

بررسی خواص بافتی وحسی خامه پری بیوتیک حاوی اینولین و پلی‌دکستروز با استفاده از روش سطح پاسخ

ایرج اروجی^۱، بابک قنبرزاده^{۲*} و عرفان دانش^۳

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۳

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۵

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

^۲ استاد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

^۳ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده علوم دام و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین

خوزستان، ملاثانی

*مسئول مکاتبه Email: Babakg1359@yahoo.com

چکیده

گرایش به مصرف خامه به عنوان یک فرآورده لبنی پرچرب در جامعه ایران نسبتاً بالاست ولی مقادیر بالای چربی آن سبب ایجاد نگرانی‌هایی از جانب مصرف‌کنندگان شده است. از طرف دیگر، کاهش چربی، ویژگی‌های حسی و رئولوژیکی خامه را به گونه‌ای منفی تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر این اساس، پژوهش پیش‌رو با هدف دستیابی به فرمولاسیون بهینه خامه کم‌چرب با ویژگی‌های خوشایند رئولوژیکی و حسی و همچنین تولید یک غذای با پتانسیل فراسودمند انجام شد. فیبرهای اینولین و پلی‌دکستروز علاوه بر برخورداری از خواص پری‌بیوتیکی به عنوان جایگزین چربی مطرح هستند. در این پژوهش، از روش سطح پاسخ با طرح مرکب مرکزی به منظور مطالعه اثر اینولین (۴-۰ درصد وزنی/وزنی) و پلی‌دکستروز (۴-۰ درصد وزنی/وزنی) بر خواص کیفی خامه کم‌چرب استفاده گردید. نتایج آنالیز آماری نشان داد که میزان آب‌اندازی به صورت معنی‌داری ($P \leq 0.05$) با افزایش غلظت اینولین و پلی‌دکستروز کاهش پیدا کرد. بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی خامه کم‌چرب نشان داد که با افزایش مقدار اینولین و پلی‌دکستروز در فرمولاسیون، مدول ذخیره، مدول افت و ویسکوزیته ظاهری افزایش معنی‌داری ($P \leq 0.05$) پیدا کرد. همچنین این فیبرها، تأثیر دوگانه‌ای بر خواص حسی داشتند و تا غلظت‌های میانی خود، سبب بهبود پارامترهای حسی شده اما از آن به بعد مطلوبیت از نظر طعم، بافت، رنگ و پذیرش کلی نزد مصرف‌کنندگان کاهش یافت. نتایج بهینه‌سازی نشان داد که بهترین نمونه با خواص رئولوژیکی و حسی مطلوب زمانی حاصل شد که فرمولاسیون خامه کم‌چرب شامل ۱/۹۲٪ اینولین و ۱/۵۸٪ پلی‌دکستروز بود.

واژگان کلیدی: اینولین، پلی‌دکستروز، خامه پری بیوتیک، رئولوژی، روش سطح پاسخ

مقدمه

مردم دنیا چاق محسوب می‌شوند (سادوسکا و همکاران ۲۰۰۹). چاقی منجر به بیماری‌هایی همانند دیابت نوع دو، گرفتگی عروق و انواع خاصی از سرطان می‌شود. کاهش

چاقی، سلامت مردم در کشورهای در حال توسعه و صنعتی را به شدت تهدید نموده است. امروزه یک سوم

میزان چربی در رژیم غذایی، روش خوبی برای مدیریت میزان مصرف چربی می‌باشد بر همین اساس تقاضا برای محصولات کم‌چرب به‌طور مداوم در حال افزایش است (ریتوانن و همکاران ۲۰۰۵). در این میان، تولید و توسعه محصولات لبنی با چربی کاهش یافته، از جمله خامه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. با این حال، مصرف کنندگان، اغلب محصولات با محتوای چربی کاهش یافته را به عنوان محصولی فاقد کیفیت رضایت‌بخش تلقی می‌کنند. کاهش مقدار چربی، ویژگی‌های رئولوژیکی، ارگانولپتیکی، احساس دهانی و بافت را به گونه‌ای منفی تحت تأثیر قرار می‌دهد.

از طرفی گرایش مردم به استفاده از غذاهای فراسودمند افزایش یافته است. یکی از مهم‌ترین زیر دسته های این نوع مواد غذایی، غذاهای حاوی فیبرهای پری‌بیوتیک می‌باشد. پری‌بیوتیک‌ها پلی‌ساکاریدهایی هستند که علاوه بر داشتن خواص فیبرهای محلول، به عنوان منبع انرژی برای میکروب‌های مفید روده مورد استفاده قرار می‌گیرند.

یکی از مهم‌ترین رهیافت‌ها در ساخت محصولات لبنی کم‌چرب، استفاده از ترکیباتی با میزان کالری کمتر است که به طور نسبی یا کامل جایگزین چربی شیر می‌شوند و ویژگی‌های چربی را ایجاد می‌کنند. جایگزین‌های چربی ترکیباتی هستند که بر ویژگی‌های محصول نظیر طعم، احساس دهانی، بافت، ویسکوزیته و سایر خصوصیات ارگانولپتیک تأثیر می‌گذارند (دریک و همکاران ۱۹۹۹). یکی از ترکیبات جایگزین چربی، هیدروکلوئیدها می‌باشند که باعث ایجاد بافت و قوام، افزایش پایداری، امولسیفایر کنندگی، تشکیل ژل و بهبود احساس دهانی محصولات غذایی می‌شوند. هیدروکلوئیدها، حالت مشابه یک پیکره چرب و روغنی را به وسیله توانایی‌شان در جذب و متصل کردن آب در محصولات کم‌چرب، ایجاد می‌کنند. از توانایی جذب آب هیدروکلوئیدها به طور گسترده‌ای در تولید محصولات لبنی کم‌چرب بهره می‌برند (بنچ، ۲۰۰۷). برخی از این ترکیبات علاوه بر این که نقش

جایگزین چربی را دارند به عنوان یک ترکیب پری‌بیوتیک شناخته می‌شوند. پری‌بیوتیک‌ها، فیبرهای غذایی کربوهیدراته غیرقابل هضم هستند که سبب تحریک رشد و تکثیر باکتری‌های پری‌بیوتیک مانند بیفیدوباکتریوم و لاکتوباسیلوس در روده بزرگ شده و در نتیجه سبب بهبود سلامت میزبان می‌شوند (رابرفروید ۲۰۰۵؛ وربک ۲۰۰۵). از جمله این کربوهیدرات‌های پری‌بیوتیک، اینولین و پلی‌دکستروز می‌باشند. اینولین به پلیمرهای فروکتوز با درجه پلیمریزاسیون ۲ تا ۶۰ گفته می‌شود که توسط پیوندهای بتا فروکتوزیل به هم متصل می‌باشند و در طبیعت به صورت کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای در گیاهان و پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی در برخی از ریز زنده‌ها یافت می‌شوند (تانگلد و میر ۲۰۰۲). خواص تکنولوژیکی منحصر به فرد اینولین سبب شده تا این ماده از نظر متخصصین صنایع غذایی مورد توجه قرار گیرد. نتایج پژوهش‌های انجام گرفته نشان داده که ترکیبات اینولین با درجه پلیمریزاسیون بالای ۱۰ در محیط‌های حاوی آب به صورت ریز بلورها و یا تکه‌های کوچک ژل در می‌آیند (کیم و همکاران ۲۰۰۱). این ریز بلورها در دهان احساس دهانی چرب ایجاد می‌کنند. از این خاصیت در تولید ماست بدون چربی، شکلات، پنیرهای تقلیدی، بستنی و سوسیس‌های تخمیری کم‌چرب استفاده شده است و نتایج به دست آمده حکایت از عدم تغییر در خواص ارگانولپتیکی محصولات تولید شده دارد (گلوب و همکاران، ۲۰۰۴). سهراب‌وندی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که غنی‌سازی نوشیدنی‌های نظیر آب انگور با اجزای فراسودمند جدید همچون پری‌بیوتیک‌های مثل اینولین و تاگاتوز به تنهایی یا با ترکیب ساکارز با هدف مهم جایگزینی قند امکان‌پذیر است. در پژوهشی دیگر بیطرف و همکاران (۱۳۹۲) بیان کردند که برای تولید شکلات تلخ کم کالری با ویژگی‌های فراسودمند و پری‌بیوتیک می‌توان به جای ساکارز از اینولین استفاده کرد. دامن افشان و همکاران (۱۳۹۴) نیز گزارش کردند

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده به منظور تولید خامه کم‌چرب در پژوهش جاری شامل شیر (۲/۵٪ چربی و ۹/۳٪ ماده خشک بدون چربی) و خامه (۳۰٪ چربی و ۳۵٪ ماده خشک) از شرکت شیر پاستوریزه پگاه تبریز بود. همچنین اینولین از شرکت Sensus هلند و پلی دکستروز از شرکت Danisco دانمارک خریداری شد.

تولید خامه

به منظور تولید خامه کم‌چرب، شیر ۲/۵٪ چربی و خامه ۳۰٪ چربی با همدیگر مخلوط شدند تا در نهایت خامه با ۲۰٪ چربی به دست آید و سپس مقادیر مختلف اینولین (۰، ۱، ۲، ۳، ۴ درصد وزنی/وزنی) و پلی دکستروز (۰، ۱، ۲، ۳، ۴ درصد وزنی/وزنی) طبق طرح آزمایشات به خامه کم‌چرب افزوده شد. ترتیب مراحل تولید خامه کم‌چرب بدین صورت بود که ابتدا مقدار محاسبه شده شیر ۲/۵٪ چربی در یک بشر روی بن‌ماری حرارت داده شد تا به دمای ۴۵ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد برسد. سپس به تدریج مقادیر مختلف اینولین و پلی دکستروز (طبق طرح آزمایشات) اضافه و هم زده شد تا اینولین و پلی دکستروز کاملاً حل شود. مخلوط حاصل به مدت ۱ دقیقه در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و پس از آن از روی بن‌ماری برداشته شد و در یک مخلوط کن با مقدار محاسبه شده خامه به مدت ۱ دقیقه (دو مرتبه به مدت ۳۰ ثانیه) مخلوط شد. سپس به مدت ۲۴ ساعت در یخچال با دمای ۶ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا خامه ۲۰٪ چربی آماده شود.

آزمون‌های فیزیکی شیمیایی

ویژگی‌های شیمیایی با استفاده از دستورالعمل‌های AOAC (۲۰۰۰) اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری pH با استفاده از دستگاه pH متر دیجیتال (مدل 827، Metrohm ساخت سوئیس) انجام گرفت. برای تعیین اسیدیته تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال انجام شد و اسید موجود در هر میلی‌لیتر خامه برحسب اسید لاکتیک اندازه‌گیری و گزارش شد. همچنین چربی به روش ژربر تعیین شد. در

که اینولین پتانسیل مناسبی جهت جایگزینی با چربی کیک روغنی دارد.

پلی دکستروز از پلیمریزاسیون تصادفی گلوکز در مجاورت مقدار کمی از سوربیتول و کاتالیزور اسیدی در دمای بالا و خلاء نسبی به دست می‌آید (جی و همکاران ۲۰۰۰). پلی دکستروز پلیمر محلول در آب گلوکز است که در غذاها بافت و حجمی مشابه با ساکاروز اما با کالری کمتر ایجاد می‌کند. کالری کم این ترکیب به دلیل هضم ضعیف آن در روده کوچک و تخمیر ناقص آن در روده بزرگ است که سبب پذیرش آن به عنوان فیبر غذایی در بسیاری از کشورها شده است. گزارشات نشان می‌دهد که مصرف روزانه ۴ تا ۱۲ گرم پلی دکستروز می‌تواند سبب بهبود عملکرد فیزیولوژیکی بدون ایجاد عوارض جانبی شود. سازمان غذا و داروی آمریکا مصرف حداکثر ۹۰ گرم در روز و ۵۰ گرم در هر وعده غذایی را مورد تایید قرار داده است (هار و همکاران، ۲۰۰۰) این ترکیب عمدتاً به عنوان جایگزین شکر، نشاسته و چربی در مواد غذایی استفاده می‌شود و همچنین دارای خصوصیات پری بیوتیکی و اثرات مفید بر فعالیت غشای موکوس است (جی و همکاران، ۲۰۰۰).

خامه یک امولسیون غلیظ چربی در آب حاصل از شیر است (غلام‌حسین پور و مظاهری تهرانی، ۱۳۹۰). وجود چربی بالا در خامه می‌تواند موجب تشدید مشکلات سلامتی در مصرف‌کنندگان گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که اینولین و پلی دکستروز از پتانسیل بالایی جهت جایگزینی با چربی در فرآورده‌های لبنی برخوردار هستند. با این وجود، تا کنون پژوهشی در ارتباط با تولید خامه کم‌چرب با استفاده از اینولین و پلی دکستروز به عنوان هیدروکلوئیدهای پری بیوتیک و جایگزین چربی صورت نگرفته است. از این رو، هدف پژوهش پیش‌رو، بهبود ویژگی‌های خامه کم‌چرب از طریق افزودن ترکیب اینولین و پلی دکستروز می‌باشد.

ارزیابی حسی

در این قسمت مهم‌ترین خصوصیات ارگانولپتیکی نمونه‌های خامه شامل: رنگ، طعم، بافت و پذیرش کلی توسط ۱۰ نفر پانلیست (۵ نفر مرد و ۵ نفر زن ۲۰ تا ۳۵ سال) مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌ها از طریق یک آزمون ترجیحی پنج نقطه‌ای با یکدیگر مقایسه شدند. قبل از ارزیابی، نمونه‌ها خامه در دمای محیط ($22 \pm 2^\circ\text{C}$) نگهداری شدند تا بدین روش دمای تمامی نمونه‌ها در حین ارزیابی یکسان بوده و تأثیری بر نتایج حسی نگذارد.

تجزیه و تحلیل آماری

بهینه‌سازی فرمولاسیون خامه کم‌چرب، با استفاده از روش سطح پاسخ و در قالب یک طرح مرکب مرکزی^۱ صورت پذیرفت. طرح مورد نظر با استفاده از دو فاکتور و هر فاکتور دارای پنج سطح راه‌اندازی شد. فاکتورها شامل درصد اینولین و درصد پلی‌دکستروز بودند، که سطوح هر کدام از آنها در جدول ۱ بصورت کددار و غیرکددار مشخص شده است. طرح مختلط مرکزی با استفاده از ۲ فاکتور دارای ۵ سطح، ۱۳ تیمار خامه کم‌چرب با فرمول‌بندی‌های مختلف ارائه کرد. نمونه‌های خامه کم‌چرب بر اساس فرمولاسیون‌های مشخص شده در طرح آزمون تولید شدند و از نقطه‌نظر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و ارگانولپتیکی مورد ارزیابی قرار گرفتند یک مدل چند جمله‌ای درجه دوم (رابطه ۱) به داده‌های تجربی برازیده شد:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon_{ij} \quad (1) \text{ رابطه}$$

که Y پاسخ (میانگین خطای مطلق) و β_0 ، β_i ، β_{ii} و β_{ij} ضرایب رگرسیونی به ترتیب برای عرض از مبدا، خطی، درجه دوم و برهم‌کنش‌ها بوده و X_i و X_j متغیرهای مستقل می‌باشند. تحلیل سطح‌پاسخ و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Design Expert نسخه‌ی ۹ (شرکت

نهایت به منظور تعیین آب‌اندازی مقدار ۱۰ گرم از نمونه‌های مختلف خامه در لوله آزمایشگاهی مدرج قرار داده شد و در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۱۰۵۸ rpm به مدت ۵ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد تحت سانتریفیوژ قرار گرفت. سپس حجم فاز آبی جدا شده از خامه، بر حسب میلی‌لیتر ثبت گردید (رفیعی طاری و همکاران ۱۳۸۵).

آزمون‌های رئولوژیکی

رئومتری پایا

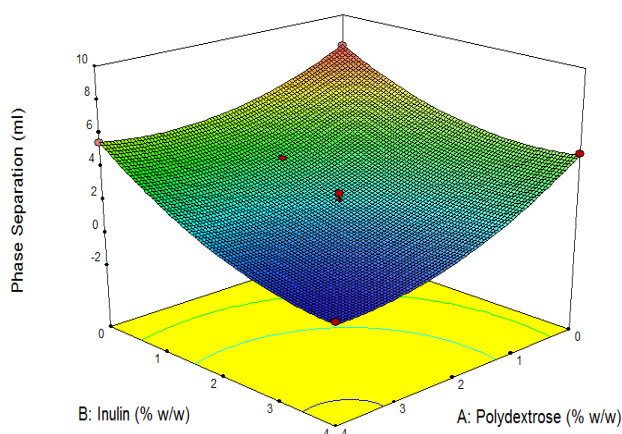
بررسی خصوصیات رئولوژیک نمونه‌های خامه به وسیله دستگاه رئومتر (Physica Anton Paar، مدل MCR 301، ساخت اتریش) مجهز به رئومتری استونه-های هم مرکز (cc27) انجام شد. رئومتر مجهز به یک سیرکولاتور حرارتی برای انجام آزمون بود. نمونه‌های خامه، در سیلندر دستگاه ریخته شد و توسط سیرکولاتور به دمای $15 \pm 0.1^\circ\text{C}$ درجه سانتی‌گراد رسید. به منظور اندازه‌گیری ویسکوزیته به صورت تابعی از سرعت برشی و تعیین رفتار جریان‌ی نمونه‌ها، سرعت برشی از 2 s^{-1} تا 100 s^{-1} تغییر پیدا کرد (داو و هارتل، ۲۰۱۵). لازم به ذکر است که مقادیر ویسکوزیته ظاهری تمامی نمونه‌های خامه کم‌چرب در سرعت برشی 25 s^{-1} گزارش شد.

رئومتری نوسانی

اندازه‌گیری‌های نوسانی پویا با استفاده از رئومتر (Physica Anton Paar، مدل MCR 301، ساخت اتریش) انجام شد. گستره ویسکوالاستیک خطی با انجام آزمایش روبش کرنش تعیین شد. برای این منظور فرکانس در ۱۰ هرتز تنظیم شده و درصد کرنش از ۰/۰۱ تا ۱۰۰ تغییر پیدا کرد. محدوده خطی کرنش در گستره ۱٪ انتخاب شد و سپس آزمون روبش فرکانس (۰/۱ تا ۱۰۰ هرتز) در کرنش ثابت (۱٪) انجام گرفت. مقادیر مدول ذخیره (G') و مدول افت (G'') در فرکانس ۱۰ هرتز گزارش شد (کرمی و همکاران، ۲۰۰۹).

¹ Central composite

بودن R^2 به یک (جدول ۲)، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که معادله ریاضی ساخته شده بین متغیر وابسته (آب-اندازی) و متغیر مستقل (غلظت اینولین و پلی دکستروز) در خامه کم‌چرب به خوبی توانسته است ارتباط بین متغیرهای مورد آزمون را نشان دهد. بررسی نتایج حکایت از آن داشت که هر دو متغیر اثر خطی معنی‌داری ($P \leq 0.01$) بر آب‌اندازی خامه کم‌چرب دارند و اثر متقابل دو متغیر نیز معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بود (جدول ۲). در تفسیر نتایج جدول تجزیه واریانس، مقدار مثبت ضریب رگرسیونی نشان‌دهنده تاثیر افزایشی متغیر مستقل بر روی پارامتر مورد بررسی است در حالی که ضریب منفی تاثیر مخالفی دارد. این موضوع در نمودارهای رویه‌های سه‌بعدی ارائه شده نیز بخوبی نمایان است (شکل ۱). بر این اساس، ضریب منفی متغیر اینولین و پلی دکستروز در مدل رگرسیونی اجزای فرمولاسیون پارامتر آب‌اندازی نشان‌دهنده این است که افزایش اینولین و پلی دکستروز در فرمولاسیون خامه کم‌چرب با کاهش آب‌اندازی همراه خواهد بود. اثر متقابل متغیرهای مستقل (اینولین و پلی دکستروز) بر پاسخ (آب‌اندازی) در نمودارهای رویه سه‌بعدی به خوبی نشان داده شده است (شکل ۱).



شکل ۱- نمودار رویه سه‌بعدی برهمکنش متغیرهای مستقل (غلظت اینولین و پلی دکستروز) بر میزان آب‌اندازی خامه کم‌چرب

Desigen Expert، ایالات متحده) انجام شد. همچنین در مرحله بعد برای مقایسه ویژگی‌های ارگانولپتیک نمونه بهینه با نمونه پرچرب و کم‌چرب شاهد از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. نتایج با استفاده از رویه GLM نرم افزار SAS (Version 9.3) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های مختلف استفاده شد.

جدول ۱- سطوح متغیرهای مختلف مورد بررسی در

خامه کم‌چرب به صورت کددار و غیرکددار

متغیر مستقل	کد و سطح مربوطه				
	-۱	-۰/۵	۰	+۰/۵	+۱
پلی دکستروز	۰	۱	۲	۳	۴
اینولین	۰	۱	۲	۳	۴

نتایج و بحث

آب‌اندازی

یکی از مهم‌ترین مسائل در تولید خامه، مقدار آب‌اندازی پس از تولید می‌باشد که پذیرش و قابلیت مصرف آن را پایین می‌آورد (غلام‌حسین‌پور و مظاهری تهرانی ۱۳۹۰). با کاهش چربی در فرمولاسیون خامه، مقدار آب‌اندازی آن افزایش پیدا می‌کند که به کاهش مقاومت مکانیکی شبکه پروتئینی مربوط است. غنی‌سازی با ماده خشک و همچنین افزودن هیدروکلوئیدها روش‌های متداول برای ممانعت از آب‌اندازی می‌باشند (ساهان و همکاران ۲۰۰۸). نتایج تحلیل آماری اثر غلظت‌های مختلف اینولین و پلی دکستروز بر میزان آب‌اندازی خامه کم‌چرب (۲۰٪ چربی) در جدول ۲ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، میزان P پارامتر فقدان برازش^۱ برای معادله پیش‌بینی آب‌اندازی ۰/۰۹۶ و غیر معنی‌دار بوده است که تاییدی بر مناسب بودن مدل محاسباتی محسوب می‌شود. مقادیر کوچک P بیانگر نامناسب بودن مدل است و در مقادیر P کوچکتر از ۰/۰۵ مدل به طور کلی کنار گذاشته می‌شود. همچنین با توجه به نزدیک

^۱. Lack-of-Fit

این نمودارها میزان آب‌اندازی خامه کم‌چرب را در برابر تغییر متغیرها به صورت سه بعدی ارائه می‌دهند. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، افزایش غلظت اینولین یا پلی دکستروز صرفاً در غلظت‌های بالای دومی اثر چشمگیری داشته و به عبارت دیگر، برهم‌کنش متغیرهای مستقل اثر چشمگیری در مقایسه با اثر منفرد متغیرهای مستقل بر پاسخ داشته است و حداقل آب‌اندازی در حداکثر میزان هر دو متغیر مستقل دیده می‌شود. فبرهای پری‌بیوتیک از جمله اینولین و پلی-

دکستروز، ترکیبات پلی‌ساکاریدی بوده و به عنوان جاذب آب عمل کرده و با گیر انداختن آب و ایجاد شبکه ژلی از خروج آب جلوگیری می‌کنند (گوستاوو و همکاران ۲۰۱۱). در مقادیر بالا ممکن است برهم‌کنش اینولین و پلی‌دکستروز با پروتئین‌های خامه موجب کاهش بیشتری در میزان آب‌اندازی خامه کم‌چرب شود. در همین راستا، صمدی و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که بتا گلوکان با جذب آب در شبکه ماست به طور معنی-داری باعث کاهش در آب‌اندازی می‌شود.

جدول ۲- ضرایب رگرسیون و مقادیر پارمترهای آماری مدل‌های چند جمله‌ای برای پاسخ‌های مختلف

ضرایب	آب‌اندازی	ویسکوزیته ظاهری	مدول ذخیره	مدول افت	مقبولیت طعم	مقبولیت بافت	مقبولیت رنگ	پذیرش کلی
مدل	۱/۹۸**	۲۴۴۹/۳**	۴۲۵/۷۴**	۱۵۲/۴۳**	۲/۷۹*	۴/۰۰**	۳/۶۵**	۳/۴۰**
اثر خطی								
β_1	-۱/۸۸**	۶۳۱/۱**	۷۵/۵۵**	۵۲/۰**	-۰/۶۴*	-۰/۱۲	-۰/۲۴	-۰/۳۵*
β_2	-۲/۲۲**	۸۰۵/۰**	۱۰۱/۱۱**	۶۸/۵۵**	-۰/۷۶*	-۰/۱۱	-۰/۲۶	-۰/۴۴**
اثر متقابل								
β_{12}	-۰/۶۲	۱۱۰/۰	۱۷/۵۰*	۲۶/۵۰**	ns	Ns	-۲/۰۶*	-۰/۸۲
اثر درجه دوم								
β_{11}	ns	Ns	ns	ns	ns	-۱/۰**	Ns	-۱/۲۲*
B_{22}	Ns	Ns	ns	ns	ns	-۲/۰**	Ns	ns
R^2	۰/۹۷۸	۰/۹۹۳	۰/۹۸۷	۰/۹۸۸	۰/۹۰۴	۰/۹۹۸	۰/۹۸۲	۰/۹۹۰
Adj- R^2	۰/۹۶۲	۰/۹۸۸	۰/۹۷۸	۰/۹۷۹	۰/۸۳۶	۰/۹۹۶	۰/۹۷۰	۰/۹۸۳
احتمال عدم برازش	۰/۰۹۶	۰/۲۴۹	۰/۰۶۱	۰/۰۶۶	۰/۰۵۷	۰/۳۴۷	۰/۵۰۴	۰/۳۱۴
ضریب پراکندگی	۱۴/۷۶	۲/۹۲	۲/۶۶	۵/۰۲	۱۴/۱۱	۲/۶۲	۷/۴۰	۴/۷۷

بدون ستاره ($p \leq 0.05$)، یک ستاره ($p \leq 0.01$) دو ستاره ($p \leq 0.001$)، ns در سطح ۹۵ درصد معنی دار نمی باشد

β_1 و β_2 به ترتیب نشان‌دهنده ضریب متغیرهای پلی‌دکستروز و اینولین در مدل‌های ریاضی برازش‌شده به داده‌های تجربی می‌باشند

ویژگی‌های رئولوژیکی

رئومتری پایا (ویسکوزیته ظاهری)

نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف اینولین و پلی‌دکستروز بر ویسکوزیته خامه کم‌چرب در سرعت برشی S^{-1} ۲۵، در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان از قابلیت اطمینان بالای مدل رگرسیون در پیش-بینی ویسکوزیته ظاهری خامه کم‌چرب تولید شده با

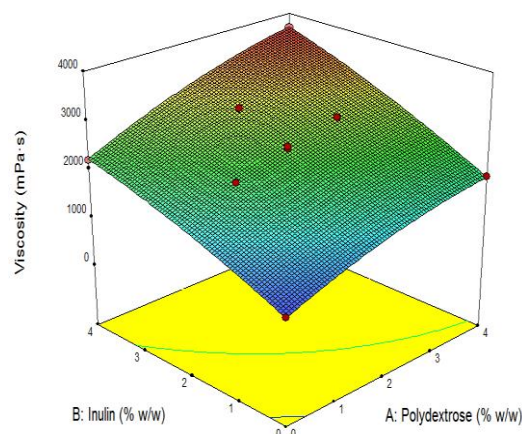
غلظت‌های مختلف پلی‌دکستروز و اینولین دارد. همانطور که در جدول می‌توان مشاهده کرد اثرات خطی غلظت اینولین و پلی‌دکستروز بر ویسکوزیته معنی‌دار بود و افزایش غلظت اینولین و پلی‌دکستروز در فرمولاسیون خامه کم‌چرب به صورت بسیار معنی‌داری ($P \leq 0.01$) منجر به افزایش ویسکوزیته خامه حاصله شد. همچنین بر پایه یافته‌های آماری (جدول ۲)، اثر متقابل آن‌ها بر

پلی دکستروز در غلظت‌های بالا سبب افزایش بیشتری در میزان ویسکوزیته شد. در این رابطه مطالعات نشان داده است که همراه کردن اینولین با سایر ترکیبات پری-بیوتیک به دلیل برهمکنش‌های آن‌ها باهم و پروتئین‌های بستر ماده غذایی نتیجه بهتری خواهد داشت (پاسفول و همکاران، ۲۰۰۸).

رئومتری نوسانی (خواص ویسکوالاستیک)

رئومتری نوسانی برای بررسی رفتار ویسکوالاستیک مواد به کار می‌رود و پارامترهای مدول ذخیره (G') و مدول افت (G'') مهم‌ترین پارامترهای مربوط به این آزمون می‌باشند که به ترتیب نشان‌دهنده خواص الاستیک و ویسکوز مواد غذایی می‌باشند (کاهیوخلو و کایا؛ ۲۰۰۳). یافته‌های آماری اثر غلظت‌های مختلف اینولین و پلی دکستروز بر پارامترهای رئولوژیکی خامه کم چرب (۲۰٪ چربی) شامل مدول ذخیره (G') و مدول افت (G'') در فرکانس ۱۰ هرتز در جدول ۲ نشان داده شده است. بالا بودن ضریب تعیین (R^2) و معنی‌دار نبودن پارامتر فقدان برازش مدل‌های پیشگویی تغییرات مدول ذخیره و مدول افت (جدول ۲) تاییدی بر قابل اطمینان بودن مدل‌های رگرسیونی در توضیح تغییرات فاکتورهای مدول افت و مدول ذخیره خامه کم‌چرب به موازات تغییر غلظت اجزای فرمولاسیون می‌باشد. نگاهی به نتایج نشان می‌دهد که هر دو متغیر اثر خطی بسیار معنی‌داری ($P \leq 0.01$) بر مدول ذخیره و مدول افت خامه کم‌چرب دارند و همچنین اثر متقابل متغیرهای مستقل نیز معنی‌دار بود (جدول ۲). همان‌طور که پیش‌تر بیان گردید مقدار مثبت ضریب رگرسیونی در جدول تجزیه واریانس نشان‌دهنده تاثیر افزایشی متغیر مستقل بر روی پارامتر مورد بررسی است که در نمودارهای رویه‌های سه‌بعدی ارائه شده نیز بخوبی نمایان است (شکل ۳). ضریب مثبت متغیر اینولین و پلی دکستروز در مدل رگرسیونی اجزای فرمولاسیون مدول ذخیره و مدول افت نشان‌دهنده این است که افزایش اینولین و پلی دکستروز در فرمولاسیون خامه کم‌چرب موجب افزایش مدول ذخیره و مدول افت

ویسکوزیته نیز معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$). نمودار رویه سه‌بعدی به خوبی بیانگر اثر متقابل اینولین و پلی-دکستروز بر ویسکوزیته ظاهری می‌باشد (شکل ۲).

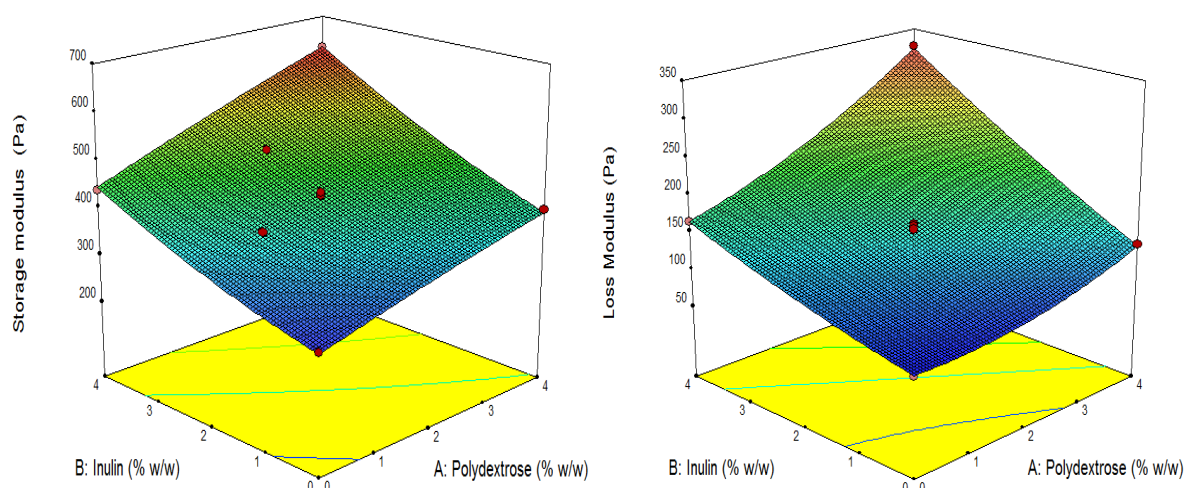


شکل ۲- نمودار رویه سه‌بعدی برهمکنش متغیرهای مستقل بر ویسکوزیته ظاهری خامه کم‌چرب (در سرعت برشی S^{-1}) (۲۵)

همان‌طور که در شکل می‌توان دید، در غلظت‌های بالای اینولین و پلی دکستروز، برهمکنش آن‌ها سبب افزایش بیشتر ویسکوزیته ظاهری شده است. به عبارت دیگر با افزایش اینولین در تمامی غلظت‌های پلی دکستروز، ویسکوزیته افزایش می‌یابد و این اثر در غلظت‌های بالاتر پلی دکستروز مشهودتر است. همان‌طور که پیش‌تر نیز بیان شد افزودن هیدروکلوئیدها باعث افزایش قابلیت جذب آب می‌شود که موجب دو اثر فیزیکی مهم می‌شود، یکی کاهش آب‌اندازی و دیگری افزایش ویسکوزیته ظاهری (آمینگو و همکاران، ۲۰۰۹). کیپ و همکاران (۲۰۰۶) گزارش دادند که با افزایش میزان اینولین ویسکوزیته ظاهری در ماست کم‌چرب نسبت به نمونه‌های دیگر افزایش می‌یابد که به توانایی در متصل شدن با پلی ساکاریدهای خارج سلولی و پروتئین‌ها نسبت دادند. تمیم و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که هیدروکلوئیدها با متصل کردن آب آزاد موجود در نمونه باعث افزایش ویسکوزیته می‌گردند. برهمکنش اینولین و

رابطه با دلیل افزایش مدول‌های ویسکوالاستیک در نتیجه استفاده از قوام‌دهنده‌های گوار و کربوکسی متیل سلولز در ماست میوه‌ای قالبی بیان کردند که برهمکنش‌های غیرالکترواستاتیک بین هیدروکلوئیدها و توده‌های پروتئینی اتفاق می‌افتد و این امر موجب افزایش خصوصیات الاستیکی ماست می‌شود که احتمالاً این هیدروکلوئیدها با برقراری اتصال با بارهای مثبت سطح میسل‌های کازئین، به تقویت شبکه کازئینی می‌پردازد و باعث افزایش مدول الاستیک می‌شود. اورت و مکود (۲۰۰۵) مطابق با نتایج این پژوهش بیان کردند که افزودن صمغ گوار به ماست هم‌زده موجب افزایش خواص الاستیک می‌شود.

شده است. بررسی اثر متقابل اینولین و پلی‌دکستروز (شکل ۳) نشان از تاثیر افزایشی متغیرهای مستقل در غلظت‌های بالا بود. با افزایش نسبت پری‌بیوتیک‌ها (اینولین و پلی‌دکستروز) در خامه کم‌چرب مدول افت و مدول ذخیره افزایش پیدا کرد که می‌توان آن را به تشکیل شبکه ژل مستحکم ایجاد شده در نتیجه افزودن هیدروکلوئیدهای پری‌بیوتیک نسبت داد (پاسفول و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین با افزایش اینولین و پلی‌دکستروز در فرمولاسیون خامه کم‌چرب، ماده خشک افزایش پیدا می‌کند و متناسب با آن برهمکنش بیشتری با پروتئین‌های خامه کم‌چرب دارند که موجب افزایش مدول‌های ویسکوالاستیک خامه کم‌چرب می‌شود (کاهیوگلو و کایا، ۲۰۰۳). زمانی و همکاران (۱۳۹۴) در



شکل ۳- نمودارهای رویه سه‌بعدی برهمکنش متغیرهای مستقل بر مدول ذخیره و مدول افت خامه کم‌چرب

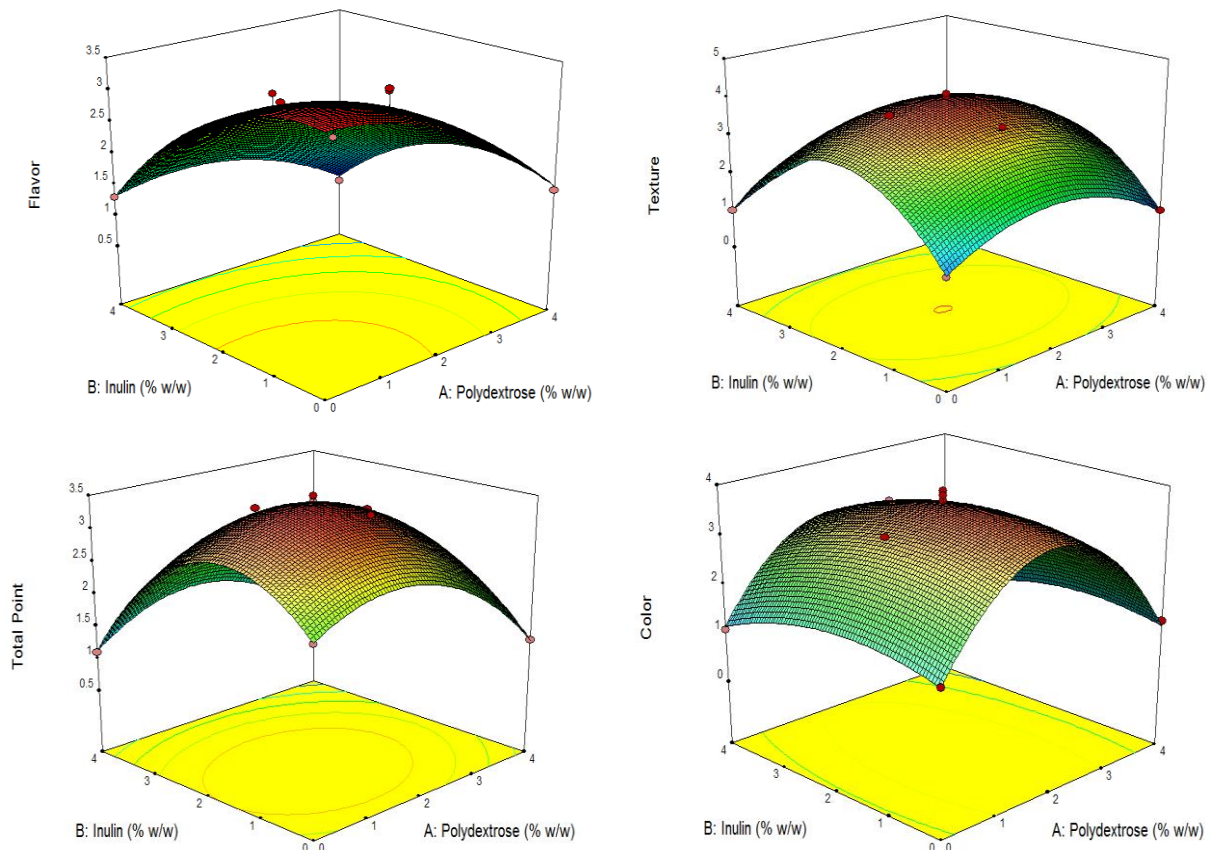
معنی‌داری بر تمام ویژگی‌های ارگانولپتیک آن‌ها دارد ($P \leq 0.01$). همچنین اثرات متقابل اینولین و پلی‌دکستروز در ارتباط با هیچ یک از پارامترهای ارگانولپتیکی معنی‌دار نبود. اثرات درجه دوم اینولین تنها در پارامترهای مقبولیت بافت و پذیرش کلی معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود و اثرات درجه دوم پلی‌دکستروز نیز در ارتباط با پارامترهای مقبولیت بافت، مقبولیت رنگ و پذیرش کلی معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$). بررسی نمودار سه‌بعدی (شکل ۴) نشان می‌دهد که افزایش پلی‌دکستروز

ویژگی‌های ارگانولپتیکی

نتایج تحلیل آماری داده‌های حاصل از ارزیابی حسی نمونه‌های خامه کم‌چرب حاوی اینولین و پلی‌دکستروز در جدول ۲ ارائه شده است. بالا بودن ضریب تعیین و معنی‌دار نبودن آماری فاکتور فقدان برازش در مورد مدل‌های رگرسیونی طعم، بافت، رنگ و پذیرش کلی (جدول ۲) نشان از صحت پیش‌گویی مدل‌ها دارد. یافته‌های آماری حکایت از آن دارد که تغییر غلظت اینولین و پلی‌دکستروز در فرمولاسیون خامه کم‌چرب، تاثیر خطی

اینولین و پلی دکستروز تاثیر دوگانه بر امتیاز بافت نمونه‌های خامه کم‌چرب داشت و در مقادیر بالا امتیاز کسب شده از دید پانلیست‌ها کاهش پیدا کرد (شکل ۴).

و اینولین تا غلظت‌های میانی (حدوداً ۲ درصد) تاثیر چندانی بر طعم نگذاشته است اما در مقادیر بالاتر از غلظت میانی امتیاز طعم کاهش پیدا کرد. همچنین افزایش



شکل ۴- نمودارهای رویه سه‌بعدی برهمکنش متغیرهای مستقل بر ویژگی‌های ارگانولپتیکی خامه کم‌چرب

(شکل ۴). بررسی‌های متعددی نقش مؤثر ترکیبات پری-بیوتیکی را در ویژگی‌های حسی فرآورده‌های شیری تخمیری نظیر ماست به اثبات رسانده است (تانگلد و میر ۲۰۰۲). استافلو و همکاران (۲۰۰۴) با بررسی تاثیر برخی از فیبرهای رژیمی بر خواص حسی ماست بیان کردند که نمونه‌های حاوی اینولین بیشترین امتیاز مقبولیت کلی را کسب کرده است. اینولین به عنوان بهبود دهنده بافت نیز عمل می‌کند زیرا با تشکیل کریستال‌های ریز ساختار ژلی را تشکیل می‌دهد که مسئول بوجود آمدن حالت خامه‌ای در بافت محصول می‌شود (رابرفرود ۲۰۰۵). در یک بررسی دیگر مشخص شد که ترکیبات پری بیوتیکی نظیر فروکتوالیگوساکاریدها موجب

از سوی دیگر بررسی امتیاز رنگ نمونه‌های خامه کم-چرب گویای این مطلب بود که متغیرهای مستقل اثر دوگانه‌ای بر امتیاز کسب شده پارامتر رنگ از نظر پانلیست‌ها داشتند و در غلظت‌های میانی پلی دکستروز و اینولین بیشترین امتیاز از نظر رنگ کسب گردید (شکل ۴). در نهایت بررسی امتیاز پذیرش کلی نمونه‌های خامه کم‌چرب نشان داد که همانند سایر پارامترهای حسی افزایش اینولین و پلی دکستروز بر پذیرش کلی خامه کم‌چرب تاثیر دوگانه‌ای داشته است و افزایش مقدار متغیرهای مستقل تا مقادیر میانی سبب بهبود امتیاز پذیرش کلی شده است، اما با افزایش آن‌ها از مقادیر میانی به بعد امتیاز پذیرش کلی کاهش می‌یابد

مقایسه ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه بهینه با نمونه

کم‌چرب و پرچرب شاهد

رئومتري پایا

شکل ۵ تغییرات ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های خامه را به موازات افزایش سرعت برشی نشان می‌دهد. همانطور که در شکل قابل مشاهده است، با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته تمامی نمونه‌ها کاهش پیدا کرد. این موضوع نشان دهنده رفتار سودوپلاستیک یا شل‌شونده با برش خامه است. علت بروز این رفتار، هم راستا شدن مولکول‌ها و کاهش اصطکاک داخلی با افزایش سرعت برشی می‌باشد (گاف و همکاران ۱۹۹۴). نتایج حاکی از آن بود که با وجود رفتار جریانی مشابه تمامی نمونه‌ها، نمونه شاهد کم‌چرب در تمام سرعت‌های برشی، کمترین میزان ویسکوزیته را دارا بود و با افزودن سطوح بهینه اینولین و پلی دکستروز به فرمولاسیون خامه ویسکوزیته ظاهری افزایش یافت. همانطور که پیش‌تر بیان گردید افزودن هیدروکلوئیدها با افزایش قابلیت جذب آب شبکه ژلی مستحکمی ایجاد می‌کنند که در نتیجه آن ویسکوزیته افزایش می‌یابد (آمینگو و همکاران ۲۰۰۹). افزایش میزان ویسکوزیته ظاهری و نزدیک شدن آن به نمونه پرچرب را می‌توان به عنوان تاییدی بر احتمال اثر مطلوب اینولین و پلی دکستروز در بهبود بافت خامه کم‌چرب دانست.

رئومتري نوسانی

آزمون نوسانی به منظور تعیین رفتار ویسکوالاستیک نمونه‌های خامه انجام شد. این آزمون متداول‌ترین آزمون نوسانی است که رفتار ویسکوز و الاستیک مواد را در تنش یا کرنش‌های مختلف نشان می‌دهد (کرمی و همکاران ۲۰۰۹). شکل ۶ مقایسه تغییرات مدول ذخیره و مدول افت نمونه‌های مختلف خامه در فرکانس‌های مختلف را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل قابل مشاهده می‌باشد میزان G' و G'' نمونه شاهد کم‌چرب در تمام فرکانس‌ها کمتر از نمونه شاهد پرچرب می‌باشد. با افزودن سطح بهینه اینولین و پلی دکستروز، میزان این

بهبود ساختار و بافت ماست سین‌بیوتیک می‌شوند (تانگلند و میر ۲۰۰۲). گوجیزبرگ و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند که افزودن اینولین به طور قابل توجهی سبب بهبود ویژگی‌های بافتی و حسی ماست کم‌چرب می‌شود. در تضاد با این نتایج آکین و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که اینولین اثری بر ویژگی‌های حسی بستنی ندارد.

بهینه‌سازی و تائید آماری مدل‌های رگرسیونی

به منظور بهینه‌سازی فرمولاسیون خامه کم‌چرب حد بالا و پایین و مطلوب هر یک از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده (پاسخ‌ها) و اهمیت آن‌ها تعیین شد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی نشان داد که با به‌کارگیری مقدار ۱/۹۲ (w/w %) اینولین و ۱/۵۸ (w/w %) پلی دکستروز می‌توان خامه کم‌چرب با ویژگی‌های نزدیک به خامه پرچرب تولید نمود. تیمار پیشنهادی با شرایط یکسان همانند سایر تیمارها تولید و نتایج حاصل از آن با نتایج پیشگویی شده توسط مدل‌ها مقایسه گردید (جدول ۳). عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵٪ بین نتایج پیشگویی شده و نتایج به دست آمده از تیمار پیشنهادی، صحت پیشگویی مدل‌ها را به خوبی اثبات نمود.

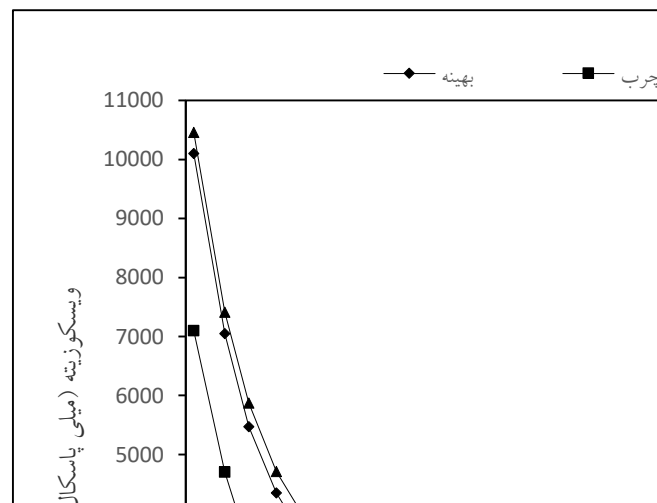
جدول ۳- مقایسه نتایج حاصل از آزمایش و نتایج پیش

بینی شده نمونه بهینه		
پارامتر	مقدار پیش-بینی شده	مقدار بدست آمده ^a
آب‌اندازی (میلی‌لیتر)	۲/۵۱	۲/۵±۰/۲
مدول ذخیره (پاسکال)	۴۰۶	۴۱۸±۱۴
مدول افت (پاسکال)	۱۴۰	۱۴۵±۷
ویسکوزیته (میلی پاسکال ثانیه)	۲۲۸۰	۲۳۵۰±۱۵۰
مقبولیت کلی (۱-۵)	۳/۴۶	۳/۶±۰/۲

a مقادیر بدست آمده میانگین سه تکرار می‌باشد

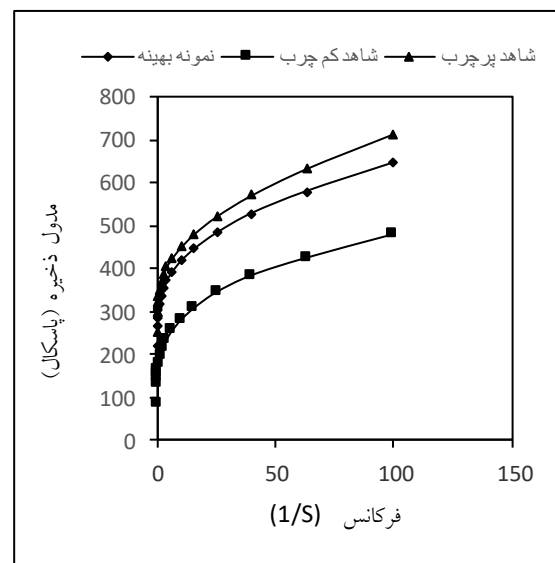
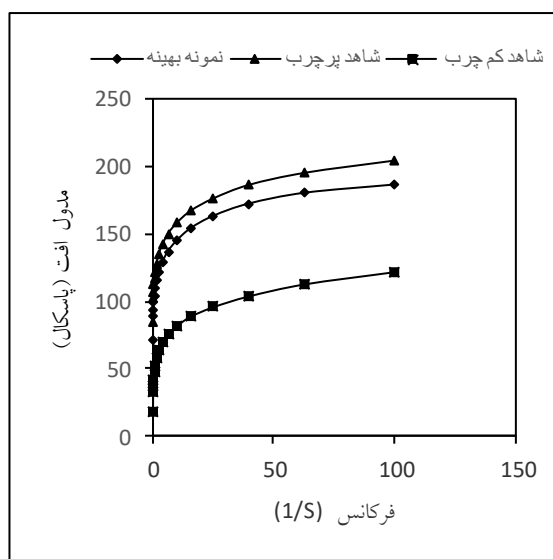
(۲۰۱۵). همچنین شایان ذکر است با افزایش فرکانس مقادیر G' و G'' در تمامی نمونه‌ها روند افزایشی داشت که این امر می‌تواند به نوعی نشان دهنده بازآرایی پیوندهای شبکه خامه به موازات افزایش زمان اعمال تنش باشد (صیادی و همکاران ۲۰۱۳). در تمامی نمونه‌ها مقادیر G' از G'' در تمامی فرکانس‌ها بیشتر بود که نشان دهنده برتری رفتار الاستیک بر رفتار ویسکوز می‌باشد.

پارامترها افزایش پیدا کرد و میزان G' و G'' به نمونه پرچرب نزدیک شد. همانطور که پیش‌تر ذکر گردید افزایش مدول‌های ویسکوالاستیک را در نتیجه افزودن اینولین و پلی دکستروز به خامه کم‌چرب را می‌توان به مکانیسم هیدروکلوئیدها در جذب آب و افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته نسبت داد که منجر به حفظ شبکه سه‌بعدی ژلی می‌شود و در نهایت مدول‌های ویسکوالاستیک را افزایش می‌دهد (زمانی و همکاران



شکل ۵- تاثیر سرعت برشی بر ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های مختلف خامه

■ نمونه شاهد کم‌چرب، ▲ نمونه شاهد پرچرب ♦ نمونه خامه کم‌چرب حاوی مقادیر بهینه اینولین و پلی دکستروز



شکل ۶- مدول ذخیره و مدول افت نمونه‌های مختلف خامه

■ نمونه شاهد کم‌چرب، ▲ نمونه شاهد پرچرب ♦ نمونه خامه کم‌چرب حاوی مقادیر بهینه اینولین و پلی دکستروز

مقایسه ویژگی‌های ارگانولپتیکی نمونه بهینه با نمونه

کم‌چرب و پرچرب شاهد

نتایج حاصل از ارزیابی حسی نمونه‌های خامه در جدول ۴ نشان داده شده است. همانطور که انتظار می‌رفت کاهش میزان چربی به طور قابل توجهی، طعم، بافت، رنگ و پذیرش کلی خامه را تحت تاثیر قرار داد و خامه کم‌چرب کمترین امتیازها را از دید تمامی صفات کسب کرد. با تلفیق مقدار بهینه اینولین و پی‌دکستروز، ویژگی‌های حسی نمونه کم‌چرب به گونه چشمگیری بهبود پیدا

کرد و در نتیجه آن، اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0.05$) از نظر رنگ و بافت بین نمونه پرچرب و نمونه بهینه مشاهده نشد اما از نقطه نظر طعم و پذیرش کلی نمونه پرچرب به گونه معنی‌داری ($P \leq 0.05$) بیشتر مورد پسند مصرف‌کنندگان قرار گرفت (جدول ۵). مطابق با این نتایج Srisuvor و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که پری-بیوتیک‌های پلی دکستروز و اینولین سبب بهبود رنگ و بافت ماست می‌شوند، اما بر عطر و طعم محصول اثری ندارند.

جدول ۴- نتایج حاصل از ارزیابی حسی نمونه‌های خامه

طعم (۵-۱)	بافت (۵-۱)	رنگ (۵-۱)	پذیرش کلی (۵-۱)
نمونه بهینه	۳/۱±۰/۲b	۴/۱±۰/۲ a	۳/۸±۰/۲a
شاهد کم‌چرب	۳/۴±۰/۳ b	۱/۲±۰/۱ b	۲/۳±۰/۱c
شاهد پرچرب	۴/۳±۰/۳ a	۴/۰±۰/۳ a	۳/۹±۰/۲ a

حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری آماری در سطح ۹۵٪ می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

با به بکارگیری روش سطح پاسخ و تلفیق میزان بهینه‌ای از اینولین و پلی دکستروز به بستر خامه، فرمولاسیون جدیدی در تولید خامه کم‌چرب ارائه شد که از ویژگی‌های فیزیکی، رئولوژیکی و حسی به مراتب مطلوب‌تری نسبت به نمونه شاهد کم‌چرب برخوردار بود. نتایج به

دست آمده گویای این مطلب است که با استفاده از تلفیق میزان بهینه اینولین و پلی‌دکستروز می‌توان محصولی با چربی پایین، ویژگی‌های مطلوب رئولوژیکی و خصوصیات تغذیه‌ای مفید تولید کرد که از ویژگی‌هایی مشابه با خامه پرچرب برخوردار بوده و مورد پسند مصرف‌کنندگان نیز واقع می‌شود.

منابع مورد استفاده

- زمانی، ا، الماسی ه و قنبرزاده ب، ۱۳۹۴، تاثیر قوام دهنده های گوار و کربوکسی متیل سلولز بر خواص رئولوژیکی و فیزیکی ماست میوه ای قالبی، مجله مهندسی بیوسیستم ایران، شماره ۱، ص. ۶۶-۵۷.
- دامن افشان پ، صالحی فر م، غیاثی طرزی ب و باخدا ح، ۱۳۹۴، بررسی تاثیر اینولین بر خصوصیات کیفی کیک روغنی، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، شماره ۴۶، ص. ۴۸-۴۱.
- سهراب‌وندی س، سرمدی ب، نعمت الهی آ، کمیلی فنود ر و فارسانی س ا، ۱۳۹۴، بررسی اثر افزودن اینولین و D-تاگاتوز بر خواص فیزیکوشیمیایی و حسی آب انگور فراسودمند، فصلنامه علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، شماره ۴، ۱۲۴-۱۱۵.
- بیطرف ش، عباسی س و حمیدی ز، ۱۳۹۲، تولید شکلات تلخ کم‌کالری پری‌بیوتیک با استفاده از اینولین، پلی‌دکستروز و مالتودکسترین، فصلنامه علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، شماره ۱، ۶۲-۴۹.

- رفیعی طاری ن، احسانی م ر، مظلومی م و ابراهیم زادع موسوی م، ۱۳۸۵، بررسی اثر نوع و مقدار پایدارکننده‌ها بر پایداری خامه UHT، فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، شماره ۱، ۴۵-۴۹.
- غلامحسین پور ع و مظاهری تهرانی م، ۱۳۹۰، استفاده از کنسانتره پروتئینی شیر (MPC-85) در تولید خامه کم چرب و ارزیابی خواص فیزیکیوشیمیایی و حسی آن، نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران، شماره ۲، ص. ۱۷۲-۱۷۸.
- Akın MB, Akın MS and Kırmaç Z, 2007. Effects of inulin and sugar levels on the viability of yogurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics in probiotic ice-cream. *Food chemistry* 104(1): 93-99.
- Aminigo ER, Metzger L and Lehtola PS, 2009. Biochemical composition and storage stability of a yogurt-like product from African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa*). *International journal of food science and technology* 44(3): 560-566.
- AOAC, 2000. Official Methods of Analysis (16th ed). Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.
- Bench A, 2007. Water Binders for Butter body: Improving texture and stability with natural Hydrocolloids. *Food and Beverage Asia* 1(2): 32-35.
- Daw E and Hartel RW, 2015. Fat destabilization and melt-down of ice creams with increased protein content. *International Dairy Journal* 43: 33-41.
- Drake MA, Truong VD and Daubert CR, 1999. Rheological and Sensory Properties of Reduced-Fat Processed Cheeses Containing Lecithin. *Journal of Food Science* 64(4): 744-747.
- Emam-Djome Z, Mousavi ME, Ghorbani AV and Madadlou A, 2008. Effect of whey protein concentrate addition on the physical properties of homogenized sweetened dairy creams. *International journal of dairy technology* 61(2): 183-191.
- Everett DW and McLeod RE, 2005. Interactions of polysaccharide stabilisers with casein aggregates in stirred skim-milk yoghurt. *International Dairy Journal* 15(11): 1175-1183.
- Goff HD, Davidson VJ and Cappi E, 1994. Viscosity of ice cream mix at pasteurization temperatures. *Journal of dairy science* 77(8): 2207-2213.
- Golob T, Micovic E, Bertoneclj J and Jamnik M, 2004. Sensory acceptability of chocolate with inulin. *Acta agriculturae slovenica* 83(2): 221-31.
- Goudarzi M, Madadlou A, Mousavi ME and Emam-Djomeh Z, 2015. Formulation of apple juice beverages containing whey protein isolate or whey protein hydrolysate based on sensory and physicochemical analysis. *International Journal of Dairy Technology* 68(1): 70-78.
- Guggisberg D, Cuthbert-Steven J, Piccinali P, Bütikofer U and Eberhard P, 2009. Rheological, microstructural and sensory characterization of low-fat and whole milk set yoghurt as influenced by inulin addition. *International Dairy Journal* 19(2): 107-115.
- Gustaw W, Kordowska-Wiater M and Koziół J, 2011. The influence of selected prebiotics on the growth of lactic acid bacteria for bio-yoghurt production. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment* 10(4): 455-66.
- Hara H, Suzuki T and Aoyama Y, 2000. Ingestion of the soluble dietary fibre, polydextrose, increases calcium absorption and bone mineralization in normal and total-gastrectomized rats. *British Journal of Nutrition* 84(05): 655-661.
- Jie Z, Bang-Yao L, Ming-Jie X, Hai-Wei L, Zu-Kang Z, Ting-Song W and Craig SA, 2000. Studies on the effects of polydextrose intake on physiologic functions in Chinese people. *The American journal of clinical nutrition* 72(6): 1503-1509.
- Kahyaoglu T and Kaya S, 2003. Effects of heat treatment and fat reduction on the rheological and functional properties of Gaziantep cheese. *International Dairy Journal* 13(11): 867-875.
- Karami M, Ehsani MR, Mousavi SM, Rezaei K and Safari M, 2009. Changes in the rheological properties of Iranian UF-Feta cheese during ripening. *Food chemistry* 112(3): 539-544.

- Kim Y, Faqih MN and Wang SS, 2001. Factors affecting gel formation of inulin. *Carbohydrate Polymers* 46(2): 135-145.
- Kip P, Meyer D and Jellema RH, 2006. Inulins improve sensoric and textural properties of low-fat yoghurts. *International Dairy Journal* 16(9): 1098-1103.
- Paseephol T, Small DM and Sherkat F, 2008. Rheology and texture of set yogurt as affected by inulin addition. *Journal of Texture Studies* 39(6): 617-634.
- Ritvanen T, Lampolahti S, Lilleberg L, Tupasela T, Isoniemi M, Appelbye U and Uusi-Rauva E, 2005. Sensory evaluation, chemical composition and consumer acceptance of full fat and reduced fat cheeses in the Finnish market. *Food Quality and Preference* 16(6): 479-492.
- Roberfroid MB, 2005. Introducing inulin-type fructans. *British Journal of Nutrition* 93(S1): S13-S25.
- Sadowska J, Białobrzewski I, Jeliński T and Markowski M, 2009. Effect of fat content and storage time on the rheological properties of Dutch-type cheese. *Journal of Food Engineering* 94(3): 254-259.
- Sahan N, Yasar K and Hayaloglu AA, 2008. Physical, chemical and flavour quality of non-fat yogurt as affected by a β -glucan hydrocolloidal composite during storage. *Food Hydrocolloids* 22(7): 1291-1297.
- Samadi Jirdehi Z, Qajarbeygi P and Khaksar R, 2013. Effect of Prebiotic Beta-Glucan Composite on Physical, Chemical, Rheological and Sensory Properties of Set-type Low-Fat Iranian Yogurt. *Journal of Basic and Applied Scientific Research* 3(1s): 205-210.
- Sayadi, A, Madadlou, A and Khosrowshahi, A, 2013, Enzymatic cross-linking of whey proteins in low fat Iranian white cheese. *International Dairy Journal*, 29(2), 88-92.
- Srisuvor N, Chinprahast N, Prakitchaiwattana C and Subhimaros S, 2013, Effects of inulin and polydextrose on physicochemical and sensory properties of low-fat set yoghurt with probiotic-cultured banana purée. *LWT-Food Science and Technology*, 51(1), 30-36.
- Staffolo MD, Bertola N and Martino M, 2004. Influence of dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt. *International Dairy Journal* 14(3): 263-268.
- Tamime AY and Robinson RK, 2007. *Tamime and Robinson's yoghurt: science and technology*. Elsevier.
- Tungland B C, and Meyer D, 2002. Nondigestible oligo-and polysaccharides (Dietary Fiber): their physiology and role in human health and food. *Comprehensive Reviews in food science and food safety* 1(3): 90-109.
- Verbeke W, 2005. Consumer acceptance of functional foods: socio-demographic, cognitive and attitudinal determinants. *Food quality and preference* 16(1): 45-57.
- Zamani A, Almasi H and Ghanbarzadeh B, 2015. Effect of guar and carboxymethyl cellulose on the rheological and physical properties of fruit yogurts mold. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 46(1), 57-66.

Study of texture and sensory properties of prebiotic cream containing inulin and polydextrose by using response surface methodology

I Orouji¹, B Ghanbarzadeh*² and E Danesh³

Received: December 25, 2016 Accepted: December 24, 2017

¹MSc Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Tabriz, Tabriz, Iran

²Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³MSc, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Mollasani, Ahvaz, Iran

*Corresponding author E-Mail Address: Babakg1359@yahoo.com

Abstract

Trend to consuming of cream, as a high fat dairy product, is relatively considerable in Iran. However, a high content of fat in this product has caused consumer concerns. On the other hand, fat reduction affects adversely on the organoleptic and textural properties of cream. The present research was thus aimed optimizing the formulation of low-fat cream to achieve a product with desired organoleptic and textural characteristics and also production of potentially functional food. Inulin and polydextrose are prebiotic fibers which are used as fat replacer. In this research, by response surface methodology (RSM) with central composite design, the influence of inulin (0-4 % w/w) and polydextrose (0-4 w/w) in low-fat cream were investigated on qualitative properties. The results showed that increasing the inulin and polydextrose contents caused a significant ($P \leq 0.05$) decrease in the phase separation. Regarding the rheological parameters, it was observed that inulin and polydextrose caused a significant ($P \leq 0.05$) increase in the storage modulus, loss modulus and viscosity. Evaluation of the organoleptic properties showed that addition of inulin and polydextrose caused a double impact on the sensory properties, and sensory parameters improved up to medium concentrations of inulin and polydextrose. Response surface optimization showed that the desired properties of low-fat cream were obtainable using 1.92 (%w/w) inulin and 1.58 (%w/w) polydextrose.

Keywords: Inulin, Polydextrose, prebiotic cream, Rheology, Response surface methodology