تأثیر جای‌گزینی ساکاروز با اینولین و ترکیبات حجم دهنده روی ویژگی‌های رئولوژیکی و اندازه ذرات شکلات تلخ کم‌کالری

شکوفه بیطرف[۱]، سلیمان عباسی[۲*]، زهره حمیدی[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۹۲/۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۲/۴/۲۹)

چکیده

شکلات مذاب تلخ، تعلیقی متشکل از ذرات غیرچرب، شکر و کاکائو است که در کره‌ی کاکائو به عنوان فاز پیوسته پراکنده شده‌اند، لذا تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی شکلات در تولید محصولی با کیفیت بالا و بافت مناسب بسیار مهم می‌باشد. توزیع اندازه‌ی ذرات نیز یک شاخص کلیدی در ویژگی‌های رئولوژیکی شکلات است که به‌طور مستقیم بر پذیرش حسی شکلات موثر است. به همین دلیل در این بررسی تاثیر جای‌گزینی ساکاروز با یک ترکیب پری‌بیوتیک (اینولین) و دو ماده حجم‌دهنده (پلی دکستروز و مالتودکسترین) در نسبت‌های متفاوت (۰-۱۰۰) و سوکرالوز (به عنوان شیرین‌کننده) بر برخی ویژگی‌های رئولوژیکی شکلات تلخ پری‌بیوتیک مورد بررسی قرار گرفت. پاسخ‌های به دست آمده حاکی از آن بود که همه نمونه‌های شکلات دارای ویژگی تیکسوتروپیک بوده و رفتار شبه پلاستیک از خود نشان دادند. از بین مدل‌های ریاضی ارزیابی شده جهت پیشگویی ویژگی‌های رئولوژیکی شکلات، مدل کاسون مناسب‌ترین مدل برای این منظور تشخیص داده شد. جای‌گزینی ساکاروز تاثیر کمی بر ویژگی‌های ویسکوالاستیک نمونه‌ها داشت و گرانروی نمونه‌ها مستقل از زمان بود. اندازه ذرات نمونه‌های تولیدی نیز گرچه از نمونه تجاری بیشتر بود، اما زیر آستانه چشایی بود.

کلید واژگان: شکلات تلخ کم‌کالری؛ اینولین؛ پلی دکستروز؛ مالتودکسترین؛ ویژگی‌های رئولوژیکی؛ اندازه ذرات.

* مسئول مکاتبات: sabbasifood@modares.ac.ir

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

۱- مقدمه

امروزه با توجه به افزایش آگاهی مردم در مورد ضررهای مصرف زیاد قند، نگرانی افراد در مصرف شکلات با توجه به میزان کالری بالای آن افزایش یافته است. زیرا مصرف زیاد قند باعث چاقی شده و چاقی زمینه‌ساز بسیاری از بیماری‌ها مانند بیماری‌های قلبی، فشار خون بالا، کلسترول بالا، سکته و بعضی از سرطان‌ها می باشد [۱] به همین دلیل امروزه در میان تولیدکنندگان و مصرف کنندگان، شکلات‌های با کالری کاهش یافته از محبوبیت زیادی برخوردار شده‌اند [۲].

رئولوژی به عنوان علم مطالعه‌ی تغییرشکل و جریان مواد تعریف شده است. در تعریف کلاسیک، رئولوژی به دو بخش تغییرشکل (مربوط به مواد دارای ماهیت جامدمانند) و جریان (مربوط به مواد دارای ماهیت مایع مانند) تقسیم می‌گردد [۳]. از آنجایی‌که شکلات مذاب، تعلیقی متشکل از ذرات غیرچرب، شکر، کاکائو و شیر است که در کره‌ی کاکائو به عنوان فاز پیوسته پراکنده شده‌اند، لذا تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی شکلات به‌ویژه گرانروی و تنش تسلیم در تولید محصولی با کیفیت بالا و بافت مناسب بسیار مهم می‌باشد [٤]. گرانروی عبارت از اصطکاک درونی یک سیال یا تمایل آن به مقاومت در برابر جریان است و تنش تسلیم در مایعات نقطه‌ای است که این مواد با کاهش تنش اعمال شده ابتدا رفتاری مشابه مواد جامد نشان داده و سپس تغییر شکل متوقف می‌شود [۳]. از جمله عوامل تاثیرگذار بر این ویژگی‌های رئولوژیکی می‌توان به میزان چربی، میزان رطوبت، امولسیون‌کننده‌ها، اندازه‌ی ذرات، دما، زمان کونچ‌کردن و مشروط‌کردن دمایی اشاره کرد [۲]. در ادامه به نقش هر یک از این عوامل اشاره شده است.

اصولاً شکلات‌ها حاوی ۲۵ الی ۳۵ ٪ چربی می‌باشند. ولی بعضی پوشش‌های بستنی شکلاتی دارای مقدار بالاتری از چربی و بعضی از شکلات‌های ویژه مانند ورمیشل‌ها دارای چربی کم‌تری هستند [٤]. افزایش چربی به ویژه کره کاکائو سبب کاهش گرانروی و تنش تسلیم می‌شود [۵]. تاثیر افزایش درصد چربی روی گرانروی بستگی به مقدار چربی اولیه و اینکه کدام یک از پارامترهای گرانروی را در نظر بگیریم، دارد. مثلاً اگر چربی نمونه بالای ۳۲ درصد باشد، با افزودن ۱ درصد چربی تغییر بسیار اندکی در گرانروی صورت می‌گیرد ولی اگر چربی نمونه ۲۸ درصد باشد، افزایش ۱ درصد چربی تاثیر بسیار زیادی به خصوص بر گرانروی پلاستیک خواهد داشت. در مجموع تاثیر چربی بر گرانروی پلاستیک بیش از تنش تسلیم است [٦].

افزایش رطوبت موجب افزایش گرانروی و تنش تسلیم می‌شود. زیرا آب سبب تشکیل لایه‌ی شربت روی ذرات شکر شکلات شده و این امر سبب افزایش اصطکاک بین این ذرات می‌گردد. به ازای هر ۰/۳ درصد رطوبت اضافی در انتهای عملیات کونچ‌کردن باید ۱ درصد چربی بیشتر استفاده گردد که این امر خود سبب افزایش هزینه‌های تولید شکلات می‌شود [٤]. رطوبت موجود در شکلات نیز می‌تواند به صورت آزاد یا پیوندی باشد که هرچه رطوبت پیوندی بیشتر باشد، بهتر است [٦].

نقش عمده مواد امولسیون‌کننده، تشکیل یک پل بین دو ماده‌ی غیر قابل اختلاط (شکر و کره کاکائو) است. متداول‌ترین ماده‌ی امولسیون‌کننده در صنعت شکلات لسیتین است. افزودن لسیتین موجب کاهش گرانروی می‌گردد اما مقادیر بیش از حد لسیتین سبب تغییر ویژگی‌های جریانی می‌شود زیرا افزایش بیش از حد لسیتین تنش تسلیم را افزایش داده در حالی‌که گرانروی پلاستیک کاهش نمی‌یابد. مقدار لسیتینی که می‌تواند استفاده شود تا حدود زیادی به توزیع اندازه‌ی ذرات بستگی دارد [٦].

توزیع اندازه‌ی ذرات نیز یک شاخص کلیدی در ویژگی‌های رئولوژیکی شکلات است که به‌طور مستقیم بر پذیرش حسی شکلات موثر است. ذرات درشت به دلیل شنی بودن در احساس دهانی بسیار موثرند اما ذرات ریز به دلیل تاثیر بر ویژگی‌های جریانی شکلات مهم‌تر هستند [٦]. کاهش اندازه‌ی ذرات هم سبب افزایش گرانروی و تنش تسلیم می‌شود [۵]. در ضمن، معمولاً افزایش دما موجب کاهش گرانروی می‌گردد [۵ و ۷] و در هنگام کونچ‌کردن نیز به سبب افزودن امولسیفایرها و کاهش میزان رطوبت، میزان گرانروی و تنش تسلیم کاهش می‌یابند. لازم به ذکر است که حضور مقدار زیاد بلورهای چربی به دلیل مشروط‌کردن در دمای بالا نیز سبب کاهش حرکت مایع و در نتیجه افزایش گرانروی و تنش تسلیم می‌شود [۸].

رفتار جریانی شکلات مذاب به صورت غیرنیوتونی و همراه با تنش تسلیم بوده و به وسیله‌ی بعضی مدل‌های ریاضی شامل بینگهام (Bingham) (معادله ۱)، کاسون (Casson) (معادله ۲)، توان (Power) (معادله ۳)، هرشل-بالکلی (Herschel-Bulkley) (معادله ٤) و ویندهب (Windhab Model)

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

(معادله ۵) قابل بررسی می‌باشد.

معادله ۱) $\sigma = \eta_{pl}\ (\gamma^{\circ}) + \sigma_0$ معادله ۲) $(\sigma)^{0.5} = K_1(\gamma^{\circ})^{0.5} + (\sigma_0)^{0.5}$

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

معادله ٤) $\sigma = K\gamma^{\circ n} + \sigma_0$ معادله ۵) $\sigma = \sigma_0 + (\sigma_1-\sigma_0).[1- \exp(-\gamma^{\circ}/\gamma_* + \eta_\infty.\gamma^{\circ})]$

در این معادلات، σ= تنش برشی، σ_0 = تنش تسلیم، η_{pl} = گرانروی پلاستیک، γ°= سرعت برشی، K_1 = گرانروی کاسون، K = شاخص قوام، n = شاخص رفتار جریان، σ_1= تنش برشی خطی، η_∞ =گرانروی در نرخ برش‌های بالا و γ^* نرخ برشی مشخصه است.

با توجه به مطالب گفته شده و با توجه به نبود اطلاعات کافی در زمینه تاثیر جایگزینی شکر روی ویژگی های یاد شده در این بررسی در نظر است تاثیر جایگزینی ساکاروز با اینولین به عنوان یک ترکیب پری بیوتیک و برخی ترکیبات حجم دهنده روی برخی ویژگی های جریانی، رئولوژیکی و اندازه ذرات شکلات تلخ کم کالری مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

پودر کاکائو از شرکت Delfi (Johor Darul Takzim, Malaysia)، کره کاکائو از شرکت Cargill (Kuala Lumpor, Malaysia)، لسیتین از شرکت ADM (Illinois, USA)، ساکاروز از شرکت آرشه (تهران، ایران)، پودر وانیل از شرکت گل‌ها (تهران، ایران)، اینولین Frutafit IQ از شرکت Cosun- Sensus (Roosendaal, Netherlands)، پلی‌دکستروز Ultra Littes از شرکت Danisco (Bönningstedt, Germany)، مالتودکسترین مورد استفاده دارای معادل دکستروز (DE) ۱٦/۵ از شرکت دکستروز ایران (تهران، ایران) و سوکرالوز Splenda از شرکت Tate & Lyle (Alabama, USA) خریداری شدند.

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- روش تهیه نمونه‌های شکلات

جهت آماده‌سازی مواد، ابتدا پودر اینولین، پلی‌دکستروز، مالتودکسترین و شکر توسط آسیاب خانگی (Moulinex مدل 320 ساخت اسپانیا) خرد شدند. سپس از الک‌های آزمایشگاهی عبور داده شده و ذراتی که از الک مش ٤۰۰ (۳۸ میکرون) عبور کردند و روی الک مش٦۳۵ (۲۰ میکرون) باقی ماندند، برای تهیه شکلات استفاده شدند. سپس برای تهیه نمونه‌های ۱۰۰ گرمی شکلات تلخ کم‌کالری، نخست کره کاکائو (۲۰ گرم) را در آون (Memmert مدل UFE500 ساخت کشورآلمان) ٦۰ درجه سانتی‌گراد ذوب کرده سپس پودر کاکائو (۲٦/۲ گرم)، جایگزین‌های قند شامل اینولین، پلی-دکستروز و مالتودکسترین به تنهایی یا به شکل ترکیب با یکدیگر (٤۲/۸ گرم)، سوکرالوز (۰/۰۲ گرم) و وانیلین (۰/۵ گرم) به کره کاکائو ذوب شده اضافه شدند. مخلوط به دست آمده به وسیله مخلوط‌کن طراحی شده در آزمایشگاه با سرعت ۵۰ دور در دقیقه به مدت ٤ ساعت در حمام پارافین ٦۵ درجه سانتی‌گراد تحت عمل کونچ کردن قرار گرفت. در ضمن، به منظور اختلاط بهتر مواد و بهبود عملیات کونچ کردن تعدادی گوی فلزی به مخلوط فوق اضافه شد. باقیمانده کره کاکائو (۱۰ گرم) و لسیتین (۰/۵ گرم) در ۳۰ دقیقه نهایی کونچ کردن اضافه شدند [۲ و ۹]. نمونه‌های تهیه شده تا ۲٤ ساعت داخل آون ٦۰ درجه‌ی‌سانتی‌گراد نگهداری شدند، سپس دمای آن‌ها به ۵۵ درجه سانتی‌گراد کاهش و به مدت ۳۰ دقیقه در این دما باقی ماندند. جهت انجام عملیات مشروط کردن دمایی (Tempering) در حین مخلوط‌کردن توسط مخلوط‌کن، دمای نمونه‌ها در مدت ۲۰-۲۵ دقیقه به ۲۸ درجه‌ی سانتی‌گراد رسانده شد و در این دما به مدت ۱۰ دقیقه نگهداری شدند. سپس ۵ دقیقه قبل از انتقال نمونه‌ها به قالب‌های پلاستیکی دما تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. پس از طی این مدت نمونه‌ها به قالب منتقل شدند و در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شدند. پس از خروج از قالب، نمونه‌ها درون ورق‌های آلومینیومی بسته‌بندی و تا زمان انجام آزمایشات در یخچال نگهداری شدند [۵ و ۱۰]. نمونه شاهد نیز همانند روش بالا تهیه شد با این تفاوت که در ترکیب آن به جای جای‌گزین‌های قند از ساکاروز استفاده شد.

۲-۲-۲- اندازه‌گیری ویژگی‌های رئولوژیکی شکلات

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های جریانی و گرانروی نمونه‌ها از دستگاه رئومتر Physica Anton Paar مدل MCR 300 ساخت کشور اتریش، مجهز به ژئومتری استوانه‌های هم‌مرکز مدل CC27 استفاده شد. این ژئومتری متشکل از یک شاقول

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

(Bob) با سطح مقطع دایره‌ای است که به صورت هم‌محور داخل یک فنجانک (Cup) حاوی سیال مورد آزمایش قرار گرفته و با دوران دادن شاقول یا فنجانک میزان کشیده شدن سیال روی گلوله توسط حس‌گرهای گشتاور پیچشی (Torque sensor) اندازه‌گیری می‌شود [۳ و ۷]. اندازه‌گیری‌ها مطابق روش فرزان‌مهر و همکاران انجام شد. ابتدا نمونه‌های شکلات در ظرفی دربسته حداقل به مدت ۷۵ دقیقه داخل آون ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس نمونه‌های ذوب‌شده درون فنجانک ژئومتری استوانه‌های هم‌مرکز ریخته شدند. بعد از قرار دادن استوانه داخلی و قبل از شروع اندازه‌گیری‌ها نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ٤۰ درجه‌ی سانتی‌گراد با سرعت برشی S^{-1} ۵ هم‌زده شدند. سپس در دمای ٤۰ درجه‌ی سانتی‌گراد میزان تغییرات تنش برشی به عنوان تابعی از سرعت برشی در دامنه‌ی ۰/۰۱ تا S^{-1} ٦۰ (شیب افزایشی) و ٦۰ تا S^{-1} ۰/۰۱ (شیب کاهشی) هرکدام در مدت ۳ دقیقه اندازه‌گیری شد. سپس تطابق داده‌های تجربی با مدل‌های ریاضی بینگهام، کاسون، توان، هرشل- بالکلی و ویندهب که به اختصار در مقدمه توضیح داده شدند مورد بررسی قرار گرفت. سپس، مناسب‌ترین مدل ریاضی بر اساس شاخص‌های ضریب تعیین r^2، RMSE و χ^2 انتخاب و نهایتا شاخص‌های رئولوژیکی برای هر یک از نمونه‌ها گزارش شد [٤ و ۷ و ۹].

به منظور بررسی ویژگی‌های ویسکوالاستیک نمونه‌ها نیز از آزمون‌های نوسانی استفاده شد. برای این منظور، روند تغییرات ضریب ذخیره، G' (Storage modulus) و ضریب افت، G'' (Loss modulus) به صورت تابعی از بسامد زاویه‌ای، در محدوده‌ی ۰/۰۱- ۱۰۰۰ رادیان بر ثانیه (rad/s) در دمای ٤۰ درجه‌ی سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. جهت انجام آزمایش در ناحیه‌ی خطی ویسکوالاستیک، میزان کرنش اعمال شده (Strain) ۰/۰۱ درصد بود. پس از انجام این مرحله تغییرات ضرایب ذخیره و افت (G' و G'') به صورت تابعی از زمان در بسامد ۱ هرتز (Hz) و میزان کرنش ۰/۰۱ درصد مورد بررسی قرار گرفت [۳ و ۷].

به منظور بررسی تغییرات ویسکوزیته نمونه‌های شکلات در طول زمان نیز از آزمون تیکسوتروپی (thixotropic test) استفاده شد. برای این منظور، روند تغییرات ویسکوزیته در طول زمان در سرعت برشی ثابت S^{-1} ۵۰ (سرعت برشی اعمال شده در حفره دهانی) در دمای ٤۰ درجه‌ی سانتی‌گراد در مدت ١٦ دقیقه بررسی شد [۳].

۲-۲-۳- تعیین اندازه ذرات

برای تعیین اندازه ذرات نمونه‌های شکلات از دستگاه Master sizer (Malvernمدل ۲۰۰۰ ساخت انگلیس) استفاده شد. ابتدا حدود ۰/۲ گرم نمونه در ۱۰ سی‌سی اتانول حل شد، سپس به مدت ۲ دقیقه در حمام اولتراسوند (Tecna 3 ، ساخت ایتالیا) با شدت پایین و دمای محیط قرار گرفت تا در حلال به خوبی حل و پراکنده شود. در مرحله بعد چند قطره از مخلوط حاصل به سل دستگاه اضافه گردید. باید توجه داشت که در داخل دستگاه نیز از اتانول به عنوان حلال استفاده شد [۱۱].

۲-۳- تجزیه و تحلیل آماری

برای ارزیابی آماری داده‌ها از نرم افزار SPSS 16.0 (SPSS Inc.) استفاده گردید. به منظور بررسی معنی‌دار بودن اختلاف موجود بین میانگین‌ها در آزمون‌های دستگاهی از روش ANOVA و جهت تعیین اختلافات از روش مقایسه چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. به‌علاوه، رسم نمودارها با کمک نرم افزار EXCEL انجام گرفت. هم‌چنین، اطلاعات به‌دست آمده از آزمایش‌های رئولوژیکی با استفاده از نرم افزارهای EXCEL و MATLAB 2008a به منظور تعیین مدل ریاضی مناسب مورد پردازش قرار گرفته و در این راستا از رگرسیون‌های خطی و غیرخطی استفاده گردید.

۳- یافته ها و بحث

۳-۱- تعیین مدل ریاضی

به منظور دست‌یابی به مدل ریاضی مطلوب و قابل استفاده برای بررسی رفتار جریانی نمونه‌های شکلات تلخ کم‌کالری، داده‌های به‌دست آمده از آزمون‌های رئولوژیکی (مد بالارونده) با مدل‌های بینگهام، توان، هرشل- بالکلی، کاسون و ویندهب مورد بررسی قرار گرفتند. مناسب‌ترین مدل با توجه به ضریب تعیین (r^2)، ریشه دوم خطای میانگین از استاندارد (RMSE: Root Mean Standard Error) و χ^2 انتخاب شد. چون ضریب تعیین (r^2) مدل کاسون برای همه نمونه‌ها بالای ۹۹ درصد بود و بین نمونه‌ها تفاوت زیادی مشاهده نشد، مدل کاسون به عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب شد (**جدول ۱**).

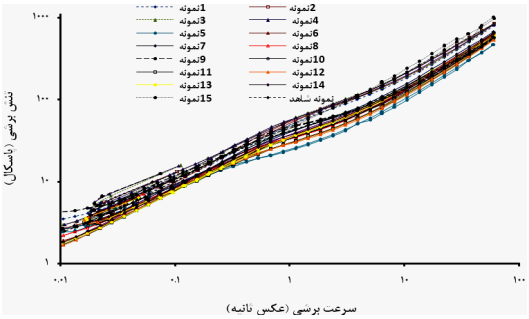
[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

جدول ۱ مقایسه تاثیر جایگزین‌های قند بر میزان برازش داده‌های رئولوژیکی شکلات‌های تلخ با مدل‌های ریاضی متداول

نمونه	شاخص‌ها	مدل‌های ریاضی					نمونه	شاخص‌ها	مدل‌های ریاضی				
		بینگهام	توان	هرشل-بالکلی	کلسون	ویندهب			بینگهام	توان	هرشل-بالکلی	کلسون	ویندهب
	RMSE	۲۶/۱	۶/۲۴۹	۴/۴۲۸	۱۱/۴۱	۷/۳۹		RMSE	۱۴/۳۸	۱۱/۳۷	۷/۵۴۸	۵/۸۰۱	۲/۹۸۴
۱	r^2	۰/۹۸۴۷	۰/۹۹۹۱	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۷	۰/۹۹۸۷	۹	r^2	۰/۹۸۹۴	۰/۹۹۳۴	۰/۹۹۷۲	۰/۹۹۸۳	۰/۹۹۹۵
	χ^2	۶۸۱	۳۹/۰۵	۱۹/۱۸	۱۳۰/۰۸	۵۴/۶۲		χ^2	۲۶۰/۹۱	۱۲۹/۲۹	۵۶/۹۶	۳۳/۶۴۷	۸/۹
	RMSE	۲۳/۰۷	۹/۱۷	۶/۸۳۹	۸/۸۵۶	۲۲/۸۷		RMSE	۱۰/۹۸	۷/۷۳۸	۵/۰۰۳	۳/۴۵۱	۲/۶۸۴
۲	r^2	۰/۹۸۸۲	۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸۳	۰/۹۸۹۱	۱۰	r^2	۰/۹۹۳۹	۰/۹۹۷	۰/۹۹۸۸	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۹۷
	χ^2	۵۳۲/۴۱	۸۴/۰۸	۴۶/۷۵	۶۶/۶۷۶	۵۲۳/۰۸		χ^2	۱۲۰/۶۴	۵۹/۸۸	۲۵/۰۲	۱۱/۹	۷/۲
	RMSE	۲۳/۹۸	۱۰/۷۶	۷/۷۹۷	۹/۱۵۱	۲۳/۶		RMSE	۹/۳۳۲	۶/۸۴۴	۴/۱۲۲	۲/۷۰۶	۲/۷۸۱
۳	r^2	۰/۹۸۷۲	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۸۶	۰/۹۹۸۱	۰/۹۸۸۳	۱۱	r^2	۰/۹۹۵۱	۰/۹۹۷۳	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹۶	۰/۹۹۹۵
	χ^2	۵۷۵/۰۲	۱۱۵/۷۳	۶۰/۷۸	۸۳/۷۳۵	۵۵۶/۹		χ^2	۷۸/۰۸	۴۶/۸۵	۱۶/۹۸	۷/۳۲۳	۷/۷۳
	RMSE	۲۵/۱	۹/۵۴۸	۶/۷۷۶	۹/۹۸۵	۲۳/۸۱		RMSE	۸/۸۹۷	۷/۰۴	۴/۰۹۵	۲/۶۹	۲/۸۵۷
۴	r^2	۰/۹۸۴۹	۰/۹۹۷۸	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۷۶	۰/۹۸۷۲	۱۲	r^2	۰/۹۹۵۴	۰/۹۹۷۱	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹۶	۰/۹۹۹۵
	χ^2	۶۳۰/۳۲	۹۱/۱۷	۴۵/۹	۹۹/۷۰۵	۵۶۶/۹		χ^2	۷۹/۱۴	۴۹/۵۵	۱۶/۷۶	۷/۶۷۶	۸/۱۶
	RMSE	–	–	–	۲/۰۵۳	–		RMSE	۱۳/۰۶	۶/۷۶۶	۴/۴۳۹	۴/۰۱۷	۳/۹۱۲
۵	r^2	–	–	–	۰/۹۹۹۷	–	۱۳	r^2	۰/۹۹۳	۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۹۲	۰/۹۹۹۳	۰/۹۹۹۴
	χ^2	–	–	–	۴/۲۱۴	–		χ^2	۱۶۹/۹۷	۴۵/۷۹	۱۹/۷۰	۱۶/۱۳۵	۱۵/۳۰
	RMSE	۱۲/۲	۷/۷۴۲	۵/۱۲۱	۳/۸۰۹	۲/۹۸۹		RMSE	۱۳/۰۸	۸/۱۰۲	۵/۳۱	۴/۰۹۷	۳/۶۱۱
۶	r^2	۰/۹۹۳۳	۰/۹۹۷۳	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۹۳	۰/۹۹۹۶	۱۴	r^2	۰/۹۹۳۱	۰/۹۹۷۳	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۹۳	۰/۹۹۹۵
	χ^2	۱۴۸/۷۳	۵۹/۹۴	۲۶/۲۳	۱۴/۵۱۱	۸/۹۳		χ^2	۱۷۱/۰۲	۶۵/۶۴	۲۸/۱۹	۱۶/۷۸۲	۱۳/۰۳
	RMSE	۱۴/۴۳	۸/۳۶۸	۵/۵	۴/۴۶۴	۴/۲۵۲		RMSE	۲۹/۵	۲۱/۹۷	۲۱/۷۲	۲۱/۶۷	۲۰/۳۵
۷	r^2	۰/۹۹۲۴	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۹۲	۰/۹۹۹۴	۱۵	r^2	۰/۹۸۱۸	۰/۹۹۰۲	۰/۹۹۰۷	۰/۹۹۰۵	۰/۹۹۲۱
	χ^2	۲۸۰/۱۴	۷۰/۰۲	۳۰/۲۴	۲۱/۵۸	۱۸/۰۷		χ^2	۸۷۰/۱۹	۴۸۲/۸	۴۷۱/۵۸	۴۶۹/۷۹	۴۱۴/۲۰
	RMSE	۸/۸۸	۸/۱۸۱	۴/۹۹۸	۳/۷۶۸	۳/۳۸۹		RMSE	۱۶/۵۳	۸/۶۴	۵/۷	۵/۹۹	۱۷/۰۷
۸	r^2	۰/۹۹۶۸	۰/۹۹۷۳	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۹۵	شاهد	r^2	۰/۹۸۶۷	۰/۹۹۶۳	۰/۹۹۸۴	۰/۹۹۸۳	۰/۹۸۶۶
	χ^2	۷۸/۸۵	۶۶/۹۱	۲۴/۹۸	۱۵/۰۲	۱۱/۴۸		χ^2	۲۷۳/۳۸	۷۴/۷۹	۳۱/۵۲	۳۵/۳۲۳	۲۷۴/۳۲

۳-۲- بررسی رفتار جریانی شکلات

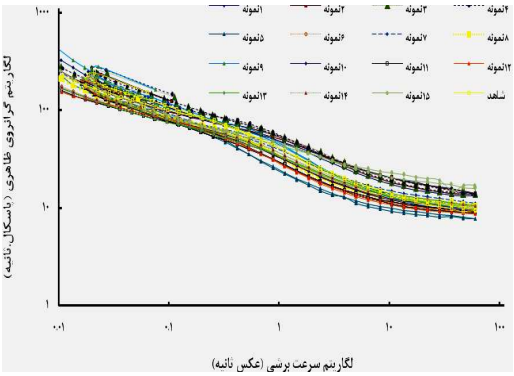
جهت بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی از نمودار تنش برشی در برابر سرعت برشی استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود حلقه‌ی پس‌ماند (Hystersis loop) در تمامی نمونه‌ها بین دو نمودار افزایش و کاهش سرعت برشی مشاهده شد و هنگامی که سرعت برشی از ۶۰ به $۰/۰۱\ s^{-1}$ کاهش یافت، مقادیر تنش برشی و گرانروی نیز در سرعت‌های برشی یکسان نسبت به حالت افزایشی (از ۰/۰۱ به $۶۰\ s^{-1}$)، کاهش یافت. این رفتار به طبیعت ماده‌ی مورد آزمایش بستگی داشته و نشان‌دهنده‌ی ویژگی تیکسوتروپیک در سیالات وابسته به زمان می‌باشد [۳]. ویژگی تیکسوتروپیک قبلاً نیز در شکلات ثابت شده است [۲ و ۹ و۱۲]. بر اساس پیشنهادهای ارائه شده توسط IOCCC می‌توان با افزایش زمان انتظار قبل از انجام اندازه‌گیری‌ها، میزان جابه‌جایی بین نمودارهای بالارونده و پایین رونده را کاهش داد. در برخی موارد، تیکسوتروپی مشاهده شده ممکن است ناشی از اثر لغزش نمونه روی دیواره‌های ژئومتری باشد. اگر دیواره‌ی ژئومتری دارای سطح مواج باشد کاهش در تنش برشی تقریباً به‌طور کامل از بین خواهد رفت [۷ و ۸].



شکل ۱ تاثیر نسبت‌های مختلف (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ درصد) جایگزین‌های قند (اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین) روی

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

نمودار تنش برشی – سرعت برشی شکلات‌های تلخ کم‌کالری در حالت‌های افزایشی و کاهشی (۰/۰۱ تا s^{-1} ۶۰ و ۶۰ تا s^{-1} ۰/۰۱)



شکل۲ تاثیر نسبت‌های مختلف (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ درصد) جایگزین‌های قند (اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین) روی نمودار گرانروی– سرعت برشی شکلات‌های تلخ کم‌کالری در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد

در شکل ۲ تغییرات گرانروی بر حسب سرعت برشی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود شکلات تلخ تولیدی رفتار شبه پلاستیک (pseudoplastic) دارد. یعنی گرانروی در سرعت‌های برشی پایین بالا بوده و با افزایش جزئی سرعت برشی کاهش می‌یابد. هم‌چنین، در شکل دیده می‌شود که پس از طی دو چرخه لگاریتمی این تغییرات تقریباً متوقف شده و میزان گرانروی ظاهری به مقداری ثابت رسیده و افزایش بیش‌تر سرعت برشی تاثیری بر میزان گرانروی ظاهری نمونه‌ها ندارد. در راستای این نتایج، Servais و همکاران بیان کردند که گرانروی شکلات با افزایش سرعت برشی کاهش می‌یابد و در سرعت‌های برشی بالا گرانروی مستقل از سرعت برشی (Newtonian plateau) می‌شود [۹ و ۱۳ و ۱۴].

جدول ۲ مقایسه تاثیر نسبت‌های مختلف جایگزین‌های قند روی مقادیر متغیرهای مدل رئولوژیکی کاسون در شکلات تلخ کم‌کالری

شماره نمونه	ساکاروز (گرم در صد)	اینولین (گرم در صد)	پلی‌دکستروز (گرم در صد)	مالتودکسترین (گرم در صد)	گرانروی ظاهری (پاسکال.ثانیه)	گرانروی کاسون (پاسکال.ثانیه)$^{0.5}$	تنش تسلیم (پاسکال)
۱	۰	۰	۰	۴۲/۸	۱۴/۷	۳/۳۰	۱۳/۸۲
۲	۰	۰	۱۰/۷	۳۲/۱	۱۴/۹	۳/۳۳	۱۲/۷۶
۳	۰	۰	۲۱/۴	۲۱/۴	۱۴/۹	۳/۳۰	۱۴/۴۳
۴	۰	۰	۳۲/۱	۱۰/۷	۱۴/۲	۳/۲۲	۱۵/۳۳
۵	۰	۰	۴۲/۸	۰	۸/۱	۲/۵۳	۴/۵۳
۶	۰	۱۰/۷	۰	۳۲/۱	۱۰/۵	۲/۸۵	۶/۹۶
۷	۰	۱۰/۷	۱۰/۷	۲۱/۴	۱۱/۶	۲/۹۶	۸/۳۳
۸	۰	۱۰/۷	۲۱/۴	۱۰/۷	۱۱/۱	۳/۰۰	۴/۷
۹	۰	۱۰/۷	۳۲/۱	۰	۹/۹۷	۲/۶۷	۱۰/۷۳
۱۰	۰	۲۱/۴	۰	۲۱/۴	۹/۹۱	۲/۷۷	۶/۴۴
۱۱	۰	۲۱/۴	۱۰/۷	۱۰/۷	۹/۳۶	۲/۷۱	۵/۳۶
۱۲	۰	۲۱/۴	۲۱/۴	۰	۹/۲۱	۲/۶۹	۵/۲۸
۱۳	۰	۳۲/۱	۰	۱۰/۷	۱۰/۸	۲/۹۲	۶/۹۵
۱۴	۰	۳۲/۱	۱۰/۷	۰	۱۱/۱	۲/۹۵	۷/۵۱
۱۵	۰	۴۲/۸	۰	۰	۱۴/۹	۳/۶۹	۹/۵۶
شاهد	۴۲/۸	۰	۰	۰	۱۰/۱	۲/۶۹	۱۱/۲۵

گرانروی کاسون نمونه‌های مختلف در جدول ۲ مقایسه شده است. گرانروی کاسون دو نمونه ۵ و ۹ پایین‌تر و گرانروی کاسون نمونه ۱۲ مشابه نمونه شاهد بود. از آنجایی‌که نمونه ۵، ۹ و ۱۲ به ترتیب دارای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد پلی‌دکستروز و ۰، ۲۵ و ۵۰ درصد اینولین بودند شاید بتوان نتیجه گرفت پلی-دکستروز و اینولین بیش‌تر از مالتودکسترین موجب کاهش گرانروی شده است. کاهش گرانروی در ترکیبات حاوی اینولین و پلی‌دکستروز قبلاً نیز گزارش شده است. به طوری که در پژوهش Shah و همکاران نیز بعضی از نمونه‌های شکلات

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

کم‌کالری حاوی اینولین و پلی‌دکستروز گرانروی کم‌تری از نمونه شاهد داشتند البته گرانروی نمونه‌هایی که دارای اینولین با درجه پلیمریزاسیون بسیار بالا بودند، بسیار بیش‌تر از نمونه شاهد بود [۱۵]. احتمالا چون در بررسی حاضر این نمونه دارای ۱۰۰ درصد اینولین می‌باشد، لذا شاید این گرانروی بالا به جاذب‌الرطوبه بودن اینولین و اتصال به مولکول‌های آب مربوط باشد که از کاهش رطوبت در مرحله کونچ‌کردن و سایر مراحل تولید شکلات جلوگیری می‌کند. همان‌طور که قبلاً دیده شد این نمونه دارای درصد رطوبت بالایی نیز بود. در مطالعه‌ای

که تأثیر کاربرد D-تاگاتوز و اینولین به عنوان جای‌گزین ساکارز بر بعضی ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی شکلات تیره بررسی شد نیز نتایج نشان داد که با کاهش میزان اینولین در نمونه‌ها، گرانروی ظاهری و پلاستیک کاهش یافت [۱۳]. این اثر در پژوهش فرزان‌مهر و همکاران نیز تایید شد [۵]. پس از نمونه ۱۵ به ترتیب نمونه‌های ۲، ۱ و ۳ دارای گرانروی بالا-تری بودند. البته نمونه ۱و۳ دارای گرانروی برابر بودند. همان-طور که قبلاً دیده شد نمونه ۱ دارای بالاترین میزان رطوبت در میان نمونه‌ها بود و نمونه‌های ۲و ۳ نیز دارای درصد رطوبت بالایی بودند بنابراین، شاید بتوان این رطوبت بالا را دلیل افزایش گرانروی این نمونه‌ها دانست.

نمونه‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب دارای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد مالتودکسترین هستند. افزایش گرانروی در ترکیبات دارای مالتودکسترین قبلاً نیز گزارش شده است. در تحقیقی که روی بررسی افزودن مالتودکسترین بر پایداری امولسیون‌های روغن در آب انجام شد، مالتودکسترین سبب افزایش گرانروی شد [۱۶]. علاوه بر ویژگی جاذب‌الرطوبه بودن مالتودکسترین که ممکن است یکی از دلایل گرانروی بالاتر این نمونه‌ها باشد، دلیل دیگر این امر ممکن است پدیده‌ی تجمع تخلیه‌ای در نسبت‌های بالای مالتودکسترین باشد. Klinkesorn و همکاران در تحقیقی که روی پایداری امولسیون‌های روغن ذرت در آب حاوی مالتودکسترین انجام دادند نشان دادند که مالتودکسترین در غلظت‌های بالاتر از غلظت بحرانی سبب افزایش گرانروی می‌گردد و علت این پدیده را تجمع تخلیه‌ای (Depletion flocculation) بیان نمودند [۱۷]. زیرا زمانی که ذرات تجمع پیدا می‌کنند، گرانروی به دلیل درگیر شدن فاز پیوسته در میان ذرات توده شده افزایش می‌یابد. در بررسی اخیر هم به نظر می‌رسد غلظت بحرانی در حدود ۵۰ درصد باشد. پس از این ۳ نمونه به ترتیب نمونه‌های ٤، ۸، ۷، ١٤، ١٣، ٦، ١٠ و ١١ دارای گرانروی بالایی بودند. نمونه ٤، ۸ و ۷ دارای درصد پلی‌دکستروز بالایی هستند. پس علاوه بر جاذب-الرطوبه بودن این ترکیب وزن مولکولی بالای آن نیز ممکن است دلیل گرانروی بالای این نمونه‌ها باشد. همان طور که قبلاً گفته شد نمونه ١٤ دارای کم‌ترین میزان رطوبت در بین نمونه‌ها بود بنابراین، گرانروی بالای این نمونه را می‌توان به رطوبت کم آن نسبت داد. در ضمن، میزان گرانروی کاسون برای شکلات تلخ بین ۲/۱ تا ۳/۹ پاسکال.ثانیه گزارش شده است [۱۸]، که گرانروی تمامی نمونه‌ها در این محدوده می-باشند.

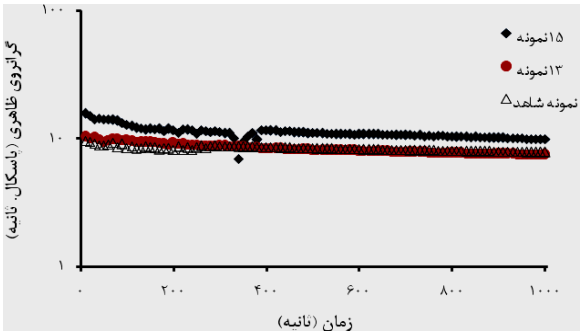
تنش تسلیم نیز یکی از ویژگی‌هایی است که نشان دهنده حداقل تنش برشی لازم برای جریان یافتن ماده می‌باشد [۱۵]. مقادیر تنش تسلیم محاسبه شده برای نمونه‌های مورد آزمون نیز در جدول ۱ نشان داده شده است. تنش تسلیم کاسون برای شکلات تلخ بین ٤-۳۲ پاسکال گزارش شده است [۱۸] که تمامی نمونه‌ها در این محدوده قرار دارند. تقریباً تمامی نمونه-ها (به استثنای نمونه ۱و ۲) دارای تنش تسلیم کم‌تری از نمونه شاهد هستند. پس می‌توان نتیجه گرفت که جای‌گزینی ساکاروز با ترکیبات جای‌گزین سبب کاهش تنش تسلیم شده است. کم‌ترین تنش تسلیم هم به ترتیب مربوط به نمونه‌های ۵، ۸ و ۱۲ می‌باشد. چون نمونه ۵، ۱۰۰درصد و نمونه ۸ و ۱۲، ۵۰ درصد پلی‌دکستروز دارند می‌توان نتیجه گرفت پلی-دکستروز بیش از دو ترکیب دیگر سبب کاهش تنش تسلیم شده است. بیش‌ترین تنش تسلیم نیز مربوط به نمونه‌های ۱ و ۲ بود که به ترتیب دارای ۱۰۰ و ۷۵ درصد مالتودکسترین بودند. اصولاً میزان تنش تسلیم به عوامل مختلفی بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به: ۱- اندازه ذرات: با افزایش اندازه ذرات تنش تسلیم به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد، ۲- دما و زمان کونچ‌کردن [۲] ۳-میزان لسیتین [۱۹] و با توجه به یافته‌های این بررسی احتمالاً به جای‌گزینی ساکاروز با اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین اشاره کرد که البته کاهش تنش تسلیم با استفاده از اینولین به عنوان ترکیب پرکننده در تهیه شکلات قبلاً نیز گزارش شده است [۲۰]. در پژوهش فرزان‌مهر و همکاران نیز تنش تسلیم نمونه شاهد از تمامی نمونه‌ها بیشتر بود [۵]. در بررسی که Shah و همکاران روی تولید شکلات کم‌کالری با استفاده از استویا به عنوان شیرین‌کننده و اینولین و پلی‌دکستروز به عنوان پرکننده انجام دادند نیز کاهش تنش تسلیم مشاهده شد [۱۵].

همان طور که دیده می‌شود نمونه‌های ۵، ۱۲، ۱۱، ۱۰ و ۹ به ترتیب دارای کم‌ترین میزان گرانروی ظاهری می‌باشند به‌طوری که گرانروی ظاهری آن‌ها از نمونه شاهد نیز کم‌تر است. نمونه-

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

هـای ٦، ١٣، ٨، ١٤، ٧، ١، ٢، ٣ و ١٥ هـم بـه ترتیـب دارای گرانروی ظاهری بیش‌تری هستند که دلایل این روند در بخش مربوط به گرانروی کاسون توضیح داده شده است.

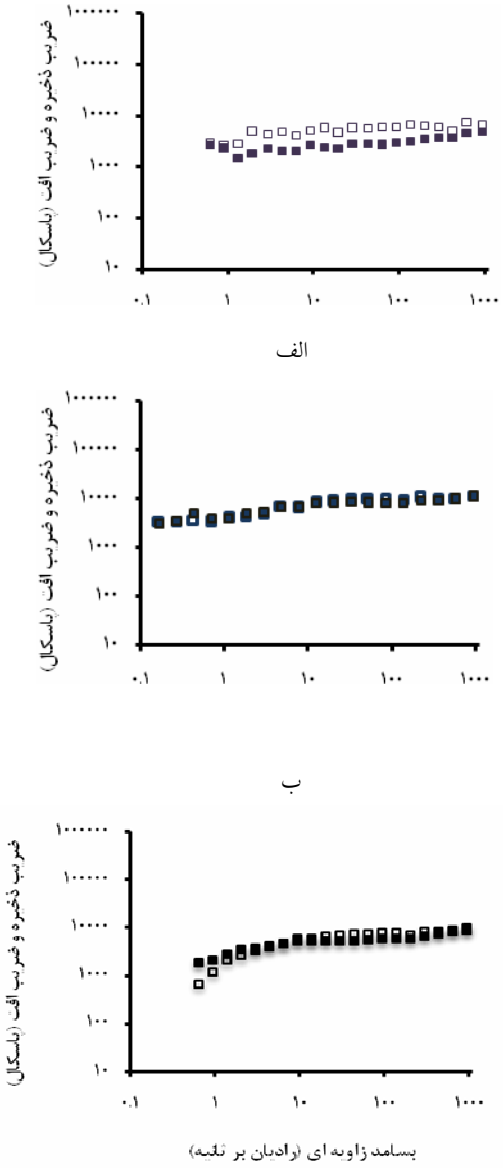
در شکل ٣ گرانروی ظـاهری نمونـه‌هـای ١٣، ١٥ و شـاهد در سرعت برشی ثابـت ٥٠ s^{-1} در مقابـل زمـان نـشان داده شـده است. همان‌طور که مشاهده می‌شـود گرانـروی ایـن نمونـه‌هـا مستقل از زمان بوده و با گذشت زمان تغییـری نمـی‌کنـد. ایـن موضوع مویـد نتـایج ارائـه شـده در شـکل ١ اسـت کـه رفتـار تیکسوتروپیک یا نرم شوندگی برشـی محـسوسی در نمونـه‌هـا مشاهده نشد و در اغلب مـوارد نمودارهـای رفـت و برگـشتی روی هم‌دیگر منطبق بودند.



شکل ٣ مقایسه نمودار گرانروی به صورت تابعی از زمان برای نمونه‌های ● ١٣، ◆ ١٥ و Δ شاهد) شکلات تلخ کم‌کالری در دمای ٤٠ درجه سانتی‌گراد و سرعت برشی ثابت ($50s^{-1}$)

٣-٣- بررسی نتایج آزمون نوسانی

آزمون نوسانی (Oscillatory testing) متـداول‌تـرین روش مطالعه‌ی رفتار ویسکوالاستیک مواد غذایی است که از نتایج آن می‌توان برای بررسی ترکیب شیمیایی و ساختار فیزیکـی مـواد نیز استفاده نمـود. بـرای تعیـین ویژگـی‌هـای ویـسکوالاستیک نمونه‌ها از دو عامل ضریب ذخیره (G') و ضریب افـت (G'') استفاده می‌شود. ضریب ذخیره بزرگی انـرژی ذخیـره شـده در ماده و ضریب افت بزرگی انرژی تلف شده را نشان مـی‌دهنـد. از این‌رو، برای یک ماده الاستیک کامل که تمام انـرژی اعمـال شده را ذخیره کند مقدار G'' صفر است. هم‌چنـین، در مـایعی که فاقد هرگونه ویژگی الاستیک است تمام انرژی بـه صـورت گرما تلف شده و G' برابر صفر خواهد بود. مواد غـذایی بـین ایـن دو حالـت بـوده و ویـسکوالاستیک هـستند [٧]. پـس از بررسی نتایج حاصل از ارزیابی حسی دو نمونه (١٣ و ١٥) کـه از نظر ارزیاب‌ها به نمونه شاهد نزدیک‌تر بودند به منظور انجام آزمون نوسانی انتخاب شدند. شکل ٤ نتایج آزمون نوسانی این دو نمونه را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود در نمونـه ١٣ ضریب ذخیره بیش‌تر از ضریب افت و نـشان مـی‌دهـد در این نمونه رفتار جامد مانند، حاکم است. در نمونـه ١٥ نیـز در اکثر نواحی نمودار ضریب ذخیره بیش‌تر از ضریب افت اسـت فقط در بعضی نواحی ضـریب ذخیـره و افـت بـر هـم منطبـق هستند که نشان می‌دهد رفتار جامدمانند آن از نمونه ١٣ کمتـر است. در نمودار نمونه شاهد نیز به جز چند نقطه در بقیه نقاط ضریب ذخیره بیش‌تر از ضریب افت است و این نشان می‌دهد جای‌گزینی ساکاروز با اینولین، پلی‌دکـستروز و مالتودکـسترین تاحدودی بر ویژگی‌های ویسکوالاستیک نمونه‌ها اثـر گذاشـته است.



شکل ٤ تاثیر نسبت‌های مختلف جایگزین‌های قند روی ضرایب افت و ذخیره (■:G'' و □:G') به صورت تابعی از بسامد زاویه‌ای برای نمونه‌های شکلات تلخ کم‌کالری اندازه‌گیری شده در دمای ٤٠ درجه‌ی سانتی‌گراد و میزان کرنش ٠/٠١ درصد (الف: نمونه ١٣، ب: نمونه ١٥ و ج: نمونه شاهد).

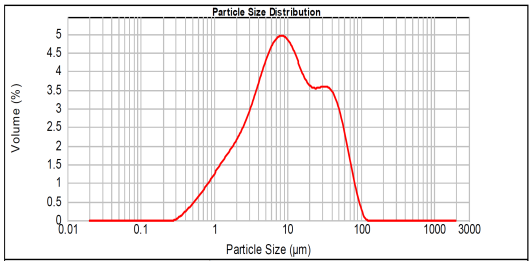
[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

۳-٤- اندازه ذرات

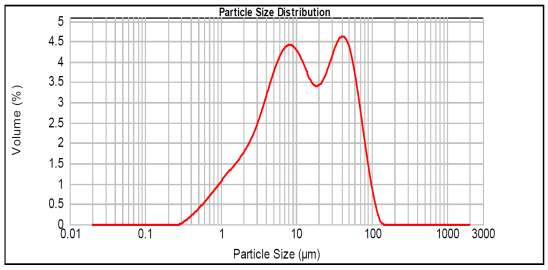
توزیع اندازه‌ی ذرات یک شاخص کلیدی در ویژگی‌های رئولوژیکی شکلات است که به‌طور مستقیم بر پذیرش حسی شکلات موثر است. ذرات درشت به دلیل شنی بودن در احساس دهانی بسیار موثرند اما ذرات ریز به دلیل تاثیر بر ویژگی‌های جریانی شکلات مهم‌تر هستند [٦]. کاهش اندازه‌ی ذرات سبب افزایش گرانروی و تنش تسلیم می‌شود [٥]. ذرات درشت (d90) در ایجاد احساس دهانی بسیار مهم هستند در حالی که ذرات ریز بر ویژگی‌های جریانی تاثیر دارند. با توجه به استاندارهای موجود میانگین اندازه‌ی ذرات شکلات قابل پذیرش در آمریکا بین ۳۰-۳۵ میکرون و حداکثر ۵۰ میکرون و در اروپا بین ۲۰-۲۳ میکرون و حداکثر ۳۵-٤۰ میکرون است [۱۱].

نتایج تعیین اندازه ذرات نمونه‌های ۱۳، ۱۵ و شاهد (یک نمونه تجاری) در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود متوسط اندازه ذرات هر دو نمونه از نمونه شاهد بیش‌تر است که این احتمالاً به دلیل جاذب الرطوبه بودن اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین و جذب رطوبت در مرحله کونچ‌کردن و سایر مراحل تولید و نگه‌داری می‌باشد. زیرا این مواد پس از جذب رطوبت به هم چسبیده و ذرات درشت‌تری را تولید می‌کنند. نمونه ۱۵ که حاوی ۱۰۰ درصد اینولین است نیز متوسط اندازه ذرات کم‌تری از نمونه ۱۳ با ۷۵ درصد اینولین و ۲۵ درصد مالتودکسترین دارد. درصد رطوبت اینولین کم‌تر از دو حجم‌دهنده دیگر است، بنابراین شاید کم‌تر بودن اندازه ذرات نمونه ۱۵ با ۱۰۰ درصد اینولین نسبت به نمونه ۱۳ به این دلیل باشد. در صنعت شکلات سازی در مرحله کاهش اندازه ذرات با استفاده از ترکیبی از دو یا پنج غلتک، اندازه ذرات شکلات را کاهش می‌دهند در صورتی که نمونه‌های این بررسی در شرایط آزمایشگاهی تولید و شاید بیش‌تر بودن اندازه ذرات نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد به این دلیل باشد.

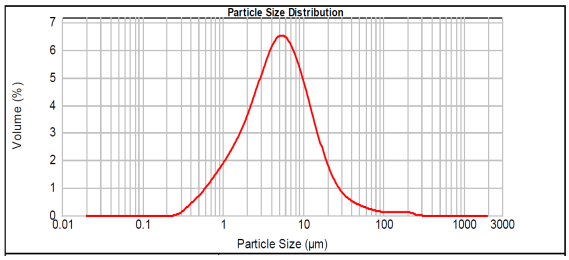
در شکل ۵ منحنی توزیع اندازه ذرات نمونه‌های ۱۳، ۱۵ و شاهد نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود منحنی مربوط به نمونه شاهد دارای منحنی زنگوله‌ای شکل و توزیع نرمالی است. در حالی که نمونه ۱۵ و پس از آن نمونه ۱۳ دارای منحنی غیر یکنواختی هستند. ساکاروز حدود٤۰-۵۰ درصد از ذرات جامد معلق در چربی موجود در شکلات را تشکیل می‌دهد بنابراین، ویژگی‌های عملکردی آن شامل شیرینی، پایداری، توزیع اندازه ذرات و اثر آن بر بافت و ویژگی‌های رئولوژیکی محصول در تولید شکلات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۲]. پس شاید نرمال بودن توزیع اندازه ذرات نمونه شاهد را بتوان به حضور ساکاروز و یکنواخت بودن ذرات موجود در نمونه شاهد نسبت داد. نمونه ۱۵ نیز که دارای ۱۰۰ درصد اینولین است نسبت به نمونه ۱۳ که هم اینولین و هم مالتودکسترین دارد دارای توزیع نرمال‌تری می‌باشد.در سال ۲۰۰۸، Afoakwa و همکاران تاثیر توزیع اندازه ذرات بر ساختار و ویژگی‌های رئولوژیکی شکلات تلخ را بررسی کردند. نتایج نشان داد با افزایش اندازه ذرات گرانروی کاسون، تنش تسلیم، گرانروی ظاهری و تیکسوتروپی کاهش می‌یابد [۱۱]. درسال ۲۰۱۰، Shah و همکاران نیز نوعی شکلات شیری بدون ساکاروز با استفاده از عصاره استویا به عنوان شیرین‌کننده و اینولین و پلی‌دکستروز به عنوان حجم‌دهنده تولید کردند. نتایج نشان داد جای‌گزینی ساکاروز اثری بر توزیع اندازه ذرات نداشت [۱۵].



الف)



ب)



ج)

شکل ۵ توزیع اندازه‌ی ذرات نمونه‌های الف:۱۳، ب:۱۵ و ج: شاهد.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

البته باید توجه شود که کارهای اشاره شده در بالا همه در حد صنعتی تولید شده بودند و احتمالاً تفاوت اندازه ذرات نمونه-های تولیدی در این بررسی با نمونه تجاری به تفاوت در مرحله کاهش اندازه ذرات قبل از کونچ‌کردن بستگی دارد زیرا در صنعت این کار به کمک چند غلتک صورت می‌گیرد اما در بررسی حاضر به صورت دستی و با استفاده از چند الک انجام شد. هرچند این روش دستی نیز ذرات را به حدی ریز کرد، که همان طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، زیر آستانه چشایی بود.

٤- نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که همه نمونه‌های شکلات تولیدی دارای ویژگی تیکسوتروپیک بوده و رفتار شبه پلاستیک از خود نشان دادند. از بین مدل‌های ریاضی ارزیابی شده جهت پیشگویی ویژگی‌های رئولوژیکی شکلات، مدل کاسون مناسب‌ترین مدل برای این منظور تشخیص داده شد. جای-گزینی ساکاروز تاثیر کمی بر ویژگی‌های ویسکوالاستیک نمونه‌ها داشت و گرانروی نمونه‌ها مستقل از زمان بود. اندازه ذرات نمونه‌های تولیدی اگرچه از نمونه تجاری بیش‌تر بود اما زیر آستانه چشایی بود. در مجموع با استفاده از یافته‌های این بررسی می‌توان شکلات تلخ کم‌کالری پری‌بیوتیکی تولید کرد که از لحاظ ویژگی‌های رئولوژیکی تفاوت قابل ملاحظه‌ای با شکلات معمولی ندارد.

٥- منابع

[1] Zehner, L. R. and Zehner, W. L. (2004). Mixtures of fructose and lactose as a low-calorie bulk sweetener with reduced glycemic index. U. S. Patent, Number 6,777,397.

[2] Sokmen, A., and Gunes, G. (2006). Influence of some bulk sweeteners on the rheological properties of chocolate. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie, 39: 1053–1058.

[3] Bourne, MC. (2007). Food texture and viscosity: Concept and measurement. 2nd ed. Translated by Abbasi S. Tehran: Marzedanesh Publications, [In Persian].

[4] Afoakwa, E.O., Paterson, A. and Fowler, M. (2007). Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate. Trends in Food Science and Technology, 18: 290–298.

[5] Farzanmehr H, Abbasi S, Sahari MA. (2008). Effect of sugar replacer on some physicochemical, rheological and sensory properties of milk chocolate. Iranian Journal of Food Science & Technology, 3(3):65-82 [in Persian].

[6] Beckett, S. T. (2000). The Science of Chocolate. London: Royal Society of Chemistry Paperbacks.

[7] Barnes HA. (2008). Handbook of elementary rheology. Translated by Abbasi S. Tehran: Marzedanesh Publications [In Persian].

[8] Chevalley, J. (1994). Traditional chocolate making, In: Industrial Chocolate Manufacture and Use, ed. Beckett, S. T., PP. 1–7. London: Blackie Academic and Professional.

[9] Abbasi, S. and Farzanmehr, H. (2009). Rheological properties of prebiotic milk chocolate. Food Technology and Biotechnology, 47: 396–403.

[10] Keogh, M. K., Murray, C. A., and O' Kennedy, B. T. (2003). Effect of selected properties of ultrafiltered spray-dried milk powders on some properties of chocolate. International Dairy Journal, 13: 719–726.

[11] Afoakwa, E.O., Paterson, A., Fowler, M. and Vieira, J. (2008). Effects of particle size distribution and composition on rheological properties of dark chocolate. European Food Research and Technology, 226: 1259–1268.

[12] Becu, M., Fonoll, J. R., Hospied, E., Liegeois, S., Haut, B. and Debaste, F. (2010). Study of the rheological behavior of chocolate and margarine. Biotechnology, Agronomy, Society and Environment, 14(S2): 537–540.

[13] Shourideh M, Taslimi A, Azizi MH, Mohammadifar MA, Mashayekh M. (2010). Effects of D-Tagatose , inulin and stevia as sugar substitutes on the physical, chemical, rheological and sensory properties of dark chocolate. Iranian Journal of Food Science & Technology, 5 (3) :29-38 [in Persian].

[14] Servais, C., Ranc, H. and Roberts. I.D. (2004). Determination of chocolate viscosity, Journal of Texture Studies, 34: 467–497.

[15] Shah, A. B., Jones, G.P. and Vasiljevic, T. (2010) Sucrose-free chocolate sweetened with Stevia rebaudiana extract and containing different bulking agents – effects on physicochemical and sensory properties. International Journal of Food Science and Technology, 45:1426–1435.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[16] Udomrati, S., Ikeda Sh. and Gohtani, Sh. (2011). The effect of tapioca maltodextrins on the stability of oil-in-water emulsions. Available at: www.starch-journal.com

[17] Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P., and McClements, D. J. (2004). Stability and rheology of corn oil-in-water emulsions containing maltodextrin. Food Research International, 37: 851–859.

[18] Aeschlimann, J.M. and Beckett, S.T. (2000). International inter-laboratory trials to determine the factors affecting the measurement of chocolate viscosity. Journal of Texture Studies, 31: 541–576.

[19] Schantz, B. and Rohm, H.)2005). Influence of lecithin–PGPR blends on the rheological properties of chocolate. Lebensm.-Wiss. u.-Technology, 38: 41–45.

[20] 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 and Technology, 41: 45–55.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

Effects of inulin and bulking agents on rheological properties and particle size distribution of low calorie dark chocolate

Bitaraf, SH.[1], Abbasi, S.[2*], Hamidi Esfahani, Z.[3]

1. MSc Graduate in Food Science & Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University
2. Associate Prof in Food Science & Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University.
3. Associate Prof in Food Science & Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University

(Received: 92/1/16 Accepted: 92/4/29)

Molten dark chocolate is a dispersion of solid particles including sugar and cocoa powder in a continuous phase of cocoa butter. Hence, the rheological properties as well as the particle size distribution of ingredients in chocolate are very important for obtaining high-quality products with well-defined texture. Therefore, the present study aimed to evaluate the effects of sugar substitutes on rheological characteristics and particle size distribution of prebiotic dark chocolate. For doing this, a prebiotic compound (inulin) in combination with bulking agents (polydextrose and maltodextrin) at different levels (0–100 %) along with sucralose were used. Based on our findings, all the treateded samples showed thixotropic and pseudoplastic behavior and the Casson mathematical model most closely fitted to the rheological data. Furthermore, the sucrose replacement slightly affected the viscoelastic properties and the viscosity of the samples was time independent. In terms of the particle size, they were somewhat larger than the commercial one but still below the taste threshold.

Keywords: Low calorie dark chocolate, Inulin; Polydextrose, Maltodextrin, Rheological properties, Particle size distribution.

* Corresponding Author E-Mail Aadress: sabbasifood@modares.ac.ir

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]