بهینه یابی فرمولاسیون شکلات تیره پری‌بیوتیک با استفاده از مخلوط اینولین، ایزومالت و مالتیتول

مریم کیومرثی[1]، سمیرا یگانه‌زاد*[2]، مصطفی شهیدی[3]، ابوالفضل پهلوانلو[4] ، مارال خوش‌کیش[5]

۱- دانشجوی دکتری گروه فراوری مواد غذایی ، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
۲- گروه فراوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
۳- گروه شیمی مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
۴- گروه زیست فناوری غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
۵- مدیر واحد تحقیق و توسعه شرکت رضوان شکلات (باراکا)، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۹/۰۸ تاریخ پذیرش :۹۶/۰۵/۰۸

چکیده

در سال‌های اخیر، استفاده از شیرین‌کننده‌های جایگزین شکر در فرمولاسیون شکلات اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده‌است که دلیل آن را می‌توان گرایش مصرف‌کنندگان به مصرف محصولات کم‌کالری با محتوای قندی کمتر به‌منظور ارتقاء بعد سلامت عنوان کرد. در این پژوهش، شکلات پری‌بیوتیک بدون قند با مخلوط شیرین‌کننده‌های کم‌کالری اینولین، مالتیتول و ایزومالت در سطوح مختلف (۰ تا ۳۸٪) تولید گردید و فرمولاسیون بهینه از نظر خصوصیات رئولوژیکی، توزیع اندازه ذرات و رنگ با توجه به اهمیت آن‌ها در کیفیت نهایی شکلات تیره تعیین شد. نتایج مربوط به ویژگی‌های رئولوژیکی نشان داد ویسکوزیته کاسون در شکلات با افزایش مقدار اینولین، ایزومالت و کاهش همزمان مالتیتول افزایش یافت. از طرفی دیگر، تنش تسلیم کاسون در نمونه‌های شکلات با افزایش مقدار مالتیتول و کاهش همزمان اینولین افزایش یافته بطوریکه نمونه حاوی ۱۰۰٪ مالتیتول بیشترین و نمونه حاوی ۱۰۰٪ اینولین کمترین تنش تسلیم را دارا بود($p<0.05$). همچنین نتایج مربوط به توزیع اندازه ذرات نشان داد که شاخص D_{90} در نمونه‌ها با افزایش اینولین، ایزومالت و کاهش مالتیتول افزایش یافت و شاخص D_{10} در نمونه حاوی ۱۰۰٪ مالتیتول کمترین مقدار بود ($p<0.05$). رنگ‌سنجی نمونه‌ها نیز حاکی بر این بود که اینولین در تیرگی و مالتیتول در روشن‌تر دیده شدن شکلات نقش موثری داشت($p<0.05$). در نهایت با استفاده از نرم‌افزار میکسچر، مقادیر ایزومالت ۲۳/۲۳۶ ٪، اینولین ۲۳/۲۳۶٪ و مالتیتول ۵۳/۵۲۶٪ بعنوان فرمولاسیون بهینه شکلات تلخ بدون قند بر اساس ویژگی‌های رئولوژیکی، اندازه ذرات و رنگ تخمین زده شد.

واژه های کلیدی: شکلات کم‌کالری، بهینه‌یابی فرمولاسیون، رئولوژی، اندازه ذره

---

* مسوول مکاتبات: s.yeganehzad@rifst.ac.ir

۱-مقدمه

از دلایل مصرف روبه‌رشد شکلات علاوه بر مغذی بودن می‌توان به طعم، مزه، بافت و همچنین حس لذت منحصربه‌فرد آن در حین مصرف اشاره کرد بطوریکه در حال حاضر شکلات یک محصول بسیار پرطرفدار در بین همه گروه‌های سنی محسوب می‌شود(۱۰). دسته‌بندی اصلی شکلات بر اساس تفاوت در میزان اجزای تشکیل دهنده‌ی آن است که در انواع شکلات تیره، شکلات سفید و شکلات شیری دیده می‌شود. شکلات تیره شکلاتی تلخ با طعم مشخص کاکائو و خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالا میباشدکه میزان کل کاکائو بر پایه‌ی وزن خشک در آن حداقل ۳۵ ٪ است (۳). ساکارز بعنوان معمول‌ترین شیرین‌کننده در صنعت شکلات کاربرد دارد و بسته به نوع شکلات حدود ٪ ۶۰-۳۰ فرمولاسیون آن را تشکیل می‌دهد. این قند به‌واسطه انرژی‌زایی، نقش بسزایی در تبدیل شکلات به یک محصول پرکالری ایفا می‌کند (۶). از سوی دیگر در سال‌های اخیر با افزایش آگاهی جامعه در زمینه سلامت تغذیه، گرایش به سمت استفاده از مواد غذایی کم‌کالری حاوی جایگزین‌های قند در رژیم‌های غذایی جهت کنترل وزن بدن، افزایش سلامت دندان‌ها و همچنین کاهش خطر ابتلا به بیماری دیابت و بیماری‌های قندی افزایش یافته‌است (۱۵). جایگزینی ساکارز اگرچه ممکن است از بعد تغذیه‌ای و سلامت آن قابل توجه باشد اما تاثیر این ترکیبات جایگزین بر رفتار جریانی و ویژگی‌های رئولوژیکی بعنوان مهمترین ویژگی شکلات در حین تولید و همچنین در نهایت پذیرش کلی محصول تولید شده باید با دقت زیاد بررسی شود. تحقیقات متعددی در زمینه جایگزینی ساکارز با کربوهیدرات‌ها با قابلیت هضم کم نظیر انواع قندهای الکلی شامل ایزومالت، مالتیتول، زایلیتول، لاکتیتول و سوربیتول و نیز ترکیبات پلی‌ساکاریدی با خاصیت پری‌بیوتیکی نظیر اینولین صورت گرفته‌است(۷، ۱۱ و ۱۶).

بیوپلیمر اینولین یک نوع فیبر غذایی متشکل از زنجیره‌های فروکتان با پیوند (α (۲←۱ است که می تواند بعنوان یک ترکیب پری‌بیوتیک قابل تخمیر با تحریک رشد فلور میکروبی مفید سیستم گوارش باعث بهبود عملکرد روده شود. از خواص دیگر اینولین می‌توان به افزایش جذب کلسیم و ایجاد انرژی پایین (۱/۵ کیلوکالری به ازای هر گرم) اشاره نمود (۱). زنجیره‌های کوتاه‌تر در ساختمان اینولین، نقش بیشتری در ایجاد طعم و شیرینی محصول دارند. با توجه به پایین بودن میزان شیرینی این قند در مقایسه با ساکارز (حدود ۰/۱) معمولا به صورت بخشی از جایگزین شکر در فرمولاسیون مواد غذایی کم‌کالری مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵). مالتیتول یک دی‌ساکارید الکلی غیرجاذب‌الرطوبه می‌باشد که از طریق هیدروژناسیون مالتوز تولید می شود. شیرینی آن تقریبا مشابه با ساکارز (حدود ۰/۹) است و عدم تخمیر آن بوسیله استروپتوکوکوس‌های دهانی نقش شایانی در جلوگیری از پوسیدگی دندان ایفا می‌کند. هم اکنون مالتیتول بعنوان بهترین جایگزین ساکارز بصورت گسترده در تولید محصولات غذایی رژیمی کاربرد دارد (۱۶). ایزومالت مخلوطی از دو دی ساکارید الکلی به مقدار مساوی است. این محصول از طریق تبدیل آنزیمی ساکارز به ایزومالتوز و سپس هیدروژناسیون آن تولید می‌شود، غیر جاذب‌الرطوبه بوده و شیرینی نسبی آن در حدود ۰/۴۵ ساکارز است. ایزومالت بعنوان شیرین‌کننده حجمی جایگزین ساکارز در فرمولاسیون مواد غذایی قادر به ایجاد بافت قابل قبول می‌باشد(۷ و ۱۶).

با وجود اینکه تحقیقات گوناگونی در زمینه جایگزینی ساکارز با قندهای کم‌کالری مختلف در شکلات انجام شده‌است اما پژوهش‌های محدودی در زمینه تولید شکلات بدون قند با استفاده از مخلوطی از این جایگزین‌ها در فرمولاسیون موجود است که در میان آن‌ها می‌توان به تولید شکلات بدون قند با مخلوط اینولین، پلی‌دکستروز و شیرین‌کننده‌های استویا وتوماتین و بررسی ویژگی‌های فیزیکی و رئولوژیکی آن (۶) و نیز استفاده از ترکیبات پری‌بیوتیک اینولین به همراه پلی‌دکستروز، مالتودکسترین و سوکرالوز به منظور جایگزینی قند در شکلات (۱۰) اشاره کرد. در نتیجه ضرورت بررسی

خصوصیات رئولوژیکی و دیگر ویژگی‌های فیزیکی شکلات تولید شده با استفاده از مخلوط این شیرین‌کننده‌ها با توجه به خصوصیات مختلف هر ترکیب و امکان تاثیر متقابل آن‌ها بر یکدیگر و در نهایت اثرگذاری بر ویژگی‌های شکلات، بیش از پیش آشکار می‌گردد. در این راستا، طرح‌های آزمایشی میکسچر قادر خواهند بود علاوه بر بهینه‌یابی سطوح مواد اولیه در فرمولاسیون شکلات و تعیین بهترین نسبت ترکیبی آن‌ها با توجه به خصوصیات کلیدی و مهم، تاثیر برهم‌کنش این ترکیبات بر یکدیگر را نیز مشخص کند (۹). هدف از انجام این پژوهش، تولید شکلات تیره پری‌بیوتیک بدون قند با مخلوطی از اینولین، ایزومالت و مالتیتول با نسبت‌های مختلف، بررسی اثر این جایگزینی بر ویژگی‌های رئولوژیکی، اندازه ذره و رنگ و در نهایت رسیدن به فرمولاسیون بهینه شکلات بدون قند با نزدیک‌ترین ویژگی‌های رئولوژیکی و فیزیکی به نمونه شاهد شکر می‌باشد.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱ مواد بکار رفته در فرمولاسیون شکلات

کلیه مواد لازم برای تولید شکلات شامل پودر کاکائو(۱۲درصد چربی) و کره کاکائو تولید شرکت Cargill و از نمایندگی این شرکت در ایران، امولسیفایرهای لسیتین سویا و PGPR تولید شرکت (Juelsminde, Denmark) Palsgaard، اینولین از شرکت Cosucra (Warcoimg,Belgium)، ایزومالت، مالتیتول و شیرین‌کننده استویا تولید شرکت Beneo (Mannheim, Germany) و شکر تولید شرکت ایران شکر (تهران، ایران) تهیه شد.

۲-۲- تولید نمونه‌های شکلات

تولید شکلات تیره شامل کره کاکائو (۳۵/۴ درصد)، پودر کاکائو (۲۵/۷درصد)، شکر و یا جایگزین‌های آن (۳۸درصد)، لسیتین (۰/۶۶درصد) و PGPR (۰/۲۴ درصد) به عنوان فرمولاسیون پایه در نظر گرفته شد. فرمولاسیون‌های مختلف با نسبت‌های متفاوت از سه شیرین‌کننده ایزومالت، اینولین و مالتیتول تولید شد و به‌منظور مقایسه‌ی نتایج حاصل از جایگزینی، نمونه شاهد حاوی شکر نیز تولید گردید (جدول ۱). از شیرین‌کننده استویا نیز به‌منظور تشدید طعم شیرینی استفاده شد و محاسبه میزان آن از طریق معادله موازنه میزان شیرینی انجام گرفت(۱۵):

میزان شکر(٪) ∘ ۱= میزان اینولین (٪) ∘ ۰/۱ + میزان ایزومالت(٪) ∘ ۰/۴۵ + میزان مالتیتول(٪) ∘۰/۹+ میزان استویا(٪) ∘۳۰

روش تهیه شکلات به این صورت بود که ابتدا تمامی مواد اولیه تولید شکلات (شامل پودر کاکائو، شکر وجایگزین‌های آن، کره کاکائو و امولسیفایر شامل لسیتین و PGPR) پس از توزین، در دستگاه آسیاب ساچمه ای[۱] آزمایشگاهی ساخت شرکت آرمان خرد (مشهد، ایران) ریخته شده و عمل مخلوط کردن، آسیاب و کاهش اندازه ذرات و کنچ کردن[۲] به طور همزمان در این دستگاه در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد و با سرعت ۱۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۹۰ دقیقه صورت پذیرفت. نمونه های شکلات پس از طی مدت زمان لازم، تخلیه و پس از انجام فرایند مشروط دمایی[۳]، در قالب هایی از جنس پلی‌کربنات ریخته شد و سپس به مدت ۳۰ دقیقه جهت خنک شدن در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی گراد قرار گرفت و پس از طی دوره سرد شدن از قالب خارج و در ظروف پلاستیکی در دمای محیط تا زمان انجام آزمایش نگهداری شد (۱۷).

[۱] Ball Mill
[۲] Conching
[۳] Tempering

جدول ۱- نوع و نسبت مختلف شیرین‌کننده‌های به‌کار رفته در فرمولاسیون نمونه های شکلات

	نوع و نسبت شیرین‌کننده				
شناسه نمونه	ایزومالت (٪)	اینولین (٪)	مالتیتول (٪)	شکر (٪)	**استویا (٪)**
F_1	۳۸	۰	۰	_	۰/۲۷۶
F_2	۰	۳۸	۰	_	۰/۳۲۰
F_3	۰	۰	۳۸	_	۰/۲۱۹
F_4	۱۲/٦٦	۱۲/٦٦	۱۲/٦٦	_	۰/۲۷۲
F_5	٦/۳۳	٦/۳۳	۲۵/۳۳	_	۰/۲٤٥
F_6	٦/۳۳	۲۵/۳۳	٦/۳۳	_	۰/۲۷٤
F_7	۲۵/۳۳	٦/۳۳	٦/۳۳	_	۰/۲۸۷
R	–	–	–	۳۸	_

۳-۲- روش آزمون‌های انجام‌شده

۱-۳-۲ پارامترهای رئولوژیکی

برای مقایسه پارامترهای رئولوژیکی نمونه ها، از رئومتر Paar Physica MCR 300 مجهز به سیرکولاتور حرارتی CTD600 (Germany)استفاده گردید. برای ذوب کردن نمونه ها، شکلات ها به مدت ۷۵ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد در انکوباتور قرار گرفتند و سپس به مخزن (کاپ: ۲۸/۹۲میلی متر، باب: ۲۶/۶۶ میلی متر) منتقل شدند. بعد از اعمال نرخ برش اولیه ۵ بر ثانیه به مدت ۱۵ دقیقه، نرخ برشی از ۵ تا ۵۰ بر ثانیه به مدت ۳ دقیقه اعمال و سپس به مدت یک دقیقه در ۵۰ بر ثانیه نگه داشته شده و سپس از ۵۰ تا ۵ بر ثانیه در ۳ دقیقه کاهش داده شد. دمای آزمون ۰/۱ ± ۴۰ درجه سانتی گراد ثابت نگه داشته شد. داده ها با استفاده از نرم افزار Rheoplus/32 Service V3.10 جمع آوری شد. نمونه ها در دو تکرار تحت آزمون قرار گرفتند و به منظور مدل سازی خواص جریان شکلات از مدل های رایجی که جهت مطالعه خصوصیات جریان مستقل از زمان کاربرد دارند، استفاده شد. با توجه به کاهش ویسکوزیته با افزایش درجه برش در کلیه آزمون های رئولوژیکی اعمال‌شده و در نتیجه رفتار غیر نیوتنی نمونه های شکلات از مدل کاسون جهت برازش داده ها استفاده شد (۱۷).

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_0} + \sqrt{\eta_{p1}}.\sqrt{\dot{\gamma}}$$

که در این مدل τ، تنش برشی (Pa)، $\dot{\gamma}$، سرعت برشی (s^{-1})، τ_0، تنش تسلیم کاسون (Pa) و η_{p1} ویسکوزیته کاسون (Pa.s) می‌باشد.

۲-۳-۲ توزیع اندازه ذرات

توزیع اندازه ذرات با استفاده از روش انکسار نور لیزر با کمک دستگاه آنالیز اندازه ذرات مدل Sald 2101 (Japan)

تعیین شد. قبل از آنالیز، نمونه های شکلات در حلال روغن گیاهی حل شده و به‌منظور انتشار مطلوب اجزا تحت امواج فراصوت، ۵۰ هرتز و۲۰۰ وات، به مدت ۵ دقیقه به شدت همزده شده و پس از آماده سازی اولیه به محفظه لیرز منتقل گردیدند. از نتایج بدست آمده از دستگاه، پارامترهای بزرگترین اندازه ذره D_{90} و کوچکترین اندازه ذره D_{10} و در مقیاس میکرومتر استخراج و گزارش شد(۱۷).

۳-۳-۲ ارزیابی رنگ

جهت تعیین وضعیت رنگ نمونه ها از دستگاه رنگ سنج مدل ساخت Hunter Lab-025-9000 استفاده شد. نمونه شکلات به صورت دایره‌ای به قطر ۹۰ میلی‌متر و ضخامت ۱۰ میلی‌متر تهیه شد و در دمای محیط، شاخص درخشندگی (L*) از محدوده ۰ (سیاه) تا ۱۰۰(سفید) اندازه‌گیری شد (۱۵).

٤-۲- آنالیز آماری نتایج

برای بررسی اثر نسبت جایگزینی اینولین، ایزومالت و مالتیتول بر روی ویژگی‌های شکلات و تعیین بهترین ترکیب، از طرح ترکیبی simplex centroid mixture design در نرم‌افزار minitab نسخه ۱۷ استفاده شد. برای تعیین اختلاف میان مقادیر میانگین‌ها و مقایسه‌ی آن‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ به روش تجزیه واریانس یک طرفه (one way ANOVA) در سطح $\alpha=0.05$ استفاده شد. جهت رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۰ استفاده گردید.

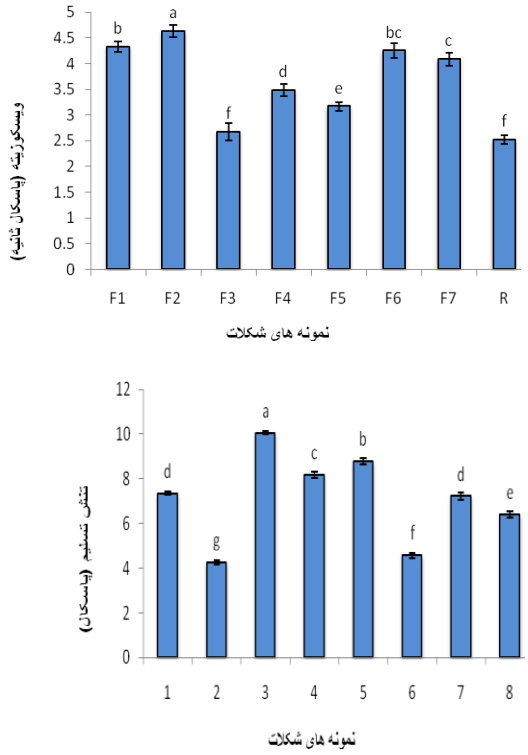
۳-نتایج و بحث

۳-۱ ویژگی‌های رئولوژیکی

خصوصیات رئولوژیکی شکلات از آن جهت حائز اهمیت است که این محصول در حالت ذوب‌شده[۱] فراوری می‌شود و در نتیجه ویژگی‌های جریانی آن نقش مهمی در فرایند تولید و کیفیت شکلات نهایی خواهد داشت. پارامترهای رئولوژیکی شامل ویسکوزیته و تنش تسلیم از طریق برازش مدل کاسون بر داده های آزمایش (تنش برشی-سرعت برشی) تعیین گردید. Keogh، مدل کاسون را بعنوان بهترین مدل در تعیین رفتار رئولوژیکی شکلات معرفی کرد (۱۲). بدین منظور، نمودار ریشه دوم تنش برشی در برابر ریشه دوم سرعت برشی رسم می‌شود و توان دوم شیب خط نشان دهنده گرانروی کاسون و توان دوم عرض از مبدا نشان دهنده تنش تسلیم خواهد بود (۲). با توجه به نتایج در شکل ۱، استفاده از شیرین‌کننده‌های جایگزین شکر، ویژگی‌های رئولوژیکی را به طور معنی داری تحت تاثیر قرار می‌دهند($P <$ ۰/۰۵). مقدار ویسکوزیته کاسون در نمونه شاهد بین ۲/۱ تا ۳/۹ پاسکال‌ثانیه بود که با توجه به نتایج این تحقیق، نمونه‌های شکلات حاوی اینولین و ایزومالت با مقدار کمتر از ۶۶/۶ ٪ در این محدوده قرار گرفتند. مالتیتول دارای ویسکوزیته کاسون مشابهی نسبت به شکر است درصورتی‌که ویسکوزیته نمونه‌های شکلات حاوی ایزومالت و اینولین به صورت قابل توجهی بالاتر است و هر چه محتوای اینولین و یا ایزومالت در فرمولاسیون شکلات بیشتر و بصورت همزمان مالتیتول کمتر شود، نقش این دو شیرین‌کننده در افزایش ویسکوزیته بیشتر آشکار می‌شود. بطوریکه اختلاف معناداری در ویسکوزیته کاسون نمونه حاوی ۱۰۰٪ مالتیتول و شاهد دیده نشد. در مقابل، نمونه حاوی ۱۰۰٪ اینولین و ۱۰۰٪ ایزومالت بترتیب بیشترین مقادیر ویسکوزیته کاسون را دارا بودند. شکل ۲ نمودار کانتر تاثیر نوع و نسبت شیرین‌کننده بر ویسکوزیته را بخوبی نشان می‌دهد. همچنین ضرایب رگرسیون جدول۲ نشان می‌دهد که شیرین‌کننده‌های حجمی ایزومالت، اینولین و مالتیتول همگی بر افزایش ویسکوزیته اثر مثبت داشته‌اند ($p<0.05$) و اثر ایزومالت و اینولین در افزایش ویسکوزیته با توجه به مقادیر بالاتر ضرایب، بیشتر بوده‌است. با توجه به عدم معناداری مدل امکان تعریف معادله برای این پارامتر وجود نداشت. وجود ایزومالت در فرمولاسیون شکلات از آن جهت باعث افزایش ویسکوزیته می‌شود که این قند دارای دانسیته کمتری نسبت به قندهای الکلی دیگر است و

[۱] Molten Chocolate

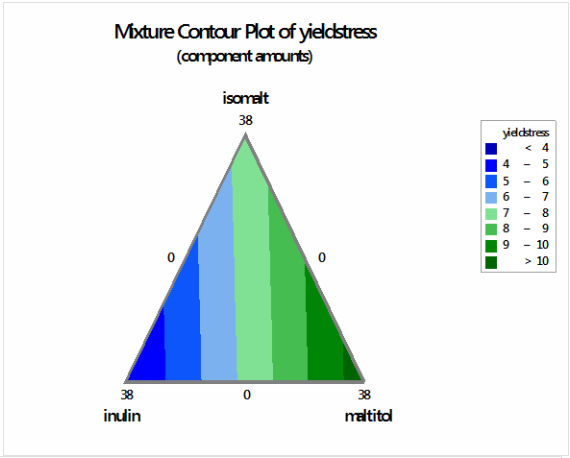
برای استفاده از وزن معین از آن در مقایسه با قندهای دیگر باید از تعداد ذرات بیشتری استفاده کرد که این امر منجر به افزایش سطح تماس ذرات و در نهایت افزایش ویسکوزیته خواهد شد(۱۶). اینولین نیز بدلیل قابلیت جذب و حفظ محتوای رطوبت باعث افزایش ویسکوزیته می‌شود و گرانروی بالای این الیگوساکارید در مقایسه با مونوساکارید و دی‌ساکاریدهای دیگر از عوامل افزایش ویسکوزیته در مواد غذایی محسوب می‌شود. با توجه به نتایج تحقیق شوریده و همکاران (۲۰۱۲) مبنی بر اینکه تفاوت در ساختار قندها را می‌توان یک عامل مهم در مقاومت آن‌ها در برابر جریان در نظر گرفت، نزدیک بودن ویسکوزیته کاسون در شکلات حاوی مالتیتول و شکر را می‌توان به شباهت ساختاری مالتیتول و ساکارز (دو قندی دوازده کربنه) نسبت داد(۱۵).

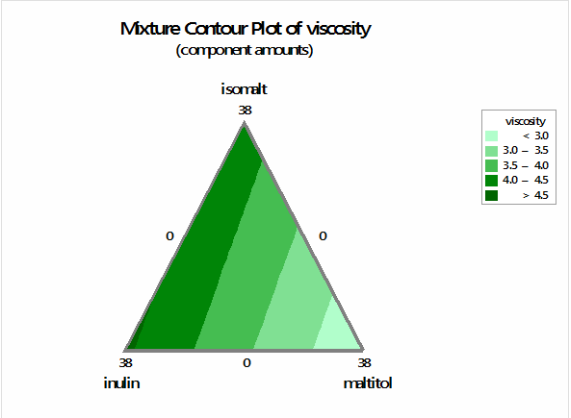


شکل ۱ و ۲- تغییرات پارامترهای رئولوژیکی در نمونه‌های شکلات تلخ با نسبت و نوع مختلف شیرین‌کننده (حروف انگلیسی نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.)

جدول۲- ضرائب تخمینی رگرسیونی شیرین‌کننده در ارتباط با ویسکوزیته و تنش تسلیم

تنش تسلیم (pa)	ویسکوزیته (pa.s)	نوع شیرین‌کننده
۷/۳۹۷	٤/۲٦٦	ایزومالت
۳/۸٦۹	٤/٥۷٤	اینولین
۱۰/٥٤۹	۲/٥۷۷	مالتیتول





شکل ۳و ٤- نمودار کانتور بیانگر روند تغییرات تنش تسلیم الف) و ویسکوزیته (ب) با تغییر نوع و نسبت شیرین‌کننده

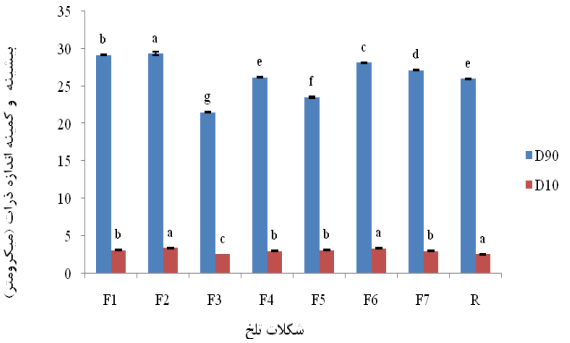
تنش تسلیم بیانگر نیروی مورد نیاز برای ایجاد حرکت اولیه در شکلات مذاب است که تحت تاثیر عواملی نظیر برهم‌کنش ، مقادیر سطح مخصوص ذرات موجود در فرمولاسیون، نوع امولسیفایر و رطوبت شکلات قرار می‌گیرد(۱۴). تنش تسلیم در شکلات تلخ معمولا باید بین ۳۲-۴ پاسکال باشد (۳) که با نتایج بدست آمده در این پژوهش همخوانی دارد. با توجه به ضرایب معادله جدول ۲، وجود مالتیتول و ایزومالت در فرمولاسیون شکلات در افزایش و اینولین در کاهش تنش تسلیم بصورت معناداری موثر است ($p<0.05$). با بیشتر شدن محتوای اینولین در فرمولاسیون، تنش تسلیم بصورت قابل توجهی کاهش یافته که این میزان از تنش تسلیم نمونه شاهد نیز کمتر بود بطوریکه نمونه‌های حاوی ۱۰۰٪ مالتیتول با تنش تسلیم ۱۰/۰۵ پاسکال و در مقابل نمونه حاوی ۱۰۰٪ اینولین با تنش تسلیم ۴/۰۶ پاسکال بترتیب بیشترین و کمترین میزان این فاکتور را دارا بودند. شکل ۲ نمودار کانتر نوع و نسبت شیرین‌کننده و میزان تاثیر گذاری آن بر تنش تسلیم را نشان می‌دهد. نقش مالتیتول در افزایش تنش تسلیم را می‌توان به وجود ذرات کوچک مالتیتول نسبت داد که با افزایش سطح تماس و اصطکاک در افزایش تنش تسلیم نقش دارند (۱۶). شوریده و همکاران، (۲۰۱۲) بیان کردند که تنش تسلیم کمتر در نمونه‌های حاوی درصد بالای اینولین نشان‌دهنده ضعیف‌تر بودن نیروهای برهم‌کنش بین ذرات اینولین است که برای غلبه بر آن‌ها و جریان یافتن شکلات به نیروی کمتری لازم است. بولنزه و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه خود به کاهش تنش تسلیم با استفاده از اینولین بعنوان پرکننده اشاره کردند (۸). Aidoo و همکاران (۲۰۱۴) نیز در مطالعه‌ی خود بیان کردند اینولین در کاهش تنش تسلیم و پلی‌دکستروز در افزایش تنش تسلیم شکلات نقش بسزایی دارد (۵).

۳-۲- توزیع اندازه ذرات

ویژگی‌های رئولوژیکی و کیفیت نهایی شکلات به میزان قابل توجهی تحت تاثیر توزیع اندازه ذرات (PSD)[۱] و ترکیبات اولیه شکلات قرار می‌گیرد که در نهایت نقش بسزایی بر درک حسی این محصول در دهان دارد. (۷). توزیع اندازه ذرات از آن‌جهت حائز اهمیت است که می‌توان با بهینه‌سازی آن و بدون تغییر کلی در فرمولاسیون شکلات به ویژگی‌های مطلوب رئولوژیکی رسید. چنانچه بیشینه اندازه ذرات (D_{90})، به این معنا که ۹۰٪ ذرات، کوچکتر از مقدار این شاخص هستند،(۴). بین ۳۳-۲۰ میکرومتر و کمینه اندازه ذرات (D_{10})، به این معنا که ۱۰٪ ذرات، کوچکتر از مقدار این شاخص هستند (۷)، از ۶ میکرومتر کمتر باشد، ، ویژگی‌های مطلوب رئولوژیکی با بهترین حالت حسی در دهان حاصل خواهد شد(۳ و ۷) همچنین D_{90} بزرگتر از ۳۵ میکرومتر، در دهان احساس شنی ایجاد می‌کند که کاهش پذیرش کلی توسط

[۱] Particle Size Distribution

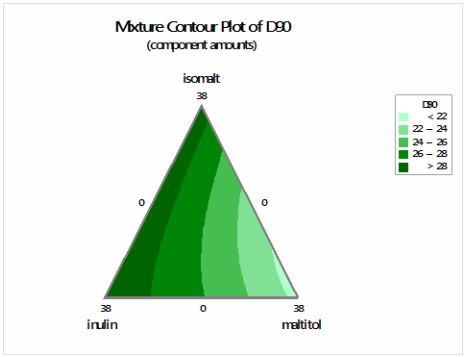
مصرف‌کننده را بدنبال دارد(۱۷). با توجه به نتایج حاصل از توزیع اندازه ذرات در شکل ۳، شاخص D_{90} و D_{10} بترتیب بین ۲۹/۳-۲۱/۴۶۵ و ۳/۳۳-۲/۵۲۵ میکرومتر گزارش شد که این دو شاخص در تمامی نمونه‌های شکلات در دامنه استاندارد و در نتیجه بدون انتظار احساس شنی در دهان قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با افزایش میزان اینولین و ایزومالت در فرمولاسیون، D_{90} افزایش پیدا کرد بطوریکه نمونه‌های حاوی مقادیر ۱۰۰٪ اینولین و ایزومالت ، بیشترین و نمونه حاوی ۱۰۰٪ مالتیتول کمترین میزان D_{90} را دارا بودند($p<0.05$). نتایج مربوط به ضرائب رگرسیونی در جدول ۳ حاکی بر این است که مالتیتول و اینولین بترتیب کمترین و بیشترین تاثیر را در افزایش شاخص D_{90} دارند و همچنین نقش مالتیتول در کاهش شاخص D_{10} از اینولین و ایزومالت بیشتر است. دلیل کمتر بودن پارامترهای D_{10} و D_{90} در نمونه‌ی حاوی ۱۰۰٪ مالتیتولاحتمالا وجود تعداد زیاد ذرات کوچک خارج از دامنه می‌باشد که شوریده و همکاران (۲۰۱۲) نیز در پژوهش خود به آن اشاره کردند(۱۵). همچنین نظر آن‌ها حاکی بر این بود که بالاتر بودن ویسکوزیته شکلات حاوی ایزومالت در مقایسه با شکلات حاوی قندهای الکلی مالتیتول و زایلیتول، با PSD آن ارتباط نداشته و با وجود اینکه انتظار بر این بود ویسکوزیته با افزایش بازه PSD کاهش یابد اما خلاف آن درمورد ایزومالت ثابت شد. Aidoo و همکاران (۲۰۱۵) نیز در تحقیق خود به نقش اینولین در بالابردن D_{90} و همچنین ویسکوزیته اشاره کردند و بیان کردند که اینولین نیز همانند ایزومالت با وجود بالاتر بودن مقادیر D_{90} در مقایسه با پلی‌دکستروز و انتظار کاهش ویسکوزیته به دلیل کاهش سطح تماس، نیاز کمتر به فاز چربی برای احاطه ذرات قند، آزاد ماندن فاز چربی و در نتیجه بهبود جریان، افزایش ویسکوزیته از خود نشان داد(۵) که نتایج آن‌ها با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد بطوریکه ارتباط مستقیم معناداری ($p<0.05$) بین شاخص D_{90} و ویسکوزیته (۰/۸۳۵) و همچنین تنش تسلیم (۰/۸۴۲) وجود داشت که ارتباط مستقیم اندازه ذره و ویژگی‌های جریانی شکلات را تایید می‌کند. شکل ۴ تغییرات پارامترهای مربوط به اندازه ذره با تغییر نوع و نسبت شیرین‌کننده را نشان می‌دهد. در شاخص D_{90}، علاوه بر معنی‌دار بودن مدل خطی، مدل درجه دوم نیز در این شاخص معنی‌دار بود که با توجه به معناداری مدل، امکان تعریف معادله برای این دو پارامتر وجود داشت (جدول ۲).



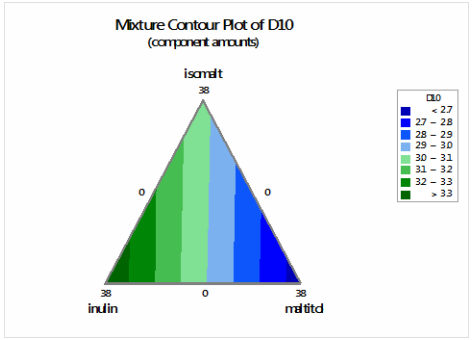
شکل ۵- تغییرات پارامترهای مربوط به اندازه ذرات در نمونه‌های شکلات تلخ با نسبت و نوع مختلف شیرین‌کننده(حروف انگلیسی نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.)

جدول۳- ضرائب تخمینی رگرسیونی نوع شیرین‌کننده در ارتباط با پارامترهای مربوط به اندازه ذره

نوع شیرین‌کننده	D_{90}	D_{10}
ایزومالت	۲۹/۱۱۹	۳/۰۲۹
اینولین	۲۹/۲۲۹	۳/۳۸۸
مالتیتول	۲۱/٤٥٤	۲/٦٤٤
ایزومالت * مالتیتول	-۷/۹۹٥	*
اینولین * مالتیتول	۳/۰٤٥	*



ب



الف

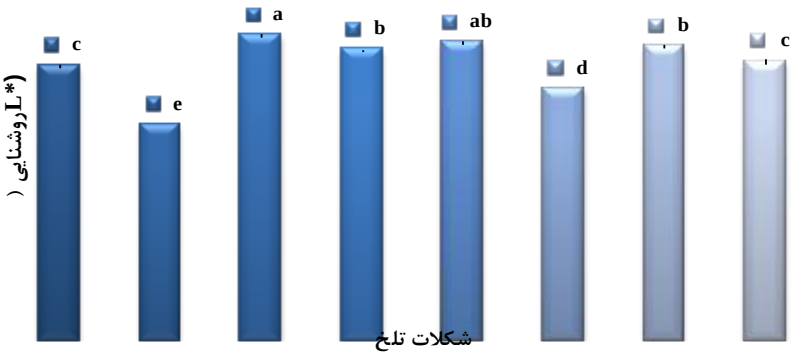
شکل ٦ و ۷- نمودار کانتور بیانگر روند تغییرات در شاخص D_{10} (الف) و D_{90} (ب) با تغییر نوع و نسبت شیرین‌کننده

۳-۳- رنگ

رنگ بعنوان یک شاخص مهم و موثر بر ویژگی‌های حسی شکلات، نقش کلیدی در پذیرش کلی این محصول ایفا می‌کند. تغییر رنگ در شکلات می‌تواند در نتیجه تغییر در نوع ترکیبات و نحوه فرایند تولید باشد(۵). درنتیجه جایگزینی شکر با شیرین‌کننده‌های دیگر می‌تواند منجر به تغییر رنگ در شکلات نهایی گردد. شاخص رنگ‌سنجی روشنایی[۱] (L^*) در نمونه‌های شکلات بررسی شد. مقادیر محاسبه‌شده این شاخص (شکل ۸) نشان داد که اختلاف معناداری در سطح $p<0.05$ بین نمونه‌ها وجود داشت و این پارامتر در نمونه‌ها از ۱۴/۲۱ تا ۲۰/۱ متغیر بود. هرچه میزان L^* در نمونه‌ها کمتر باشد، شکلات با رنگ تیره‌تر نشان داده می‌شود. نتایج مربوط به ضرائب رگرسیونی در جدول ۴ نشان می‌دهد که وجود مالتیتول در فرمولاسیون شکلات در افزایش L^* موثر است و با افزایش مالتیتول و کاهش اینولین در فرمولاسیون، کاهش

[۱] Lightness

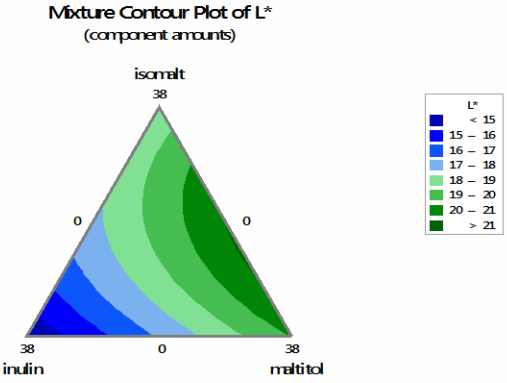
معناداری در میزان تیرگی شکلات دیده می‌شود بطوریکه نمونه حاوی ۱۰۰٪ مالتیتول، بیشترین میزان این شاخص را دارا بود و روشن‌تر از تمامی نمونه‌ها دیده شد$p<0.05$. از طرفی دیگر، هر چه میزان اینولین در فرمولاسیون نمونه‌های شکلات بیشتر گردید، از میزان L* کاسته شده و نمونه‌های حاوی بترتیب مقادیر بیشتر و کمتر اینولین و مالتیتول، تیره‌تر از نمونه‌های دیگر دیده شدند. نمونه حاوی ۱۰۰٪ اینولین تیره‌ترین شکلات با کمترین مقدار L* بود. در مطالعه شوریده و همکاران (۲۰۱۲) بیان شد که اینولین بدلیل جذب آب باعث کاهش پراکنش نور و در نتیجه کاهش درخشندگی و تیره‌تر بنظر رسیدن شکلات می‌شود(۱۵).Aidoo و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیق خود نشان دادند که با اضافه کردن پلی‌ساکاریدها در فرمولاسیون شکلات، فرایند کاراملیزاسیون و میلارد و در نتیجه افزایش تولید رنگ افزایش می‌یابد و در نتیجه شکلات حاوی ۱۰۰٪ اینولین و پلی‌دکستروز رنگ تیره‌تری در مقایسه با شاهد نشان داد (۶). Konar (۲۰۱۴) نیز در پژوهش خود بیان کرد که نوع شیرین‌کننده تاثیر زیادی بر عامل درخشندگی و کیفیت شکلات شیری دارد. نمونه‌های شکلات شیری تهیه‌شده با مالتیتول در مقایسه با نمونه شاهد، L* بیشتری داشتند و شکلات شیری تهیه‌شده با ایزومالت از نظر روشنایی نزدیک به نمونه شاهد بود و از نمونه حاوی مالتیتول تیره‌تر بنظر می‌رسید (۱۳)که با نتایج حاصل از این گزارش مطابقت دارد. شکل ۵ تغییرات پارامتر L* با تغییر نوع و نسبت شیرین‌کننده را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود علاوه بر معنی‌دار بودن مدل خطی، مدل درجه دوم نیز در این شاخص معنی‌دار بود و امکان تعریف معادله برای این پارامتر وجود داشت (جدول ۲).



شکل ۸- تغییرات پارامتر L* در نمونه‌های شکلات تلخ با نسبت و نوع مختلف شیرین‌کننده (حروف انگلیسی نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.)

جدول٤- ضرائب تخمینی رگرسیونی نوع شیرین‌کننده در ارتباط با رنگ شکلات

نوع شیرین‌کننده	L*
ایزومالت	۱۸/۱۵۳
اینولین	۱٤/۱٤۸
مالتیتول	۲۰/۰۳۲
ایزومالت * اینولین	٦/۳٦۷
ایزومالت * مالتیتول	۷/٦۱٥



شکل ۹- نمودار کانتور بیانگر روند تغییرات در شاخص L*با تغییر نوع و نسبت شیرین‌کننده

۳-٤- انتخاب نمونه بهینه

برای انتخاب نمونه بهینه بر پایه پارامترهای رئولوژیکی، توزیع اندازه ذرات و رنگ که از عوامل مهم در کیفیت نهایی شکلات محسوب می‌شوند، در تنظیمات نرم افزار مقادیر مورد انتظار از هریک از این پاسخ‌ها (با در نظر گرفتن نمونه حاوی شکر به عنوان شاهد) وارد شد. بعد از پردازش، فرمولاسیون نمونه بهینه شکلات تلخ با میزان ایزومالت ۲۳/۲۳۶ ٪، اینولین ۲۳/۲۳۶٪ و مالتیتول ۵۳/۵۲۶٪ تخمین زده شد که مقادیر پیشنهادی برای هر پاسخ در جدول ۵ آورده شده‌است. همچنین در جدول ۶ معادله پیشگویی پارامترهای رنگ و اندازه ذره با توجه به معناداری مدل‌های آنان و ضرائب رگرسیونی بدست‌آمده از نرم‌افزار تعریف شده‌است.

جدول۵- مقادیر پیش‌بینی شده نرم‌افزار در پارامترهای پاسخ با حداکثر عامل مطلوبیت در شکلات

پاسخ	مقدار بهینه
ویسکوزیته	۳/۵
تنش تسلیم	٦
D_{90}	۲٦/۵
D_{10}	۳
L*	۱۹

پارامتر بررسی شده	معادله پیشگویی
D_{90}	$29.119\ X1+29.229\ X2+\ 21.454\ X3 - 7.995\ X1X3 +3.045\ X2X3$
D_{10}	$3.029\ X_1+3.388\ X_2+2.644X_3$
رنگ	$18.153\ X_1+14.14\ X_2+\ 20.032\ X_3+6.367\ X_1X_2+7.615\ X_1X_3$

٤-نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد جایگزینی شکر با شیرین‌کننده‌های حجمی مالتیتول، ایزومالت و ترکیب پری‌بیوتیکی اینولین در شکلات تلخ بر ویژگی‌های رئولوژیکی و فیزیکی بعنوان پارامترهای مهم در کیفیت نهایی و پذیرش کلی این محصول بصورت معناداری موثر بوده و میزان این تغییرات علاوه بر نوع شیرین‌کننده به نسبت جایگزینی آن نیز بستگی داشت. با استفاده از طرح نرم‌افزاری میکسچر (Simplex Centroid mixture) میزان تاثیرگذاری هر شیرین‌کننده بر ویژگی‌های رئولوژیکی (ویسکوزیته و تنش تسلیم)، توزیع اندازه ذرات (D_{90} و D_{10}) و رنگ بررسی شد. با توجه به نتایج، افزایش ایزومالت و اینولین در فرمولاسیون شکلات تلخ در افزایش ویسکوزیته موثر بود. از طرف دیگر شاخص تنش تسلیم با افزایش مالتیتول و کاهش اینولین در فرمولاسیون، افزایش معناداری داشت. نتایج مربوط به توزیع اندازه ذرات نشان‌دهنده نقش اینولین و ایزومالت در افزایش و در مقابل نقش مالتیتول در کاهش شاخص D_{90} و D_{10} در نمونه‌های شکلات بود. همچنین نتایج رنگ‌سنجی نشان داد نمونه‌های شکلات حاوی اینولین تیره‌تر بوده و در مقابل وجود مالتیتول در فرمولاسیون در روشن‌تر بنظر رسیدن آن‌ها نقش داشت. در نهایت شکلات تلخ پری‌بیوتیک حاوی ۲۳/۲۳۶ ٪ ایزومالت ، ۲۳/۲۳۶٪ اینولین و ۵۳/۵۲۶٪ مالتیتول بعنوان نمونه بهینه با توجه به خصوصیات رئولوژیکی، توزیع اندازه ذرات و رنگ توسط نرم‌افزار پیشنهاد داده شد.

۵-سپاسگزاری

مقاله ارائه شده بخشی از یک پروژه تحقیقاتی مصوب پژوهشکده علوم و صنایع غذایی می‌باشد که با حمایت‌های بی‌دریغ مادی و معنوی پژوهشکده و شرکت رضوان شکلات انجام شده است که از این حمایت‌ها تشکر و قدردانی می-گردد.

٦-منابع

1. Abbasi, S. and Farzanmehr, H., 2009. Optimization of the formulation of prebiotic milk chocolate based on rheological properties. Food Technology and Biotechnology, 31(4), p.396.
2. Afoakwa, E. O. 2010.Chocolate Science and Technology. Wiley-Blackwell Publishers
3. Afoakwa, E.O., Paterson, A. and Fowler, M., 2007. Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate–a review. Trends in Food Science & Technology, 18(6), pp.290-298.
4. Afoakwa, E.O., Paterson, A., Fowler, M. and Vieira, J., 2008. Relationship between rheological, textural and melting properties of dark chocolate as influenced by particle size distribution and composition. European Food Research and Technology, 227(4), pp.1215-1223.
5. Aidoo, R.P., Afoakwa, E.O. and Dewettinck, K., 2014. Optimization of inulin and polydextrose mixtures as sucrose replacers during sugar-free chocolate manufacture–Rheological, microstructure and physical quality characteristics. Journal of Food Engineering, 126, pp.35-42.
6. Aidoo, R.P., Afoakwa, E.O. and Dewettinck, K., 2015. Rheological properties, melting behaviours and physical quality characteristics of sugar-free chocolates processed using inulin/polydextrose bulking mixtures sweetened with stevia and thaumatin extracts. LWT-Food Science and Technology, 62(1), pp.592-597.
7. Beckett, S. T., & Wells, M. A. (1994). Industrial Chocolate Manufacture and Use (2nd edn). Trends in Food Science and Technology, 5(11), 375-375.
8. Bolenz, S., Amtsberg, K. and Schäpe, 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 & technology, 41(1), pp.45-55.
9. Dogan, M., Toker, O.S., Aktar, T. and Goksel, M., 2013. Optimization of gum combination in prebiotic instant hot chocolate beverage model system in terms of rheological aspect: mixture design approach. Food and Bioprocess Technology, 6(3), pp.783-794.
10. Farzanmehr, H. and Abbasi, S., 2009. Effects of inulin and bulking agents on some physicochemical, textural and sensory properties of milk chocolate. Journal of Texture Studies, 40(5), pp.536-553.
11. Goldman, F., Sweetsue Llc, 2005. Sugar substitute and bulking agent and chocolate. U.S. Patent Application 11/244,026.Inc., Oxford, UK.
12. Keogh, M.K., Murray, C.A. and O'Kennedy, B.T., 2003. Effects of selected properties of ultrafiltered spray-dried milk powders on some properties of chocolate. International dairy journal, 13(8), pp.719-726.
13. Konar, N., Özhan, B., Artık, N., Dalabasmaz, S. and Poyrazoglu, E.S., 2014. Rheological and physical properties of inulin-containing milk chocolate prepared at different process conditions. CyTA-Journal of Food, 12(1), pp.55-64.
14. Servais, C., Ranc, H. and Roberts, I.D., 2003. Determination of chocolate viscosity. Journal of Texture Studies, 34(5-6), pp.467-497.
15. Shourideh, M., Taslimi, A., Azizi, M.H. and Mohammadifar, M.A., 2012. Effects of D-Tagatose and Inulin on Some Physicochemical, Rheological and Sensory Properties of Dark Chocolate. International Journal of Bioscience,

Biochemistry and Bioinformatics, 2(5), p.314.
16. Sokmen, A. and Gunes, G., 2006. Influence of some bulk sweeteners on rheological properties of chocolate. LWT-Food Science and Technology, 39(10), pp.1053-1058.
17. Yeganehzad, S., Mazaheri Tehrani, M., Mohebbi, M., Najafi, H. and Baratian, Z., 2012. Effects of Replacing Skim Milk Powder with Soy Flour and Ball Mill Refining Time on Particle Size and Rheological Properties of Compound Chocolate. Journal of Agricultural Science and Technology, 15(1), pp.125-135.