

بررسی تاثیر میزان چربی بر خصوصیات فیزیکی و رئولوژیکی بستنی وانیلی

فاطمه سادات مصطفوی^{۱*}، مصطفی مظاهری تهرانی^۲، محبت محبی^۳.

۱- دانشجوی دکتری، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد

۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۸۹/۸/۸)

چکیده

چربی شیر یکی از مهم ترین ترکیبات مورد استفاده در ساختار بستنی است. این ترکیب تاثیر بسیاری بر خصوصیات فیزیکی و رئولوژیکی بستنی و مخلوط آن دارد. با توجه به تعاریف ارائه شده توسط سازمان غذا و داروی ایالات متحده امریکا، بستنی های ارائه شده به بازار از نظر محتوای چربی به دسته های متعددی (بدون چربی، کم چربی، نیم چرب، با چربی کاهش یافته و پرچرب) تقسیم می شوند. در این تحقیق بستنی های وانیلی کم چربی، نیم چرب، با چربی کاهش یافته و پر چرب به ترتیب با ۲، ۵، ۷/۵ و ۱۰٪ چربی شیر تولید و خصوصیات رئولوژیکی و پارامترهای جریان مخلوط بستنی شامل شاخص رفتار جریان، ضریب قوام و ویسکوزیته ظاهری و نیز برخی خصوصیات فیزیکی بستنی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده کاهش مقدار چربی در نمونه ها موجب افزایش نقطه انجماد و دمای نمونه ها در زمان خروج گردید. نتایج حاصل از آزمون های رئولوژیکی نشان داد همه نمونه ها دارای رفتار ضعیف شونده با برش بوده و ویسکوزیته ظاهری آنها با افزایش درجه برش کاهش یافت. افزایش مقدار چربی باعث کاهش شاخص رفتار جریان و در نتیجه افزایش رفتار ضعیف شوندگی با برش نمونه ها گردید. شاخص قوام و ویسکوزیته ظاهری نمونه ها نیز به طور معنی داری با افزایش مقدار چربی در ترکیب بستنی افزایش یافت.

کلید واژگان: بستنی، چربی، خواص رئولوژیکی، خواص فیزیکی

* مسئول مکاتبات: fmostafavi2005@yahoo.com

۱- مقدمه

بستنی سیستم پیچیده کف ماندی متشکل از هوا، چربی، یخ و ماتریکس (محلولی از شیرین کننده، پایدارکننده و پروتئین های شیر) است [۱ و ۲]. هر کدام از این بخش ها به گونه ای روی بافت و کیفیت محصول نهایی تاثیر می گذارند [۳]. در این میان چربی شیر از اهمیت ویژه ای برخوردار است و مقدار آن باید با توجه به استانداردهای موجود در انواع بستنی کنترل شود. بستنی هایی که امروزه به بازار عرضه می شوند دارای سطوح متفاوتی از چربی می باشند. سازمان غذا و داروی ایالات متحده آمریکا^۱، در جهت نظارت بر واحد های تولیدی، با توجه به مقادیر چربی بستنی ها آنها را به پنج دسته تقسیم و برای هر کدام تعاریفی ارائه کرده است. بر اساس این تعاریف، بستنی با چربی کاهش یافته^۲ و بستنی نیم چرب^۳ به بستنی گفته می شود که چربی آن به ترتیب ۲۵٪ و ۵۰٪ از چربی بستنی معمولی کمتر باشد. بستنی کم چرب^۴ و بستنی بدون چربی^۵ به بستنی گفته می شود که در هر وعده خوراکی (معادل نصف فنجان) از این بستنی به ترتیب حداکثر ۳ گرم و ۰/۵ گرم چربی وجود داشته باشد و بستنی معمولی عموماً دارای ۱۰٪ چربی است [۴].

نقش تغذیه ای چربی شیر در فرمولاسیون بستنی، تامین انرژی، اسیدهای چرب ضروری و ویتامین های محلول در چربی است و از لحاظ تکنولوژیکی نیز روی خصوصیات فیزیکی و رئولوژیکی آن اثر می گذارد [۴]. مهمترین نقش تکنولوژیکی چربی در بستنی، پایدار کردن حبابهای هوا و کمک به تثبیت کف است [۲]. بررسیها نشان می دهد که گلبولهای چربی به طور ثابت، در حین انجماد ناپایدار شده، به یکدیگر می پیوندند و روی سطح حفره های هوایی متراکم می شوند و این امر موجب ایجاد قوام و پوشاندگی دهانی مناسب می گردد (۴). مقدار این ترکیب تاثیر به سزایی بر رفتار رئولوژیکی، ویسکوزیته مخلوط بستنی و نیز خصوصیات ذوب شدن محصول نهایی دارد [۳ و ۴]. بنابراین تغییرات این پارامترها باید در انواع بستنی با سطوح چربی مختلف به دقت مورد بررسی قرار گیرد.

به طور کلی بررسی خصوصیات رئولوژیکی مواد غذایی از جهت تعیین کیفیت و نیز مهندسی (طراحی و مدلسازی) فرایند آن ماده غذایی حائز اهمیت است. همچنین برای انجام محاسبات مربوط به جریان مواد غذایی در لوله ها، مبدل های حرارتی، مخلوط کن ها و پمپ ها دانستن ویژگی ها و پارامترهای رئولوژیکی مواد غذایی الزامی است [۵]. ویسکوزیته مخلوط بستنی عموماً یکی از مهم ترین فاکتورهایی است که بر کیفیت بستنی اثر می گذارد. این خصوصیت معمولاً تحت تاثیر مقدار مواد اولیه به کار رفته در آن (خصوصاً چربی)، نوع و کیفیت این ترکیبات، شرایط فرایند و انتقال مخلوط بستنی، غلظت و دمای مخلوط بستنی دارد. هنگامی که ویسکوزیته افزایش می یابد، مقاومت به ذوب و سفتی بافت بستنی افزایش می یابد ولی سرعت هوادهی آن کاهش می یابد [۴].

در تحقیقاتی که در گذشته در این زمینه انجام شده از روش های گوناگونی جهت بهبود کیفیت بستنی های کم چربی استفاده شده است. به عنوان مثال ایم و همکاران (۲۰۰۱) خصوصیات حسی و نیز ویسکوزیته ظاهری بستنی های معمولی، با چربی کاهش یافته، کم چربی و بدون چربی حاوی نوعی جایگزین چربی کربوهیدراتی را بررسی کردند [۶]. نصیری محلاتی و همکاران (۱۳۸۱) خصوصیات حسی و فیزیکوشیمیایی بستنی وانیلی کم چرب حاوی جایگزین چربی نشاسته ای را بررسی کردند [۷]. همایونی راد و همکاران (۱۳۸۴) از آنزیم کیموزین جهت هیدرولیز نسبی کازئین های مخلوط بستنی و در نتیجه بهبود کیفیت بستنی کم چرب استفاده کردند [۸ و ۹]. در برخی از تحقیقات انجام شده تاثیر سطوح مختلف چربی بر خصوصیات حسی بستنی بررسی شده است. در برخی خصوصیات انواع متفاوت بستنی بررسی شده است. به عنوان مثال رولاند و همکاران (۱۹۹۹) خصوصیات حسی، رنگ و سختی بستنی های حاوی ۰/۱، ۳، ۷ و ۱۰٪ چربی را با یکدیگر مقایسه کردند [۱۰]. پریندیویل^۶ و همکاران (۲۰۰۰) اثر سطوح مختلف چربی (۰/۵، ۴، ۶ و ۹٪) را بر خصوصیات حسی و فیزیکوشیمیایی شامل سفتی، ویسکوزیته و سرعت ذوب بستنی شکلاتی بررسی کردند [۱۱]. لازم به ذکر است که فرمولاسیون و در نتیجه خصوصیات طعمی و بافتی بستنی

1. US Food and Drug Administration
2. Reduced fat
3. Light
4. Low fat
5. Non fat

6. Prindiville

شیر خشک با یکدیگر مخلوط، به آن اضافه و پس از حل شدن به وسیله همزن (مدل Lm 600 E 40، مولینکس^۱، فرانسه) کاملاً مخلوط گردید. پاستوریزاسیون مخلوط حاصل در دمای ۸۰ °C به مدت ۲۵ ثانیه انجام شد [۱۰]. بلافاصله پس از حرارت دهی، مخلوط به وسیله حمام آب و یخ و نمک سرد گردید و جهت رسانیدن به مدت یک شب در یخچال ۵°C نگهداری شد. عملیات انجماد بستنی به وسیله دستگاه بستنی ساز خانگی فلر^۲ (مدل IC 100) به مدت ۳۵ دقیقه انجام گردید. سپس نمونه های بستنی در ظروف پلاستیکی درپوش دار بسته بندی و به مدت حداقل ۲۴ ساعت در فریزر ۱۸°C- نگهداری گردید. تولید نمونه های بستنی با در نظر گرفتن ۲ تکرار در روزهای متفاوت انجام شد. آزمون های مربوط به خصوصیات رئولوژیکی بستنی روی مخلوط بستنی رسیده شده انجام گردید.

۲-۴-۲ روش انجام آزمون ها

۲-۴-۲-۱ خصوصیات شیمیایی

مقدار چربی مواد اولیه مورد استفاده در تهیه بستنی شامل شیر، خامه و شیر خشک توسط شرکت تولید کننده آنالیز و گزارش گردید (جدول ۲) و مقدار چربی نمونه های بستنی با توجه به فرمولاسیون آن محاسبه شد. ماده جامد مواد اولیه با استفاده از روش وزنی اندازه گیری شد [۱۲].

۲-۴-۲-۲ نقطه انجماد

نقطه انجماد مخلوط بستنی به وسیله دستگاه کریوسکوپ اندازه گیری گردید. پیش از انجام آزمایش دستگاه به وسیله محلولهای مخصوص کالیبره گردید. ابتدا نمونه های بستنی در دمای اتاق ذوب و سپس ۳ گرم از هر نمونه به وسیله ۳ برابر آب مقطر رقیق سازی شد و نقطه انجماد به وسیله دستگاه اندازه گیری گردید. در نهایت عدد حاصل از اندازه گیری در ضریب رقت [۴] ضرب گردید. این آزمون با در نظر گرفتن ۲ تکرار انجام شد.

۲-۴-۳ دمای خروج

در پایان مرحله انجماد بستنی در دستگاه بستنی ساز، دمای خروج نمونه بستنی با قرار دادن دماسنج الکلی در داخل مخزن دستگاه اندازه گیری گردید [۱۳].

شکلاتی با بستنی وانیلی تفاوت دارد. بنابراین با توجه به طیف وسیع انواع بستنی و اهمیت نقش چربی در تعیین خصوصیات فیزیکی و رئولوژیکی آن، نیاز به انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه می باشد.

هدف از این تحقیق بررسی رفتار و پارامترهای رئولوژیکی و برخی خصوصیات فیزیکی بستنی های پرچرب، با چربی کاهش یافته، نیم چرب و کم چرب و مقایسه آنها با یکدیگر می باشد.

۲- مواد و روشها

۲-۱- مواد

شیر استرلیزه و هموژنیزه ۱/۱۵٪ چربی از شرکت میهن، خامه استرلیزه و هموژنیزه (۳۰٪ چربی) و شیر خشک بدون چربی از شرکت پگاه خراسان و مخلوط امولسیفایر و پایدارکننده IC90 از کارخانه لبنیات رضوی، شکر و وانیل از فروشگاه های معتبر تهیه گردید.

۲-۲- فرمولاسیون بستنی

بستنی های کم چرب، نیم چرب، با چربی کاهش یافته و پرچرب به ترتیب شامل ۲، ۵، ۷/۵ و ۱۰٪ چربی شیر تهیه شد (جدول ۱). مقادیر شکر و شیر خشک با توجه به کارهای تحقیقاتی اولیه و مقدار شیر به کار رفته با توجه به حجم نهایی نمونه ها محاسبه و تعیین گردید.

جدول ۱ فرمولاسیون نمونه های بستنی

مواد اولیه	(/۱۰)	(/۷,۵)	(/۵)	(/۲)
شیر	۵۰/۶	۵۹/۳۷	۶۸/۱۶	۷۸/۸۹
خامه	۳۰/۸	۲۲/۰۳	۱۳/۲۴	۲/۷
شیر خشک	۳	۳	۳	۳
شکر	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
وانیل	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
امولسیفایر- پایدار کننده	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴

۲-۳- تهیه بستنی

جهت تهیه مخلوط بستنی، شیر و خامه پس از توزین با یکدیگر مخلوط و تا ۴۰°C حرارت داده شدند تا خامه در شیر حل گردد. سپس مخلوط مواد خشک شامل شکر، پایدارکننده

1. Moulinex
2. Feller

۲-۴-۴- ماده جامد

مقدار مشخصی از وزن نمونه (M1) درپلیت ریخته شد و تا رسیدن به وزن ثابت درآون 80°C قرار گرفت. پس از خروج از آون و سرد شدن در دسیکاتور، وزن آن (M2) به وسیله ترازوی دیجیتال اندازه گیری و ماده خشک آن از طریق رابطه ذیل محاسبه گردید.

$$TS = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

۲-۴-۵- خصوصیات رئولوژیک

خصوصیات رئولوژیک بستنی به وسیله ویسکومتر چرخشی بوهلین (Bohlin Model visco 88 ; Bohlin Instruments, UK) مجهز به سیرکولاتور حرارتی مورد آزمون قرار گرفت. اسپیندل (کاپ و باب) مناسب (C30) بر اساس ویسکوزیته مخلوط انتخاب شد. مخلوط بستنی پس از طی دوره رسیدن در کاپ دستگاه ریخته شده و توسط سیرکولاتور به دمای $5 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ رسانده شد. سپس دامنه مشخصی از درجه برش (۱۴/۲/۵ تا ۵۰۱/۷) بر نمونه ها اعمال گردید. ویسکوزیته ظاهری در درجه برش ۱۱۳/۵ گزارش شد که درجه برش معمول جهت پمپ کردن مخلوط بستنی در صنعت می باشد [۱۳]. این آزمون با ۲-۳ تکرار انجام گردید.

۲-۵- تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق داده ها با استفاده از نرم افزار MSTAT نسخه ۱/۴۲ آنالیز و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون LSD در سطح معنی دار ۹۵٪ انجام شد. جهت رسم نمودارها از نرم افزار Microsoft Excel نسخه ۲۰۱۰ استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

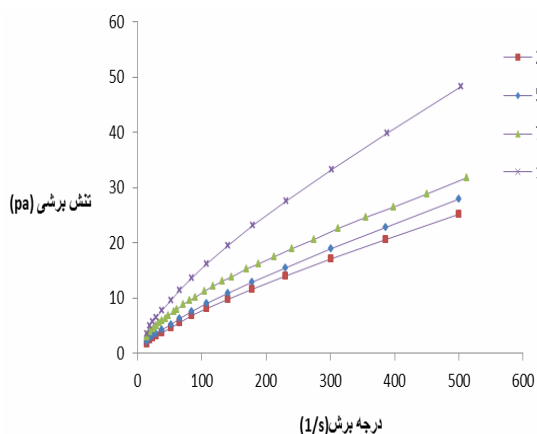
۳-۱- خصوصیات رئولوژیک مخلوط بستنی

۳-۱-۱- رفتار جریان

شکل های ۱ و ۲ به ترتیب تغییرات تنش برشی نسبت به درجه برش و تغییرات ویسکوزیته در اثر تغییرات درجه برش نمونه

ها را در دمای $5 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ را نشان می دهد. حداقل تنش برشی اعمال شده بر روی مخلوط بستنی ۱۴/۵ بود. بنابراین منحنی های مربوط به شکل ۱ از این تنش برشی آغاز شده اند. با مشاهده رفتار جریان نمونه ها می توان دریافت که همگی رفتار غیر نیوتنی داشته اند. با افزایش تنش برشی، ویسکوزیته نمونه ها کاهش یافته و در مقادیر بالاتر تنش برشی به مقدار ثابتی می رسد که این نشان دهنده رفتار سودوپلاستیک یا ضعیف شونده با برش مخلوط های بستنی است. مخلوط بستنی سیستم کلوئیدی است که در آن ذرات چربی به وسیله پروتئین و امولسیفایر احاطه شده اند [۱۴]. علت بروز رفتار سودوپلاستیک در این مخلوط ها این است که مولکولها در درجه برش های پایین به صورت نامنظم آرایش پیدا می کنند و تنها به صورت جزئی هم راستا می باشند و این امر منجر به ایجاد ویسکوزیته بالا در مخلوط می شود. اما با افزایش درجه برش مولکول ها هم راستا شده و در نتیجه اصطکاک داخلی افزایش و ویسکوزیته مخلوط کاهش می یابد [۱۵]. رفتار سودوپلاستیک مخلوط های بستنی پیش از این توسط گف و دیویدسون (۱۹۹۲)، ایم و همکاران، ۲۰۰۰ و نیز کاراکا و همکاران ۲۰۰۹ نیز گزارش شده بود [۶ و ۱۶ و ۱۷].

مقایسه منحنی های تغییرات تنش برشی در برابر تغییر درجه برش نشان می دهد که با افزایش مقدار چربی در فرمولاسیون مخلوط بستنی، شیب منحنی ها افزایش می یابد. به این معنی که در یک درجه برش معین، تنش برشی به کار رفته در مورد نمونه با درصد چربی بالاتر بیشتر است.



شکل ۱ تغییرات تنش برشی نسبت به درجه برش در مخلوط بستنی با سطوح مختلف چربی

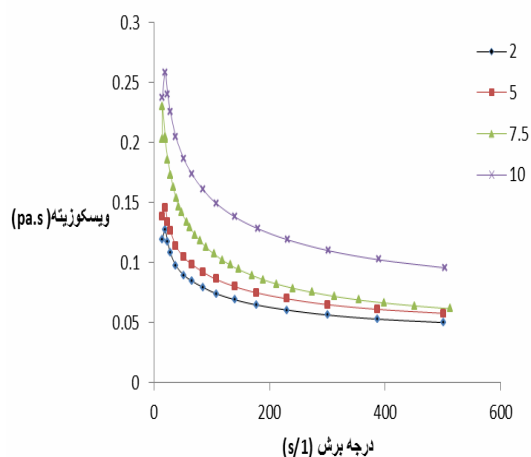
که این نشان دهنده مناسب بودن مدل قانون توان جهت برازش داده های به دست آمده در این پژوهش می باشد.

جدول ۲ ضریب قوام، شاخص رفتار جریان و ضریب همبستگی مدل برازش شده در مورد نمونه های بستنی

چربی	ویسکوزیته ظاهری	K	n	R ²
۲	۰/۰۷۴۳	۰/۲۶۳۷	۰/۷۳۰۸	۰/۹۹
۵	۰/۰۸۴۲	۰/۲۹۶۵	۰/۷۲۸۷	۰/۹۹
۷/۵	۰/۱۱	۰/۴۴	۰/۷۲	۰/۹۹
۱۰	۰/۱۵۰۵	۰/۵۷۵۴	۰/۷۱۲۱	۰/۹۹

۳-۱-۳- شاخص رفتار جریان

در این تحقیق مقادیر شاخص رفتار جریان نمونه ها از ۰/۷۱۲ تا ۰/۷۳۱ متغیر بود. کاراکا و همکاران (۲۰۰۹) مقادیر شاخص رفتار جریان نمونه های مخلوط بستنی حاوی ۰/۱ تا ۰/۶ چربی را بین ۰/۳۶ تا ۰/۵ گزارش کردند [۱۷]. کنترل و همکاران (۱۹۸۰) و ایم و همکاران (۲۰۰۰) نیز مقادیر ضریب قوام نمونه های مخلوط بستنی را به ترتیب ۰/۴۸ تا ۰/۹۴ و ۰/۴۳ تا ۰/۶۶ عنوان کردند (۶ و ۱۸). کمتر بودن این شاخص از عدد ۱ نشان موید رفتار سودوپلاستیک این سیالات می باشد. ($n=1$ سیال نیوتنی، $n<1$ سیال سودوپلاستیک، $n>1$ سیال دایلاتانت). هر چه مقادیر n کوچکتر باشند، رفتار سیال به حالت سودوپلاستیک نزدیکتر بوده و با حالت نیوتنی تفاوت بیشتری دارد [۱۹]. شکل ۳ نشان می دهد که با افزایش مقدار چربی در فرمولاسیون بستنی، مقدار شاخص رفتار جریان در آن کاهش می یابد. این بدین معنی است که هر چه مقدار چربی مخلوط بستنی بیشتر شود، رفتار جریان آن به حالت سودوپلاستیک نزدیکتر می شود. مارکوت و همکاران (۲۰۰۱)، مقدار شاخص رفتار جریان و تغییر آن با غلظت را تابعی از اندازه مولکولی می دانند [۲۰]. ایم و همکاران (۲۰۰۰) عنوان کردند که وجود گلبولهای چربی در مخلوط بستنی به ایجاد رفتار سودوپلاستیک در آن کمک می کند [۶]. بنابراین طبیعی ست که با افزایش مقدار آن، رفتار مخلوط به حالت سودوپلاستیک نزدیک تر شود.



شکل ۲ تغییرات ویسکوزیته نسبت به درجه برش در مخلوط بستنی با سطوح مختلف چربی

در مورد تغییرات ویسکوزیته ظاهری نسبت به درجه برش نیز روند مشابهی در شکل ۲ مشاهده می شود به طوری که ویسکوزیته اولیه در مورد نمونه های حاوی مقدار بیشتر چربی بالاتر بوده و کاهش ویسکوزیته با افزایش درجه برش نیز در مورد این نمونه ها با سرعت بیشتری صورت می گیرد. با توجه به اثر افزایش درجه برش بر بیشتر کردن هم راستایی مولکولها و افزایش اصطکاک داخلی و در نتیجه کاهش ویسکوزیته مخلوط بستنی، می توان چنین برداشت کرد که افزایش مقدار چربی در فرمولاسیون بستنی موجب تقویت این اثرات می گردد.

۳-۱-۲- برازش مدل

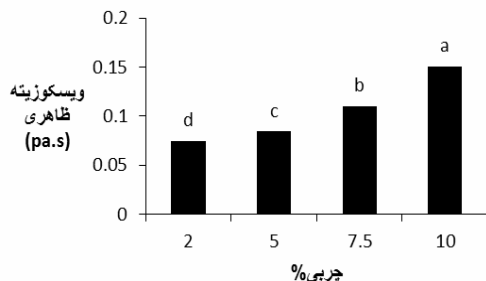
مدل های متعددی برای توصیف رفتار رئولوژیکی سیالات غیر نیوتنی ارائه شده است. در این تحقیق از مدل قانون توان جهت این امر استفاده شده است.

$$\tau^n = k \dot{\gamma}$$

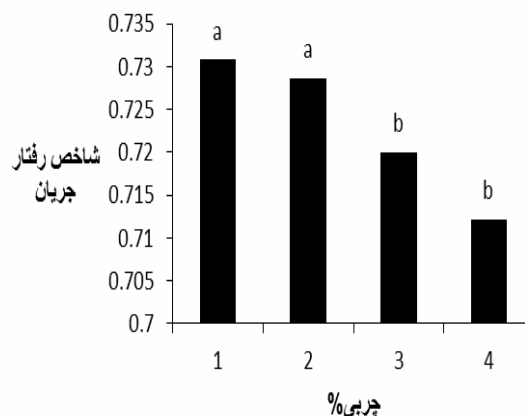
در رابطه فوق τ ، تنش برشی (بر حسب Pa.s)، $\dot{\gamma}$ درجه برش (بر حسب ۱/s)، k ضریب قوام (بر حسب Pa.sⁿ) و n شاخص رفتار جریان می باشد (۱۵). جدول ۲ مقادیر ضریب قوام، شاخص رفتار جریان و ضریب همبستگی (R^2) را برای مدل برازش شده در مورد هر کدام از نمونه ها نشان می دهد. ضرایب همبستگی به دست آمده به طور قابل توجهی بالاست

۳-۱-۵- ویسکوزیته ظاهری

ویسکوزیته ظاهری یکی از مهم ترین خصوصیات بستنی است که تاثیر بسیاری بر بافت و سایر خصوصیات بستنی دارد [۶]. این ویژگی تحت تاثیر عوامل بسیاری قرار می گیرد که از جمله مهم ترین آنها فرمولاسیون مخلوط بستنی است و در میان ترکیبات بستنی مقدار چربی از جمله مهمترین عوامل تاثیر گذار بر آن است [۴]. در این تحقیق ویسکوزیته ظاهری نمونه ها از 0.0743 تا 0.1505 $pa.s$ متغیر بود (شکل ۵). افزایش چربی در مخلوط بستنی به طور معنی داری موجب افزایش ویسکوزیته ظاهری نمونه ها گشت. نتایج به دست آمده در مورد ضریب قوام نمونه ها نیز موید این رفتار می باشد. در تحقیقاتی که در گذشته انجام شده نیز نتایج مشابهی گزارش شده است. به عنوان مثال ایم و همکاران (۲۰۰۱) ویسکوزیته ظاهری نمونه های مخلوط بستنی حاوی سطوح مختلف چربی را از 0.149 تا 0.018 $pa.s$ گزارش کرده و عنوان کردند که ویسکوزیته نمونه های بستنی وائیلی دارای 0.05 و 0.24 ٪ چربی به طور معنی داری از نمونه های دارای 0.05 و 0.94 ٪ چربی کمتر بوده است [۶]. پریندیویل و همکاران (۱۹۹۹) نشان دادند که ویسکوزیته نمونه های بستنی شکلاتی دارای 0.06 ٪ چربی به طور معنی داری از نمونه های دارای 0.05 و 0.05 ٪ چربی بیشتر بوده است [۱۰]. راجر و همکاران (۲۰۰۲) عنوان کردند ویسکوزیته مخلوط بستنی بر روی بافت و کیفیت محصول نهایی تاثیر گذار است [۲۴]. با اینکه نمی توان مقدار مشخصی از ویسکوزیته را به عنوان ویسکوزیته مناسب برای مخلوط بستنی عنوان کرد اما معمولا با افزایش ویسکوزیته خصوصیات بافتی و کیفیت محصول نهایی بهبود می یابد [۴].



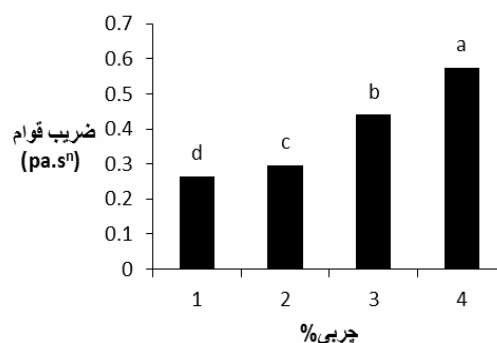
شکل ۵ ویسکوزیته ظاهری نمونه های مخلوط بستنی با درصد های مختلف چربی



شکل ۳ شاخص رفتار جریان نمونه های مخلوط بستنی با درصد های مختلف چربی

۳-۱-۴- ضریب قوام

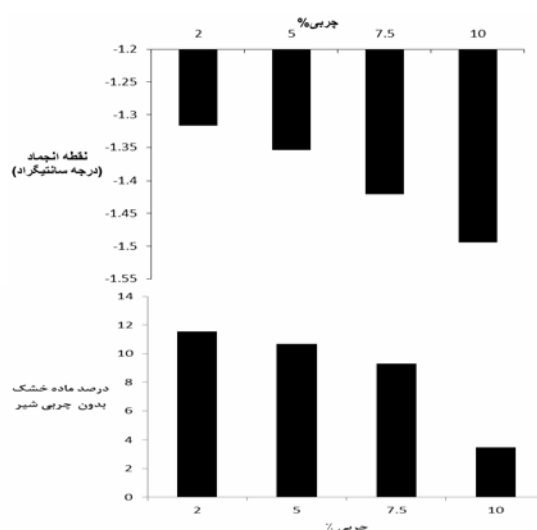
ضریب قوام ملاکی برای اندازه گیری طبیعت ویسکوز مواد غذایی و فاکتوری مشابه با ویسکوزیته ظاهری است [۲۱]. تفاوت آن با ویسکوزیته ظاهری این است که ضریب قوام در دامنه ای از درجه برش اندازه گیری می شود ولی ویسکوزیته ظاهری در یک درجه برش مشخص تعیین می گردد. داده های موجود در جدول ۲ نشان می دهد که ضریب قوام نمونه ها از 0.2637 تا 0.575 متغیر بوده و با افزایش مقدار چربی، ضریب قوام نمونه ها به طور معنی داری افزایش می یابد (شکل ۴). ایم و همکاران (۲۰۰۰) نیز نتایج مشابهی گزارش کردند [۶]. در تحقیقات میوس و هارتل (۲۰۰۴) و میناس و همکاران (۲۰۰۲) مقادیر ضریب قوام مخلوط های بستنی به ترتیب 0.1260 تا 0.0733 $pa.s^n$ و 0.145 تا 0.211 $pa.s^n$ گزارش شده است [۲۲ و ۲۳].



شکل ۴ ضریب قوام نمونه های مخلوط بستنی با درصد های مختلف چربی

۳-۲- نقطه انجماد

از طریق تعیین نقطه انجماد نمونه های مخلوط بستنی می توان به تفاوت موجود در فرمولاسیون آنها پی برد و معمولا این پارامتر را برای مشخص شدن مقدار ترکیبات محلول در آب موجود در مخلوط بستنی اندازه گیری می کنند [۲۵]. در این تحقیق نقطه انجماد نمونه ها با افزایش مقدار چربی کاهش یافت (شکل ۶). مارشال و آربوکل (۱۹۹۶) عنوان کردند با وجود آن که گویچه های چربی به علت اندازه بزرگ و آبگریز بودن نمی تواند مستقیما موجب مشکل شدن انجماد آب و کاهش نقطه انجماد نمونه ها شود اما با افزایش مقدار چربی، مقدار رطوبت مخلوط و در نتیجه مقدار آب جهت انحلال مواد محلول کاهش و بدین ترتیب نقطه انجماد نمونه ها کاهش می یابد [۴]. رولاند و همکاران (۱۹۹۹) نیز نقطه انجماد کمتر را در بستنی های حاوی چربی کمتر گزارش کردند [۱۰].



شکل ۶ نمودار تغییرات ماده خشک بدون چربی شیر و نقطه انجماد نمونه های بستنی در اثر تغییر درصد چربی

۳-۳- دمای خروج

دمای خروج نمونه های بستنی نشان دهنده مقدار گرمای گرفته شده از مخلوط بستنی در حین انجماد آن است و به عوامل متعددی از جمله خصوصیات مخلوط بستنی بستگی دارد [۲۶]. در این تحقیق دمای خروج نمونه ها از $3/5^{\circ}\text{C}$ تا 4°C متغیر بود. بیشترین دمای خروج ($3/5^{\circ}\text{C}$) مربوط به نمونه حاوی ۲٪ چربی شیر بود. این نمونه حاوی کمترین مقدار ماده

خشک نیز بود. در مرحله انجماد بستنی با سرد کردن مخلوط دمای آن تا نقطه انجماد کاهش می یابد، در این نقطه گرمای نهان از مخلوط گرفته شده و ذرات ریز یخ شروع به تشکیل شدن می کنند و پس از آن دوباره دمای مخلوط کاهش می یابد تا مرحله انجماد به پایان برسد و دمای خروج آن اندازه گیری شود. در این تحقیق مدت زمان انجماد برای همه نمونه ها یکسان بوده است بنابراین طبیعی است که نمونه های با نقطه انجماد بالاتر دمای خروج بالاتری نیز داشته باشند [۱۲]. مارشال و آربوکل (۱۹۹۶) عنوان کردند که دمای خروج بستنی تهیه شده به وسیله فریزر بچ معمولا بین $3/3^{\circ}\text{C}$ و $4/4^{\circ}\text{C}$ متغیر است. این دما در مورد بستنی هایی که با فریزر مداوم تهیه می شوند $5/6^{\circ}\text{C}$ تا $6/1^{\circ}\text{C}$ گزارش شده است [۲۷]. بین ۳۳ تا 67% آب موجود در ساختار بستنی بسته به دمای خروج آن منجمد می شود. در دمای خروج $3/89^{\circ}\text{C}$ تقریبا 33% آب موجود در بافت بستنی منجمد می شود [۲۸]. بنابراین در نمونه حاوی ۲٪ چربی که دمای خروج بالاتر از این حد داشتند، مقدار آب منجمد شده پس از مرحله انجماد کمتر از 33% است و بقیه آب باقی مانده در نمونه در مرحله سخت کردن منجمد می گردد، که این امر منجر به تولید کریستال های یخ با تعداد کمتر و اندازه درشت تر می گردد و در نتیجه بافت بستنی زبرتر خواهد شد [۹]. بایر و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که دمای خروج بستنی های کم چربی و بدون چربی به ترتیب از $4/3^{\circ}\text{C}$ تا $5/04^{\circ}\text{C}$ و از $2/98^{\circ}\text{C}$ تا $2/82^{\circ}\text{C}$ متغیر است. همچنین گزارش کردند که با کاهش دمای خروج بستنی، اندازه کریستال های یخ تشکیل شده در ساختار بستنی کوچک تر شده و کیفیت محصول بهبود می یابد [۲۵].

۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از بررسی خصوصیات رئولوژیکی نشان داد کلیه نمونه های مخلوط بستنی رفتار سودوپلاستیک داشته و ویسکوزیته ظاهری آنها با افزایش درجه برش کاهش یافت. افزایش مقدار چربی باعث کاهش شاخص رفتار جریان و افزایش ضریب قوام و ویسکوزیته ظاهری مخلوط بستنی گردید. با توجه به تاثیر افزایش ویسکوزیته مخلوط بستنی بر بهبود کیفیت بافتی محصول نهایی می توان نتیجه گرفت که بستنی های حاوی مقادیر چربی بالاتر کیفیت نهایی بالاتری نیز خواهند داشت. همچنین نتایج حاصل از بررسی خصوصیات

- Hardness of Ice Cream. *Journal of dairy science*, 82(10), 2094-2100
- [11] Prindiville, E. A., Marshall, R. T. and Heymann, H. 2000. Effect of Milk Fat, Cocoa Butter, and Whey Protein Fat Replacers on the Sensory properties of lowfat and nonfat chocolate ice cream. *Journal of Dairy Science*. 83, 2216-2223
- [12] Winton, L. A., Winton, K. B. 2001. Techniques of food analysis, Agrobios, India, page: 780-790
- [13] Bahramparvar, M., Haddad KHodaparast, M. H., and Razavi, S.M.A. 2009. The effect of Lallemania royleana (Balangu) seed, palmate-tuber salep and carboxymethylcellulose gums on the physicochemical and sensory properties of typical soft ice cream. *Dairy Technology*, 62,1-6
- [14] Goff, H. D. 1997. Colloidal aspects of ice cream- A review. *International Dairy Journal* 7, 363-373
- [15] Mahdian, E., Mazaheri Tehrani, M., Shahidi, F., to appear, Evaluation the effect of Soy Flour substitution on rheological properties of hard ice cream, *Iran Science and Technology of Food*
- [16] Goff, H. D., and Davidson, V. J. 1992. Flow characteristics and holding time calculations of ice cream mixes in HTST holding tubes. *Journal of Food Protection*, 55, 34-37.
- [17] Karaca O. B., Guven M., Yasar K., Kaya S., and Kahyaoglu T. 2008. The functional, rheological and sensory characteristics of ice creams with various fat replacers, *Dairy Technology* 62, 93 – 99
- [18] Cottrel, J. I. L., Pass, G., and Phillips, G. O. 1980. The effect of stabilizers on the viscosity of an ice cream mix. *Journal of the science of food and agriculture*, 31, 1066-1070.
- [19] Chinnan, M. S., McWaters, K. H., and Rao, V. N. M. 1985. Rheological characterization of grain legume pastes and effect of hydration time and water level on apparent viscosity. *Journal of food science* 50, 1167-1171.
- [20] Marcotte, M., Hoshahili, A. R. T., and Ramaswamy, H. S. 2001. Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature, *Food Research International*, 34, 695-703.
- [21] Sopade, P.A., and Kassum, L.A. 1992. Rheological characterization of akamu a semi

فیزیکی نمونه های بستنی نشان داد افزایش مقدار چربی موجب کاهش نقطه انجماد و دمای خروج نمونه ها می گردد. با توجه به اینکه کاهش نقطه انجماد و دمای خروج در بستنی منجر به کاهش اندازه کریستال های یخ و افزایش کیفیت محصول نهایی می گردد بنابراین نمونه های حاوی چربی بیشتر از این نظر کیفیت بالاتری دارند.

۵- منابع

- [1] Mortazavi, A., Ghods Rohani, M. and Joyandeh, H. 1995. Technology of milk and dairy products, Ferdowsi university press, page 266
- [2] Chegeni, B. and Meshkat, A. 2006. Science and technology of ice cream, Tehran, ayij, page 179, 185, 86, 87
- [3] Byars, J. 2002. Effect of a starch-lipid fat replacer on the rheology of soft-serve ice cream. *journal of food science*, 67(6), 2177-2182
- [4] Marshall, R. T. and Arbuckle, W. S. 2005. Ice cream, Torkashvand, Y., Tehran, Eta. Page 59, 49, 73, 96-98, 320
- [5] Ghanbarzadeh, B. 2010. The rheology of food and biopolymers, Tehran, Tehran university publication, page1
- [6] Aime, D. B., Arntfield, S. D., Malcolmson, L. J. and Ryland, D. 2001. Textural analysis of fat reduced ice cream products, *food research international* 34, 237-246
- [7] Nasiri Mahallati, M., Mortazavi, S. A., ghoddousi, H. B. 2002. Production of low fat ice cream and optimization of its characteristics, *The science of agriculture*, 16 (2), 131-141
- [8] Homayouni Rad, A., Ehsani, M. R., Mousavi, M. A., Valizadeh, M. and Emam Jome, Z. 1995. Increasing the quality of low fat ice cream by partially hydrolysis of ice cream mix proteins with chymosin (I), *Iran Agricultural Science Journal*. 36 (3), ۷۶۵-۷۷۳
- [9] Homayouni Rad, A., Ehsani, M. R., Mousavi, M. A., Valizadeh, M. and Emam Jome, Z. 1995. Increasing the quality of low fat ice cream by partially hydrolysis of ice cream mix proteins with chymosin (II) , *Iran Agricultural Science Journal*. 36 (6), 1509-1515
- [10] Roland, A. M., Phillips, L. G. and Boor, K. J. 1999. Effects of Fat Replacers on the Sensory Properties, Color, Melting, and

- [25] Baer, R. J., and Czcowski, T. P. 1985. Use of the osmometer for quality control of ice cream mix, *Journal of Dairy science*, 48, 976-978
- [26] Hartel, R. W. 1996. Ice crystallization during the manufacture of ice cream. *Trends in food science and technology*, 7, 315-321
- [27] Marshall, R. T. and Arbuckle, W. S. (1996). *Ice Cream*. 5th Edn. New York: Chapman & Hall. Page 230-231
- [28] Arbuckle, W.S. 1977. *Ice cream*, third edition, AVI publishing company, inc, Westport, Connecticut, page 242
- fluid food from maize millet and sorghum, *journal of cereal science*, 15, 193-202
- [22] Muse, M. R., and Hartel, R.W. 2004. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness, *Journal of dairy science*, 87, 1-10.
- [23] Minhas, K. S., Sidhu, J. S., Mudahar, G. S., and Singh, A. K. 2002. Flow behavior characteristics of ice cream mix made with buffalo milk and various stabilizers, *Plant Food for Human Nutrition*, 57, 25-40.
- [24] Ruger, P. R., Baer R. J. and Kasperson K. M. 2002. Effect of Double Homogenization and Whey Protein Concentrate on the Texture of Ice Cream, *Journal of Dairy Science*, 85,1684-1692

Effect of fat content on rheological and physical properties of vanilla ice cream

Mostafavi, F.^{1*}, Mazaheri Tehrani, M.², Mohebbi, M.³

1. PhD student, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.
 2. Professor, Food science and Technology Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
 3. Associate Professor, Food Science and Technology Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
- (Received: 89/2/23 Accepted: 89/8/8)

Milk fat is one of the most important components used in ice cream mix formulation, which affects textural and rheological properties of the final product. According to the definitions released by FDA, ice cream products are categorized in several groups (non-fat, low-fat, light, reduced fat and full fat). In this research reduced fat, light, low fat and full fat vanilla ice cream samples were produced with 2, 5, 7.5 and 10% milk fat respectively, and the rheological properties of the ice cream mix and some physical properties of the ice cream product were evaluated. The results showed that the freezing point and the draw temperatures of the samples were increased with decreasing of fat content. All the ice cream mix samples showed pseudoplastic behaviour and their apparent viscosity tended to decrease with increasing of shear rate. Increasing of fat content made the ice cream mixes to have lower flow behaviour index and thus increased the pseudoplasticity in the mix. The consistency coefficient and the apparent viscosity of the samples also increased significantly with increasing of fat in the samples.

Keywords: Ice Cream, Fat, Rheological Properties, Physical Properties

*Corresponding Author E-Mail address: fmostafavi2005@yahoo.com