

بهینه‌سازی فرآوری ماست کم‌چرب پری‌بیوتیک حاوی اینولین تحت تاثیر دما و نیروی برشی مختلف

میترا صوفی^۱، آیناز علیزاده^{۲*}، سیده الهام موسوی کلجاهی^۳

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، باشگاه پژوهشگران جوان، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۲- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۳- دانشجوی دکتری تخصصی، باشگاه پژوهشگران جوان، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۷)

چکیده

آگاهی از روابط بین متغیرهای مختلف طی فرآیند جایگزینی چربی از طریق انجام مدل‌سازی می‌تواند راه حل مناسبی برای کنترل بهینه شرایط فرآیند و در نتیجه افزایش کیفیت ماست کم‌چرب نهایی باشد. در این پژوهش با به کارگیری روش آماری سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی اثر استفاده از اینولین در سه غلظت (۰، ۳ و ۶ درصد) به عنوان جایگزین چربی، اعمال فرایند حرارتی در سه سطح (۷۰، ۸۲/۵ و ۹۵ درجه سلسیوس) و همزدن در سه سطح (۳۰۰۰، ۶۰۰۰ و ۹۰۰۰ دور بر دقیقه) بر قابلیت تشکیل ژل اینولین و خواص کیفی نمونه‌های ماست کم‌چرب مورد ارزیابی قرار گرفت؛ که معادلات به‌دست آمده بیانگر آن بود که متغیرهای مستقل تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای مورد بررسی داشتند ($P < 0/05$). موثرترین متغیر در بین پارامترهای مورد بررسی اثر مستقل غلظت اینولین بود که در غلظت‌های بالا به رغم بهبود بافت ماست‌های کم‌چرب تولید شده دارای ویژگی‌های نامطلوبی از نظر خواص کیفی، نمرات حسی و تغییرات رنگی بود. همچنین متغیر دمای فرآیند حرارتی در بیشتر تیمارهای مورد بررسی دارای اثرات معنی‌داری بوده که با اثر بر قابلیت تشکیل ژل ماست باعث بهبود خواص کیفی شد. به‌طورکلی بهینه‌سازی متغیرهای مورد بررسی نشان داد، نمونه بهینه از نظر فاکتورهای مورد بررسی جهت فرآوری ماست پری‌بیوتیک حاوی اینولین، نمونه ماست حاوی ۳ درصد اینولین با تیمار حرارتی ۸۲/۵ درجه سلسیوس و نیروی برشی ۶۰۰۰ دور بر دقیقه جهت همگن سازی بود.

کلید واژگان: اینولین، تیمار حرارتی، سرعت برشی، روش سطح پاسخ

*مسئول مکاتبات: a.alizadeh@iaut.ac.ir

۱- مقدمه

مصرف بیش از حد چربی‌ها و روغن‌ها در رژیم غذایی، منجر به افزایش خطرات سلامتی در بین گروه‌های مختلف مصرف‌کننده می‌شود؛ به‌طوری‌که ارتباط بین مصرف چربی و بیماری‌های قلبی و عروقی پذیرفته شده و کاهش چربی حیوانی و تولید مواد غذایی کم‌کالری به‌منظور دستیابی به رژیم غذایی سالم توسط متخصصان تغذیه توصیه گردیده‌است [۱-۳].

ماست یکی از فراورده‌های تخمیری شیر است؛ که مصرف آن در مقایسه با سایر فراورده‌های لبنی در ایران عمومیت بیشتری دارد [۴]. ویژگی‌های حسی ماست شامل عطر و طعم، بافت و قوام می‌باشند؛ که به‌طور قابل ملاحظه‌ای در مطلوبیت آن تأثیرگذارند. چربی شیر نقش مهمی در توسعه‌ی بافت، طعم و رنگ ماست دارد؛ اما با این حال مقادیر بالای چربی در ماست موجب خطرات سلامتی در برخی افراد مصرف‌کننده می‌گردد. کاهش چربی موجود در ماست در کنار فواید سلامتی‌بخش می‌تواند منجر به برخی نواقص از جمله کاهش شدت عطر و طعم، تضعیف بافت و افزایش سینرسیس گردد؛ بنابراین تولید ماست کم‌چرب با ویژگی‌های کیفی و بافتی مطلوب از اهمیت بالایی در صنایع لبنی برخوردار می‌باشد که استفاده از جایگزین‌های چربی مناسب را حائز اهمیت می‌سازد. این ترکیبات که مقدار کالری مواد غذایی را کاهش می‌دهند؛ می‌توانند برخی از مشکلات فیزیکی و حسی ناشی از سطوح پایین چربی در محصول نهایی را نیز برطرف سازند [۵-۷].

اینولین از جمله ترکیبات مناسب به‌منظور جایگزینی چربی در محصولات لبنی کم‌چرب به‌شمار می‌رود. این ماده ترکیبی سفید رنگ، بی‌بو و دارای خواص پری‌بیوتیکی می‌باشد؛ که در مقایسه با سایر هیدروکلوئیدها از نظر مولکولی کوچک‌تر بوده و ارزش کالری کمتری از سایر کربوهیدرات‌ها دارد (حدوداً ۱/۵ kcal/g در مقایسه با ۴ kcal/g). این ماده به راحتی در آب حل می‌شود و دارای ظرفیت و قابلیت تشکیل ژل با آب بوده و می‌تواند احساس دهانی و نواقص ایجاد شده در اثر کاهش چربی را بهبود دهد [۸-۱۰]. انواع مختلفی از اینولین در صنعت غذا استفاده می‌شوند که بسته به طول زنجیره، عملکردها و ویژگی‌های مختلفی را از خود نشان می‌دهند؛ در این بین اینولین بلندزنجیر می‌تواند ویژگی‌های چربی را منعکس کند و منجر به تولید ماستی با ویژگی‌های فیزیکی،

شیمیایی و بافتی مشابه با ماست پرچرب گردد. به همین دلیل کاربرد این نوع اینولین در صنعت و تولید ماست کم‌چرب گسترده‌تر می‌باشد [۱۱-۱۴].

سیفول و همکاران (۲۰۰۸) بیان نمودند که قابلیت اینولین در جایگزینی چربی به غلظت اینولین و درجه‌ی پلی‌مریزاسیون آن بستگی دارد. همچنین نتایج به‌دست آمده نشانگر آن بود که در بین انواع اینولین، تأثیر اینولین بلند زنجیر به عنوان جایگزین چربی تحت تأثیر ترکیب و ساختار محصول مورد نظر بود؛ به‌طوری‌که قابلیت اینولین به‌عنوان جایگزین چربی نه تنها به علت خصوصیات رئولوژیکی و استحکام ایجاد شده توسط آن می‌باشد؛ بلکه می‌تواند حالت خامه‌ای مشابه محصولات پر-چرب ایجاد نماید؛ که برای دست یافتن به این حالت خامه‌ای باید مقادیر اینولین بالاتری نسبت به ایجاد بافت مناسب استفاده گردد [۱۵].

مظلومی و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر اضافه کردن اینولین (۱-۲ درصد) بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میکروبی ماست پری‌بیوتیک کم‌چرب را مورد بررسی قرار دادند که نتایج حاصل نشانگر تغییرات نامحسوس در مقادیر pH، اسیدیته، سینرسیس، رنگ و خصوصیات حسی در تمام نمونه‌ها بعد از ۱، ۷ و ۱۴ روز بود. همچنین نتایج حاصل نشان داد که مقادیر ۱ و ۲ درصد اینولین بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ماست تأثیر محسوس نداشتند [۱۲].

مطالعه انجام گرفته توسط میر و همکاران (۲۰۱۱) بر ویژگی‌های عملکردی اینولین نشان داد که عملکرد اینولین بلندزنجیر به‌عنوان جایگزین چربی، مبتنی بر ظرفیت آن در تشکیل میکروکریستال‌ها است. این میکروکریستال‌ها با هم واکنش داده و دانه‌های کوچکی حاوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای از فاز آبی را تشکیل می‌دهند که در نهایت ممکن است متراکم شده و شبکه ژلی را تشکیل دهند؛ به‌طوری‌که سرعت کریستالیزاسیون، اندازه‌ی کریستال و استحکام ژل تولیدی وابسته به غلظت اینولین، درجه‌ی پلیمریزاسیون، نیروی برشی و تیمار حرارتی می‌باشد [۱۶]. از طرفی تحقیقات انجام گرفته توسط ویلگاس و کوستل (۲۰۰۷) نشان داد که اینولین به‌دلیل وزن مولکولی کم توانایی تشکیل ژل پایینی دارد؛ لذا مقدار اینولین مورد نیاز به‌منظور جایگزینی چربی و ایجاد بافت خامه‌ای مشابه ماست پرچرب در سطح بالایی است و این درحالی است که با افزایش

۲-۲- آماده سازی نمونه

نمونه‌های ماست تولیدی مطابق با طرح ارائه شده در جدول ۱ در غلظت‌های مختلف اینولین (۰، ۳ و ۶ درصد)، پس از قرار گرفتن تحت تیمارهای حرارتی (۷۰، ۸۲/۵ و ۹۵ درجه سلسیوس) به مدت ۱۰ دقیقه و سرعت‌های برشی مختلف (۳۰۰۰، ۶۰۰۰ و ۹۰۰۰ دور بر دقیقه) تهیه گردیدند؛ به‌طوری‌که مطابق با طرح ارائه شده، شیر تا رسیدن به دمای تعیین شده حرارت داده شد و بعد از رسیدن به دمای مورد نظر، مقدار تعیین شده از اینولین به آن افزوده گردید. سپس عمل هم‌زدن نمونه‌ها در سرعت‌های تعیین شده با استفاده از همزن الکتریکی (IKA RCT ساخت کشور آلمان) به مدت ۱۰ دقیقه در همان دما انجام پذیرفت. در ادامه شیر تا دمای ۴۵ درجه سلسیوس به‌منظور تلقیح استارتر خنک گردید و بعد از تلقیح استارتر به میزان ۰/۱ درصد v/v در گرمخانه (Memmert ساخت کشور آلمان) و در دمای ۴۵ درجه سلسیوس به مدت ۵ ساعت تا رسیدن اسیدیته ماست به ۷۰-۸۰ درجه دورنیک قرار داده شد؛ متعاقباً نمونه‌ها از گرمخانه خارج شده و به‌سرعت به سردخانه ۶-۴ درجه سلسیوس منتقل گردیده و به مدت ۳ روز در یخچال نگهداری شدند. نهایتاً آزمون‌های تعیین شده در ۳ تکرار در روز سوم انجام شدند و یک ظرف از هر نمونه نیز به‌منظور ارزیابی حسی در روز هفتم ذخیره گردید. همچنین یک نمونه ماست شاهد پرچرب با ۳ درصد چربی تحت شرایط یکسان تهیه گردید و کلیه آزمایشات مربوط بر روی نمونه شاهد نیز همراه با سایر نمونه‌ها انجام پذیرفت.

غلظت اینولین میزان قوام افزایش یافته و سایر ویژگی‌های حسی مانند طعم تحت تأثیر قرار می‌گیرند [۱۳]. حرارت و هم‌زدن از جمله فاکتورهای مهم در تشکیل ژل اینولین در آب می‌باشند و رفتار تشکیل ژل، حلالیت و قدرت آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند؛ به‌طوری‌که کیم و همکاران (۲۰۰۱) در مطالعه خود گزارش نمودند که حداکثر توانایی تشکیل ژل اینولین در آب در ۷۰ درجه سلسیوس و دور هم‌زدن‌های بالا می‌باشد و افزایش دما تأثیر نامطلوبی بر خصوصیات تشکیل ژل اینولین برجای می‌گذارد؛ لذا با توجه به اینکه در طی تولید ماست کم‌چرب حاوی اینولین، معمولاً شیر تا دمای ۹۵-۹۰ درجه سلسیوس حرارت داده می‌شود [۱۰]؛ از این‌رو در این پژوهش سعی بر آن است که تأثیر دمای فرایند حرارتی و هم‌زدن و ارتباط آنها با غلظت اینولین مورد نیاز در تشکیل ژل مطلوب از نظر ویژگی‌های فیزیکی و حسی در ماست کم‌چرب مورد مطالعه قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد مورد استفاده در تولید ماست

مواد اولیه مورد استفاده در این تحقیق شامل شیر خام (چربی: ۱/۴ درصد، SNF: ۸/۵ درصد و pH: ۶/۶۸ تهیه شده از شرکت شیر پاستوریزه پگاه آذربایجان شرقی)، استارتر (Y-350 از شرکت Hansen) و اینولین بلند زنجیر با میانگین درجه پلی‌مریزاسیون ۲۳ و با درجه خلوص ۹۹/۵ درصد (نوع Frutafit TEX از شرکت Cosun-Sensus از کشور هلند) بود.

Table 1 Experimental values designed using response surface methodology

Treatment	Inulin (%)	Heat treatment (°C)	Shear stress (RPM)
1	6	82.5	3000
2	6	82.5	9000
3	3	82.5	6000
4	3	70.0	9000
5	3	95.0	3000
6	3	70.0	3000
7	0	82.5	3000
8	3	82.5	6000
9	0	95.0	6000
10	6	70.0	6000
11	3	82.5	6000
12	0	82.5	9000
13	3	95.0	9000
14	6	95.0	6000
15	3	82.5	6000
16	3	82.5	6000
17	0	70.0	6000

۲-۳-روش آزمایش

۲-۳-۱-اسیدیته و pH

pH نمونه‌های ماست در ۲۰ درجه سلسیوس توسط دستگاه pH متر (Mettler-Toledo ساخت کشور سوئیس) اندازه گیری شد. اندازه‌گیری اسیدیته نمونه‌های ماست کم‌چرب نیز توسط تیتراسیون طبق روش مطرح شده در استاندارد AOAC انجام پذیرفت [۱۷].

۲-۳-۲-سینرسیس

برای اندازه‌گیری سینرسیس به‌عنوان یکی از فاکتورهای مهم فیزیکی در تولید ماست، حدود ۲۵ گرم از نمونه ماست بر روی کاغذ صافی ریخته شد و بر روی قیف‌های شیشه‌ای قرار گرفت و مقدار سرم خارج شده بعد از ۳ ساعت از طریق نیروی وزنی بر حسب درصد آب جدا شده محاسبه گردید [۱۸].

۲-۳-۳-ظرفیت نگهداری آب

برای اندازه‌گیری ظرفیت نگهداری آب حدود ۲۰ گرم از نمونه‌های ماست داخل فالکن ریخته شد و به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۲۵۰ g سانتریفیوژ (Hermel ساخت کشور آلمان) گردید. مقدار سرم خارج شده، بعد از ۱۰ دقیقه توزین و با توجه به وزن پلت تولیدی ظرفیت نگهداری آب بر حسب گرم بر کیلوگرم محاسبه گردید [۱۸].

Y: وزن اولیه

$$WHC = \frac{(Y - W)}{Y} \times 100$$

W: وزن ماست

۲-۳-۴-ویسکوزیته

اندازه‌گیری ویسکوزیته نمونه‌های ماست با استفاده از دستگاه ویسکومتر (Brookfield DVII ساخت کشور آمریکا) در دمای ۴ درجه سلسیوس انجام پذیرفت و از اسپیندل شماره ۵ با سرعت برشی ۶۰ دور بر دقیقه برای این منظور استفاده گردید و عدد مربوط به ویسکوزیته بعد از ۳۰ ثانیه قرائت گردید [۱۹].

۲-۳-۵-رنگ

بررسی رنگ نمونه‌های ماست با استفاده از روش یام و پاپاداکیس (۲۰۰۳) انجام گرفت. تصاویر دیجیتالی نمونه‌ها با استفاده از دوربین دیجیتالی (Samsung ساخت کشور کره)،

داخل محفظه‌ی معین با شدت نور و فاصله لنز ثابت تا نمونه، گرفته شد و فاکتورهای L^* ، a^* و b^* تعیین گشت [۲۰].

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L_i^*)^2 + (a_0^* - a_i^*)^2 + (b_0^* - b_i^*)^2}$$

L_0^* : میزان L^* ماست شاهد؛ L_i^* : میزان L^* نمونه‌های مختلف ماست تولید شده؛ a_0^* : میزان a^* ماست شاهد؛ a_i^* : میزان a^* نمونه‌های مختلف ماست تولید شده؛ b_0^* : میزان b^* ماست شاهد؛ b_i^* : میزان b^* نمونه‌های مختلف ماست تولید شده.

۲-۳-۶-ارزیابی حسی

در این تحقیق از ۵۰ نفر از دانشجویان آموزش دیده ابتدایی برای انجام ارزیابی حسی استفاده شد و به‌منظور ارزیابی کیفیت نمونه‌های ماست و تعیین میزان پذیرش کلی از نظر عطر و طعم و بافت نمونه‌های تولید شده از آزمون هدونیک پنج نقطه‌ای (بسیار خوب=۵، خوب=۴، متوسط=۳، بد=۲، خیلی بد=۱) استفاده گردید. در نهایت میانگین نمرات در بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفت [۲۱].

۲-۴-تجزیه و تحلیل آماری

مطابق جدول ۲ بررسی اثرات مستقل و متقابل غلظت اینولین، دمای فرایند حرارتی و سرعت برشی بر مقدار ویسکوزیته، ظرفیت نگهداری آب، سینرسیس، پذیرش کلی و تغییرات رنگ نمونه‌های ماست کم‌چرب با استفاده از نرم‌افزار Minitab16 روش سطح پاسخ (RSM) و با استفاده از معادله چند جمله‌ای مرتبه دوم زیر مورد بررسی قرار گرفت.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3$$

در معادله مذکور، Y پاسخ پیش‌بینی شده، β_0 ضریب

ثابت، β_1 ، β_2 ، β_3 ضرایب خطی، β_1^2 ، β_2^2 ، β_3^2 ،

اثرات مربعی و β_{12} ، β_{13} ، β_{23} اثرات متقابل می‌باشند.

در این طرح ابتدا بر اساس آزمایشات مقدماتی و پیشینه‌ی تحقیق دامنه‌ی تغییرات فاکتورها برای متغیرهای مستقل تعیین گردید و سپس تأثیر مستقل فاکتورها و اثرات متقابل آنها مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر می‌باشد که کلیه نتایج آماری بر اساس سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت.

Table 2 The independent variables and their levels used for design

Xi	Factor Levels		
	-1	0	+1
Inulin Concentration(X1)(%)	0	3	6
Heat Treatment (X2) (°C)	70.0	82.5	90.0
Shear Stress (X3)(RPM)	3000	6000	9000

نمونه‌های بدون اینولین (۰ درصد) از ویسکوزیته‌ی بالایی برخوردار بودند؛ که این امر می‌تواند به دلیل حداکثر قابلیت تشکیل ژل اینولین در ۷۰ درجه سلسیوس باشد؛ به‌طوری‌که در دمای (۷۰-۶۰ درجه سلسیوس) زنجیره‌های پلیمری به‌علت انرژی سینتیکی بالا دارای حرکت‌های فعال بسیاری در محلول می‌باشند که موجب می‌گردد زنجیره‌های اینولینی در محلول به راحتی توزیع شده و در نهایت ارتباط بهتری بین زنجیره‌های اینولینی هنگام خنک شدن به‌منظور تشکیل ساختار ژلی ایجاد گردد که نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از پژوهش‌های کیم و همکاران (۲۰۰۱) نیز مطابقت داشت [۱۰].

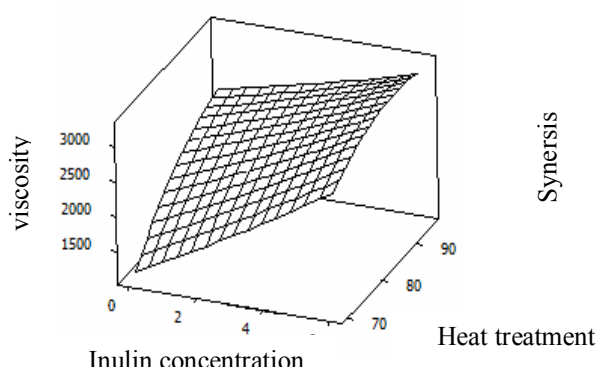


Fig1 The 3D response surface plots of viscosity (cp) affected by inulin concentration (X1, %) and heat treatment (X2, °C)

۳-۳- اثر پیش تیمارها بر ظرفیت نگهداری آب

اثرات مستقل و متقابل پیش تیمارهای مختلف بر ظرفیت نگهداری آب نمونه‌های ماست کم‌چرب حاوی اینولین نشانگر آن بود که از بین متغیرهای مستقل تأثیرگذار بیشترین اثر به ترتیب مربوط به غلظت اینولین ($F=301/76$)، دمای فرایند حرارتی ($F=144/24$) و سرعت برشی ($F=19/00$) بود. همچنین اثرات متقابل غلظت اینولین و دمای فرایند حرارتی ($F=12/48$) و دمای فرایند حرارتی و سرعت برشی ($F=6/88$) نیز بر ظرفیت نگهداری آب نمونه‌های ماست ($P<0/05$) معنی‌دار بودند.

مطابق شکل ۲ با افزایش غلظت اینولین مقدار ظرفیت نگهداری آب نمونه‌های ماست کم‌چرب افزایش یافت؛ که این پدیده به

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اثر پیش تیمارها بر اسیدیته و pH

از بین متغیرهای مستقل تأثیرگذار بر pH و اسیدیته، هیچکدام از پارامترهای میزان اینولین، دمای فرایند حرارتی و سرعت برشی معنی‌دار نبودند. pH نمونه‌های ماست کم‌چرب در پایان مرحله گرمخانه‌گذاری ۴/۶ در نظر گرفته شده بود که این مقدار تحت تأثیر متغیرهای مستقل قرار نگرفت که نتایج به‌دست آمده با نتایج حاصل از پژوهش کاپیتولا و کلبوکوسکا (۲۰۰۹) نیز مطابقت داشت؛ به‌طوری‌که نتایج به دست آمده در مورد کاربرد اینولین به‌عنوان جایگزین چربی در ماست بیانگر آن بود که هیچ تغییری در pH و اسیدیته نمونه‌های مختلف با نمونه‌های شاهد مشاهده نشد [۲۲]. از این رو این دو متغیر وابسته در بهینه‌سازی مورد استفاده قرار نگرفتند.

۳-۲- اثر پیش تیمارها بر ویسکوزیته

از بین متغیرهای مستقل تأثیرگذار بر ویسکوزیته، بیشترین اثر به ترتیب مربوط به غلظت اینولین ($F=50/00$) و دمای فرایند حرارتی ($F=24/82$) بود که در سطح احتمال ($P<0/05$) معنی‌دار بودند.

شکل ۱ اثر غلظت اینولین و دمای فرایند حرارتی را بر مقدار ویسکوزیته نمونه‌های ماست کم‌چرب حاوی اینولین در سرعت برشی ثابت ۶۰۰۰ دور بر دقیقه نشان می‌دهد. مطابق شکل با افزایش غلظت اینولین مقدار ویسکوزیته افزایش یافت؛ که نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از پژوهش‌های دیگر محققان نیز مطابقت داشت [۱۱، ۲۳ و ۲۴] که این امر را بر قابلیت اینولین در تشکیل ساختار ژلی نسبت داده‌اند؛ به‌طوری‌که مولکول‌های اینولین در داخل مخلوط شیر پراکنده شده و متعاقب سرد شدن شروع به تشکیل ساختار ژلی می‌نمایند که بافت ژل تولیدی بسته به غلظت به کار رفته می‌تواند مشابه کره یا ماست باشد [۱۳، ۱۶ و ۲۵]. همچنین با افزایش دمای فرایند حرارتی در سرعت برشی ثابت، ویسکوزیته نمونه‌ها افزایش یافت؛ این درحالی است که در دمای ۷۰ درجه سلسیوس نمونه‌های حاوی اینولین (۳ و ۶ درصد) نسبت به

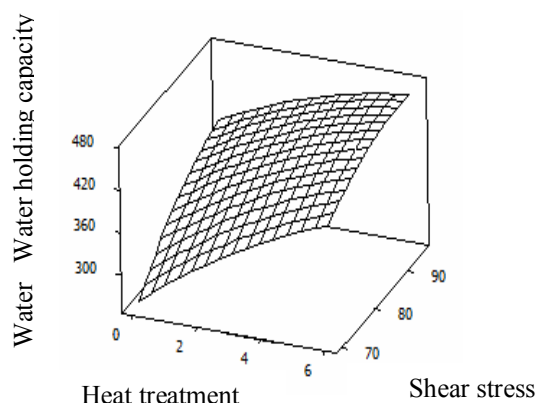


Fig 3 The 3D response surface plots of water holding capacity (g/kg) affected heat treatment (X2, °C) and shear stress (X3, rpm)

۳-۴- اثر پیش تیمارها بر سینرسیس

نتایج آزمون‌های انجام شده نشان می‌دهد که از بین متغیرهای مستقل تأثیرگذار بر سینرسیس، بیشترین اثر به ترتیب مربوط به غلظت اینولین ($F=114/93$) و دمای فرایند حرارتی ($F=24/53$) بوده و اثرات مستقل و متقابل سایر متغیرها در مقدار سینرسیس نمونه‌های ماست کم‌چرب معنی‌دار نبودند. سینرسیس خودبه‌خودی در واقع انقباض ژل بدون کاربرد هیچ نیروی خارجی (مثل سانتریفیوژ) است و مربوط به بی‌ثباتی شبکه ژلی است؛ که در نتیجه‌ی از دست دادن قابلیت نگهداری سرم می‌باشد [۲۱]. مطابق شکل ۴ با افزایش غلظت اینولین مقدار سینرسیس تا حد بالایی کاهش پیدا کرد که به دلیل قابلیت اینولین در حفظ مولکول‌های آب بود. نتایج حاصل همچنین نشان داد که در دمای ۷۰ درجه سلسیوس نمونه‌های حاوی اینولین (۳ و ۶ درصد) در مقایسه با نمونه‌های فاقد اینولین دارای سینرسیس بسیار پایینی بودند که نشان دهنده اثر مثبت ژل اینولین بر کاهش سینرسیس و در نتیجه ایجاد ژل اینولینی بدون دخالت ژل پروتئینی ماست در این دما بود [۱۰].

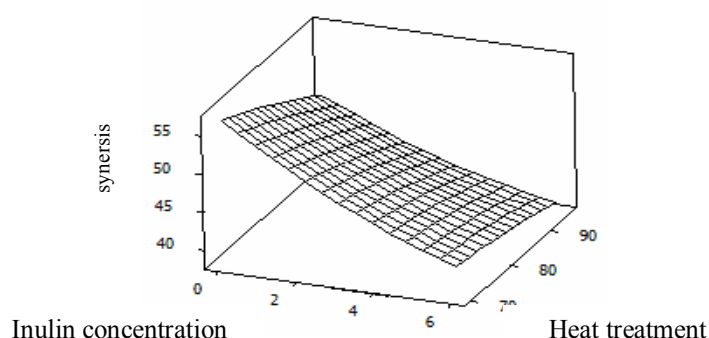


Fig 4 The 3D response surface plots of syneresis (%) affected by heat treatment (X2, °C) and inulin concentration (X1, %)

دلیل ظرفیت اینولین در تشکیل شبکه ژلی می‌باشد که مقادیر بالایی فاز آبی را در خود محبوس می‌نماید [۱۳، ۱۶ و ۲۵].

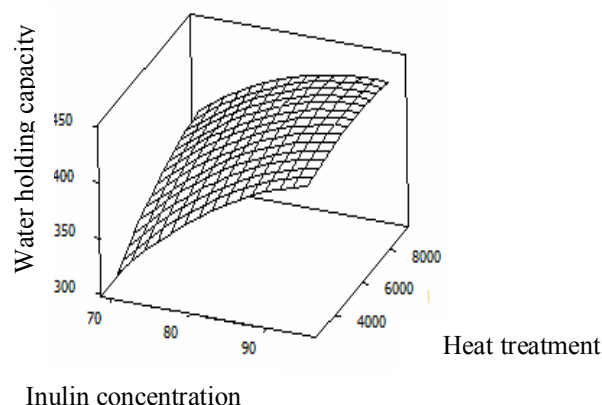


Fig 2 The 3D response surface plots of water holding capacity (g/kg) affected by inulin concentration (X1, %) and heat treatment (X2, °C)

همچنین با افزایش دمای فرایند حرارتی در سرعت برشی ثابت، ظرفیت نگهداری آب نمونه‌ها افزایش یافت؛ این درحالی است که نمونه‌های حاوی اینولین (۳ و ۶ درصد) نسبت به نمونه‌های بدون اینولین (۰ درصد) در ۷۰ درجه سلسیوس از ظرفیت نگهداری آب بالایی برخوردار بودند؛ که این امر می‌تواند به دلیل تأثیر مثبت دمای ۷۰ درجه سلسیوس در تشکیل ساختار ژلی اینولین باشد؛ در حالی که بدون افزودن اینولین شبکه ژلی در ۷۰ درجه سلسیوس به دلیل عدم دناتوراسیون پروتئین‌های شیر تشکیل نشده و شبکه ژلی ماست حاصل نمی‌شود، لذا در نمونه‌های حاوی اینولین در دمای ۷۰ درجه سلسیوس شبکه ژلی غالب به دلیل وجود شبکه ژلی اینولین بود [۱۰]. همچنین مطابق شکل ۳ با افزایش دمای فرایند حرارتی و سرعت برشی، ظرفیت نگهداری آب نمونه‌ها افزایش یافت؛ البته تأثیر دمای فرایند حرارتی بر قابلیت تشکیل ژل توسط اینولین بسیار بیشتر از تأثیر همزدن بود؛ لذا با توجه به شکل ۳ سرعت همزدن باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب نمونه‌های ماست شد که به دلیل تأثیر سرعت برشی بالا بر توزیع مناسب ذرات اینولین و بهبود ساختار ژل اینولین از طریق ایجاد باندهای هیدروژنی و واندوالسی می‌باشد که نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از تحقیق کیم و همکاران (۲۰۰۱) نیز مطابقت داشت [۱۰].

۳-۵- اثر پیش تیمارها بر پذیرش کلی

نتایج آزمون میزان پذیرش نمونه‌های ماست کم‌چرب حاوی اینولین نشانگر آن است که از بین متغیرهای مستقل تأثیرگذار بر پذیرش کلی بیشترین اثر مربوط به دمای فرایند حرارتی (F=۲۹/۵۹) بود؛ همچنین اثرات متقابل غلظت اینولین و دمای فرایند حرارتی (F=۵/۷۸) نیز اثر معنی‌داری بر پذیرش کلی نمونه‌ها داشتند ($P<0/05$).

نتایج به‌دست آمده مطابق شکل ۵ نشانگر آن است که با افزایش غلظت اینولین، مقدار پذیرش کلی نمونه‌های ماست ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته بود؛ که این امر به دلیل تأثیر اینولین در ایجاد بافت و مزه‌ی خامه‌ای و مشابه ماست‌های پر-چرب می‌باشد [۱۱، ۱۵ و ۲۴]. همچنین با توجه به تأثیر دمای ۷۰ درجه سلسیوس در بهبود خصوصیات بافتی ماست‌های کم-چرب حاوی اینولین، میزان پذیرش کلی نمونه‌های حاوی اینولین نسبت به نمونه‌های بدون اینولین در همین دما در حد بالایی بود. مطابق شکل ۵ مقایسه بین اثر دماهای مختلف فرایند حرارتی نشان داد؛ که بیشترین مقدار پذیرش کلی در بین نمونه‌های ماست، مربوط به دمای ۸۲/۵ درجه سلسیوس در نمونه‌های حاوی اینولین بود که به‌علت بافت مشابه ماست پر-چرب در کنار رنگ و عطر و طعم مطلوب می‌باشد؛ این در حالی است که نمونه‌های بدون اینولین تولیدی در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌علت عدم ایجاد بافت مطلوب در اثر حرارت پایین، نمرات حسی پایینی داشتند. همچنین نمونه‌های تولید شده در ۹۵ درجه سلسیوس و مقادیر بالای اینولین، به‌دلیل ویسکوزیته و بافت سفت و خصوصیات رنگی نامطلوب از نظر پذیرش کلی در سطح پایین‌تری قرار داشتند.

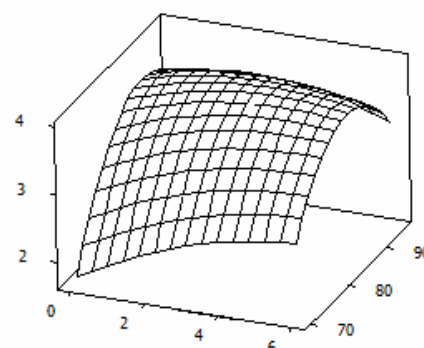


Fig 5 The 3D response surface plots of overall acceptability affected by heat treatment (X2, °C) and inulin concentration (X1, %)

۳-۶- اثر پیش تیمارها بر تغییرات رنگ

با توجه به اینکه رنگ یکی از مهمترین فاکتورهای تأثیرگذار بر میزان پذیرش ارزیابان است، نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که از بین متغیرهای مستقل تأثیرگذار بر تغییرات رنگ، بیشترین اثر مربوط به غلظت اینولین (F=۱۴۱/۶۹) بود.

شکل ۶ تغییرات رنگی نمونه‌های ماست کم‌چرب حاوی اینولین، تحت تأثیر غلظت‌های مختلف اینولین و دماهای مختلف فرایند حرارتی را در سرعت برشی ثابت ۶۰۰۰ دور بر دقیقه نشان می‌دهد؛ که نتایج حاصله نشانگر تغییرات رنگی بالا در ماست‌های تولیدی با غلظت‌های بالای اینولین بود؛ که این امر به دلیل تأثیر مقادیر بالای اینولین در تیره شدن و تغییر در فاکتورهای L^* ، a^* و b^* نمونه‌های ماست کم‌چرب حاوی اینولین بود؛ در واقع با افزودن مقادیر بالایی اینولین رنگ نمونه‌ها تیره‌تر شد که این اثر منفی در نتایج ارزیابی حسی نیز مشخص بوده است.

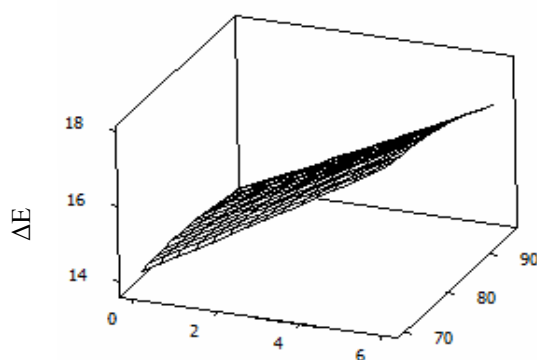


Fig 6 The 3D response surface plots of ΔE affected by heat treatment (X2, °C) and inulin concentration (X1, %)

۳-۷- بهینه‌سازی و مدل‌سازی

در این مطالعه بهینه‌سازی نهایی متغیرهای کمی مورد بررسی شامل غلظت اینولین، دمای فرایند حرارتی و سرعت برشی جهت دستیابی به حالتی که بالاترین خواص کیفی (شامل بیشترین مقدار ویسکوزیته، بیشترین مقدار ظرفیت نگهداری آب و پذیرش کلی و کمترین مقدار سینرسیس و تغییرات رنگی) حاصل شود؛ با استفاده از نرم‌افزار Minitab16 انجام گرفت و نمونه تهیه شده با ۳ درصد اینولین در دمای ۸۲/۵ درجه سلسیوس و سرعت همزدن ۶۰۰۰ دور بر دقیقه به‌عنوان مدل بهینه انتخاب گردید. در جدول ۳ ویژگی‌های مدل بهینه با نمونه ماست پرچرب به‌عنوان ماست مطلوب مورد مقایسه قرار گرفته است. همان‌طور که مشخص است نتایج به‌دست

آمده در مورد مدل بهینه به نمونه مطلوب پرچرب مشابهت داشت. همچنین جدول ۴ نشانگر نتایج مدل سازی و فاکتورهای برازش مدل بر مقادیر فاکتورهای مورد بررسی در متغیرهای معنی‌دار در هر مورد می‌باشد.

Table 3 Comparison of the control sample and the optimum sample

Results	Viscosity (Cp)	WHC ¹ (g/kg)	Synersis (%)	Overall acceptability	ΔE
Optimum Sample	2576.80±0.20	410.91±0.21	45.49±0.22	4	4.4±0.20
Full fat yogurt	3152.25±0.15	451.05±0.32	45.25±0.30	4	0

¹Water Holding Capacity

Table 4 Modeling of responses by response surface methodology

Response	Formula	R ²	R ² (adjusted)
viscosity	$Y = -11695.1 + 703.249X_1 + 281.484X_2 - 6.15233X_1X_2 - 1.39357X_2^2$	0.9224	0.823
Water holding capacity	$Y = -1056.45 + 69.0499X_1 + 26.004X_2 + 0.0339696X_3 - 1.62705X_1^2 - 0.470691X_1^2 - 0.470691X_1X_2 - 0.115761X_2^2 - 0.000349537X_2X_3$	0.9865	0.9691
Synersis	$Y = 71.1147 - 2.06387X_1 - 0.228825X_2$	0.9542	0.895
Over all acceptability	$Y = -43.1876 + 0.75625X_1 + 1.05764X_2 + 6.45833e-005X_3 - 0.00833333X_1X_2 - 0.006016X_2^2$	0.9373	0.857
ΔE	$Y = 16.3669 + 0.565833X_1 - 0.0261X_2$	0.9245	0.9137

X₁: Inulin concentration, X₂: Heat treatment, X₃: Shear stress

۴- نتیجه‌گیری کلی

نتایج کلی بررسی انجام گرفته نشانگر تأثیر دمای فرایند حرارتی، غلظت اینولین و سرعت برشی بر قابلیت تشکیل ژل اینولین بوده که بر ویژگی‌های نهایی فیزیکی و حسی نمونه‌های ماست کم‌چرب حاوی اینولین نیز تأثیرگذار بودند؛ به‌طوری‌که بدون تیمار حرارتی شدید و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس می‌توان به ماست با شبکه ژلی دست یافت؛ ولی علی‌رغم تحقیقاتی که تخریب زنجیره اینولینی در دمای بالای ۷۰ درجه سلسیوس را گزارش نموده بودند؛ نتایج این تحقیق نشان داد که نمونه‌های حاوی ۶ درصد اینولین در دمای ۹۵ درجه سلسیوس بیشترین ویسکوزیته، ظرفیت نگهداری آب و کمترین سینرسیس را داشتند که نشانگر عدم تخریب کامل اینولین بود؛ لذا با تغییر شرایط فرایند تولید ماست جایگزین شده با اینولین می‌توان از حداکثر ظرفیت اینولین به‌منظور تشکیل ساختار ژلی و بهینه‌سازی تولید ماست کم‌چرب استفاده نمود. بهینه‌سازی کلی نمونه‌ها جهت رسیدن به ویژگی‌های فیزیکی و حسی مطلوب نشان داد؛ در حضور مقادیر ۳ درصد اینولین با استفاده از دمای فرایند حرارتی ۸۲/۵ درجه سلسیوس و سرعت برشی ۶۰۰۰ دور بر دقیقه می‌توان به نمونه‌های ماستی با ویژگی‌های مطلوب نسبت به نمونه‌های شاهد پرچرب دست یافت.

۵- تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از مدیریت گروه و آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز و مدیریت آزمایشگاه و واحد تحقیق و توسعه کارخانه شیرپاستوریزه پگاه آذربایجان شرقی کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایند.

۵- منابع

- [1] Brennan, C. S., & Tudorica, C. M. (2008). Carbohydrate-based fat replacers in the modification of the rheological, textural and sensory quality of yoghurt: comparative study of the utilization of barley beta-glucan, guar gum and inulin. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 824–833.
- [2] Dave, P. (2012). Rheological properties of low-fat processed cheese spread made with inulin as a fat replacer. *University of Wisconsin-Stout*, 1-53.
- [3] Fadaei, V., Poursharif, K., Daneshi, M., & Honarvari, M. (2012). Chemical characteristics of low-fat whey less cream cheese containing inulin as fat replacer. *European Journal of Experimental Biology*, 2(3), 690-694.
- [4] Boeni, S., & Pourahmad, R. (2012). Use of inulin and probiotic lactobacilli in synbiotic yogurt production. *Annals of Biological Research*, 3(7), 3486-3491.

- Review. *Journal of Middle East Applied Science and Technology*, 4(4), 109-113.
- [15] Paseephol, T., Small, D., & Sherkat, F. (2008). Rheology and texture of set yogurt as affected by inulin addition. *Journal of Texture Studies*, 39, 617-634.
- [16] Meyer, D., Bayarri, S., Tárrega, A., & Costell, E. (2011). Inulin as texture modifier in dairy products. *Journal of Food Hydrocolloids*, 25, 1881-1890.
- [17] AOAC (1997) *Official Methods of Analysis*. 16th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- [18] Sodini, I., Montella, J., & Tong, P. S. (2005). Physical properties of yogurt fortified with various commercial whey protein concentrates. *Journal of Science Food Agriculture*, 85, 853-859.
- [19] Sahan, N., Yasar, K., & Hayaloglu, A. A. (2008). Physical, chemical and flavor quality of non- fat yogurt as affected by a β -glucan hydrocolloidal composite during storage. *Journal of Food Hydrocolloids*, 22, 1291-1297.
- [20] Yam, K. L., & Papadakis, S. E. (2004). A simple digital imaging method for easuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61, 137-142.
- [21] Isik, U., Boyacioglu, D., Capanoglu, E., & Erdil, D. N. (2011). Frozen yogurt with added inulin and isomalt. *American Dairy Science Association*, 94, 1647-1656.
- [22] Kapitula, M., & Klebukowska, L. (2009). Investigation of the potential for using inulin HPX as a fat replacer in yoghurt production. *International Journal of Dairy Technology*, 62(2), 209-214.
- [23] Aryana, K. J., Plauche, S., Rao, R. M., McGrew, P., & Shah, N. P. (2007). Fat-Free Plain yogurt manufactured with inulins of various chain lengths and lactobacillus acidophilus. *Journal of Food Science*, 72(3), 79-84.
- [24] Kip, P., Meyer, D., & Jellema, R. H. (2006). Inulins improve sensory and textural properties of low-fat yoghurts. *International Dairy Journal*, 16, 1098-1103.
- [25] Tarrega, A., Torres, J. D., & Costell, E. (2011). Influence of the chain-length distribution of inulin on the rheology and microstructure of prebiotic dairy desserts. *Journal of Food Engineering*, 104, 356-363.
- [5] Kucukcetin, A. (2008). Effect of heat treatment of skim milk and final fermentation pH on graininess and roughness of stirred yogurt. *International Journal of Dairy Technology*, 61(4), 385-390.
- [6] Loveday, S. M., Sarkar, A., & Singh, H. (2013). Innovative yoghurts: Novel processing technologies for improving acid milk gel texture. *Trends in Food Science & Technology*, 33, 5-20.
- [7] Oliveira, R. P. S., Perego, P., Converti, A., & Oliveira, M. N. (2009). The effect of inulin as a prebiotic on the production of probiotic fibre-enriched fermented milk. *International Journal of Dairy Technology*, 62(2), 195-203.
- [8] Tarrega, A., Rocafull, A., & Costell, E. (2010). Effect of blends of short and long-chain inulin on the rheological and sensory properties of prebiotic low-fat custards. *Food Science and Technology*, 43, 556-562.
- [9] Cruz, A. G., Cavalcanti, R. N., Guerreiro, L. M. R., SantAna, A. S., Nogueira, L. C., Oliveira, C. A. F., Deliza, R., Cunha, R. L., Cunha, R. L., Faria, J. A. F., & Bolini, H. M. A. (2013). Developing a prebiotic yogurt: Rheological, physico-chemical and microbiological aspects and adequacy of survival analysis methodology. *Journal of Food Engineering*, 114, 323-330.
- [10] Kim, Y., Faqih, M. N., & Wang, S. S. (2001). Factors affecting gel formation of inulin. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 46, 135-145.
- [11] Guggisberg, D., Cuthbert-Steven, J., Piccinalli, P., Butikofer, U., & 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, 107-115.
- [12] Mazloomi, S.M., Shekarfroush, S. S., Ebrahimnejad, H., & Sajedianfard, J. (2011). Effect of adding inulin on microbial and physico- chemical properties of low fat probiotic yogurt. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 12(2), 93-98.
- [13] Villegas, B., & Costell, E. (2007). Flow behaviour of inulin-milk beverages. Influence of inulin average chain length and of milk fat content. *International Dairy Journa*, 17, 776-781.
- [14] Soofi, M., & Alizadeh, A. (2014). Applications of inulin in food industries: A

Optimization of low fat prebiotic yogurt processing containing inulin at different temperatures and shear stresses

Soofi, M. ¹, Alizadeh, A. ^{2*}, Mousavi Kalajahi, S. E. ³

1. Ph.D Student, Young Researchers Club, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
2. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
3. Ph.D Student, Young Researchers Club, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

(Received: 2018/05/10 Accepted: 2019/02/18)

Recognizing the relations between different variables of fat replacing, modeling could contribute to an optimum control of the process and accordingly improve the quality of the final low fat product such as yogurt. In the present study, the Response Surface Methodology (RSM) and Central Composite Design (CCD) has been applied to investigate the effects of different concentrations of inulin (0, 3 and 6%) as a fat replacer, heat treatment (70, 82.5 and 95°C) and various shear stresses using a stirrer (3000, 6000 and 9000 RPM) on gelling properties of yogurt and also different quality attributes of a low fat yogurt. The equations obtained from the study showed that independent variables had significant effects on the measured attributes ($p < 0.05$). The most effective factor was inulin concentration that improved the low fat yogurt texture, although higher concentrations had negative effect on sensory properties and color. On the other hand, heat treatment had significant effect on gelling ability of yogurt. In sum, sample with 3% inulin, processed at 82.5°C and stirred at 6000 RPM was selected as optimum condition for prebiotic yogurt processing by inulin.

Key words: Heat treatment, Inulin, Response Surface Methodology, Shear stress.

* Corresponding Author E-Mail Address: a.alizadeh@iaut.ac.ir