

بررسی تاثیر D-تاگاتوز و اینولین بر عنوان جایگزین ساکارز بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و رئولوژیکی شکلات شیری

^۴مهری شوریده^۱، اقدس تسلیمی^۲، محمد حسین عزیزی^{۳*}، محمد امین محمدی فر

- ۱- کارشناس ارشد علوم و صنایع غذایی، انسنتیتو و دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
 - ۲- عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع غذایی، انسنتیتو و دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
 - 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: ۸۸/۵/۴ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۲/۱۹)

چکیده

در شکلات که محصولی پرطرفدار و پرمصرف در گروههای سنی مختلف است، می‌توان با جایگزین نمودن ساکارز با کربوهیدراتهای با قابلیت هضم پایین باعث کاهش کالری و نمایه گلایسمی و جلوگیری از فساد دندانها شد. بدین منظور در این مطالعه اینولین که یک فیبر رژیمی محسوب می‌شود و تاگاتوز که یک ستوهنگرز طبیعی و با شیرین کنندگی مشابه شکر است به عنوان جایگزین ساکارز انتخاب و با درصدهای اختلاط ۱۰۰٪ صفر، ۷۵٪ ۵۰٪، ۵۰٪ ۲۵٪ و صفر ۱۰۰٪ در شکلات شیری مورد استفاده قرار گرفت و خواص شیمیایی و رئولوژیکی نمونه‌های حاصله بررسی گردید. با کاهش میزان اینولین و افزایش میزان تاگاتوز درصد رطوبت نمونه‌ها کاهش ولی میزان فعالیت آبی (a_w) افزایش یافت. سختی نمونه‌ها با افزایش میزان تاگاتوز افزایش یافت و سختی نمونه‌ی حاوی ۱۰۰٪ تاگاتوز مشابه نمونه شاهد (ساکارز) بود. در مورد شخص‌های رنگ کمترین مقادیر l^* , b^* , a^* و hue^* در نمونه دارای ۱۰۰٪ اینولین مشاهده گردید که با افزایش تاگاتوز این مقادیر افزایش یافتد. با کاهش میزان اینولین در نمونه‌ها T_0 و T_1 افزایش یافته و کمترین تنش تسلیم واقعی و خطی در نمونه‌ی ۱۰۰٪ اینولین مشاهده گردید. با کاهش اینولین گرانزوی ظاهری و پلاستیک کاهش یافتد. کمترین گرانزوی ظاهری و پلاستیک در نمونه ۲۵٪ اینولین - ۷۵٪ تاگاتوز دیده شد و گرانزوی نمونه ۱۰۰٪ تاگاتوز با نمونه شاهد اختلاف معناداری نداشت. اندیس رفتار جریان نیز با کاهش میزان اینولین کاهش یافت. با توجه به نتایج بدست آمده، نمونه‌های ۵۰٪ اینولین-۵۰٪/تاگاتوز، ۲۵٪/اینولین-۷۵٪/تاگاتوز و ۱۰۰٪/تاگاتوز از قابلیت بهتری جهت جایگزینی ساکارز برخوردارند که دو نمونه اول بعلت دارا بودن اینولین به عنوان فیبر رژیمی خصوصیات تغذیه‌ای ویژه‌ای داشته و ماده غذایی عملکر شناخته می‌شوند.

کلید واژگان: شکلات، اینولین، تاگاتوز، رئولوژی، گرانزوی

۱- مقدمه

چربی و قندهایی که به آسانی قابل هیدرولیز به گلوکز هستند مانند ساکارز را مصرف کنند [۱]. تعداد افراد مبتلا به دیابت در جهان در سال ۲۰۰۰ حدود ۱۷۱ میلیون نفر گزارش شده که پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۳۰ به ۳۶۶ میلیون نفر برسد [۲]. طبق

شکلات با طعم، مزه و بافت منحصر بفرد منبع مواد فعال بیولوژیکی است که اثر آنتی اکسیدانی ویژه‌ای را نشان میدهد و بر سلامت انسان بویژه سیستم قلب و عروق تاثیر مثبت دارد. از طرفی افراد داری نفایص متابولیکی مانند دیابت و چاقی نباید مواد غذایی غنی از

* مسئول مکاتبات: Azizit_m@modares.ac.ir

چاقی را مهار می کند. تشدید کننده طعم بوده و اثر سینزیزیک با دیگر شیرین کننده ها دارد.

D-تاگاتوز خاصیت پری بیوتیک^۳ دارد و باعث خرابی دندانها نمی شود. تقریباً $1/5$ kcal/gr انرژی تولید می کند و بیش از $\%25$ آن در قسمت فوقانی روده جذب نمی شود [۱۰-۱۲]. D-تاگاتوز می تواند بعنوان عامل شیرین کننده کم کالری در محصولاتی مانند غلات، شکلات، آبنبات، آدامس، ماست، نوشیدنی ملایم، بیسکویت، نوشیدنی بر پایه لبنی و قنادی استفاده شود.

اینولین الیگوساکاریدی است که معمولاً از گیاهانی مانند پیازها، ریشه مارچوبه، کنگر فرنگی و کاسنی استخراج شده است و یک پلی دیسپرس^۴ فروکتان است که مخلوطی از الیگومرها و پلیمرها بوده و واحدهای فروکتوز در این مخلوط از پلیمرهای فروکتوز خطی و الیگومرها با اتصالهای $(\alpha \rightarrow 1)$ -D → $(\beta \rightarrow 2)$ -D تشکیل شده و یک ملکول گلوکز در انتهای زنجیره فروکتوز با اتصال $(\alpha \rightarrow 1)$ -D → $(\beta \rightarrow 1)$ -D دارد. اینولین ارزش کالریک کمتری نسبت به کربوهیدراتهای دیگر دارد که ناشی از اتصالهای $(\alpha \rightarrow 1)$ -D → $(\beta \rightarrow 1)$ -D است که توسط آنزیمهای سیستم گوارشی تحت تاثیر قرار نمی گیرد. تحقیقات نشان داده که اینولین و الیگوفروکتوز تاثیری بر قند سرم ندارد و باعث تحریک ترشح انسولین نمی شوند. همچنین بر عملکرد دستگاه گوارش از طریق افزایش تکرر دفع خصوصاً در بیماران دچار بیوست تاثیر می گذارند [۱۳]. آنها بر تنظیم هضم، جذب یا متابولیسم چربی اثر دارند [۱۴] و تری گلیسرید سرم و کبد و سطح کلسترول خون را کاهش می دهند. اینولین جذب کلسیم و منزیم را در انسان افزایش می دهد [۱۵] و بهترین اثر تغذیه ای شناخته شده ای اینولین تحریک رشد بیفیدو باکترها در روده بزرگ می باشد که باعث مهار رشد باکتریهای مضر، تحریک سیستم ایمنی، کمک به جذب یونهای خاص و سنتز ویتامین های گروه B می شود و به همین علت است که تحت عنوان پری بیوتیک نامیده می شود. اینولین بعنوان ماده ای حجم دهنده (Bulk) با کالری کم و فیبر در شکلات (بدون افروند شکر) اغلب همراه با یک پلی ال یا فروکتوز بکار می رود و مقاوم به حرارت است و حدود 10% شیرینی ساکاراز را دارد [۱۶]. نتایج ارزیابی حسی در مورد شکلات (شیری / فندقی / برنجی) که ساکاراز در آن با اینولین و فروکتوز جایگزین شده بود با شکلات معمولی مقایسه و علیرغم شیرینی و حلالیت نامطلوب، پذیرش کلی شکلات حاوی اینولین مطلوب بوده و بعلت دارا بودن شکر کمتر و مقدار بیشتر فیر رژیمی و مقدار انرژی کمتر به عنوان یک غذای عملکر در نظر گرفته شد

آمار فدراسیون بین المللی دیابت افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ در گروه سنی ۲۰-۷۹ سال در ایران در سال ۲۰۰۷ حدود ۲ میلیون و ۵۶۵ هزار نفر برآورد شده است که تا سال ۲۰۲۵ به حدود ۵ میلیون و ۱۱۴ هزار نفر خواهد رسید [۳].

در دهه های اخیر مصرف مواد غذایی کم کالری با جایگزین های قند به منظور کاهش انرژی دریافتی، کترول وزن بدن، مشکلات مربوط به سلامتی مانند دیابت و کاهش قند خون گسترش زیادی پیدا کرده است. در شکلات که یکی از محصولات پر مصرف در بین همه گروههای سنی است برای کاهش کالری، نمایه گلایسیم پایین تر و جلوگیری از فساد دندانها می توان ساکاراز را با کربوهیدراتهای با قابلیت هضم کم^۱ جایگزین نمود. کربوهیدراتهای با قابلیت هضم کم از قبیل پلی الها مانند ایزومالت، لاکتیتول و سوربیتول و قندهای کمیاب مانند D-تاگاتوز و لاکتولوز و پلی ساکاریدها مانند اینولین جایگزین ساکاراز در محصولات غذایی از جمله شکلات می گردد [۴]. امروزه پلی الها به طور وسیع در شکلات بدون قند استفاده می شوند که از آن جمله می توان به استفاده از ایزومالت، زایلیتول و مالتیتول [۵] مالتیتول با یا بدون پلی دکستروز و اینولین [۶] و لاکتیتول، پلی دکستروز و آسپاراتام [۷] اشاره کرد. استفاده از بعضی پلی الها باعث افزایش گرانزوی و تنش تسیلیم شکلات شده و در مراحل تولید شکلات و یا در پذیرش کلی محصول مشکلاتی را ایجاد می نمایند. امروزه استفاده از سایر کربوهیدراتهای با قابلیت هضم کم که علاوه بر تامین شیرینی و کاهش کالری شکلات، اشرات مفید تغذیه ای دیگری نیز داشته و باعث بهبود رئولوژی، بافت و پذیرش کلی شوند، مورد توجه قرار گرفته است. بدین منظور در این مطالعه نیز سعی شده است که از دونوع جایگزین ساکاراز (D-تاگاتوز و اینولین) با درصد های اختلاط متفاوت استفاده شده و ترکیب بهینه مشخص گردد. D-تاگاتوز یک ستوهنگزو ز طبیعی و ایزومر D-گلاکاتوز بوده و بعنوان یک قند احیاء کننده، 92% شیرینی ساکاراز را ایجاد می کند. طعم آن شبیه ساکاراز و بدون پس طعم یا اثر خنک کنندگی است [۸]. D-تاگاتوز در لیست GRAS بوده و از طرف کمیته افزودنی های مواد غذایی (JECFA) با مقدار دریافت روزانه بدون محدودیت پذیرفته شده است [۹ و ۱۰]. D-تاگاتوز با توجه به خصوصیات منحصر به فردش فواید سلامتی متعددی دارد. نمایه گلایسیم پایینی دارد و قندخون را افزایش نمی دهد و نشانه های همراه با دیابت نوع ۲ و هایپر گلایسیمی را کاهش داده و

2. Prebiotic
3. polydisperse

1. Low Digestible Carbohydrates

۱۲ ساعت قرار داده شد. سپس نمونه ها توسط تمپرینگ آزمایشگاهی (با همزن با دور ۷۵ دور بر دقیقه) مشروط دمای ۳۳°C شدند. برای این منظور: ۱) دمای نمونه ها از ۵۰°C به ۳۷°C کاهش یافت. ۲) در مدت ۱۵ دقیقه دما از ۳۷°C به ۲۸/۵°C رسانده شد. ۳) ۱۰ دقیقه در این دما نگهداری شد. ۴) دما به ۳۱/۵°C افزایش یافت. ۵) به مدت ۱۰ دقیقه در این دما نگهداری شد، پس از آن شکلات در قالب‌های از جنس پلی کربنات ریخته شده و در یخچال در دمای ۵°C سرد شد. سپس نمونه های شکلات پس از قالب گیری برای آزمون های بافت سننجی، رنگ سننجی و حسی ابتدا در فویل آلومینیوم پیچیده شده و سپس در ظروف در بسته نگهداری شدند. نمونه های مورد نیاز برای آزمونهای شیمیایی نیز ابتدا رنده شده و در ظروف در بسته ریخته شدند. نمونه های مربوط به آزمون رئولوژیکی پس از تمپرینگ و بدون قالب گیری در ظروف در بسته نگهداری شدند. همه نمونه ها تا زمان آزمایش در یخچال در دمای ۱۰°C نگهداری شدند.

برای محاسبه میزان استویا در تیمارهای جایگزین شکر از موازنی میزان شیرینی شیرین کننده موجود در فرمول استفاده شد. شیرینی شکر معادل ۱ و تاگاتوز ۹۲٪ و اینولین ۱۰٪ و استویا ۱۲۰ برابر شیرینی ساکارز در نظر گرفته شد. مقدار محاسبه شده در فرمولاسیون آزمایشی استفاده و میزان شیرینی آن با ارزیابی حسی مورد آزمون و تایید قرار گرفت. فرمول شکلات شیری در جدول شماره ۱ آورده شده است.

میزان شیرین کنندگی شکر \times مقدار شکر = میزان شیرین کنندگی استویا \times مقدار استویا + میزان شیرین کنندگی اینولین یا تاگاتوز \times مقدار اینولین یا تاگاتوز

۲-۲ روش آزمایش

۱-۲-۲ اندازه گیری برخی از ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی

میزان رطوبت با استفاده از روش AOAC شماره ۱۰-۹۷۷ به روش کارل فیشر، میزان چربی مطابق روش AOAC شماره ۱۵-۹۶۳ به روش سوکسله [۱۹] و میزان قند به روش لین - اینون مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۶۰۸ [۲۰] انجام شد. در ضمن فعالیت آبی (a_w) نمونه ها توسط دستگاه Novasina Labmaster (ساخت سویس) در دمای ۲۵°C اندازه گیری گردید.

[۱۷]. در مطالعه ای دیگر اینولین خصوصیات جریانی و خواص حسی را بهبود بخشد و در جایگزینی با ۲۰٪ از شکر فرمول ، اثرات مثبتی را بر روی پارامترهای تعیین کننده کیفیت و پذیرش مصرف کننده در شکلات ایجاد نمود و به دلیل مزایای تغذیه ای و اثر مثبت بر بهبود خواص فیزیکی استفاده از آن در فرمولاسیون شکلات پیشنهاد گردید [۱۸].

در این مطالعه اثر افزودن D-تاگاتوز و اینولین بر خواص شیمیایی و رئولوژیکی شکلات شیری مورد بررسی قرار گرفت. نمونه های شکلات شیری تهیه شده با D-تاگاتوز و اینولین و نسبتهاي ترکيبي آنها (۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰، ۲۵:۷۵) بررسی و با تیمار شاهد (حاوي ساکارز) مقایسه شدند. به دلیل اينكه شیرینی نسبی اینولین (۱٪) و تاگاتوز (۹٪) كمتر از ساکارز (۱) بوده ، شیرینی نسبی فرمولها با Stevia (شیرین کننده قوی طبیعی و کم كالری با شیرینی حدود ۱۵٪ برابر ساکارز) تنظیم و معادل با فرمول شاهد گردید.

۲- مواد و روشها

۱-۲-۱-۲-آماده سازی نمونه ها

مواد اولیه شامل: پودر کاکائو قلایابی شده (۱۰-۱۲٪) شکریناک - آلمان، کره کاکائو بی بو شرکت Klk-kepong - Orafti(Beneo-GR) مالزی وانیل پاندا - چین، اینولین (Damhert - بلژیک، Stevian Biotechnology - مالزی، Cargill - هلند، شکر کارون و شیرخشک لسیتین شرکت - کامل پالود - ایران مورد استفاده قرار گرفتند. پودر شکر، اینولین و تاگاتوز با اندازه ذرات ۵۳ تا ۹۰ میکرون جهت تولید نمونه ها استفاده شدند.

برای تولید هر تیمار مواد اولیه ذکر شده در بالا مطابق فرمول مورد نظر، با ترازوی دقیق (دقت ۰/۰۱ گرم) تو زین شدند. همه مواد (جز وانیلین و استویا که در مرحله آخر اضافه شدند) در داخل بالمیل آزمایشگاهی (آسیاب ساقمه ای که عمل کاهش اندازه ذرات^۱ و عمل ورز دادن شکلات^۲ را توانما انجام می دهد) ریخته شدند. مخزن دستگاه دارای حدود ۲۵ کیلوگرم ساقمه با قطر ۸ میلیمتر از جنس فولاد ضد زنگ و ضد سایش بود. شکلات در دمای ۴۵°C و به مدت ۳ ساعت در بالمیل با دور همزن ۸۵ دور بر دقیقه تهیه شد. سپس نمونه شکلات تخلیه شده و برای کاهش بیشتر رطوبت در انکوباتور ۵۰°C به مدت

1- Refining 3- Tempering
2- Conching

جدول ۱ فرمول نمونه های شکلات شیری (بر حسب درصد)

نمونه	مواد اولیه	شکر	اینولین	تاگاتوز	کره کاکائو	پودر کاکائو	شیر خشک کامل	لیستین	استویا	وانیلین
نمونه ۱ (۱۰٪ اینولین)	-	-	۴۰/۱	-	۳۲	۹	۱۸	.۵	.۳۰	.۱
نمونه ۲ (۷۵٪ اینولین - ۲۵٪ تاگاتوز)	-	-	۳۰/۰۷	۱۰/۱	۳۲	۹	۱۸	.۵	.۲۳	.۱
نمونه ۳ (۵۰٪ اینولین - ۵۰٪ تاگاتوز)	-	-	۲۰/۰۴	۲۰/۲	۳۲	۹	۱۸	.۵	.۱۶	.۱
نمونه ۴ (۲۵٪ اینولین - ۷۵٪ تاگاتوز)	-	-	۱۰/۰۱	۳۰/۳	۳۲	۹	۱۸	.۵	.۰۹	.۱
نمونه ۵ (۱۰٪ تاگاتوز)	-	-	-	۴۰/۳۶	۳۲	۹	۱۸	.۵	.۰۲	.۱
شاهد	۴۰/۴	-	-	-	۳۲	۹	۱۸	.۵	-	.۱

(DIN) استفاده شد. در دمای $40 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ در سرعت برشی 5s^{-1} بمدت ۵۰۰ ثانیه برای هموژن کردن و کنترل درجه حرارت هم زده شد و هیچ نقطه ای در این فاصله ثبت نشد. سپس سرعت برشی در دامنه 1s^{-1} تا 50s^{-1} افزایش یافته (Ramp up) و ۱۸۰ نقطه در ۱۸۰ ثانیه اندازه گیری شد. در مرحله سوم مدت ۶۰ ثانیه سرعت برشی در 50s^{-1} ثابت نگه داشته شد. سپس سرعت برشی از 50s^{-1} تا 1s^{-1} کاهش یافت (Ramp down) و ۱۸۰ نقطه در ۱۸۰ ثانیه اندازه گیری و ثبت شد [۲۲].

مدل های ریاضی ویندهب^۱، کاسون^۲، هرشل بالکلی^۳، بینگهام^۴ و استوالد-دوا^۵ برداوه های تجربی بدست آمده برآش داده شد. از سال ۲۰۰۱، IOCCC^۶ مدل ویندهب را برای شکلات ذوب شده (در 40°C) در محدوده ای از سرعت برش 2s^{-1} تا 50s^{-1} (یا دامنه وسیع تری از 1s^{-1} تا 100s^{-1}) توصیه کرده است [۲۳]. در مدل ویندهب در واقع ارتباط بین گرانزوی، سرعت برشی و آنچه که در ساختار داخلی در ارتباط با گرانزوی رخ می دهد بررسی می شود [۲۴]. این مدل چهار پارامتری عبارت است از:

۲-۲-۲ اندازه گیری سختی بافت شکلات

برای این منظور از دستگاه بافت سنج Hounsfield-H5K5 استفاده گردید. قطعات شکلات با ابعاد $100 \times 20 \times 10$ میلی متر آماده شد و سپس در انکوباتور یخچال دار Rumed-type ۱۰۰۱ در دمای 20°C به مدت ۶ ساعت نگهداری شدند. در این آزمون از پروب شماره ۱/۶، سرعت نفوذ $1/5$ میلی متر بر ثانیه و عمق نفوذ ۶ میلی متر استفاده شد و حداقل نیروی اندازه گیری شده به عنوان شاخص سختی گزارش گردید [۲۱].

۳-۲-۲ اندازه گیری رنگ

از دستگاه Hunter Lab-D25-9000 استفاده شد. برای این منظور نمونه های شکلات به صورت دایره ای به قطر ۹۰ و ضخامت ۱۰ میلی متر تهیه شد و در دمای محیط (25°C) و در سیستم CIELAB فاکتورهای a^* , b^* و L^* سنجیده شدوفاکتورهای c^* و hue° محاسبه گردید [۲۱].

۴-۲-۲ اندازه گیری ویژگی های رئولوژیکی

جهت اندازه گیری ویژگی های رئولوژیکی از دستگاه رئومتر Anton paar - MCR 301 ساخت اتریش مجهز به سیستم تنظیم دمای Peltier Plate و سیرکولاتور آب با دقت $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ استفاده شد.

نمونه ها در آون در دمای 50°C درجه سلسیوس به مدت ۷۵ دقیقه ذوب شده برای اندازه گیری گرانزوی از ژئومتری استوانه های هم مرکز مدل CC27 (معادل با Z3 ISO 3219) و Z3

1-Windhab
2-Casson
3-Hershel bulkley
4-Bingham
5-Ostwald-de Wael
6- 3-International Office of Cocoa, Chocolate and Sugar Confectinery

میزان رطوبت دارند. میزان رطوبت با کاهش میزان اینولین و افزایش میزان تاگاتوز در نمونه ها کاهش یافت.

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود میانگین رطوبت نمونه های شکلات شیری اختلاف معناداری با یکدیگر داشته و همه نمونه ها بجز نمونه ۵ با شاهد نیز اختلاف معناداری در میزان رطوبت دارند. میزان رطوبت با کاهش میزان اینولین و افزایش میزان تاگاتوز در نمونه ها کاهش یافت.

علت افزایش رطوبت با افزایش درصد اینولین را می توان ناشی از وجود گروههای هیدروفیل و طبیعت جاذبه الرطوبه آن دانست. همچنین پودر اینولین مصرفی نیز نسبت به شکر و تاگاتوز از درصد رطوبت بالاتری برخوردار بود و به دلیل قابلیت حفظ رطوبت در مدت Conching مقدار کمتری رطوبت از دست داد و نمونه های حاوی درصد بالایی از اینولین، رطوبت بالاتری داشتند. این امر در تحقیقات متعددی که از اینولین به عنوان ماده اولیه استفاده شد گزارش گردیده است. در مطالعه فرزان مهر و عباسی آمده است که جایگزینی ساکارز با اینولین باعث افزایش میزان رطوبت شده و با نمونه شاهد (حاوی شکر) اختلاف معناداری داشته است[۲۵]. در تحقیقی دیگر که توسط Deverux و همکاران (سال ۲۰۰۳) روی Cookies کم چرب حاوی اینولین انجام گرفت مشاهده شد که نمونه های حاوی اینولین درصد رطوبت بیشتری را نشان دادند[۲۶].

همچنین تحقیقات نشان داده اند که افزودن اینولین و الیکوفروکتوز به نان و کیک آنها مرطوب نگه داشته و تازگی آنها را برای مدت طولانی تری حفظ می کند [۱۶]. استفاده از اینولین و الیکوفروکتوز در تهیه پنیر Petit-Suisse باعث افزایش میزان رطوبت نمونه ها گردید [۲۷]. و همکاران (2007) نیز گزارش کردند که با افزایش نسبت اینولین در ماست پروپویوتیک رطوبت نمونه ها افزایش یافت [۲۸]. میزان رطوبت نمونه حاوی ۱۰۰٪ تاگاتوز اختلاف معناداری با شاهد(حاوی شکر) نشان نداد. این امر را می توان ناشی از تمایل کم تاگاتوز به جذب و حفظ رطوبت دانست. همچنین رطوبت اولیه پودر تاگاتوز نیز مشابه رطوبت پودر ساکارز بود. در مطالعه ای که توسط شرکت Giao روی شکلات شیری و تیره حاوی تاگاتوز صورت گرفته میزان رطوبت نمونه های حاوی تاگاتوز مشابه نمونه های حاوی شکر (شاهد) بودند[۲۹].

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

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

در مدل هرشل بالکلی (۱)، مدل کاسون (۲)، مدل بینگهام (۳) و مدل استوالد- دوال (۴): $\tau = \text{تنش برشی}$ ، $\tau_0 = \text{تنش تسلیم}$ ، $\dot{\gamma} = \text{نرخ برشی}$ ، $\eta_p = \text{گرانزوی پلاستیک}$ ، $n_1 = \text{اندیس رفتار جریان}$ ، $k_1 = \text{گرانزوی کاسون}$ ، $k_2 = \text{شاخص قوام}$ و $n_2 = \text{شاخص قانون توان}$ است[۵].

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

$$\tau_0 + \eta_p \dot{\gamma}$$

$$(2) : \tau^{0.5} = \tau_0^{0.5} + k_1 (\dot{\gamma})^0 \quad (4) : \tau = k_2$$

$$\dot{\gamma}^{n_2}$$

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

۳-۲ تجزیه و تحلیل آماری

درمورد ویژگی های کمی از آمار توصیفی به کمک میانگین و انحراف معیار استفاده شد و برای مقایسه میانگین نتایج آزمون ها از آنالیز واریانس یکطرفه در سطح $\alpha=0.05$ و در صورت معنادار بودن ، برای تعیین تفاوت میانگین ها از آزمون توکی استفاده شد. آنالیز داده ها با نرم افزار SPSS v.12 انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تاثیر جایگزینی ساکارز با اینولین و تاگاتوز بر میزان رطوبت

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود میانگین رطوبت نمونه های شکلات شیری اختلاف معناداری با یکدیگر داشته و همه نمونه ها بجز نمونه ۵ با شاهد نیز اختلاف معناداری در

جدول ۲ نتایج برخی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی شکلات شیری

نمونه	رطوبت(%)	فعالیت آبی	سختی	چربی(%)	قند قبل از آبکافت	قند بعد از آبکافت	پروتئین(%)
۱	۱/۹۷±۰۲	a	/۲۸۳±۰۰۲	۱۴/۴۰±۰۴۷	۳۷/۴۵±۰۲۱	۸/۳±۰۰۷	۴/۵۸±۰۱۳
۲	۱/۷۶±۰۳	b	.۳۱۱±۰۰۲	۱۴/۹۹±۰۰۸	۳۷/۴۵±۰۲۱	۱۷/۹۶±۰۰۳	۴/۵۸±۰۱۳
۳	۱/۵۹±۰۲	c	.۳۲۰±۰۰۲	۱۵/۳۰±۰۰۱	۳۷/۴۵±۰۲۱	۲۷/۲۲±۰۰۵	۴/۵۸±۰۱۳
۴	۱/۲۳±۰۲	c	.۳۲۶±۰۰۴	۱۵/۴۶±۰۰۸	۳۷/۴۵±۰۲۱	۳۷/۳۰±۰۰۲۲	۴/۵۸±۰۱۳
۵	۱/۰۴±۰۴۵	e	.۳۲۴±۰۰۰۵	۱۷/۱۲±۰۰۷۸	۳۷/۴۵±۰۲۱	۴/۷/۱۰±۰۰۶	۴/۳/۶۳±۰۰۲۳
شاهد	.۹۷±۰۱۵	e	.۳۲۵±۰۰۳	۱۷/۵۲±۰۰۲	۳۷/۴۵±۰۲۱	۷/۱۶±۰۰۱۳	۴/۷/۲۸±۰۰۱

میانگین هایی که در هر ستون با حروف مختلف نشان داده شده اند، با آزمون توکی و در سطح $\alpha = 0.05$ با یکدیگر اختلاف معنادار دارند.

(hemuctant) فعالیت آبی را کاهش داد و پایداری میکروبی بالایی را در فرآورده اطمینان می دهد [۱۶].

۳-۳-میزان پروتئین، چربی و قند

بدلیل اینکه شکلات شیری حاوی شیر خشک بوده و درصد شیر خشک در تمام نمونه های شکلات یکسان بوده، میزان پروتئین در دو نمونه اندازه گیری و به تمام نمونه ها تعمیم داده شد. پروتئین حاصله $4/58$ درصد بود که با درصد شیر خشک در فرمولها ($18/18 = 4/60$ ٪)، با توجه به میزان پروتئین موجود در شیر خشک ($25/6$ ٪)، مطابقت داشت. ($25/6 \times 18/18 = 4/60$ ٪)

درصد چربی در نمونه های شکلات شیری معادل $37/5$ ٪ اندازه گیری گردید که با درصد چربی حاصل از پودر شیر خشک کامل، چربی پودر کاکائو و کره کاکائو مطابقت داشت.

میزان قند قبل از آبکافت در نمونه های شکلات شیری مربوط به قند احیا کننده لاکتوز و در نمونه های دارای تاگاتوز علاوه بر لاکتوز مربوط به تاگاتوز نیز بود. با افزایش درصد تاگاتوز در فرمولها، میزان قند احیا نیز افزایش یافت. اندازه گیری قند بعد از آبکافت، نشان دهنده آبکافت اسیدی نسبتاً کامل اینولین بود که این مطلب در مطالعه فرزان مهر و همکاران نیز اشاره شده است [۲۵].

۲-۲-اثر افزودن اینولین و تاگاتوز بر فعالیت آبی (a_w)

میزان فعالیت آبی یکی از فاکتورهایی است که بر رشد میکروارگانیسم ها تأثیر گذاشته و از اهمیت ویژه ای در نگهداری مواد غذایی برخوردار است.

شکلات محصولی است که فعالیت آبی کمی داشته و این امر باعث پایداری آن در مقابل رشد میکروارگانیسم ها می شود. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می کنیم، در نمونه های شکلات شیری، با کاهش درصد اینولین در نمونه ها، a_w روند افزایشی نشان داد. نمونه های شماره ۱ و ۲ با یکدیگر و دیگر نمونه ها اختلاف معناداری را نشان دادند و کمترین میزان فعالیت آبی مربوط به نمونه ۱ (اینولین ۱۰۰٪) بود. ولی نمونه های ۳ و ۴ و ۵ با یکدیگر و با شاهد اختلاف معناداری را در نشان ندادند. با توجه به اینکه با افزایش اینولین مقدار رطوبت روند صعودی را نشان داد ولی میزان فعالیت آبی روند نزولی داشته و کاهش یافت. این امر دلالت بر خاصیت جذب آب و حفظ رطوبت بالای اینولین دارد، بطوریکه با ملکولهای آب به خوبی باند شده و باعث کاهش آب در دسترس شده و فعالیت میکروبها را کاهش می دهد. Frank (سال ۲۰۰۲) گزارش کرده است که اینولین بعلت خواص حفظ رطوبت

قرمز) و b^* (از آبی تا زرد) با مقادیر از ۱۲۰- تا ۱۲۰+ اندازه گیری می شود و زاویه hue و c^* (کرومما) نیز بر اساس مقادیر a^* و b^* با توجه به روابط زیر محاسبه می گرددند [۲۱]:

$$c^* = (a^* + b^*)^{1/2}$$

در این مطالعه با افزایش میزان تاگاتوز و کاهش میزان اینولین میانگین L^* افزایش یافت . L^* نمونه ۱ (۱۰۰٪ اینولین) با نمونه شاهد اختلاف معناداری نشان نداد. نمونه های ۲ با ۳ نیز L^* مشابه ای داشتند ($P > 0.05$). کمترین مقدار L^* مربوط به نمونه ۱ (حاوی ۱۰۰٪ اینولین) و بیشترین آن مربوط به نمونه ۵ (۱۰۰٪ تاگاتوز) بود. میانگین a^* با کاهش اینولین از ۷۹۹ تا ۱۱۷۳ و میانگین b^* نیز از ۶/۱۹ تا ۱۲/۲۵ با افزایش میزان تاگاتوز افزایش یافتند. همه نمونه ها در مقادیر a^* و b^* با یکدیگر اختلاف معنادار در سطح ($P < 0.05$) نشان دادند. مقادیر c^* (درجه اشباعیت کرومما) نیز با افزایش تاگاتوز روند صعودی داشت و بیشترین میزان کرومما در نمونه ۵ (۱۰۰٪ تاگاتوز) و کمترین مقدار کرومما در نمونه ۱ (۱۰۰٪ اینولین) مشاهده گردید. زاویه hue مشابه گردید. زاویه hue با کاهش اینولین از ۵۰/۷۶ تا ۵۰/۵۹ افزایش یافت. (جدول ۳)

با توجه به نتایج بدست آمده مشخص گردید که اینولین بدليل حذب آب باعث کاهش پراکنش نور شده و در نتیجه درجه روشنایی (L^*) را کاهش داده و شکلات تیره تر به نظر می رسد. در مطالعه ای که Bolenz و همکاران(2005) بر روی مصرف پرکننده ها در شکلات شیری انجام دادند، کمترین مقدار L^* در شکلات حاوی ۲۰٪ اینولین مشاهده گردید و همچنین نمونه حاوی اینولین b^* (زردی) کمتری نسبت به نمونه شاهد داشت ولی a^* (قرمزی) بیشتری نسبت به شاهد داشتند. همچنین نمونه شکلات حاوی اینولین در مطالعات حسی به عنوان قهوه ای ترین نمونه مشخص گردید[۱۸].

همچنین Abd El-Khair در سال ۲۰۰۹ نشان داد که افزودن اینولین به شیر شکلاتی باعث کاهش L^* در نمونه ها گردیده ولی مقادیر a^* و b^* نسبت به نمونه شاهد افزایش می یابد [۳۳]. با افزایش میزان تاگاتوز مقادیر a^* ، b^* ، c^* و L^* با افزایش یافت. با توجه به اینکه تاگاتوز یک قند احیا کننده می باشد ، انتظار می رود که نمونه های شکلات حاوی آن خصوصا شکلات شیری (حاوی پروتئین های شیر) در اثر واکنش میلارد از رنگ تیره تری نسبت به نمونه شاهد برخوردار باشند. ولی چون شکلات از a_{w} کمی برخوردار بوده و در این مطالعه دمای فرآوری شکلات در شکلات شیری حدود 45°C بود، گسترش واکنش میلارد صورت نگرفت. در

۳-۴- تاثیر جایگزینی ساکارز با اینولین و تاگاتوز بر سختی

سختی شکلات به روش های متعددی با دستگاه بافت سنج ^۱ اندازه گیری می شود. معمولا با روش آزمون شکست سه نقطه ای، تردی ^۲ شکلات و با روش اندازه گیری میزان نفوذ ^۳، سختی در گاز زدن نخست ^۴ اندازه گیری می شود [۳۰]. در این مطالعه از روش اندازه گیری میزان نفوذ استفاده شده است. در شکلات شیری با کاهش اینولین میزان سختی افزایش یافت و کمترین سختی مربوط به نمونه ۱ (اینولین ۱۰۰٪) بود. بیشترین مقدار سختی در نمونه ۵ (حاوی ۱۰۰٪ تاگاتوز) مشاهده شد که اختلاف معناداری با نمونه شاهد حاوی ۱۰۰٪ شکر نداشت. اختلاف معنادار در نمونه های ۱ با ۲ و ۳ و همچنین ۲ با ۴ مشاهده نشد. نمونه ۵ سختی مشابه شاهد را نشان داد. نتایج حاکی از آن است که اختلاف کم در مقادیر اینولین تأثیر معناداری بر میزان سختی شکلات شیری ندارد (جدول ۲).

و همکاران(2003) مشاهده کردند که Cookies حاوی اینولین به علت رطوبت بالاتر ، تردی کمتری داشتند [۲۶] و Honnelly و همکاران(2006) نیز در مطالعه ای که روی پنیر تقليدي حاوی اینولین انجام دادند مشاهده کردند که افزایش میزان رطوبت پنیر تقليدي در اثر جایگزینی چربی با یک فيبر رژیمی محلول (اینولین) میزان سختی را کاهش داد [۳۱]. Medoze و همکاران(2001) گزارش کردند که نمونه های سوسیس حاوی اینولین بافت نرمتری داشتند. همچنین افزودن اینولین در یک سوسیس کم چرب باعث ایجاد بافت نرمتری مشابه نمونه شاهد گردید [۳۲].

با اندازه گیری میزان نفوذ در شکلات تیره و شیری حاوی تاگاتوز در مطالعه ای که در شرکت Giao انجام گرفته، مشخص شد که سختی نمونه های شکلات حاوی تاگاتوز با نمونه های شکلات حاوی ساکارز یکسان و روند افت سختی با افزایش درجه حرارت مشابه بود [۲۹].

۳-۵- تاثیر افزودن اینولین و تاگاتوز بر رنگ

در سیستم Hunter LAB ، مقادیر L^* ، a^* (سفید) و b^* (از سبز تا

1. texture analyzer
3. snap

2. three point break
4. penetration measurement

5. first bite

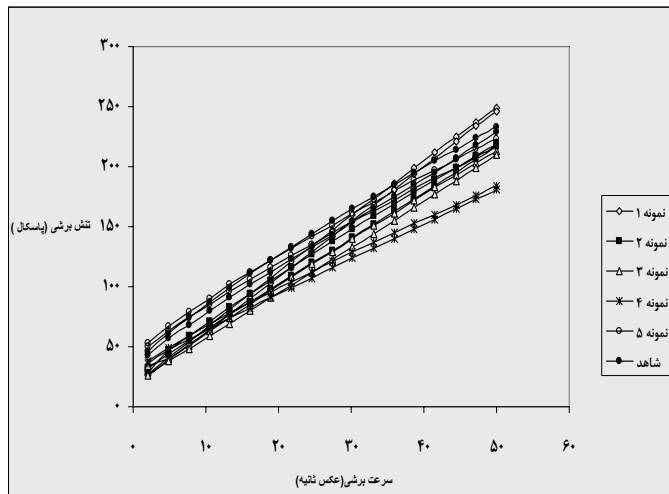
hue^* ، a^* و b^* (زردی و قرمزی) شده و در نتیجه c^* و hue^* بالاتری را در شکلات ایجاد کرده و بهمین دلیل نمونه ۵ از همه نمونه ها روشن تر بنظر می رسد.

این رابطه محققین نشان دادند که غلظت آمینواسیدها و قند های احیا کننده در کونچ کردن در 71°C به مدت ۴۸ ساعت تغییر نمی کند [۳۴]. در نتیجه تاگاتوز به عنوان قند احیا باعث افزایش L^*

جدول ۳ تاثیر جایگزینی ساکاراز با اینولین و تاگاتوز بر شاخص های رنگ سنجی شکلات شیری

hue°	C^*	b^*	a^*	L^*	نمونه
$50/76 \pm 0/31^a$	$9/33 \pm 0/08^a$	$7/19 \pm 0/07^a$	$7/99 \pm 0/08^a$	$21/09 \pm 0/09^a$	۱
$51/75 \pm 0/31^b$	$10/12 \pm 0/072^b$	$7/78 \pm 0/07^b$	$7/51 \pm 0/03^b$	$24/47 \pm 0/09^b$	۲
$52/13 \pm 0/30^b$	$11/8 \pm 0/02^c$	$7/94 \pm 0/03^c$	$8/83 \pm 0/13^c$	$24/53 \pm 0/12^b$	۳
$57/22 \pm 0/34^c$	$13/9 \pm 0/03^d$	$9/83 \pm 0/03^d$	$9/84 \pm 0/04^d$	$24/96 \pm 0/35^c$	۴
$59/83 \pm 0/33^d$	$17/99 \pm 0/02^e$	$12/25 \pm 0/05^e$	$11/73 \pm 0/02^e$	$26/42 \pm 0/31^d$	۵
$58/08 \pm 0/16^c$	$14/57 \pm 0/023^f$	$10/76 \pm 0/02^f$	$10/22 \pm 0/01^d$	$21/2 \pm 0/18^a$	شاهد

میانگین هایی که در هر ستون با حروف مختلف نشان داده شده اند، با آزمون توکی و در سطح $\alpha = 0.05$ با یکدیگر اختلاف معنادار دارند.



شکل ۱ نمودار جریان و حلقه های پس ماند نمونه های شکلات در 40°C

پس از بررسی ضرایب بدست آمده مشخص شد که مدل ویندهب دارای بهترین ضرایب تعیین (I^2) و کمترین میزان انحراف استاندارد (SE) بود و بعد از آن به ترتیب مدل هرشل بالکلی و کاسون قرار داشتند. نتایج در جدول ۴ آورده شده است. پس از تعیین مدل های مناسب، داده های حاصل از اندازه گیری ها با سه مدل ویندهب، هرشل بالکلی و کاسون تحلیل شد. نتایج بدست آمده در جدول ۵ گزارش شده است.

۷-۳ تاثیر افزودن اینولین و تاگاتوز بر تنش تسليم و تنفس تسليم خطی

در شکلات شیری همانطور که در جدول ۵ مشاهده می گردد با کاهش میزان اینولین و افزایش میزان تاگاتوز میانگین تنش

۶-۳ تاثیر جایگزینی ساکاراز با اینولین و تاگاتوز بر ویژگی های رئولوژیکی

شکلات ذوب شده سوسپانسیونی از ذرات شکر، کاکائو و یا پودر شیر خشک در یک فاز مدام چربی (کره کاکائو) است و به علت حضور ذرات جامد در حالت ذوب شده، مانند یک مایع واقعی رفتار نمی کند و خواص جریان غیر نیوتی را نمایش می دهد [۳۵]. و گرانروی آن بستگی به سرعت برشی، زمان و درجه حرارت دارد [۳۳]. برای بررسی خواص رئولوژیکی، نمودار تنش برشی در برابر سرعت برشی برای نمونه های شکلات شیری و شکلات ساده رسم گردید. همانطور که در شکل ۱ ملاحظه می گردد در همه نمونه ها تیکسوتروپی (کاهش ویسکوزیته ظاهری در زمان در یک سرعت برشی معین) مشاهده شده و بین دو نمودار وجود داشت و مقادیر کاهش سرعت برشی حلقه های پس ماند وجود داشت و مقادیر تنش برشی و گرانروی در سرعت برشی یکسان کاهش نشان دادند که این موضوع یکی از ویژگی های سیالات تیکسوتروپیک است و برای شکلات های ضخیم اهمیت دارد.

به منظور دست یابی به بهترین و مناسب ترین مدل برای ارزیابی رفتار جریان نمونه های شکلات داده های بدست آمده با پنج مدل ویندهب، هرشل بالکلی، کاسون، بینگهام و استوالد (توان) مورد بررسی قرار گرفت و I^2 (ضریب تعیین) و SE (میزان انحراف استاندارد) رگرسیون خط حاصل برای تعیین بهترین مدل مورد قضاوت قرار گرفت.

نمونه ۵ مشاهده گردید. نمونه شماره ۵ با شاهد τ_1 مشابهی داشتند. نمونه های ۳ و ۴ نیز اختلاف معناداری در میزان τ_1 نشان ندادند ($P < .05$).

با توجه به نتایج بدست آمده مشخص شد که افزودن اینولین باعث کاهش تنش تسليم در شکلات گردید. کاهش تنش تسليم با استفاده از اینولین به عنوان پرکننده در تهیه شکلات در مطالعه Bolenz و همکاران در سال ۲۰۰۶ گزارش شده است [۱۸].

تسليم (τ_0) در نمونه ها افزایش یافت که در سه مدل ویندهب، کاسون و هرشل بالکلی این روند مشاهده می گردد. بیشترین تنش تسليم در شکلات حاوی ۱۰۰٪ تاگاتوز (نمونه ۵) مشاهده شد و کمترین تنش تسليم مربوط به نمونه ۱ (۱۰۰٪ اینولین) بود. همه نمونه ها با یکدیگر و با شاهد اختلاف معنا داری نشان دادند ($P < .05$).

میزان تنش تسليم خطی (τ_1) در شکلات شیری با افزایش میزان تاگاتوز و کاهش میزان اینولین افزایش یافته و روندی صعودی نشان داد. کمترین τ_1 در نمونه ۱ و بیشترین τ_1 در

جدول ۴ ضرایب تعیین و انحراف استاندارد در ۵ مدل متداول رئولوژی

نمونه	مدل	ضریب تعیین (R^2)	انحراف استاندارد (SE)
۱	ویندهب	.۹۹۹۹۹	.۱۵۰۷۸
	هرشل	.۹۹۹۹۴	.۵۱۸۵۵
	کاسون	.۹۹۹۵۱	.۱۱۷۳۳
	بینگهام	.۹۹۸۵۸	.۹۷۱۵
	استروالد	.۹۹۳۲۹	.۰۰۸۱۳
۲	ویندهب	.۹۹۹۹۸	.۱۲۲۶۲
	هرشل	.۹۹۹۹۵	.۴۸۴۱۳
	کاسون	.۹۹۹۰۱	.۵۱۳۴
	بینگهام	.۹۹۸۹۶	.۸۲۴۸
	استروالد	.۹۸۴۲۱	.۰۹۹۸
۳	ویندهب	.۹۹۹۹۸	.۱۳۷۷۷
	هرشل	.۹۹۹۹۵	.۵۴۸۰۴
	کاسون	.۹۹۹۳۴	.۱۰۱۷
	بینگهام	.۹۹۸۶۷	.۹۷۱۵
	استروالد	.۹۸۲۵۷	.۶۰۵۹
۴	ویندهب	.۹۹۹۹۶	.۱۱۴۵
	هرشل	.۹۹۹۸۹	.۶۰۷۱۵
	کاسون	.۹۹۹۴۲	.۷۸۸۵
	بینگهام	.۹۹۸۱۱	.۷۶۹۶
	استروالد	.۹۸۹۸۱	.۹۵۹۷
۵	ویندهب	.۹۹۹۹۹	.۱۹۹۵۶
	هرشل	.۹۹۹۹۴	.۵۵۱۷۹
	کاسون	.۹۹۹۵۰	.۶۸۸۶
	بینگهام	.۹۹۸۶	.۵۵۸۱
	استروالد	.۹۸۷۸	.۱۹۰۶
شاهد	ویندهب	.۹۹۹۹۸	.۱۴۳۱۲
	هرشل	.۹۹۹۷۳	.۹۴۰۲۵
	کاسون	.۹۹۹۶۷	.۴۸۵۷
	بینگهام	.۹۹۷۵۵	.۲۸۰۸
	استروالد	.۹۸۷۹۹	.۱۶۰۶

جدول ۵ نتایج برخی ویژگهای رئولوژیکی حاصل از برازش داده‌ها بر سه مدل ویندهب، کاسون و هرشل بالکلی در شکلات شیری

نمونه	مدل	مدل ویندهب					
		تشنیس تسليم خطی	تشنیس تسليم واقعی	٪	گرانزوی کاسون	مدل هرشل بالکلی	گرانزوی ظاهری
پلاستیک	پلاستیک	گرانزوی کاسون	اندیس هرشل بالکلی	گرانزوی ظاهری	در ۴۰°C	گرانزوی ظاهری	گرانزوی ظاهری
۱	1794 ± 0.75^a	$24/69 \pm 1/15^a$	$4/51 \pm 0/1^a$	$1/87 \pm 0/06^a$	$0.97 \pm 0/01^a$	$6/38 \pm 0/1^a$	$5/12 \pm 0/03^a$
۲	$19/28 \pm 0/5^b$	$37/31 \pm 1^b$	$3/57 \pm 0/16^b$	$1/65 \pm 0/08^b$	$5/84 \pm 0/1^b$	$4/58 \pm 0/07^b$	$4/41 \pm 0/08^b$
۳	$24/77 \pm 0/51^c$	$46/28 \pm 0/96^c$	$3/48 \pm 0/08^c b$	$1/58 \pm 0/06^b$	$5/35 \pm 0/15^c$	$4/41 \pm 0/08^b$	$3/90 \pm 0/09^c$
۴	$29/77 \pm 0/56^d$	$47/21 \pm 0/97^c$	$2/73 \pm 0/07^d$	$1/31 \pm 0/04^c$	$4/82 \pm 0/11^d$	$4/81 \pm 0/09^d$	$4/81 \pm 0/09^d$
۵	$42/57 \pm 0/56^e$	$69 \pm 1/03^d$	$3/35 \pm 0/11^c$	$1/33 \pm 0/1^c$	$7/13 \pm 0/14^e$	$6/89 \pm 0/1^d$	$6/722 \pm 0/11^e$
شاهد	$38/56 \pm 0/65^f$	$68/85 \pm 0/95^d$	$3/37 \pm 0/14^c$	$1/40 \pm 0/05^c$	$0.83 \pm 0/005^{cd}$	$0.97 \pm 0/01^a$	$6/38 \pm 0/1^a$

میانگین هایی که در هر ستون با حروف مختلف نشان داده شده اند، با آزمون توکی و در سطح $=0.05$ با یکدیگر اختلاف معنادار دارند.

ظاهری در نمونه ۱ (۱۰۰٪ اینولین) مشاهده گردید. نمونه ۵ (۱۰۰٪ تاگاتوز) با نمونه شاهد و نمونه ۲ با ۳ اختلاف معناداری را نشان ندادند ولی اختلاف سایر نمونه ها با یکدیگر و با شاهد معنادار بود ($P < 0.05$).

با توجه به نتایج فوق، اینولین در مقادیر بالا باعث افزایش گرانزوی پلاستیک و گرانزوی ظاهری ولی در مقادیر کم باعث کاهش گرانزوی ظاهری و پلاستیک نسبت به نمونه شاهد (ساکارز) گردید.

اینولین یک ماده اولیه عملکر در صنعت غذا بوده و به طور صنعتی به عنوان جایگزین چربی در پنیر، بستنی، ماست و... و به عنوان کاهش دهنده کالری در شکلات و به عنوان تگهدارنده آب در محصولات نانوایی و برای بهبود بافت و ویسکوزیته در غذاها استفاده می شود [۳۶ و ۳۷]. در غذاهایی که درصد رطوبت بالایی دارند و اینولین با جذب رطوبت باعث تشکیل ژل در آنها می شود مانند ماست، بستنی، پنیر و... افزودن اینولین باعث افزایش گرانزوی می گردد. این امر در مطالعات بسیاری مورد بررسی قرار گرفته و گزارش گردیده است. افزودن اینولین باعث افزایش گرانزوی در بستنی پروبووتیک [۲۸] و بستنی کم چرب شده [۳۸] و علاوه بر افزایش گرانزوی خواص حسی را در بستنی بهبود داد [۳۹]. همچنین گزارش گردیده است که افزودن اینولین باعث افزایش گرانزوی بافت و بهبود بافت محصولات کم چرب و بدون چربی مانند ماست، سس های سالاد، شکلات و mousse می گردد [۴۰].

همانطور که در قبل ذکر شد، نمونه ۱ (۱۰۰٪ اینولین) بیشترین مقدار رطوبت را دارا بود و بیشترین گرانزوی پلاستیک و ظاهری را نیز نشان داد. افزایش گرانزوی در مقادیر بالای اینولین را می توان به توانایی جذب بالا و حفظ رطوبت در آن

۳-۸- تاثیر افزودن اینولین و تاگاتوز بر η_{∞}

با توجه به نتایج جدول ۵ با کاهش میزان اینولین، η_{∞} یافته و کمترین مقدار آن در نمونه ۴ با ۲۵٪ اینولین و ۷۵٪ تاگاتوز مشاهده گردید و بیشترین مقدار در نمونه شماره ۱ (۱۰۰٪ اینولین) دیده شد.

تاثیر افزودن اینولین و تاگاتوز بر اندازه رفتار جریان :

اندیس رفتار جریان که در مدل هرشل بالکلی به آن اندیس هرشل بالکلی نیز می گویند در شکلات شیری با کاهش اینولین، کاهش یافت. بیشترین مقدار آن در نمونه ۱ (۱۰۰٪ اینولین) و کمترین مقدار آن در نمونه ۵ در نمونه ۵ (۱۰۰٪ تاگاتوز) مشاهده شد. نمونه های ۴ و ۵ با شاهد اختلاف معناداری نشان ندادند.

تاثیر افزودن اینولین و تاگاتوز بر گرانزوی پلاستیک کاسون :

بیشترین مقدار گرانزوی پلاستیک کاسون در نمونه ۱ (۱۰۰٪ اینولین) مشاهده شد. مشخص شد با کاهش مقدار اینولین گرانزوی پلاستیک کاهش می یابد و کمترین مقدار آن در مقادیر کم اینولین (نمونه ۴ حاوی ۲۵٪ اینولین و ۷۵٪ تاگاتوز) دیده شده ولی در نمونه ۵ مجددا افزایش می یابد. نمونه های ۲ با ۳ و همچنین ۴ و ۵ و شاهد اختلاف معنا داری با یکدیگر نداشتند ($P < 0.05$).

۳-۹- تاثیر افزودن اینولین و تاگاتوز بر گرانزوی

ظاهری

همانطور که در جدول ۵ مشاهده می گردد، با کاهش اینولین گرانزوی ظاهری کاهش یافته و کمترین مقدار گرانزوی ظاهری در نمونه ۴ (۲۵٪ اینولین و ۷۵٪ تاگاتوز) و بیشترین گرانزوی

۵- منابع

- [1] Nebesny. E and Zyz'elewicz.D,Motyl.I, Libudzisz. Z. 2005. Properties of Sucrose-Free Chocolate Enriched with Viable Lactic Acid Bacteria.Eur Food Technol.220.p 358-362
- [2] Wild. S, Roglic. G, Green. A, Sicree. R, King. H.2004. Global Prevalence of Diabetes. Diabetes Care, Volume 27, Number 5, 1047- 1053
- [3] Diabetes Atlas third edition, International Diabetes Federation. 2006.
- [4] Livesey. G. 2001. Tolerance of Low-digestible Carbohydrates:a general view. British Journal of Nutrition , 85,Suppl.1,s7-s16.
- [5] Sokmen. A and Gunes. G. 2006 .Influence of some bulk sweeteners on rheological properties of chocolate. LWT 39 ,1053–1058.
- [6] Rapaille. A, Gonze. M and Van Der Schueren. F. 1995. Formulating sugar-free chocolate products with maltitol.Food Technology,49(7): 51-54
- [7] Krüger.C. 1999.Sugar and Bulk Sweetner,In: Industrial Chocolate Manufacture and Use . Beckett, S.T. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science. pp:36-55
- [8] Oh. D. K. 2007. Tagatose: properties ,applications and biotechnological processes. Appl Microbiol Biotechnol DOI 10.1007/s00253-007-0981-1
- [9] Expert Committee on Food Additives (JECFA). 2006. Safety evaluation of certain foodadditives. Sixty-third meeting of the Joint FAO/WHO. WHO FOOD ADDITIVES, Series: 54
- [10] Saulo .A. A. 2005. Sugars and Sweeteners in Food. Food Safety and Technology. FST-16,P: 1-7.
- [11] Lee.A and Storey.D.M. 1999.Comparative Gastrointestinal Tolerance of Sucrose, Lactitol or-Tagatose in Chocolate.Regulatory Toxicology and Pharmacology, Vol 29, P:78-82.
- [12] Kroger. M Meister. K, and Kava.R. 2006. Low-calorie Sweeteners and Other Sugar: A Review of the Safety Issues. Comprehensive Reviews In Food Science and Food Safety, Vol. 5, pp:35-47
- [13] Niness. K. R. 1999. Inulin and Oligofructose:What Are They?The Journal of Nutrition. 129(7s):1402s-1406s.
- [14] Roberfroid. M. B. 2008. Inulin-Type Fructans: Functional Food Ingredients. The Journal of Nutrition. November 27, 2493-2502

مرتبط دانست. مشخص شده است که آب اثر بدی بر خواص رئولوژیکی دارد و پارامترهای رئولوژیکی را افزایش می دهد [۴۱]. گرچه این رطوبت توسط ملکولهای اینولین باند شده ولی برگرانروی اثر منفی دارد. همچنین مشخص شده است که مکمل اینولین بر گرانروی و حلایت محصول اثر منفی می گذارد [۱۷] ولی اینولین در مقادیر کمتر باعث کاهش گرانروی و بهبود آن می گردد. در مطالعه Bolenze و همکاران در (۲۰۰۶) افزودن ۲۰٪ اینولین به شکلات به عنوان پرکننده ، گرانروی کاسون و تنش تسلیم کمتری نسبت به شاهد(نمونه حاوی ساکارز) مشاهده گردید [۱۸]. 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 گردید. گرانروی شکلات حاوی ۱۰۰٪ تاگاتوز(نمونه ۵) تفاوت معناداری با نمونه شاهد نشان نداد. این مطلب در مطالعه ی شرکت Gaio نیز ذکر شده که شکلات شیری و تیره حاوی تاگاتوز گرانروی مشابه با شاهد (حاوی شکر) نشان داده است [۲۹].

۴- نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده می توان نتیجه گرفت که اینولین در مقادیر بالا باعث کاهش تنش تسلیم واقعی و خطی شده ولی گرانروی پلاستیک و ظاهری بالاتر، سختی کمتر، رطوبت بیشتر، فعالیت آبی کمتر و رنگ تیره تری را نتیجه می دهد. اینولین در درصدهای میانی و پایین باعث کاهش گرانروی پلاستیک و ظاهری شکلات شیری شده بطوریکه در نمونه ۲۵٪ اینولین - ۷۵٪ تاگاتوز گرانروی کمتری نسبت به شاهد مشاهده شد. شکلات حاوی تاگاتوز تنش تسلیم ، گرانروی ، سختی ، رطوبت و فعالیت آبی مشابه شاهد را نشان داد و بجز رنگ روشن تر که برای شکلات شیری نیز مطلوب می باشد تفاوت معناداری را با شاهد نشان نداد . بطور کلی می توان گفت که نمونه های ۵۰٪ اینولین - ۵۰٪ تاگاتوز ، ۲۵٪ اینولین - ۷۵٪ تاگاتوز و ۱۰۰٪ تاگاتوز از قابلیت بهتری جهت جایگزینی ساکارز برخوردارند که دو نمونه اول بعلت دارا بودن اینولین بعنوان فیبر رژیمی خصوصیات تغذیه ای ویژه ای داشته و ماده غذایی عملکر شناخته می شوند .

- Coating Available in:
<http://northamerica.croklaan.com/Papers> and Presentations
- [31] Hennelly, P. J., Dunne, P. G., O'Riordan, E. D., & O'Sullivan, M. (2006). Textural, rheological and microstructural properties of imitation cheese containing inulin. *Journal of Food Engineering*, 75, 388–395.
- [32] Mendoza E, García ML, Casas C, Selgas MD. 2001. Inulin as fat substitute in low fat, dry fermented sausages. *Meat Sci* 57:387–93
- [33] Abd El-Khair. A. A. 2009. Optimization of a New Version of Chocolate Milk for Endurance Performance and Postexercise Recovery. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 5(4): 482-489
- [34] Dimick. P. S and Hoskin.J. C. 1999. The Chemistry of Flavour Development in Chocolate. In: Industrial Chocolate Manufacture and Use . Beckett, S.T. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science.pp:137-151
- [35] Chevalley. J. 1999. The Chocolate Flow Properties. In: Industrial Chocolate Manufacture and Use . Beckett, S.T. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science.pp:182-199
- [36] Shah, N. P. 2001. Functional foods from probiotics and prebiotics. *Food Technology*, 55, 46–53.
- [37] Boeckner, L.S., Schnepf, M.I. & Tungland, B.C. 2001. Inulin: a review of nutritional and health implications. In: *Advances in Food and Nutrition Research*, Vol. 43, Pp. 1–63
- [38] El-Nagar.G., Clowes.G., Tudorica.C. M., Kuri.V., and Brennan.C. S. 2002. Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. *International Journal of Dairy Technology*, 55, 89–93.
- [39] Schaller-Povolny, L. A., & Smith, D. E. 1999. Sensory attributes and storage life of reduced fat ice cream as related to inulin content. *Journal of Food Science*, 64, 555–559.
- [40] Toneli, J. T. C. L., Mu'rr, F.E.X., Martinelli, P., Fabbro, I. M. D., Park, K.J., 2007. Optimization of a physical concentration process for inulin. *Journal of Food Engineering* 80, 832–838.
- [41] Nebesny. E and Zyz'elewicz. D,Motyl.I,Libudzisz. Z. 2006. Dark Chocolates Supplemented with Lactobacillus Strains. *Eur Food Technol Dol* 10.1007/s00217-006-0379-9
- [15] Kaur.N and Gupta.A.K.2002. Application of inulin and oligofructose in health and nutrition .*Journal of Bioscience*,27(2):703-714
- [16] Franck. A. 2002. Technological functionality of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, 87, Suppl. 2, S287–S291
- [17] Golob.T, Micovic.E, Bertoncelj.J and Jamnik.M. 2004. Sensory acceptability of chocolate with inulin.*Acta agriculturae slovenica*, 83 – 2,pp:221-231
- [18] Bolenz.S, Amtsberg.K and Schape.R . 2006.The broader usage of sugars and fillers in milk chocolate made possible by the new EC cocoa directive. *International Journal of Food Science and Technology*, 41: 45–55
- [19] AOAC Official Method of Analysis.2005.chapters 31,33,44
- [20] Iran Standard National Institute (1383)Chocolate, characteristics and methods of test, No 608.
- [21] foakwa.E.O,Paterson.A,Fowler.M,Vieira.J. 2008.Particle Size Distribution and Compositional Effects on Textural Properties and Appearance of Dark Chocolates. *Journal of Food Engineering* ,87,p 181-190
- [22] IOCC(2000a)Analytical Method 46.Available from CAOBISCO,rue Defacqz 1 , B-1000 Bruxelles , Belgium.
- [23] Mezger.T.G.2006.The Rheology Handbook .2nd ed.Vincentz Network GmbH &co KG,pp:57-59
- [25] Farzanmehr, H. (1386) Evaluation of some physicochemical, rheological and sensorial properties of low Kalory milk Chocolate. Msc thesis, college of Agricultur, Tarbiat Modares University.
- [26] Devereux. H. M, Jones.G.P, McCormax. L, Hunter.W.C. 2003. Consumer Acceptability of Low Fat Foods Containing Inulin and Oligofructose.*Jof Food Science*, vol. 68, Nr. 5.1850-1854
- [27] Cardarelli.H.R,Buriti.F.C.A,Castro.I.A,Saad.S.M.I.2008.Inulin and oligofructose improve sensory quality and increase probiotic viable count in potentially symbiotic in petit-suisse cheese. *LWT Food Science Technology*, 41(6):1037-1046
- [28] Akin. M. B, Akin. M.S, Kirmaci. Z. 2007. Effects of inulin and sugar levels on the viability of yogurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics in probiotic ice-cream. *Food Chemistry* 104 pp: 93–99
- [29] Gaio®tagatose in chocolate. Available in www.gaio-tagatose.com
- [30] Talbot.G,Smith.K.W.2006.Prediction of Hardness of Chocolate and Compound.

Study of effects of D-tagatose and inulin as sugar substitutes on the physical, chemical and rheological properties of milk chocolate.

Shoorideh, M .¹, Taslimi, A.², Azizi, M. H.^{3*}, Mohammadifar, M. A.⁴

1- M.Sc. of Food Science, Department of Food Science and Technology, Institute & Faculty of Nutrition Science and Food Technology , Shahid Beheshti University M.C

2- Faculty Member at the Department of Food Science and Technology, Institute & Faculty of Nutrition Science and Food Technology, Shahid Beheshti University M.C

3- Assciated Professor, Department of Food Science and Technology, Tarbiat Modares University

4- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Nutrition Science and Food Technology, Shahid Beheshti University M.C

(Received:88/5/4 Accepted: 88/12/19)

Chocolate is a popular product for cunsumers in different ages . Chocolate sweetness is related to the sucrose in its formula , it can be replaced by sweeteners like low digestible carbohydrates (LDCs) .The results would be reduction in calories and glycemic index and prevention of tooth decay. The aim of this study was to replace the sucrose with the inulin (as dietary fiber) and tagatose (as natural keto hexose with sweetness similar to sucrose). The ratio of the replacements were 100:0 , 75:25 , 50:50 , 25:75 and 0:100 inulin:tagatose in milk chocolate formula and the chemical and rheological properties of samples were tested. Results indicated that when the amount of inulin reduced and amount of tagatose increased in chocolate formula, moisture contents reduced but a_w values increased . The hardness of samples was related to the percentage of tagatose when tagatose added to the formula, hardness was increased and the hardness of sample with 100% tagatose and control were comparable. In color parameters the least amounts of l^* , a^*, b^*, c^* and hue° were observed in chocolate with 100% inulin which they went up when amount of tagatose was increased in formula. When inulin reduced in samples, τ_0 and τ_1 incresed and the lowest real and linear yield stress occurred in the sample with 100% inulin. By reduction of inulin, apparent and plastic viscosity were reduced. The least amount of apparent and plastic viscosity was observed in sample with 25%inulin-75% tagatose and the viscosity in formula with tagatose had no significant difference with control. Flow property index also reduced with reduction of inulin. Results showed that the samples with 50% inuin -50% tagatose and 25% inuin -75% tagatose and 100% tagatose were the best ratio of the sugars as replacement of sucrose in formula, the two formers formulas are the best formula from nutrition point of view and are considered as a functional food.

Keywords:Chocolate, Inulin, Tagatose, Rheology, Viscosity

*Corresponding Author E_Mail address: Azizit_m@modares.ac.ir