

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

مهری شوریده<sup>۱</sup>، اقدس تسلیمی<sup>۲</sup>، محمد حسین عزیزی<sup>۳\*</sup>، محمد امین محمدی<sup>۴</sup>

۱- کارشناس ارشد علوم و صنایع غذایی، انستیتو و دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

۲- عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع غذایی، انستیتو 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، می توان با جایگزین نمودن ساکارز با کربوهیدراتهای با قابلیت هضم پایین باعث کاهش کالری و نمایه گلیسمی و جلوگیری از فساد دندانها شد. بدین منظور در این مطالعه اینولین که یک فیبر رژیمی محسوب می شود و تاگاتوز که یک ستوهگروز طبیعی و با شیرین کنندگی مشابه شکر است به عنوان جایگزین ساکارز انتخاب و با درصدهای اختلاط ۱۰۰: صفر، ۷۵: ۲۵، ۵۰: ۵۰، ۲۵: ۷۵ و صفر: ۱۰۰ در شکلات شیری مورد استفاده قرار گرفت و خواص شیمیایی و رئولوژیکی نمونه های حاصله بررسی گردید. با کاهش میزان اینولین و افزایش میزان تاگاتوز درصد رطوبت نمونه ها کاهش ولی میزان فعالیت آبی ( $a_w$ ) افزایش یافت. سختی نمونه ها با افزایش میزان تاگاتوز افزایش یافت و سختی نمونه ی حاوی ۱۰۰٪ تاگاتوز مشابه نمونه شاهد (ساکارز) بود. در مورد شاخص های رنگ کمترین مقادیر  $a^*$ ،  $b^*$ ،  $c^*$  و  $hue^\circ$  در نمونه دارای ۱۰۰٪ اینولین مشاهده گردید که با افزایش تاگاتوز این مقادیر افزایش یافتند. با کاهش میزان اینولین در نمونه ها  $T_1$  و  $T_0$  افزایش یافته و کمترین تنش تسلیم واقعی و خطی در نمونه ی ۱۰۰٪ اینولین مشاهده گردید. با کاهش اینولین گرانروی ظاهری و پلاستیک کاهش یافتند. کمترین گرانروی ظاهری و پلاستیک در نمونه ۲۵٪ اینولین - ۷۵٪ تاگاتوز دیده شد و گرانروی 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، 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 عملگر شناخته می شوند.

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

### 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 پیش بینی می شود 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 ویژه ای را نشان میدهد و بر سلامت انسان بویژه سیستم قلب و عروق تاثیر مثبت دارد. از طرفی افراد دارای نقایص متابولیکی مانند دیابت و چاقی نباید مواد غذایی غنی از

\* مسئول مکاتبات: Azizit\_m@modares.ac.ir

چاقی را مهار می‌کند. تشدیدکننده طعم بوده و اثر سینرژیک با دیگر شیرین‌کننده‌ها دارد.

D- تاگاتوز خاصیت پری بیوتیک<sup>۲</sup> دارد و باعث خرابی دندانها نمی‌شود. تقریباً ۱/۵ kcal/gr انرژی تولید می‌کند و بیش از ۲۵٪ آن در قسمت فوقانی روده جذب نمی‌شود [۱۰ و ۱۲]. D- تاگاتوز می‌تواند بعنوان عامل شیرین‌کننده 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<sup>۳</sup> فروکتان است که مخلوطی از الیگومرها و پلیمرها بوده و واحدهای فروکتوز در این مخلوط از پلیمرهای فروکتوز خطی و الیگومرها با اتصالهای (۱→۲)  $\beta$  تشکیل شده و یک ملکول گلوکز در انتهای زنجیره فروکتوز با اتصال (۴→۱)  $\alpha$  قرار دارد. اینولین ارزش کالریک کمتری نسبت به کربوهیدراتهای دیگر دارد که ناشی از اتصالهای (۱→۲)  $\beta$  است که توسط آنزیمهای سیستم گوارشی تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد. تحقیقات نشان داده که اینولین و الیگوفروکتوز تاثیری بر قند سرم ندارد و باعث تحریک ترشح انسولین نمی‌شوند. همچنین بر عملکرد دستگاه گوارش از طریق افزایش تکرر دفع خصوصاً در بیماران دچار یبوست تاثیر می‌گذارند [۱۳]. آنها بر تنظیم هضم، جذب یا متابولیسم چربی اثر دارند [۱۴] و تری گلیسرید سرم و کبد و سطح کلسترول خون را کاهش می‌دهند. اینولین جذب کلسیم و منیزیم را در انسان افزایش می‌دهد [۱۵ و ۱۳]. بهترین اثر تغذیه ای شناخته شده ی اینولین تحریک رشد بیفیدوباکترها 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 افزودن شکر) اغلب همراه با یک پلی ال یا فروکتوز بکار می رود و مقاوم به حرارت است و حدود ۱۰٪ شیرینی ساکارز را دارد [۱۶]. نتایج ارزیابی حسی در مورد شکلات (شیری/ فندقی / برنجی) که ساکارز در آن با اینولین و فروکتوز جایگزین شده بود با شکلات معمولی مقایسه و علیرغم شیرینی و حالیت نامطلوب، پذیرش کلی شکلات حاوی اینولین مطلوب بوده و بعلا دارا بودن شکر کمتر و مقدار بیشتر فیبر رژیمی و مقدار انرژی کمتر به عنوان یک غذای عملگر در نظر گرفته شد

آمار فدراسیون بین المللی دیابت افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ در گروه سنی ۷۹-۲۰ 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، کنترل 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 گلیسمی پایین تر و جلوگیری از فساد دندانها می توان ساکارز را با کربوئیدراتهای با قابلیت هضم کم<sup>۱</sup> جایگزین نمود. کربوئیدراتهای 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 ساکارز در محصولات غذایی از جمله شکلات می گردند [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 گرانروی و تنش تسلیم شکلات شده و در مراحل تولید شکلات و یا در پذیرش کلی محصول مشکلاتی را ایجاد می نمایند. امروزه استفاده از سایر کربوئیدراتهای با قابلیت هضم کم که علاوه بر تامین شیرینی و کاهش کالری شکلات، اثرات 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 ساکارز (D- تاگاتوز و اینولین) با درصدهای اختلاط متفاوت استفاده شده و ترکیب بهینه مشخص گردد. D- تاگاتوز یک ستوهگروز طبیعی و ایزومر D- گالاتوز بوده و بعنوان یک قند احیاءکننده، ۹۲٪ شیرینی ساکارز را ایجاد می کند. طعم آن شبیه ساکارز 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 گلیسمی پایینی دارد و قندخون را افزایش نمی دهد و نشانه های همراه با دیابت نوع ۲ و هایپرگلیسمی را کاهش داده و

2. Prebiotic  
3. polydisperse

1. Low Digestible Carbohydrates

[۱۷]. در مطالعه ای دیگر اینولین خصوصیات جریان و خواص حسی را بهبود بخشید 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 برخواص شیمیایی و رئولوژیکی شکلات شیری مورد بررسی قرارگرفت. نمونه های شکلات شیری تهیه شده با D- تاگاتوز و اینولین و نسبتهای ترکیبی آنها ( ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰، ۲۵:۷۵) بررسی و با تیمار شاهد ( حاوی ساکارز ) مقایسه شدند. به دلیل اینکه شیرینی نسبی اینولین (۱/۰) و تاگاتوز (۹۲/۰) کمتر از ساکارز (۱) بوده، شیرینی نسبی فرمولها با Stevia ( شیرین کننده قوی طبیعی و کم کالری با شیرینی حدود ۱۵۰ برابر ساکارز ) تنظیم و معادل با فرمول شاهد گردید.

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱- آماده سازی نمونه ها

مواد اولیه شامل: پودرکاکائوقلیایی شده (۱۲-۱۰٪ چربی) - شکیناک - آلمان، کره کاکائو بی بو شرکت Klk-kepong - مالزی وانیل پاندا - چین، اینولین (Orafti (Beneo-GR - بلژیک، D - تاگاتوز شرکت Damhert - بلژیک، شیرین کننده استویا شرکت Stevia Biotechnology - مالزی، لسیترین شرکت Cargill - هلند، شکر کارون و شیرخشک 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) توزین شدند. همه مواد (بجز وانیلین و استویا که در مرحله آخر اضافه شدند) در داخل بالمیل آزمایشگاهی (آسیاب ساچمه ای که عمل کاهش اندازه ذرات<sup>۱</sup> و عمل رز دادن شکلات<sup>۲</sup> را تواما انجام می دهد) ریخته شدند. مخزن دستگاه دارای حدود ۲۵ کیلوگرم ساچمه 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

۱۲ ساعت قرار داده شد. سپس نمونه ها توسط تمپرینگ آزمایشگاهی (با همزن با دور ۷۵ دور بر دقیقه) مشروط دمایی<sup>۳</sup> شدند. برای این منظور: (۱) دمای نمونه ها از ۵۰°C به ۳۲°C کاهش یافت. (۲) در مدت ۱۵ دقیقه دما از ۳۲°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 ازجنس پلی کرینات ریخته شده و در یخچال در دمای ۵°C سرد شد. سپس نمونه های شکلات پس از قالب گیری برای آزمون های بافت سنجی، رنگ سنجی 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 موازنه ی میزان شیرینی شیرین کننده موجود در فرمول استفاده شد. شیرینی شکر معادل ۱ و تاگاتوز ۹۲/۰ و اینولین ۱۰/۰ 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 × مقدار شکر = میزان شیرین کنندگی استویا × مقدار استویا + میزان شیرین کنندگی اینولین یا تاگاتوز × مقدار اینولین یا تاگاتوز

### ۲-۲- روش آزمایش

#### ۲-۲-۱ 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. درضمن فعالیت آبی (a<sub>w</sub>) نمونه ها توسط دستگاه Novasina Labmaster (ساخت سوییس) در دمای ۲۵°C اندازه گیری گردید.

1- Refining 3- Tempering  
2- Conching

جدول ۱ فرمول نمونه های شکلات شیری (برحسب درصد)

| مواد اولیه                          | شکر  | اینولین | تاگاتوز | کره کاکائو | پودر کاکائو | شیر خشک کامل | لستین | استویا | وانیلین |
|-------------------------------------|------|---------|---------|------------|-------------|--------------|-------|--------|---------|
| نمونه ۱ (۱۰۰٪ اینولین)              | -    | ۴۰/۱    | -       | ۳۲         | ۹           | ۱۸           | ۵/۰   | ۳۰/۰   | ۱/۰     |
| نمونه ۲ (۷۵٪ اینولین - ۲۵٪ تاگاتوز) | -    | ۳۰/۰۷   | ۱۰/۱    | ۳۲         | ۹           | ۱۸           | ۵/۰   | ۲۳/۰   | ۱/۰     |
| نمونه ۳ (۵۰٪ اینولین - ۵۰٪ تاگاتوز) | -    | ۲۰/۰۴   | ۲۰/۲    | ۳۲         | ۹           | ۱۸           | ۵/۰   | ۱۶/۰   | ۱/۰     |
| نمونه ۴ (۲۵٪ اینولین - ۷۵٪ تاگاتوز) | -    | ۱۰/۰۱   | ۳۰/۳    | ۳۲         | ۹           | ۱۸           | ۵/۰   | ۰۹/۰   | ۱/۰     |
| نمونه ۵ (۱۰۰٪ تاگاتوز)              | -    | -       | ۴۰/۳۶   | ۳۲         | ۹           | ۱۸           | ۵/۰   | ۰۲/۰   | ۱/۰     |
| شاهد                                | ۴۰/۴ | -       | -       | ۳۲         | ۹           | ۱۸           | ۵/۰   | -      | ۱/۰     |

## ۲-۲-۲ اندازه گیری سختی بافت شکلات

برای این منظور از دستگاه بافت سنج Hounsfield-H5K5 استفاده گردید. قطعات شکلات با ابعاد ۱۰×۲۰×۱۰ میلی متر آماده شد و سپس در انکوباتور یخچال دار Rumed-type 1001 در دمای ۲۰°C به مدت ۶ ساعت نگهداری شدند. در این آزمون از پروب شماره ۱/۶، سرعت نفوذ ۱/۵ میلی متر بر ثانیه و عمق نفوذ ۶ میلی متر استفاده شد و حداکثر 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 ی شکلات به صورت دایره ای به قطر ۹۰ و ضخامت ۱۰ میلی متر تهیه شد و در دمای محیط (۲۵°C) و در سیستم CIELAB فاکتورهای  $a^*$ ،  $b^*$  و  $L^*$  سنجیده شد و فاکتورهای  $c^*$  و  $hue^\circ$  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 ۰.۱°C استفاده شد.

نمونه ها در آون در دمای ۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۵ دقیقه ذوب شده برای اندازه گیری گرانیروی از ژئومتری استوانه های هم مرکز مدل CC27 (معادل با ISO 3219 و Z3

(DIN) استفاده شد. در دمای  $40 \pm 0.1^\circ\text{C}$  در سرعت برشی  $5\text{ s}^{-1}$  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 ی  $2\text{ s}^{-1}$  تا  $50\text{ s}^{-1}$  افزایش یافته (Ramp up) و ۱۸ نقطه در ۱۸۰ ثانیه اندازه گیری شد. در مرحله سوم مدت ۶۰ ثانیه سرعت برشی در  $50\text{ s}^{-1}$  ثابت نگه داشته شد. سپس سرعت برشی از  $50\text{ s}^{-1}$  تا  $2\text{ s}^{-1}$  کاهش یافت (Ramp down) و ۱۸ نقطه در ۱۸۰ ثانیه اندازه گیری و ثبت شد [۲۲].

مدل های ریاضی ویندهب<sup>۱</sup>، کاسون<sup>۲</sup>، هرشل بالکلی<sup>۳</sup>، بینگهام<sup>۴</sup> و استوالد-دوال<sup>۵</sup> بر داده های تجربی بدست آمده برازش داده شد. از سال ۲۰۰۱، IOCCC<sup>۶</sup> مدل ویندهب را برای شکلات ذوب شده (در ۴۰°C) در محدوده ای از سرعت برش  $2\text{ s}^{-1}$  تا  $50\text{ s}^{-1}$  (یا دامنه وسیع تری از  $1\text{ s}^{-1}$  تا  $100\text{ s}^{-1}$ ) توصیه کرده است [۲۳]. در مدل ویندهب در واقع ارتباط بین گرانیروی، سرعت برشی و آنچه که در ساختار داخلی در ارتباط با گرانیروی رخ می دهد بررسی می شود [۲۴]. این مدل چهار پارامتری عبارت است از:

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

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 گروه های هیدروفل 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 فرزانه 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 الیگوفروکتوز به نان و کیک آنها را مرطوب نگه داشته و تازگی آنها را برای مدت طولانی تری حفظ می کند [۱۶]. استفاده از اینولین و الیگوفروکتوز در تهیه پنیر Petit-Suisse باعث افزایش میزان رطوبت نمونه ها گردید [۲۷]. Akin و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که با افزایش نسبت اینولین در ماست پروبیوتیک 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  $\tau_0$  تنش تسلیم،  $\tau_1$  تنش برشی خطی،  $\eta_{\infty}$ ، گرانروی 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):  $\tau = \tau_0 + \eta_p \dot{\gamma}^n$  تنش برشی،  $\tau_0$  = تنش تسلیم،  $\dot{\gamma}$  = نرخ برشی،  $\eta_p$  = گرانروی پلاستیک،  $n_1$  = اندیس رفتار جریان،  $k_1$  = گرانروی کاسون،  $k_2$  = شاخص قوام و  $n_2$  = 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

#### وتاگاتوز 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     | $1/97 \pm 0/02$ <sup>a</sup>  | $2/83 \pm 0/02$ <sup>a</sup>  | $14/40 \pm 0/47$ <sup>a</sup>  | $37/45 \pm 0/21$ | $8/3 \pm 0/07$    | $46/59 \pm 0/11$  | $4/58 \pm 0/13$ |
| ۲     | $1/76 \pm 0/03$ <sup>b</sup>  | $3/11 \pm 0/02$ <sup>b</sup>  | $14/99 \pm 0/08$ <sup>ab</sup> | $37/45 \pm 0/21$ | $17/96 \pm 0/03$  | $46/92 \pm 0/06$  | $4/58 \pm 0/13$ |
| ۳     | $1/59 \pm 0/02$ <sup>c</sup>  | $3/20 \pm 0/02$ <sup>c</sup>  | $15/30 \pm 0/1$ <sup>ab</sup>  | $37/45 \pm 0/21$ | $27/2 \pm 0/5$    | $46/72 \pm 0/13$  | $4/58 \pm 0/13$ |
| ۴     | $1/23 \pm 0/02$ <sup>d</sup>  | $3/26 \pm 0/04$ <sup>c</sup>  | $15/46 \pm 0/48$ <sup>b</sup>  | $37/45 \pm 0/21$ | $37/3 \pm 0/23$   | $46/75 \pm 0/03$  | $4/58 \pm 0/13$ |
| ۵     | $1/04 \pm 0/045$ <sup>e</sup> | $3/24 \pm 0/005$ <sup>c</sup> | $17/12 \pm 0/68$ <sup>c</sup>  | $37/45 \pm 0/21$ | $47/15 \pm 0/06$  | $43/63 \pm 0/23$  | $4/58 \pm 0/13$ |
| شاهد  | $1/97 \pm 0/015$ <sup>e</sup> | $3/25 \pm 0/03$ <sup>c</sup>  | $17/52 \pm 0/2$ <sup>c</sup>   | $37/45 \pm 0/21$ | $7/16 \pm 0/13$   | $47/28 \pm 0/1$   | $4/58 \pm 0/13$ |

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.

### ۲-۳- 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

(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 (۱۸٪)، با توجه به میزان پروتئین موجود در شیر خشک (۲۵/۶٪)، مطابقت داشت. ( $25/6 \times 18 = 4/60$ ) 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 نسبتا کامل اینولین بود که این مطلب در مطالعه فرزانه مهر و همکاران نیز اشاره شده است [۲۵].

### ۳-۴- تاثیر جایگزینی ساکارز با اینولین و

#### تاگاتوز بر سختی

سختی شکلات به روشهای متعددی با دستگاه بافت سنج<sup>۱</sup> اندازه گیری می شود. معمولاً با روش آزمون شکست سه نقطه ای<sup>۲</sup>، تردی<sup>۳</sup> شکلات و با روش اندازه گیری میزان نفوذ<sup>۴</sup>، سختی در گاز زدن نخست<sup>۵</sup> 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 ۳ و 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).

Deverux و همکاران (۲۰۰۳) مشاهده کردند که Cookies حاوی اینولین به علت رطوبت بالاتر، تردی کمتری داشتند [۲۶]. Honnelly و همکاران (۲۰۰۶) نیز در مطالعه ای که روی پنیر تقلیدی حاوی اینولین انجام دادند مشاهده کردند که افزایش میزان رطوبت پنیر تقلیدی در اثر جایگزینی چربی با یک فیبر رژیمی محلول (اینولین) میزان سختی را کاهش داد [۳۱]. Medoze و همکاران (۲۰۰۱) 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  $L^*$ ، درخشندگی در محدوده ای از صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید) و  $a^*$  (از سبز تا

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

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

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 ۶/۹۹ تا ۱۱/۷۳ 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 کروما) نیز با افزایش تاگاتوز روند صعودی داشت و بیشترین میزان کروما در نمونه ۵ (۱۰۰٪ تاگاتوز) و کمترین مقدار کروما در نمونه ۱ (۱۰۰٪ اینولین) مشاهده گردید. زاویه hue (درخشندگی ته رنگ) نیز با کاهش اینولین از ۵۰/۷۶ تا ۵۹/۸۳ افزایش یافت. (جدول ۳)

با توجه به نتایج بدست آمده مشخص گردید که اینولین بدلیل جذب آب باعث کاهش پراکنش نور شده و در نتیجه درجه روشنائی ( $L^*$ ) را کاهش داده و شکلات تیره تر به نظر می رسد. در مطالعه ای که Bolenz و همکاران (۲۰۰۵) 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  $a^*$ ،  $b^*$ ،  $c^*$ ،  $L^*$  و hue افزایش یافت. با توجه به اینکه تاگاتوز یک قند احیا کننده می باشد، انتظار می رود که نمونه های شکلات حاوی آن خصوصاً 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 ۴۵°C بود، گسترش واکنش میلارد صورت نگرفت. در

1. texture analyzer 2. three point break  
3. snap 4. penetration measurement 5. first bite

این رابطه محققین نشان دادند که غلظت آمینواسیدها و قندهای احیا کننده در کونج کردن در  $71^{\circ}\text{C}$  به مدت ۴۸ ساعت تغییر نمی کند [۳۴]. در نتیجه تاگاتوز به عنوان قند احیا باعث افزایش  $L^*$

$a^*$  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 ی نمونه ها روشن تر بنظر می رسید.

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

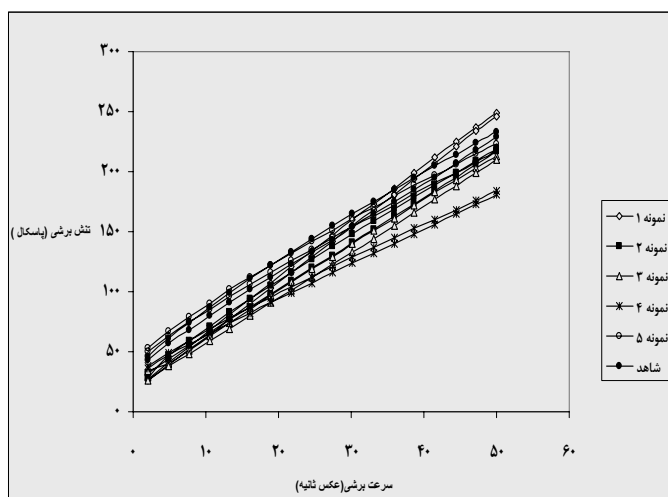
| نمونه | $L^*$              | $a^*$              | $b^*$              | $C^*$              | $hue^{\circ}$      |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| ۱     | $21.09 \pm 0.09^a$ | $7.99 \pm 0.08^a$  | $7.19 \pm 0.07^a$  | $9.33 \pm 0.08^a$  | $50.76 \pm 0.31^a$ |
| ۲     | $24.47 \pm 0.09^b$ | $7.51 \pm 0.03^b$  | $7.78 \pm 0.07^b$  | $10.12 \pm 0.07^b$ | $51.75 \pm 0.31^b$ |
| ۳     | $24.53 \pm 0.12^b$ | $8.73 \pm 0.13^c$  | $7.94 \pm 0.03^c$  | $11.8 \pm 0.02^c$  | $52.13 \pm 0.30^b$ |
| ۴     | $24.96 \pm 0.35^c$ | $9.84 \pm 0.04^d$  | $9.83 \pm 0.03^d$  | $13.9 \pm 0.03^d$  | $57.23 \pm 0.34^c$ |
| ۵     | $26.42 \pm 0.31^d$ | $11.73 \pm 0.02^e$ | $12.25 \pm 0.05^e$ | $16.99 \pm 0.02^e$ | $59.83 \pm 0.33^d$ |
| شاهد  | $21.2 \pm 0.18^a$  | $10.22 \pm 0.01^d$ | $10.36 \pm 0.02^f$ | $14.57 \pm 0.23^f$ | $58.08 \pm 0.16^c$ |

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.

### ۳-۶- تاثیر جایگزینی ساکارز با اینولین و

#### تاگاتوز بر ویژگی های رئولوژیکی

شکلات ذوب شده سوسپانسیونی از ذرات شکر، کاکائو و یا پودر شیر خشک در یک فاز مداوم 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 نیوتنی را نمایش می دهد [۳۵]. و گرانیوی آن بستگی به سرعت برشی، زمان و درجه حرارت دارد [۲۳]. 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 افزایش و کاهش سرعت برشی حلقه های پس ماند وجود داشت و مقادیر تنش برشی و گرانیوی در سرعت برشی یکسان کاهش نشان دادند که این موضوع یکی از ویژگی های سیالات تیکسوتروپیک است و برای شکلاتهای 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  $R^2$  (ضریب تعیین) و SE (میزان انحراف استاندارد) رگرسیون خط حاصل برای تعیین بهترین مدل مورد قضاوت قرار گرفت.



شکل ۱ نمودار جریان و حلقه های پس ماند نمونه های شکلات در دمای  $40^{\circ}\text{C}$

پس از بررسی ضرایب بدست آمده مشخص شد که مدل ویندهب دارای بهترین ضرایب تعیین ( $R^2$ ) 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.

### ۳-۷- تاثیر افزودن اینولین و تاگاتوز بر تنش

#### تسلیم و تنش تسلیم خطی

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

نمونه ۵ مشاهده گردید. نمونه شماره ۵ با شاهد  $T_1$  مشابهی داشتند. نمونه های ۳ و ۴ نیز اختلاف معناداری در میزان  $T_1$  نشان ندادند ( $P < 0.05$ ).

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

تسلیم ( $T_0$ ) در نمونه ها افزایش یافت که در سه مدل ویندهب، کاسون و هرشل بالکلی این روند مشاهده می گردد. بیشترین تنش تسلیم در شکلات حاوی ۱۰۰٪ تاگاتوز (نمونه ۵) مشاهده شد و کمترین تنش تسلیم مربوط به نمونه ۱ (۱۰۰٪ اینولین) بود. همه نمونه ها با یکدیگر و با شاهد اختلاف معناداری نشان دادند ( $P < 0.05$ ).

میزان تنش تسلیم خطی ( $T_1$ ) در شکلات شیری با افزایش میزان تاگاتوز و کاهش میزان اینولین افزایش یافته و روندی صعودی نشان داد. کمترین  $T_1$  در نمونه ۱ و بیشترین  $T_1$  در

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

| نمونه | مدل     | ضریب تعیین ( $R^2$ ) | انحراف استاندارد (SE) |
|-------|---------|----------------------|-----------------------|
| ۱     | ویندهب  | ۰/۹۹۹۹۹              | ۰/۱۵۰۷۸               |
|       | هرشل    | ۰/۹۹۹۹۴              | ۰/۵۱۸۵۵               |
|       | کاسون   | ۰/۹۹۹۵۱              | ۲/۱۷۳۳                |
|       | بینگهام | ۰/۹۹۸۵۸              | ۲/۹۷۱۵                |
|       | استوالد | ۰/۹۹۳۲۹              | ۸/۰۸۱۳                |
| ۲     | ویندهب  | ۰/۹۹۹۹۸              | ۰/۱۲۲۶۲               |
|       | هرشل    | ۰/۹۹۹۹۵              | ۰/۴۸۴۱۳               |
|       | کاسون   | ۰/۹۹۹۰۱              | ۲/۵۱۳۴                |
|       | بینگهام | ۰/۹۹۸۹۶              | ۱/۸۲۴۸                |
|       | استوالد | ۰/۹۸۴۲۱              | ۷/۰۹۹۸                |
| ۳     | ویندهب  | ۰/۹۹۹۹۸              | ۰/۱۳۷۷۷               |
|       | هرشل    | ۰/۹۹۹۹۵              | ۰/۵۴۸۰۴               |
|       | کاسون   | ۰/۹۹۹۳۴              | ۲/۱۰۱۷                |
|       | بینگهام | ۰/۹۹۸۶۷              | ۲/۹۷۱۵                |
|       | استوالد | ۰/۹۸۲۵۷              | ۷/۶۰۵۹                |
| ۴     | ویندهب  | ۰/۹۹۹۹۶              | ۰/۱۱۴۵                |
|       | هرشل    | ۰/۹۹۹۸۹              | ۰/۶۰۷۱۵               |
|       | کاسون   | ۰/۹۹۹۴۲              | ۱/۷۸۸۵                |
|       | بینگهام | ۰/۹۹۸۱۱              | ۲/۷۶۹۶                |
|       | استوالد | ۰/۹۸۹۸۱              | ۶/۹۵۹۷                |
| ۵     | ویندهب  | ۰/۹۹۹۹۹              | ۰/۱۹۹۵۶               |
|       | هرشل    | ۰/۹۹۹۹۴              | ۰/۵۵۱۷۹               |
|       | کاسون   | ۰/۹۹۹۵۵              | ۱/۶۸۸۶                |
|       | بینگهام | ۰/۹۹۸۱۶              | ۲/۵۵۸۱                |
|       | استوالد | ۰/۹۸۷۸               | ۸/۱۹۰۶                |
| شاهد  | ویندهب  | ۰/۹۹۹۹۸              | ۰/۱۴۳۱۲               |
|       | هرشل    | ۰/۹۹۹۷۳              | ۰/۹۴۰۲۵               |
|       | کاسون   | ۰/۹۹۹۶۷              | ۱/۴۸۵۷                |
|       | بینگهام | ۰/۹۹۷۵۵              | ۳/۲۸۰۸                |
|       | استوالد | ۰/۹۸۷۹۹              | ۷/۱۶۰۶                |

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

| مدل   | مدل ویندهب              |                         | مدل کاسون              |                        | مدل هرشل بالکلی         |                        | گرانروی ظاهری          |
|-------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
|       | تنش تسلیم واقعی         | تنش تسلیم خطی           | $\eta_{\infty}$        | گرانروی کاسون          | اندیس هرشل بالکلی       | گرانروی پلاستیک        |                        |
| نمونه |                         |                         |                        |                        |                         |                        | در ۴۰°C                |
| ۱     | ۱۶/۹۴±۰/۷۵ <sup>a</sup> | ۲۴/۶۹±۱/۱۵ <sup>a</sup> | ۴/۵۱±۰/۱ <sup>a</sup>  | ۱/۸۷±۰/۰۶ <sup>a</sup> | ۰/۹۷±۰/۰۱ <sup>a</sup>  | ۶/۳۸±۰/۱ <sup>a</sup>  | ۵/۱۲±۰/۰۳ <sup>a</sup> |
| ۲     | ۱۹/۲۸±۰/۵ <sup>b</sup>  | ۳۷/۳۱±۱ <sup>b</sup>    | ۳/۵۷±۰/۱۶ <sup>b</sup> | ۱/۶۵±۰/۰۸ <sup>b</sup> | ۰/۹۴±۰/۰۰۵ <sup>a</sup> | ۵/۸۴±۰/۱ <sup>b</sup>  | ۴/۵۸±۰/۰۷ <sup>b</sup> |
| ۳     | ۲۴/۷۷±۰/۵۱ <sup>c</sup> | ۴۶/۲۸±۰/۹۶ <sup>c</sup> | ۳/۴۸±۰/۰۸ <sup>c</sup> | ۱/۵۸±۰/۰۶ <sup>b</sup> | ۰/۸۹±۰/۰۲ <sup>b</sup>  | ۵/۳۵±۰/۱۵ <sup>c</sup> | ۴/۴۱±۰/۰۸ <sup>b</sup> |
| ۴     | ۲۹/۷۷±۰/۵۶ <sup>d</sup> | ۴۷/۲۱±۰/۹۷ <sup>c</sup> | ۲/۷۳±۰/۰۷ <sup>d</sup> | ۱/۳۱±۰/۰۴ <sup>c</sup> | ۰/۸۶±۰/۰۱ <sup>c</sup>  | ۴/۸۲±۰/۱۱ <sup>d</sup> | ۳/۹۰±۰/۰۹ <sup>c</sup> |
| ۵     | ۴۲/۵۷±۰/۵۶ <sup>e</sup> | ۶۹±۱/۰۳ <sup>d</sup>    | ۳/۳۵±۰/۱۱ <sup>c</sup> | ۱/۳۶±۰/۱ <sup>c</sup>  | ۰/۸۲±۰/۰۱ <sup>d</sup>  | ۶/۱۳±۰/۱۴ <sup>e</sup> | ۴/۸۱±۰/۰۹ <sup>d</sup> |
| شاهد  | ۳۸/۵۶±۰/۶۵ <sup>f</sup> | ۶۸/۸۵±۰/۹۵ <sup>d</sup> | ۳/۳۷±۰/۱۴ <sup>c</sup> | ۱/۴۰±۰/۰۵ <sup>c</sup> | ۰/۸۳±۰/۰۰۵ <sup>c</sup> | ۶/۲۲±۰/۱۱ <sup>e</sup> | ۴/۸۹±۰/۱ <sup>d</sup>  |

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.

### ۳-۸- تاثیر افزودن اینولین و تاگاتوز بر $\eta_{\infty}$

با توجه به نتایج جدول ۵ با کاهش میزان اینولین ،  $\eta_{\infty}$  کاهش 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 اندیس 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 (۱۰۰٪ تاگاتوز) مشاهده شد. نمونه های ۴ و ۵ با شاهد اختلاف معناداری نشان ندادند.

### تاثیر افزودن اینولین و تاگاتوز بر گرانروی پلاستیک

#### کاسون :

بیشترین مقدار گرانروی پلاستیک کاسون در نمونه ۱ (۱۰۰٪ اینولین) مشاهده شد . مشخص شد با کاهش مقدار اینولین گرانروی 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 گرانروی

#### ظاهری

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

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 گرانروی پلاستیک و گرانروی ظاهری ولی در مقادیر کم باعث کاهش گرانروی ظاهری و پلاستیک نسبت به نمونه شاهد (ساکارز) گردید.

اینولین یک ماده اولیه عملگر 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 نگهدارنده آب در محصولات نانویی 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 گرانروی می گردد. این امر در مطالعات بسیاری مورد بررسی قرار گرفته و گزارش گردیده است . افزودن اینولین باعث افزایش گرانروی در بستنی پروبیوتیک [۲۸] و بستنی کم چرب شده [۳۸] و علاوه بر افزایش گرانروی خواص حسی را در بستنی بهبود داد [۳۹]. همچنین گزارش گردیده است که افزودن اینولین باعث افزایش گرانروی 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 گرانروی پلاستیک و ظاهری را نیز نشان داد. افزایش گرانروی در مقادیر بالای اینولین را می توان به توانایی جذب بالا و حفظ رطوبت در آن

## 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 Sweetener, 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 food additives. 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 بر گرانروی اثر منفی دارد. همچنین مشخص شده است که مکمل اینولین بر گرانروی و حلالیت 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 عملگر 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., Muñer, 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 .2<sup>nd</sup> 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 synbiotic 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.gao-tagatose.com](http://www.gao-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. <sup>1</sup>, Taslimi, A. <sup>2</sup>, Azizi, M. H. <sup>3\*</sup>, Mohammadifar, M. A. <sup>4</sup>

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- Associated 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 consumers 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  $\text{hue}^\circ$  were observed in chocolate with 100% inulin which they went up when amount of tagatose was increased in formula. When inulin reduced in samples,  $\tau_0$  and  $\tau_1$  increased 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% inulin -50% tagatose and 25% inulin -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