی پلاستیک در فرایندهای پمپ کردن، ورز دادن، پرکردن سطوح ناصاف، روکش کردن و خواص حسی تأثیرگذار است (۳۰). محدوده گرانروی کاسون برای شکلات ۱Pa.s تا ۲۰ و برای روکش‌های شکلاتی ۰/۵ Pa.s تا ۲/۵ گزارش شده است(۲۶).

تأثیر افزودن اینولین و تاگاتوز برگرانروی بی‌نهایت (η_∞): با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت سازوکارهایی که باعث ایجاد ساختار جدید در نرخ برش‌های بالا می‌شوند، در نمونه‌های حاوی درصد بالای تاگاتوز باعث کاهش بیشتر گرانروی شده است. این شاخص در شرایطی که نیاز به اختلاط شکلات در سرعت برشی بالا باشد (مانند کونچ‌های نسل جدید) از لحاظ مصرف انرژی و هزینه تولید، قابل توجه است.

تأثیر افزودن اینولین و تاگاتوز بر شاخص‌های حسی: همان طور که در نتایج بالا ذکر شد، نمونه ۱ (۱۰۰٪ اینولین) بیشترین پذیرش رنگ را داشت. این نتایج با نتایج حاصل از رنگ سنجی مطابقت کامل دارد و نمونه ۱ L* ، *a* ، *b* ، *c** و *hue*° کمتری نسبت به دیگر نمونه‌ها داشت و تیره‌تر از بقیه نمونه‌ها بود که برای شکلات ساده مطلوب‌تر است.

با کاهش میزان اینولین، پذیرش عطر و طعم و مزه افزایش یافت و درصدهای بالای اینولین (۱۰۰٪ و ۷۵٪) کمترین پذیرش را داشتند. یکی از دلایل این موضوع را می‌توان گرانروی بالاتر نمونه‌های اینولین دانست که تأثیر معکوسی بر طعم دارد. گرانروی شکلات بر مدت زمانی که طول می‌کشد ذرات جامد شکلات به گیرنده‌های چشایی برسد، تأثیر می‌گذارد (۳۱). همچنین، آزاد شدن مواد مولد عطر و بو نیز تحت تأثیر گرانروی شکلات است.

با افزایش میزان تاگاتوز پذیرش عطر و طعم و مزه افزایش یافت و نمونه‌های ۴ و ۵ بیشترین امتیاز را کسب کردند که اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشتند علت این موضوع تشدیدکنندگی طعم توسط تاگاتوز است. تاگاتوز پروفایل طعم و احساس دهانی محصولات را وقتی که با دیگر شیرین کننده‌های کم کالری ترکیب شود، بهبود می‌بخشد (۳۲). این نتیجه با نتایج مطالعه شرکت *Gaio* روی شکلات حاوی تاگاتوز نیز منطبق است که از لحاظ طعم بدون اختلاف معنی‌دار با ساکارز گزارش شده است.(۲۳)

با کاهش اینولین، احساس دهانی و نحوه ذوب بهبود یافت. در مطالعه *Golob* و همکاران (۲۰۰۴) احساس دهانی

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-21]

در سه نوع شکلات حاوی اینولین بد ارزیابی شد و شکلات شیری حاوی اینولین کمترین امتیاز را کسب کرد و چسبندگی و Mouth Loading در آن گزارش شده است(۲۹). قابلیت انحلال اینولین نسبت به قندهای ساده‌تر مانند تاگاتوز و ساکارز کمتر است و در دهان حالت جمع شوندگی و چسبندگی ایجاد می‌کند که این حالت در نمونه‌های دارای مقادیر بالای اینولین کاملا مشهود بود. این حالت بر نحوه ذوب شکلات نیز تأثیر دارد و به همین دلیل کمترین امتیاز را نمونه‌های ۱ و ۲ کسب کردند. البته گرانروی بالاتر نمونه‌های ۱ و۲ نیز در این رابطه مؤثر است. شکلات با گرانروی بالا احساس دهانی خمیری داشته، در دهان باقی می‌ماند و ایجاد چسبندگی و ماسیدگی می‌کند(۳۳).

با افزایش تاگاتوز وکاهش اینولین پذیرش شیرینی افزایش یافت. با اینکه میزان شیرینی فرمول‌ها با توجه به شیرینی نسبی اینولین و تاگاتوز و با افزودن شیرین‌کننده استویا معادل شیرینی ساکارز تنظیم شده بود، ولی با توجه به پس طعم (After Taste) حاصل از شیرین کننده، قابلیت انحلال جایگزین ساکارز و سرعت آزاد شدن طعم شیرین آن و اثر خنک کنندگی (Cooling Effect) قند جایگزین که در ایجاد حس شیرینی و پذیرش طعم شیرین توسط مصرف کننده مؤثرند، نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری نشان دادند و کمترین امتیاز را نمونه‌های ۱ و ۲ به دست آوردند.

نتایج حاصل از ارزیابی حسی ویژگی سختی (تردی) با نتایج حاصل از اندازه‌گیری دستگاهی سختی شکلات مطابقت دارد. با کاهش اینولین، سختی شکلات افزایش یافته و بیشترین امتیاز در نمونه‌های ۴ و ۵ مشاهده شد. اینولین با جذب و حفظ رطوبت باعث کاهش سختی نمونه‌ها شده و کمترین امتیاز سختی نیز در نمونه‌های ۱ و ۲ به دست آمد.

نمونه‌های با درصد بالای تاگاتوز (۱۰۰٪ و۷۵٪ تاگاتوز) بجز در ویژگی رنگ در دیگر ویژگی‌های حسی مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان ندادند. در مطالعه شرکت *Gaio* تاگاتوز نسبت به دیگر جایگزین‌های ساکارز شامل لاکتیتول، ایزومالت، مالتیتول، پلی دکستروز و اریتریتول از لحاظ ویژگی‌های حسی، شبیه‌ترین قند به ساکارز بود و از نظر شیرینی و اثر خنک کنندگی اختلاف جزئی و از لحاظ تیرگی (Darkness) اختلاف عمده و معنی‌داری نشان داد. ولی بقیه ویژگی‌های حسی از قبیل چسبندگی، طعم و بو، براقیت و جلا بدون اختلاف معنی‌دار با ساکارز بود(۲۳).

تأثیر افزودن اینولین و تاگاتوز بر میزان کالری: میزان کالری نمونه‌ها با توجه به فرمولاسیون و با احتساب میزان کالری هر یک از مواد اولیه محاسبه شد. میزان کالری تولید شده به ازای ۱۰۰ گرم اینولین GR ، حدود ۱۲۰Kcal (مطابق با آنالیز ارائه شده توسط شرکت Orafti) و۱۰۰ گرم تاگاتوز حدود ۱۵۰Kcal در نظر گرفته شد. میزان کالری از ۲۴/۵ تا ۲۷/۵ درصد کاهش نشان داد که با افزایش مقدار اینولین، میزان کاهش کالری بیشتر بود.

بررسی جنبه اقتصادی و قیمت تمام شده: شکلات‌های رژیمی حاوی جایگزین‌های ساکارز قیمت بالاتری نسبت به شکلات‌های حاوی ساکارز دارند که ناشی از قیمت بالاتر این گونه جایگزین‌ها نسبت به شکر است. قیمت نمونه‌های تایید شده در این مطالعه حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد از قیمت شکلات شاهد (حاوی ساکارز) بالاتر است. ولی با توجه به قیمت شکلات‌های حاوی سایر جایگزین‌های ساکارز (مانند ایزومالت و لاکتیتول) و شکلات‌های بدون قند وارداتی موجود در بازار، قیمت تمام شده فرمول‌های مذکور، مناسب و تولید این گونه شکلات‌ها در کشور از توجیه اقتصادی قابل قبولی برخوردار است.

با توجه به اینکه اینولین و تاگاتوز خاصیت پری‌بیوتیک داشته و اینولین نیز فیبر رژیمی به حساب می‌آید، شکلات حاوی این دو ترکیب خصوصیات تغذیه‌ای ویژه‌ای داشته و ماده غذایی عملگر (فراسودمند) شناخته می‌شود. مهم‌ترین موضوع در استفاده از این دو ترکیب به عنوان جایگزین ساکارز، حفظ یا بهبود ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی، رئولوژیکی و در نهایت، خصوصیات حسی شکلات تهیه شده است.

نتایج نشان دادند که نمونه‌های حاوی مقادیر بالای اینولین در مقایسه با نمونه شاهد (حاوی ساکارز) تنش تسلیم واقعی و خطی، سختی و فعالیت آبی کمتر، اما گرانروی پلاستیک و ظاهری و رطوبت بالاتر و رنگ تیره‌تری دارند. با وجود این، اینولین در درصدهای میانی و پایین باعث کاهش گرانروی پلاستیک و ظاهری در شکلات تیره شد. تنش تسلیم، گرانروی، سختی، رطوبت و فعالیت آبی شکلات حاوی تاگاتوز مشابه شاهد (بدون اختلاف معنی‌دار) بود اما رنگ روشن‌تری داشت. در ارزیابی حسی با کاهش میزان اینولین و افزایش تاگاتوز، امتیاز حاصل برای ویژگی‌های عطر و بو، طعم و مزه، نحوه ذوب در دهان، شیرینی، احساس دهانی، سختی (تردی) و بافت افزایش یافت. بیشترین پذیرش کلی در نمونه حاوی ۱۰۰٪ تاگاتوز به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت.

با توجه به نتایج حاصل که با کاهش میزان اینولین و افزایش میزان تاگاتوز، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، رئولوژیکی و حسی نمونه‌ها (بجز ویژگی رنگ) به نمونه شاهد نزدیک‌تر می‌شود، نمونه‌های ۴(۲۵٪ اینولین-۷۵٪ تاگاتوز) و ۵ (۱۰۰٪ تاگاتوز) قابلیت بهتری برای جایگزینی ساکارز نسبت به سایر نمونه‌ها دارند.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-21]

• References

1. Livesey G. Tolerance of low-digestible carbohydrates: a general view. Brit J Nutr. 2001;85 suppl 1:S7-16.
2. Sokmen A, Gunes G. Influence of some bulk sweeteners on rheological properties of chocolate. LWT- Food Sci Technol. 2006 ; 39 :1053–8.
3. Rapaille A, Gonze M, Van Der Schueren F. Formulating sugar-free chocolate products with maltitol. Food Technol 1995; 49(7): 51-4
4. Krüger C. Sugar and bulk sweetner. In: Beckett ST. Industrial chocolate manufacture and use. 3rd ed. Oxford: Blackwell Sci; 1999. p. 36-55.
5. Oh DK. Tagatose: properties, applications and biotechnological processes. Appl Microbiol Biotechnol. 2007;76(1):1-8.
6. Expert Committee on Food Additives (JECFA). Safety evaluation of certain food additives. Sixty-third meeting of the Joint FAO/WHO. WHO Food Additives. 2006, Series: 54
7. Saulo AA. Sugars and sweeteners in food. FST 2005; 16 : 1-7
8. Lee A, Storey DM. Comparative gastrointestinal tolerance of sucrose, lactitol or D-tagatose in chocolate. Regul Toxicol Pharmacol 1999; 29 :78-82.
9. Kroger M, Meister K, Kava R. Low-calorie sweeteners and other sugar: A review of the safety issues. Comprehensive Reviews In Food Science and Food Safety 2006; 5 :35-47.
10. Niness KR. Inulin and oligofructose: what are they? J Nutr 1999;129 suppl 7: S1402-6.
11. Kaur N , Gupta AK. Application of inulin and oligofructose in health and nutrition . J Biosci 2002; 27(2):703-14.
12. Franck A. Technological functionality of inulin and oligofructose. Brit J Nutr 2002; 87 suppl 2; S287- 91
13. Wallin H. Steviol Glycosides. Chemical and technical assessment. FAO. 63rd JECFA. Geneva 2004.
14. Nebesny E, Zyzelewicz D. Effect of lecithin concentration on properties of sucrose-free chocolate masses sweetened with isomalt. Eur Food Technol 2005; 220: 131-135
15. Horwitz W. Official Method of Analysis. 18th ed, Margland: AOAC International; 2005. chapters 31,33,44.
16. Institute of Standards and Industrial Research of Iran.Chocolate-specifications. ISIRI no 608. 3rd revision, Karaj: ISIRI; 2004 [in Persian].
17. Afoakwa EO, Paterson A, Fowler M, Vieira J. Particle size distribution and compositional effects on textural properties and appearance of dark chocolates. J Food Eng 2008 ; 87: 181-90.
18. IOCCC (2000a) Analytical Method 46. Available from CAOBISCO, rue Defacqz 1 , B-1000 Bruxelles , Belgium
19. Mezger TG. The rheology handbook .2nd ed. Vincentz Network GmbH &co KG; 2006: 57-59
20. Institute of Standards and Industrial Research of Iran.Sensory analyzing methods. ISIRI no: 3442. 1st revision, Karaj: ISIRI; 1995 [in Persian].
21. Devereux HM, Jones GP, McCormax L, Hunter WC. Consumer acceptability of low fat foods containing inulin and oligofructose. J Food Sci 2003; 68(5): 1850-4.
22. Farzanmehr H, Abbasi S, Sahari MA. Effect of sugar replacer on some physicochemical, rheological and sensory properties of milk chocolate. Iranian J Nutr Sci Food Technol 2008; 3(3):65-82[in Persian].
23. Anonymous. Gaio®tagatose in chocolate.Available in: www.gaio- tagatose.com.2004
24. Bolenz S, Amtsberg K, Schape R. The broader usage of sugars and fillers in milk chocolate made possible by the new EC cocoa directive. Int J Food Sci and Technol 2006; 41: 45–5.
25. Dimick PS, Hoskin JC. The Chemistry of flavour development in chocolate. In: Industrial chocolate manufacture and use Beckett ST, editor. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science, 1999; p:137-51.
26. Chevalley J.The Chocolate flow properties. In: Beckett ST, editor. Industrial chocolate manufacture and use. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science; 1999: 182-99.
27. Toneli J, Murr F, Martinelli P, Fabbro IMD, Park K. Optimization of a physical concentration process for inulin. J Food Eng 2007; 80(3): 832-8.
28. Crittenden RG, Playne MJ. Production, properties and applications of food-grade oligosaccharides. Trends in Food Sci &Technol 1996; 7: 353-61.
29. Golob T, Micovic E, Bertoncelj J, Jamnik M. Sensory acceptability of chocolate with inulin.Acta agriculturae slovenica 2004; 83 (2): 221-31.
30. Afoakwa EO, Paterson A, Fowler M. Effects of particle size distribution and composition on rheological properties of dark chocolate. Eur Food Res Technol 2008; 226:1259-68.
31. Beckett ST. The science of chocolate. 1st ed. RSC Paperbacks .Cambridge,UK. 2000;90-91
32. Greenly LW. A doctor's guide to sweeteners. J Chiropr Med 2003 **2**(2): 80-6.
33. Afoakwa EO, Paterson A, Fowler M. Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate. Trends Food Sci Technol 2007; 18(6): 290-8 .

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-03-21]