JRIFST
مقالهٔ کامل پژوهشی

www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۹، جلد ۹، شماره ۳، صفحات ۲۸۳-۲۹۴
DOI: 10.22101/JRIFST.2020.229486.1166

تعیین و مقایسهٔ مقدار بهینهٔ چربی و صمغ دانهٔ بالنگو در ماست تازه با دو روش الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه و سطح پاسخ

محسن قدس روحانی[1*]، مرتضی کاشانی‌نژاد[2]، حسن رشیدی[3]، سمیرا نوروزی[4]

۱- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
* نویسندهٔ مسئول (M.qhods@areeo.ac.ir)
۲- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
۴- دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، تکنولوژی تولید فراورده‌های نوین لبنی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

چکیده

در این تحقیق اجزاء مخلوط ماست تازهٔ کم‌چرب حاوی صمغ دانهٔ بالنگو مدل‌سازی و بهینه‌یابی شد. برای‌این‌منظور ابتدا متغیرهای مستقل مقادیر صمغ دانهٔ بالنگو (۰ تا ۰/۱ درصد) و چربی (۰ تا ۲ درصد) به روش کاملاً تصادفی در قالب طرح مرکب مرکزی مدل‌سازی شدند و هریک از متغیرهای پاسخ (آب‌اندازی، pH، امتیاز طعم، رنگ، بافت و پذیرش کلی) در قالب مدل رگرسیون چندجمله‌ای به‌صورت تابعی از متغیرهای مستقل ارائه شدند. نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش صمغ دانهٔ بالنگو آب‌اندازی و pH نمونه‌ها کاهش و امتیاز طعم و مزه، بافت، رنگ و پذیرش کلی نمونه‌ها افزایش یافت. افزایش چربی نیز فقط منجربه‌کاهش آب‌اندازی نمونه‌ها شد. سپس مدل‌های به‌دست‌آمده، توسط الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه و الگوریتم بهینه‌یابی عددی به روش سطح پاسخ، بهینه گردید، به‌طوری‌که آب‌اندازی حداقل و امتیازهای طعم، بافت و پذیرش کلی حداکثر درنظرگرفته شدند. نتایج مقایسهٔ میانگین سه‌نقطهٔ بهینهٔ به‌دست‌آمده از دو الگوریتم نشان داد که به‌طورکلی در بهینه‌یابی اجزاء مخلوط ماست کم‌چرب حاوی صمغ دانهٔ بالنگو، الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه از عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم بهینه‌یابی عددی به روش سطح پاسخ برخوردار است. میانگین میزان بهینهٔ صمغ دانهٔ بالنگو و چربی در روش الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه به‌ترتیب ۰/۸۵ و ۱ درصد و در روش الگوریتم بهینه‌یابی عددی به روش سطح پاسخ ۰/۸۹ و ۱/۹۴ درصد به‌دست آمد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۵

واژه‌های کلیدی
الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه
بهینه‌یابی
روش سطح پاسخ
صمغ دانهٔ بالنگو
ماست تازهٔ کم‌چرب

مقدمه

باتوجه‌به اینکه بین مصرف چربی و بیماری‌های زیادی ازجمله چاقی، سرطان و بیماری‌های قلبی-عروقی مانند تصلب شرائین ارتباط مستقیم وجود دارد، طی دههٔ گذشته مصرف مواد غذایی کم‌چرب و فاقد چربی توسعهٔ زیادی پیداکرده است. بنابراین مطالعه‌های زیادی درجهت تولید محصولات رژیمی کم‌چرب ازجمله ماست کم‌چرب انجام گرفته است. اما باتوجه‌به اینکه مقدار مادهٔ جامد کل

در شیر، تا حد زیادی بر ویژگی‌های ماست تأثیر می‌گذارد و با کاهش چربی میزان کل مادهٔ جامد آن کاهش خواهد یافت، لذا ماست تولیدشده از شیرهای کم‌چرب دارای بافتی ضعیف و میزان آب‌اندازی بالایی می‌باشد، ضمن اینکه با کاهش میزان چربی، احساس دهانی[1] محصول نیز کاهش خواهد یافت (Baig & Prasad, 1996; Jaros & Rohm, 2003). ازاین‌رو، روش‌های مختلفی به‌منظور جایگزینی چربی در فراورده‌های لبنی ازجمله افزودن جایگزین‌های تقلیدکنندهٔ چربی[2] نظیر هیدروکلوئیدها (Rudan, Barbano, Guo, & Kindstedt, 1998) توسعه یافته است. هیدروکلوئیدها ترکیباتی هستند که قادر به ایجاد بافت و قوام، افزایش پایداری، خاصیت امولسیفایری، تشکیل ژل و بهبود احساس دهانی هستند (Guven, Yasar, Karaca, & Hayaloglu, 2005). برهمین‌اساس مطالعه‌های متعددی به‌منظور بررسی اثر هیدروکلوئیدهای مختلف بر خصوصیات ماست کم‌چرب انجام شده است (Aziznia, Khosrowshahi, Madadlou, & Rahimi, 2008; Guggisberg, Cuthbert-Steven, Piccinali, Bütikofer, & Eberhard, 2009; Guven *et al*., 2005). دراین‌بین، بالنگو[3] گیاهی با نام علمی *Lallemantia royleana* متعلق به خانوادهٔ نعناعیان بوده و دانه‌های آن به شدت جاذب آب هستند. ضمن اینکه صمغ دانهٔ بالنگو از ویسکوزیتهٔ ذاتی بالایی نیز برخوردار است (Alghooneh, Razavi, & Kasapis, 2019). Alghooneh و همکاران (۲۰۱۹) با خوشه‌بندی براساس خصوصیات مکانیکی انواع صمغ‌های بومی و تجاری نشان دادند که هیدروکلوئید بالنگو قابلیت جایگزینی با نمونه‌های تجاری آلژینات، کربوکسی‌متیل سلولز و گوار را دارد. بهنیا، کاراژیان، نیازمند و نافچی (۱۳۹۳) نیز بیان کردند که صمغ دانهٔ بالنگو می‌تواند به‌عنوان قوام‌دهنده، پایدارکننده، عامل ایجاد ژل، بهبوددهندهٔ بافت در اجزاء مخلوط مواد غذایی استفاده شود. ازطرفی در پژوهش‌های مختلف ازجمله بستنی (بهرام پرور، حدادخداپرست و رضوی، ۱۳۸۷، مهر)، امولسیون روغن در آب تثبیت‌شده با پروتئین آب‌پنیر (حسینی، نجفی‌نجفی، محمدی‌ثانی و کوچکی، ۱۳۹۲) و ماست هم‌زده (یدملت، جوینده و حجتی، ۱۳۹۶) خواص عملکردی بالای صمغ دانهٔ بانگو به اثبات رسیده است. بنابراین به نظر می‌رسد صمغ دانهٔ بالنگو باتوجه‌به خصوصیات عملکردی بالا ازجمله بافت و قوام‌دهندگی و خصوصیات تغذیه‌ای مناسب گزینهٔ مناسبی به‌عنوان جایگزین چربی در ماست کم‌چرب باشد که تاکنون پژوهش‌های کمی دراین‌رابطه وجود دارد. الگوریتم بهینه‌یابی ازدحام ذرات (PSO[4]) یکی از بهترین الگوریتم‌های بهینه‌یابی هوشمند است که در حوزهٔ هوش ازدحامی[5] قرار می‌گیرد. این الگوریتم، در سال ۱۹۹۵ توسط James Kennedy و Russell C. Eberhart معرفی شد و برگرفته از رفتار جمعی حیواناتی چون پرندگان و ماهی‌ها که به‌صورت گروه‌هایی کوچک و بزرگ در مجاورت هم زندگی می‌کنند، طراحی شده است. در الگوریتم PSO، تمامی پاسخ‌ها (اعضای جمعیت)، به‌صورت مستقیم با هم در ارتباط هستند و ازطریق مبادلهٔ اطلاعات با هم مسأله را حل می‌کنند. الگوریتم PSO برای اغلب مسائل گسسته و پیوسته مناسب است (Yang, 2010). بنابراین باتوجه‌به اینکه تاکنون تحقیقی درخصوص تأثیر هیدروکلوئید دانهٔ بالنگو روی ویژگی‌های ماست کم‌چرب صورت نگرفته است و اکثر تحقیق‌های انجام‌شده درزمینهٔ بهینه‌یابی اثر هیدروکلوئیدها بر ویژگی‌های ماست بر مبنای الگوریتم‌های کلاسیک می‌باشد، ازاین‌رو، در این پژوهش، اثر صمغ دانهٔ بالنگو بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (آب‌اندازی و pH) و حسی (طعم، رنگ، بافت و پذیرش کلی) ماست تازهٔ کم‌چرب مدل‌سازی شد و سپس میانگین نقاط بهینهٔ به‌دست‌آمده از الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه و نقاط بهینهٔ به‌دست‌آمده از روش سطح پاسخ با یکدیگر مقایسه شدند.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

دانهٔ بالنگو از فروشگاه محلی مشهد، شیرخشک بدون چربی از کارخانهٔ شیر پگاه خراسان و خامهٔ ۳۰ درصد چربی از شرکت لبنیات کاله خریداری شد. کشت آغازگر محتوی *استرپتوکوکوس ترموفیلوس*[6] و *لاکتوباسیلوس بولگاریس*[7] زیر گونهٔ *دلبروکی*[8] به‌صورت لیوفیلیزه از شرکت کریستین هانسن (دانمارک) خریداری گردید.

[1] Mouth feel
[2] Fat emulator
[3] Balangu

[4] Particle Swarm Optimization (PSO)
[5] Swarm Intelligence
[6] Streptococcus thermophilus
[7] *Lactobacillus bulgaricus*
[8] *Delbruck*

استخراج ژل دانهٔ بالنگو

استخراج هیدروکلوئید به روش Mohammad Amini (۲۰۰۷) انجام شد. ابتدا بذر خریداری‌شده تمیز، مواد زائد و ناخالصی‌های درشت آن برداشته شد و سپس در آب با دمای ۸۵ درجهٔ سانتی‌گراد و pH، ۷ خیسانده شد. نسبت آب به دانه ۵۹:۱ بود. بعد از ۲۰ دقیقه داخل سانتریفیوژ (مدل 320 R، کمپانی Hettich، ساخت آلمان) با شتاب ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت و در مرحلهٔ بعد ژل از صافی توری با قطر منفذ ۲۰ میکرومتر عبور داده شد. ژل استخراج‌شده در آون با دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد خشک گردید. صمغ حاصل پس از خارج‌شدن از آون خنک شد و سپس خرد و به‌منظور یکنواخت‌شدن پودر، الک گردید و در داخل پاکت‌های نایلونی دربدار جمع‌آوری و نگهداری شد.

تهیهٔ ماست

ابتدا باتوجه‌به تیمارهای موردنظر، مقادیر مختلف خامه (جهت تنظیم درصد چربی) و صمغ به شیر بازسازی‌شدهٔ پس‌چرخ اضافه گردید. سپس با استفاده از شیرخشک پس‌چرخ میزان کل مواد جامد تا مقدار ۱۲ درصد استاندارد شد و با استفاده از همزن، ترکیبات افزوده‌شده به شیر، هم‌زده شد. فرایند تولید ماست با روش متداول کارخانه‌ها انجام گردید. بدین‌صورت‌که تیمارها را ابتدا پاستوریزه نموده و سپس تا دمای ۴۵ درجهٔ سانتی‌گراد خنک‌نموده و کشت استارتر به میزان ۲ درصد به هریک از آنها افزوده گردید و بعد در لیوان‌ها پر و پس از دربندی به گرمخانه با دمای ۱±۴۵ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۶-۴ ساعت انتقال داده شد. پس از رسیدن اسیدیتهٔ نمونه‌ها به دمای ۶۲-۶۰ درجهٔ دورنیک نمونه‌ها از گرمخانه خارج و به سردخانه با دمای ۲±۴ درجهٔ سانتی‌گراد منتقل گردید (Tamime, Barrantes, & Sword, 1996).

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی

pH نمونه‌ها طبق استاندارد ملی ایران به شمارهٔ ۲۸۵۲ (سازمان ملی استاندارد ایران [ISIRI]، ۱۳۸۵) اندازه‌گیری شد.

میزان آب‌اندازی ماست

۲۰ گرم نمونه روی کاغذ صافی واتمن شمارهٔ ۲ ریخته شد، سپس در داخل قیف بوخنر، تحت‌خلأ به مدت ۲۰ دقیقه در دمای اتاق قرار داده شد. میزان آب‌اندازی نمونه‌ها برابر است با نسبت تفاضل وزن اولیهٔ نمونه و وزن نمونهٔ بعد از فیلترکردن به وزن اولیهٔ نمونه برحسب درصد (Al-Kadamany, Khattar, Haddad, & Toufeili, 2003).

ارزیابی حسی

ویژگی‌های حسی ماست شامل طعم، رنگ، بافت و پذیرش کلی با استفاده از آزمون هدونیک ۵ امتیازی به‌وسیلهٔ ۱۰ داور آموزش‌دیده (۷ زن و ۳ مرد در محدودهٔ سنی ۲۹-۲۵ سال) در دمای اتاق، انجام شد. فرم مورداستفاده به‌گونه‌ای بود که حداکثر نمره (۵) به‌منزلهٔ عالی‌بودن نمونه و کمترین نمره (۱) نشان‌دهندهٔ خیلی‌بدبودن نمونه است (سازمان ملی استاندارد ایران [ISIRI]، ۱۳۹۸).

مدل‌سازی و آنالیز آماری

در این پژوهش، تیمارهای فرایند با استفاده از طرح مرکب مرکزی (CCD[1]) با ۶ تکرار در نقطهٔ مرکزی برای دو متغیر و در سه سطح انجام شدند (جدول ۱)، به‌صورتی‌که در مجموع ۱۴ تیمار به‌دست آمد. نتایج پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آماری Design Expert نسخهٔ ۱۱ و به روش سطح پاسخ[2] مدل‌سازی شد و هریک از متغیرهای پاسخ (آب‌اندازی، pH، امتیازهای طعم، رنگ، بافت و پذیرش کلی) در قالب مدل رگرسیون چندجمله‌ای (رابطهٔ ۱) به‌صورت تابعی از متغیرهای مستقل ارائه شدند.

رابطهٔ (۱)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{3} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{3} \beta_{i_j} x_i^2 + \sum_{i=1}^{2} \sum_{j=i+1}^{3} \beta_{i_j} x_i x_j$$

در رابطهٔ (۱)، Y عبارت است از متغیر تابع یا پاسخ، x_i سطوح کدبندی‌شدهٔ متغیرهای مستقل (صمغ دانهٔ بالنگو و چربی) و x_i^2 اثرات درجهٔ دوم و $x_i x_j$ اثرات متقابل و β_{i_j} ضرایب اثرات می‌باشند. سپس معنی‌داربودن اثرات خطی، درجهٔ دوم و متقابل ضرایب مدل رگرسیون برای هر پاسخ در سطوح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ با استفاده از جدول آنالیز واریانس بررسی گردید. لازم به ذکر است باتوجه‌به اینکه در عمل، تولید نمونه با صفر درصد چربی

[1] Central Composite Design
[2] Response surface methodology

ممکن نیست، تیمارهای فاقد چربی با حداقل چربی ممکن (۰/۱ درصد) تولید شدند.

جدول ۱- متغیرهای مستقل اجزاء مخلوط ماست کم‌چرب و سطوح آنها

متغیر	نماد	سطوح کدبندی‌شدهٔ متغیر		
		+۱	۰	-۱
صمغ دانهٔ بالنگو (درصد)	X_1	۰/۱	۰/۰۵	۰
چربی (درصد)	X_2	۲	۱	۰

بهینه‌یابی

در الگوریتم ازدحام ذرات، موجودات (ذرات) در فضای جستجوی تابعی که نیاز به بهینه‌یابی آن است، توزیع شده‌اند. محاسبهٔ مقدار تابع هدف هر ذره در موقعیتی از فضا که در آن قرار گرفته است، انجام می‌شود و پس از آن با درنظرگرفتن اطلاعات محل فعلی آن و بهترین محلی که قبلاً در آن بوده است و همچنین با درنظرگرفتن اطلاعات یک ذره از بهترین ذرات موجود، جهتی را انتخاب و در آن حرکت می‌کند. بنابراین درنهایت تمام ذرات جهتی برای حرکت انتخاب می‌کنند و یک مرحله از الگوریتم پس از انجام حرکت به پایان می‌رسد. این مراحل آن‌قدر تکرار می‌شوند تا پاسخ موردنظر محاسبه شود. در شروع الگوریتم، ذرات با سرعت و موقعیت‌های تصادفی ایجاد می‌شوند. در حین اجرای الگوریتم، سرعت و موقعیت هر ذره در مرحلهٔ t+۱ام از الگوریتم، از روی اطلاعات مرحلهٔ قبلی ایجاد می‌شوند. روابطی که موقعیت و سرعت ذرات را تغییر می‌دهند، مطابق رابطه‌های (۲) و (۳) می‌باشد.

رابطهٔ (۲)

$$V_{t+1} = WV_t + C_1 r_1 (x_{i,best_t} - x_t) + C_2 r_2 (x_{gbest_t} - x_t)$$

رابطهٔ (۳)

$$x_{t+1} = x_t + V_{t+1}$$

در رابطه‌های (۲) و (۳)، r_1 و r_2 اعداد تصادفی در بازهٔ (۱ و ۰)، w ضریب لختی و همچنین c_1 و c_2 ضرایب یادگیری می‌باشند. r_1 و r_2 سبب می‌شوند که نوعی تنوع در پاسخ‌ها ایجاد شود و به‌این‌صورت جستجوی کاملی در فضا انجام می‌شود. ضریب یادگیری به تجارب شخصی هر ذره مرتبط است و در مقابل c_2 ضریب یادگیری مرتبط به تجارب کل جمع می‌باشد (Yang, 2010). شبه کد الگوریتم ازدحام ذرات در شکل (۱) نمایش داده شده است. سپس مراحل بهینه‌یابی فرایند با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات توسط نرم‌افزار متلب نسخهٔ ۲۰۱۶a انجام شد.

```
Input: Randomly initialized position and velocity of Particles:
       Xi (0) andVi (0)
Output: Position of the approximate global minimum X*
1: while terminating condition is not reached do
2:     for i = 1 to number of particles do
3:         Calculate the fitness function f
4:         Update personal best and global best of each particle
5:         Update velocity of the particle using Equation 2
6:         Update the position of the particle using equation 1
7:     end for
8: end while
```

شکل ۱- شبه کد الگوریتم ازدحام ذرات

همچنین با استفاده از قابلیت بهینه‌سازی عددی روش سطح پاسخ در نرم‌افزار Design Expert، مثالی از اثر شرایط دقیق فرایند (صمغ دانهٔ بالنگو و چربی) بر آب‌اندازی، طعم، بافت، رنگ و پذیرش کلی نمونه‌ها به‌صورت تابعی که مرغوبیت نامیده می‌شود، نیز بیان شد (رابطهٔ ۴). درجهٔ مرغوبیت کلی (D) یک میانگین هندسی از تمام درجهٔ مرغوبیت‌های منفرد (d_i) است که از صفر تا ۱ تغییر می‌کند.

رابطهٔ (۴)

$$D = (d_1 \times d_2 \times \ldots \times d_n)^{\frac{1}{n}} = (\prod_{1-2}^{n} d_i)^{\frac{1}{n}}$$

در رابطهٔ (۴)، n تعداد پاسخ‌هاست. اگر هریک از پاسخ‌ها در خارج از محدودهٔ تعیین‌شده قرار گیرد آنگاه درجهٔ مرغوبیت برابر با صفر می‌شود. درنهایت میانگین نقاط بهینهٔ مطلوب به‌دست‌آمده از الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه و نقاط بهینهٔ به‌دست‌آمده از روش سطح پاسخ ناشی از مدل‌های منتخب طرح مرکب مرکزی، با استفاده از آزمون t (نرم‌افزار Microsoft Excle نسخهٔ ۲۰۱۶) با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج و بحث

آب‌اندازی

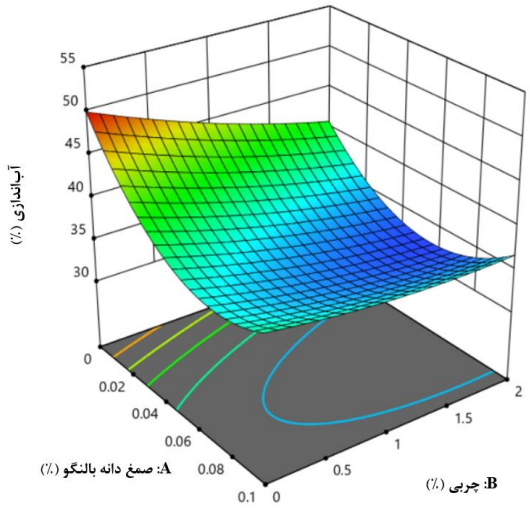
آب‌اندازی نمونه‌های موردآزمون به‌ترتیب بین ۳۲/۱۲ تا ۵۰/۱۲ درصد متغیر بود. مدل چندجمله‌ای درجه‌سه

(رابطهٔ ۵) نیز به‌دلیل ضریب تبیین ۰/۹۲ و معنی‌دارنبودن فاکتور عدم برازش در سطح اطمینان ۹۵ درصد، بهترین برازش را بر داده‌های پاسخ آب‌اندازی داشت که در این مدل A و B به‌ترتیب صمغ دانهٔ بالنگو و چربی هستند.

رابطهٔ (۵)

$$\text{آب‌اندازی} = 50.00 - 351.04A - 6.14B + 36.45AB + 2376.23A^2 + 0.77B^2$$

همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که اثر خطی صمغ دانهٔ بالنگو و چربی در سطح ۹۹ درصد بر آب‌اندازی نمونه‌ها معنی‌دار بودند. شکل (۲) تأثیر صمغ دانهٔ بالنگو و چربی را بر آب‌اندازی نمونه‌ها باتوجه‌به ضرایب رابطهٔ (۵) نشان می‌دهد.



شکل ۲- تأثیر صمغ دانهٔ بالنگو و چربی بر آب‌اندازی نمونه‌ها

همان‌طورکه در شکل (۲) مشاهده می‌شود با افزایش صمغ دانهٔ بالنگو و چربی، آب‌اندازی نمونه‌ها کاهش می‌یابد به‌طوری‌که بیشترین آب‌اندازی را نمونهٔ حاوی صفر درصد صمغ دانهٔ بالنگو و صفر درصد چربی داشت. آب‌اندازی در ماست به‌علت کاهش قدرت اتصال پروتئین‌های آب‌پنیر ناشی از چروکیدگی ساختار سه‌بُعدی شبکهٔ پروتئینی و درنهایت خروج آب‌پنیر از ماست رخ می‌دهد (Tamime *et al.*, 1996). همچنین Tamime و Robinson (۱۹۹۹) نیز بیان کردند پدیدهٔ آب‌انداختن که سبب به‌هم‌خوردن شبکهٔ میسل‌های پروتئینی می‌گردد، به‌صورت مستقیم به میزان اختلال فیزیکی و بی‌دقتی در عمل‌آوری شیر وابسته می‌باشد و لذا به نظر می‌رسد افزایش صمغ دانهٔ بالنگو و چربی منجربه تقویت شبکهٔ پروتئینی شده است (Tamime *et al.*, 1996). بنابراین باتوجه‌به اینکه صمغ دانهٔ بالنگو دارای ساختار هیدروفیل می‌باشد و با افزایش گرانروی فاز پیوسته، به‌دام‌انداختن آب در یک شبکهٔ سه‌بُعدی و درنهایت کاهش تحرک قطره‌های فاز پراکنده و همچنین به‌علت جاذبهٔ الکترواستاتیک این صمغ با کازئین (که موجب جذب این هیدروکلوئیدها روی سطح کازئین موجود در نمونه‌ها می‌گردد) باعث تقویت شبکهٔ پروتئینی شده است. افزایش چربی نیز به‌دلیل ساختار قوی ناشی از حضور درصد بالای گویچه‌های چربی که به‌صورت جزئی الحاق شده‌اند، منجربه تقویت شبکهٔ ژلی نمونه‌ها شده است.

Aguirre-، Lobato-Calleros، Sandoval-Castilla و Vernon-Carter (۲۰۰۴) Mandujano بیان کردند مولکول‌های کربوهیدرات به‌صورت محکمی با مولکول‌های آب پیوند برقرار می‌کنند و آنها را به‌دام‌می‌اندازند زیرا از ظرفیت جذب آب بالایی برخوردارند. بنابراین موجب افزایش ویسکوزیتهٔ فاز آبی و درنتیجه افزایش مقاومت در برابر نیروی به‌کاربرده‌شده می‌شوند.

Walstra، Geurts، Noomen، Jellema و Boekel (۱۹۹۹) نیز نشان دادند که در ماست قالبی ذرات چربی هموژن‌شده مانند کانون‌هایی می‌باشند که به‌وسیلهٔ میسل‌ها و ریزمیسل‌های کازئینی دربرگرفته می‌شوند، درنتیجه موجب گسترش و تکمیل شبکهٔ ژل ماست می‌شوند. Trachoo و Mistry (۱۹۹۸) نیز بیان کردند کمابیش در تمام ماست‌های بدون چربی و کم‌چرب پدیدهٔ آب‌انداختن ماست مشاهده می‌شود، مگر اینکه از پایدارکننده‌های مختلف در جهت کاهش آب‌اندازی استفاده شود. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج تحقیق‌های پیشین (امیری‌عقدایی، اعلمی، خمیری و رضایی، ۱۳۸۹)، (بهرام پرور و همکاران، ۱۳۸۷) و (محمودی، رفتنی‌امیری و علیمی، ۱۳۹۰) مطابقت داشت.

pH

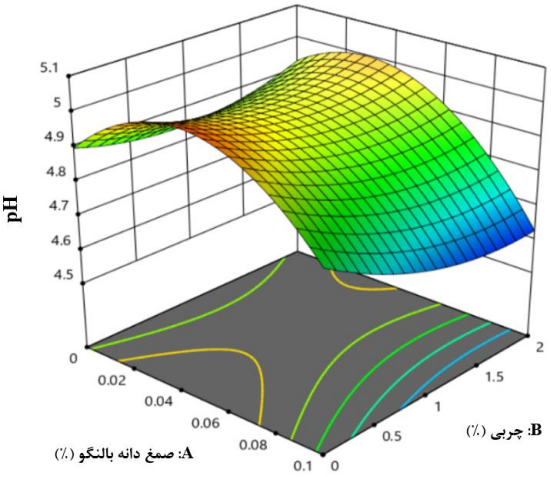
pH نمونه‌های موردآزمون به‌ترتیب بین ۴/۶ تا ۵/۰۹ متغیر بود. مدل چندجمله‌ای درجه‌سه (رابطهٔ ۶) نیز به‌دلیل ضریب تبیین ۰/۸۷ و معنی‌دارنبودن فاکتور عدم برازش در سطح اطمینان ۹۵ درصد، بهترین برازش را بر داده‌های پاسخ pH داشت که در این مدل A و B به‌ترتیب صمغ

دانهٔ بالنگو و چربی هستند.

رابطهٔ (۶)

$$pH = 4.89 + 6.94A - 0.10B - 1.10AB - 77.41A^2 + 0.06B^2$$

همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که تنها اثر خطی صمغ دانهٔ بالنگو در سطح ۹۹ درصد بر pH نمونه‌ها معنی‌دار بود و چربی اثر معنی‌داری بر pH نمونه‌ها نداشت. شکل (۳) تأثیر صمغ دانهٔ بالنگو و چربی را بر pH نمونه‌ها باتوجه‌به ضرایب رابطهٔ (۶) نشان می‌دهد.



شکل ۳- تأثیر صمغ دانهٔ بالنگو و چربی بر pH نمونه‌ها

همان‌طورکه در شکل (۳) مشاهده می‌شود با افزایش صمغ دانهٔ بالنگو تا ۰/۰۲ درصد، pH نمونه‌ها تغییر چندانی نمی‌کند، ولی با افزایش بیشتر صمغ دانهٔ بالنگو از ۰/۰۲ تا ۰/۱ درصد، pH نمونه‌ها کاهش می‌یابد که می‌توان آن را به تحریک فعالیت متابولیکی باکتری‌های استارتر توسط صمغ، ظرفیت بافری صمغ دانهٔ بالنگو و خاصیت آمفوتری[1] پروتئین‌ها نسبت داد. سخاوتی‌زاده و صادق‌زاده‌فر (۱۳۹۲) نیز گزارش کردند که افزودن صمغ گوار باعث کاهش pH ماست کم‌چرب شد. بهنیا و همکاران (۱۳۹۳) نیز کاهش pH ماست کم‌چرب را در اثر افزودن صمغ دانهٔ شاهی گزارش کردند. این در حالی است که نتایج متفاوتی در پژوهش‌های El-Sayed، Abd El-Gawad، Murad و Salah (۲۰۰۲)، Sahan، Yasar و Hayaloglu (۲۰۰۸) و امیری‌عقدایی و همکاران (۱۳۸۹) وجود دارد. کمی کاهش pH در زیر pH هم بار میسل‌های کازئین می‌تواند مفید باشد (تا pH ۴/۲)، زیرا ایجاد مقدار کمی دافعهٔ یونی با بار مثبت در پایین‌تر از این pH (۴/۲)، موجب بازآرایی شبکهٔ کازئینی به دور ذرات چربی و سلول‌های باکتریایی می‌شود و به پایداری آن کمک می‌کند (Walstra *et al.*, 1999).

امتیاز طعم و رنگ

امتیاز طعم و رنگ نمونه‌های موردآزمون به‌ترتیب بین ۳/۲ تا ۵ و ۳ تا ۵ بود. مدل‌های چندجمله‌ای درجه‌سه (رابطهٔ ۷ و ۸) نیز به‌دلیل ضریب تبیین ۰/۸۰و ۰/۹۰ و معنی‌دارنبودن فاکتور عدم برازش در سطح اطمینان ۹۵ درصد، بهترین برازش را بر داده‌های پاسخ‌های امتیاز طعم و رنگ داشتند که در این مدل‌ها A و B به‌ترتیب صمغ دانهٔ بالنگو و چربی هستند.

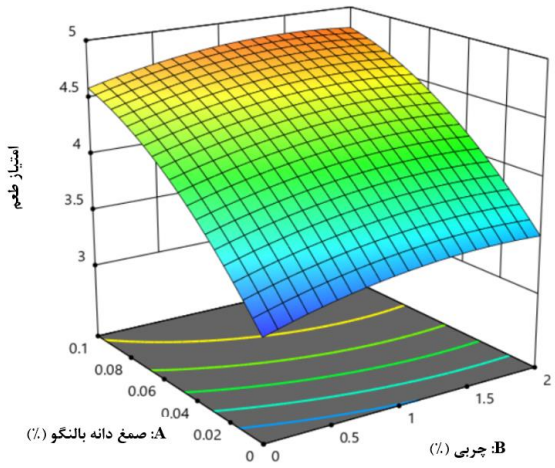
رابطهٔ (۷)

$$\text{امتیاز طعم} = 3.2 + 22.15A + 0.36B - 0.4AB - 83.52A^2 - 0.10B^2$$

رابطهٔ (۸)

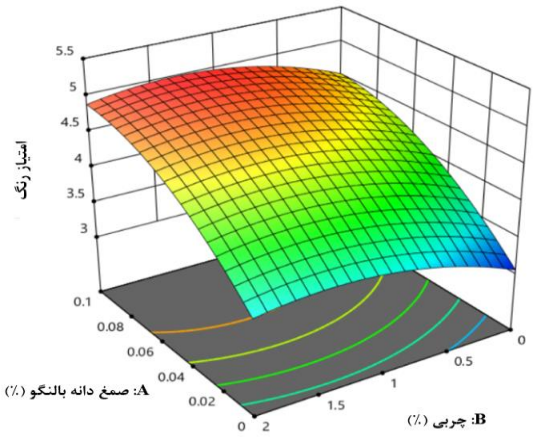
$$\text{امتیاز رنگ} = 3.05 + 27.60A + 0.76B - 0.49AB - 127.76A^2 - 0.26B^2$$

همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که در هر دو مدل فقط اثر خطی صمغ دانهٔ بالنگو در سطح ۹۵ درصد بر امتیاز طعم و امتیاز رنگ نمونه‌ها معنی‌دار بود و چربی هیچ‌گونه اثر معنی‌داری بر امتیاز طعم و امتیاز رنگ نمونه‌ها نداشت. شکل‌های (۴) و (۵) نیز تأثیر صمغ دانهٔ بالنگو و چربی را بر امتیاز طعم و رنگ نمونه‌ها باتوجه‌به ضرایب رابطه‌های (۷) و (۸) نشان می‌دهد.



شکل ۴- تأثیر صمغ دانهٔ بالنگو و چربی بر امتیاز طعم نمونه‌ها

[1] Amphoteric properties



شکل ۵- تأثیر صمغ دانهٔ بالنگو و چربی بر امتیاز رنگ نمونه‌ها

همان‌طورکه در شکل‌های (۴) و (۵) مشاهده می‌شود با افزایش صمغ دانهٔ بالنگو، امتیاز طعم و رنگ نمونه‌ها افزایش می‌یابد. افزودن صمغ‌های گیاهی به جهت تأثیری که بر قوام محصول و کاهش فراریت مولد آروما دارند باعث بهبود طعم می‌شوند. ازطرفی به نظر می‌رسد افزودن صمغ دانهٔ بالنگو منجربه‌افزایش فعالیت باکتری‌های مولد عطروطعم شده است که بررسی تغییرات pH در این پژوهش نیز این موضوع را تأیید می‌کند. البته باید توجه داشت که مقادیر زیاد میزان صمغ نیز می‌تواند اثر عکس داشته باشد، زیرا استفاده از مقادیر بالای صمغ به‌دلیل افزایش ویسکوزیته، منجربه‌کاهش مطلوبیت طعم به علت افزایش درگیری مولکول‌های عطروطعم و کاهش رهایش آنها در دهان می‌شود. رزمخواه‌شریبانی، رضوی، بهزاد و مظاهری‌تهرانی(۱۳۸۹)، با بررسی تأثیر استفاده از پکتین، صمغ دانه‌های مرو و ریحان بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی ماست چکیده بدون چربی به این نتیجه رسیدند که بیشترین امتیاز حسی به نمونه‌های حاوی ۰/۰۵ درصد صمغ متعلق بود. ریگی، شریفی، ریگی و اپوز (۱۳۹۲) در پژوهشی به بررسی تأثیر افزودن هیدروکلوئید بر ویژگی‌های حسی ماست پرداختند و بیان کردند که افزودن هیدروکلوئید هیچگونه تأثیر منفی بر امتیاز طعم نمونه‌ها نداشت. نتیجهٔ این پژوهش با تحقیق امیری‌عقدایی و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت داشت.

امتیاز بافت و پذیرش کلی

امتیاز بافت و پذیرش کلی نمونه‌های موردآزمون به‌ترتیب بین ۳ تا ۵ و ۳ تا ۵ بود. مدل‌های چندجمله‌ای درجه‌سه (رابطهٔ ۹ و ۱۰) نیز به‌دلیل ضریب تبیین ۰/۸۳ و ۰/۹۰ و معنی‌دارنبودن فاکتور عدم برازش در سطح اطمینان ۹۵ درصد، بهترین برازش را بر داده‌های پاسخ‌های امتیاز بافت و پذیرش کلی داشتند که در این مدل‌ها A و B به‌ترتیب صمغ دانهٔ بالنگو و چربی هستند.

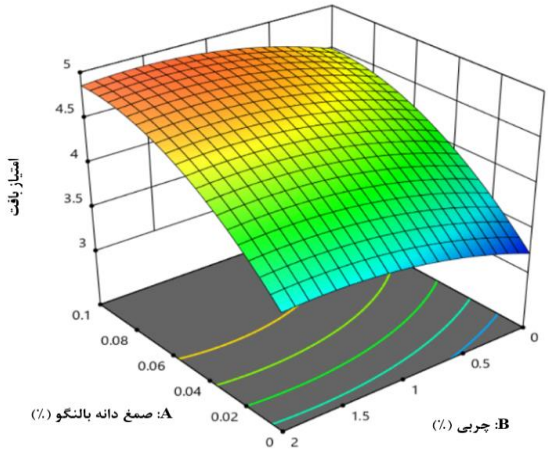
رابطهٔ (۹)

$$\text{امتیاز بافت} = 3.22 + 25.09A + 0.53B - 0.39A\,B - 122.94A^2 - 0.15B^2$$

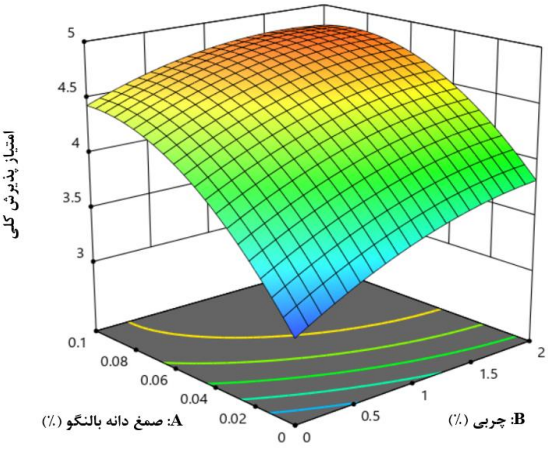
رابطهٔ (۱۰)

$$\text{امتیاز پذیرش کلی} = 3.44 + 11.7A + 0.28B$$

همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که در هر دو مدل فقط اثر خطی صمغ دانهٔ بالنگو در سطح ۹۵ درصد بر امتیاز بافت و امتیاز پذیرش کلی نمونه‌ها معنی‌دار بود و چربی اثر معنی‌داری بر امتیاز بافت و امتیاز پذیرش کلی نمونه‌ها نداشت. شکل‌های (۶) و (۷) نیز تأثیر صمغ دانهٔ بالنگو و چربی را بر امتیاز بافت و پذیرش کلی نمونه‌ها را باتوجه‌به ضرایب رابطه‌های (۹) و (۱۰) نشان می‌دهد.



شکل ۶- تأثیر صمغ دانهٔ بالنگو و چربی بر امتیاز بافت نمونه‌ها



شکل ۷- تأثیر صمغ دانهٔ بالنگو و چربی بر امتیاز پذیرش کلی نمونه‌ها

همان‌طورکه در شکل‌های (۶) و (۷) مشاهده می‌شود با افزایش صمغ دانهٔ بالنگو امتیاز بافت و پذیرش کلی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. افزودن صمغ دانهٔ بالنگو به نمونه‌های ماست، به‌دلیل قرارگرفتن پلی‌ساکاریدهای سازندهٔ هیدروکلوئید در میان میسل‌های کازئین، سبب ایجاد تداخل در تشکیل شبکهٔ سه‌بُعدی پروتئین شده که این تداخل منجربه بهبود بافت ماست و درنهایت بهبود پذیرش کلی نمونه‌ها شده است. Sandoval-Castilla و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند مولکول‌های کربوهیدرات به‌دلیل برخورداری از ظرفیت جذب آب بالا می‌توانند با مولکول‌های آب پیوند محکمی برقرارکرده و آنها را به‌دام‌اندازند، بنابراین موجب افزایش ویسکوزیتهٔ فاز آبی و درنتیجه افزایش مقاومت در برابر نیروی به‌کاربرده‌شده می‌شوند. لطفی‌زاده‌دهکردی، شاکریان و محمدی‌نافچی (۱۳۹۲) و امیری‌عقدایی و همکاران (۱۳۸۹) نیز بیان کردند که افزودن هیدروکلوئید تأثیر مطلوبی روی پذیرش نمونه‌های ماست کم‌چرب گذاشته است.

بهینه‌یابی

در این پژوهش به‌منظور بهینه‌یابی اجزاء مخلوط ماست کم‌چرب حاوی صمغ دانهٔ بالنگو با استفاده از تغییرات میزان چربی و صمغ دانهٔ بالنگو تلاش بر این بود که برای بهبود خصوصیات ماست کم‌چرب تاحدامکان آب‌اندازی به‌عنوان تابع هدف کاهش و امتیازهای طعم، بافت و پذیرش کلی، افزایش یابند. داده‌های اولیهٔ داده‌شده به الگوریتم ازدحام ذرات در حقیقت داده‌های مدل‌های منتخب پیش‌بینی‌شده از طرح مرکب مرکزی (مدل‌های ۵، ۷، ۹ و ۱۰) هستند. در الگوریتم‌های بهینه‌یابی پارامترهایی وجود دارند که تغییرات آنها باعث تغییر عملکرد الگوریتم می‌گردد و در سرعت هم‌گرایی و مرغوبیت پاسخ‌ها تأثیرگذار خواهد بود. به‌دست‌آوردن بهترین پارامترها با سعی و خطا و یا استناد به مرور منابع می‌باشد. لذا به‌منظور بهترشدن کارایی الگوریتم ازدحام ذرات، سعی و خطاهایی برای به‌دست‌آوردن بهترین مقدار برای هر پارامتر انجام شد و درنهایت ضریب اینرسی (w1)، ضریب یادگیری شخصی (c1) و ضریب یادگیری کلی (c2) به‌ترتیب ۰/۵، ۱ و ۲ تعیین شدند. ضمن اینکه برای تبدیل بهینه‌یابی چندهدفه به تک‌هدفه از روش پارتو استفاده شد. درنهایت باتوجه‌به شرط خاتمه که سپری‌شدن تعداد معینی از تکرارها بدون مشاهدهٔ بهبود خاصی درنتیجه بود، نقاط بهینه تعیین شدند. همچنین با استفاده از قابلیت بهینه‌یابی عددی در روش سطح پاسخ در نرم افزار Design Expert، شرایط دقیق اجزاء مخلوط نمونه‌ها نیز محاسبه شد. الگوریتم موجود در این نرم‌افزار سعی می‌کند تا تابع هدف f(x) را کمینه (یا بیشینه) کند، که x برداری از مقادیر گسسته و یا پیوسته می‌باشد. در هر تکرار، الگوریتم نرم‌افزار یک عنصر از x را تنظیم‌کرده و بررسی می‌کند که آیا این تغییر باعث بهبود مقدار f(x) شده است یا خیر. در الگوریتم نرم‌افزار هر تغییری که باعث بهبود f(x) شود، قابل‌قبول است و این پروسه تا زمانی که هیچ تغییری سبب بهبود مقدار f(x) نشود، ادامه پیدا می‌کند. در این مرحله، x به‌عنوان بهینهٔ محلی و خروجی الگوریتم خواهد بود. سه‌نقطهٔ بهینهٔ درصد صمغ دانهٔ بالنگو و چربی مطلوب به‌دست‌آمده با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات و روش سطح پاسخ در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲- سه‌نقطهٔ بهینهٔ به‌دست‌آمده با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات و روش سطح پاسخ برای دستیابی به حداقل آب‌اندازی و حداکثر امتیاز طعم، بافت و پذیرش کلی

مقادیر بهینه	روش سطح پاسخ				الگوریتم ازدحام ذرات				مقایسهٔ میانگین‌ها
	۱	۲	۳	میانگین	۱	۲	۳	میانگین	(تست t)
صمغ دانهٔ بالنگو	۰/۰۸۹	۰/۰۸۹	۰/۰۸۹	۰/۰۸۹	۰/۰۸۵	۰/۰۹۴	۰/۰۶۳	۰/۰۸۵	غیرمعنی‌دار
چربی	۱/۹۴۷	۱/۹۴۳	۱/۹۵۱	۱/۹۴۷	۱	۱	۱	۱	معنی‌دار
آب‌اندازی	۳۴/۹۲۵	۳۴/۹۲۸	۳۴/۹۲۲	۳۴/۹۲۵	۳۶/۹۳۳	۳۶/۱۷۲	۳۴/۲۲۳	۳۵/۷۷۶	غیرمعنی‌دار
امتیاز طعم	۴/۸۵۹	۴/۸۵۹	۴/۸۵۹	۴/۸۵۹	۴/۶۵۹	۴/۷۰۷	۴/۹۰۴	۴/۷۵۶	غیرمعنی‌دار
امتیاز بافت	۴/۸۵۳	۴/۸۵۴	۴/۸۵۳	۴/۸۵۳	۴/۸۴	۴/۸۳۶	۴/۶۸۳	۴/۷۸۶	غیرمعنی‌دار
امتیاز پذیرش کلی	۵	۵	۵	۵	۴/۸۹	۴/۸۳	۴/۴۷۶	۴/۷۳۲	غیرمعنی‌دار

به‌منظور مقایسهٔ عملکرد بهینه‌یابی دو روش، میانگین سه‌نقطهٔ بهینهٔ به‌دست‌آمده مطلوب از دو الگوریتم توسط آزمون t مقایسه شد. نتایج مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که به‌جز چربی که در الگوریتم ازدحام ذرات میانگین پایین‌تری دارد، تفاوت میانگین بهینهٔ سایر نقاط به‌دست‌آمده غیرمعنی‌دار است. ازآنجایی‌که کمینهٔ میزان چربی از شرایط اولیهٔ بهینه‌یابی بوده است، لذا به نظر می‌رسد الگوریتم ازدحام ذرات به‌عنوان یک الگوریتم فراابتکاری سطوحی از چربی را تعیین نموده است که اختلاف آماری معنی‌داری بین سایر پاسخ‌ها و سایر شرایط بهینه در مقایسه با روش دیگر ندارد. لذا به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم بهینه‌یابی عددی در روش سطح پاسخ در بهینه‌یابی اجزاء مخلوط ماست تازهٔ کم‌چرب حاوی صمغ دانهٔ بالنگو دارد. Liu، Guan، Zhu و Sun (۲۰۰۸) نیز عملکرد بالای الگوریتم ازدحام ذرات را برای مدل‌های درجهٔ دوم به‌دست‌آمده از روش سطح پاسخ در بهینه‌یابی آنزیمی استخراج پروتئین سبوس جودوسر نشان دادند.

نتیجه‌گیری

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی محصولاتی مانند ماست نقش مهمی در عمل‌آوری و بازارپسندی محصول دارد. در ماست این ویژگی‌ها عمدتاً تحت‌تأثیر فرایند تولید، میزان چربی و گاهی نوع صمغ به‌کاررفته در آن قرار می‌گیرد. تعیین میزان بهینه از صمغ و چربی درجهت بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی به‌ویژه درراستای کاهش چربی در اجزاء مخلوط از لحاظ اقتصادی و تغذیه‌ای بسیار حائز اهمیت است. لذا در این پژوهش اثر مقادیر مختلف صمغ دانهٔ بالنگو و میزان چربی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (آب‌اندازی و pH) و خصوصیات حسی (طعم، بافت و پذیرش کلی) ماست تازهٔ کم‌چرب موردارزیابی قرار گرفت و سپس این مقادیر بهینه گردید. به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که صمغ دانهٔ بالنگو به‌عنوان هیدروکلوئیدی که خود دارای ارزش تغذیه‌ای بالایی نیز می‌باشد، می‌تواند به‌عنوان جایگزین مناسب چربی در ماست کم‌چرب مورداستفاده قرار گیرد و خواص فیزیکوشیمیایی و حسی مطلوبی را در آن ایجاد کند. به‌منظور بهینه‌یابی مقدار متغیرها، درصد آب‌اندازی حداقل و امتیازهای طعم، بافت و پذیرش کلی حداکثر درنظرگرفته شدند که باتوجه‌به صفت‌های فوق، میانگین میزان بهینهٔ صمغ دانهٔ بالنگو و چربی در روش الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه به‌ترتیب ۰/۸۵ و ۱ درصد و در روش سطح پاسخ ۰/۸۹ و ۱/۹۴ به‌دست آمد. ازطرفی نتایج تحقیق نشان داد برای یافتن راه‌حل‌های بهینه در مسائل غیرخطی، الگوریتم فراابتکاری هوشمندی همچون ازدحام ذرات بسیار مؤثر و کارا می‌تواند در کاربردهای مختلف استفاده شود.

منابع

امیری‌عقدایی، س.، اعلمی، م.، خمیری، م.، و رضایی، ر. (۱۳۸۹). تاثیر استفاده از موسیلاژ دانه ریحان بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی، حسی و رئولوژیکی ماست کم چرب. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۲ (۴)، ۱.

بهرام پرور، م.، حدادخداپرست، م.، و رضوی، س. (۱۳۸۷، مهر). کاربرد ترکیبات هیدروکلوئیدی دانه بالنگو شیرازی، ثعلب پنجه ای و کربوکس یمتیل سلولز به عنوان پایدار کننده در فرمولاسیون بستنی. *ارائه‌شده در هجدهمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی*. https://www.civilica.com/Paper-NCFOODI18-NCFOODI18_178.html

بهنیا، آ.، کاراژیان، ح.، نیازمند، ر.، و نافچی، ع. م. (۱۳۹۳). تأثیر صمغ دانه شاهی بر خواص رئولوژیکی و بافتی ماست کم‌چرب. *پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی*، ۳(۳)ف ۲۵۵-۲۶۶. doi:https://doi.org/10.22101/JRIFST.2014.10.23.335

حسینی، و. س.، نجفی‌نجفی، م.، محمدی‌ثانی، ع.، و کوچکی، آ. (۱۳۹۲). بررسی اثر صمغ دانه بالنگو شیرازی و پروتئین آب پنیر بر پایداری امولسیون روغن در آب. *پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی*، ۲(۲)، ۱۰۹-۱۲۰. doi:https://doi.osg/10.22101/JRIFST.2013.09.16.221

رزمخواه‌شریبانی، س.، رضوی، س. ع.ف بهزادف خ.ف و مظاهری‌تهرانی، م. (۱۳۸۹). بررسی تاثیر استفاده از پکتین، صمغ دانه های مرو و ریحان بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی ماست چکیده بدون چربی. *پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران*، ۶(۱)، ۳۳-۴۵. doi:https://doi.org/10.22067/ifstrj.v6i1.4026

ریگی، ص.، شریفی، ا.، ریگی، م.، و اپوز، م. (۱۳۹۲، آبان). بررسی پارامترهای سنتیکی خشک کردن ژل آلوئه ورا با استفاده از پیش تیمارهای اسمزی و مایکروویو. *ارائه‌شده در بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی*. https://www.civilica.com/Paper-NCFOODI21-NCFOODI21_693.html

سازمان ملی استاندارد ایران [ISIRI]. ۱۳۸۵. شیر و فرآورده‌های آن-تعیین اسیدیته و pH-روش آزمون. استاندارد ملی ایران، شمارهٔ ۲۸۵۲، چاپ اول. برگرفته از http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=34479

سازمان ملی استاندارد ایران [ISIRI]. ۱۳۹۸۹. ماست-ویژگی‌ها و روش‌های آزمون. استاندارد ملی ایران، شمارهٔ ۶۹۵، تجدیدنظر پنجم. برگرفته از http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=52740

سخاوتی‌زاده، س.، و صادق‌زاده‌فر، ش. (۱۳۹۲). تاثیر صمغ گوار به عنوان جایگزین چربی بر برخی خصوصیات شیمیایی و حسی ماست کم چرب. *نوآوری در علوم و فناوری غذایی (علوم و فناوری غذایی)*، ۵(۲ (پیاپی ۱۶))، ۲۹-۳۸.

لطفی‌زاده‌دهکردی، س.، شاکریانف ا.، و محمدی‌نافچی، ع. (۱۳۹۲، آبان). بررسی تأثیر عصاره گیاه شنگ (*Salsify Plant*) بر میزان ویسکوزیته و ماندگاری ماست. *ارائه‌شده در بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی*. https://www.civilica.com/Paper-NCFOODI21-NCFOODI21_1599.html

محمودی، م.، رفتنی‌امیری، ز.، و علیمی، م. (۱۳۹۰، آذر). ارزیابی تاثیر مالتودکسترین به عنوان جایگزین چربی بر روی کیفیت ماست کم چرب. *ارائه‌شده در بیستمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی*. https://www.civilica.com/Paper-NCFOODI20-NCFOODI20_416.html

یدملت، م.، جوینده، ح.، و حجتی، م. (۱۳۹۶). مقایسه برخی خواص فیزیکوشیمیایی و حسی ماست همزده کم‌چرب حاوی صمغ دانه بالنگو شیرازی و صمغ فارسی. *علوم و صنایع غذایی ایران*، ۱۴ (۷۲)، ۱۳۱-۳۲۶.

Al-Kadamany, E., Khattar, M., Haddad, T., & Toufeili, I. (2003). Estimation of shelf-life of concentrated yogurt by monitoring selected microbiological and physicochemical changes during storage. *LWT - Food Science and Technology*, *36*(4), 407-414. doi:https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00018-5

Alghooneh, A., Razavi, S. M. A., & Kasapis, S. (2019). Classification of hydrocolloids based on small amplitude oscillatory shear, large amplitude oscillatory shear, and textural properties. *Journal of Texture Studies*, *50*(6), 520-538. doi:https://doi.org/10.1111/jtxs.12459

Amiri Aghdaei, S., Aalami, M., Khomeiri, M., & Rezaei, R. (2010). Effect of Basil seed mucilage (Ocimum basilicum L.) on the physicochemical and sensory characteristics of low fat yogurt. *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*, *2*(4), 1-7 . (in Persian)

Aziznia, S., Khosrowshahi, A., Madadlou, A., & Rahimi, J. (2008). Whey Protein Concentrate and Gum Tragacanth as Fat Replacers in Nonfat Yogurt: Chemical, Physical, and Microstructural Properties. *Journal of Dairy Science*, *91*(7), 2545-2552. doi:https://doi.org/10.3168/jds.2007-0875

Bahram Parvar, M., Haddad Khodaparast, M. H., & Razavi, S. M. A. (2008, October). *Application of Hydrochloric Compounds of Balango Shirazi Seed, Talab Panjai and Carboxy Methyl Cellulose as Stabilizers in Ice Cream Formulation*. Paper presented at the 18th National Congress of Food Science and Technology. https://www.civilica.com/Paper-NCFOODI18-NCFOODI18_178.html (in Persian)

Baig, M. I., & Prasad, V. (1996). Effect of incorporation of cottage cheese whey solids and Bifidobacterium bifidum in freshly made yogurt. *Journal of Dairy Research*, *63*(3), 467-473. doi:https://doi.org/10.1017/S0022029900031976

Behnia, A., Karazhiyan, H., Niazmand, R., & Mohammadi, N. A. (2014). Effect of Cress seed gum on rheological and textural properties of lowfat yoghurt. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, *3*(3), 255-266. doi:https://doi.org/10.22101/JRIFST.2014.10.23.335 (in Persian)

El-Sayed, E., Abd El-Gawad, I., Murad, H., & Salah ,S. (2002). Utilization of laboratory-produced xanthan gum in the manufacture of yogurt and soy yogurt. *European Food Research and Technology*, *215*(4), 298-304. doi:https://doi.org/10.1007/s00217-002-0551-9

Guggisberg, D., Cuthbert-Steven, J., Piccinali, P ,.Bütikofer, 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*(2), 107-115. doi:https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.07.009

Guven, M., Yasar, K., Karaca, O. B., & Hayaloglu, A. A. (2005). The effect of inulin as a fat replacer on the quality of set-type low-fat yogurt manufacture. *International Journal of Dairy Technology*, *58*(3), 180-184. doi:https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2005.00210.x

Hosseini, V. S., Najaf Najafi, M., Mohammadi Sani, A., & Koocheki, A. (2013). Effect of Lallemantia royleana seed gum and whey protein concentrate on stability of oil-in-water emulsion. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, *2*(2), 109-120. doi:https://doi.org/10.22101/JRIFST.2013.09.16.221 (in Persian)

Iranian National Standardization Organization [ISIRI]. (2006). Milk and milk product-Determination of titrable acidity and value pH-Test method. (ISIRI Standard No. 2852, 1st. Edition). Retrieved from http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=34479 (in Persian)

Iranian National Standardization Organization [ISIRI]. (2019). Yoghurt-Specifications and test methods. (ISIRI Standard No.695, 5th Revision). Retrieved from http://standard.isiri.gov.ir/StandardView.aspx?Id=52740 (in Persian)

Jaros, D., & Rohm, H. (2003). The rheology and textural properties of yoghurt. In B. McKenna (Ed.), *Texture in food* (Vol. 1, Semi-solid Foods): CRC Press, New York, NY.

Liu, J., Guan, X., Zhu, D., & Sun, J. (2008). Optimization of the enzymatic pretreatment in oat bran protein extraction by particle swarm optimization algorithms for response surface modeling. *LWT - Food Science and Technology, 41*(10), 1913-1918. doi:https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.02.013

Lotfizadeh Dehkordi, S., Shakrian, A., & Mohammadi Nafchi, A. (2013, October). *Investigating the effect of plant extract on viscosity and Salsify Plant*. Paper presented at the 21st National Congress of Food Science and Technology. https://www.civilica.com/Paper-NCFOODI21-NCFOODI21_1599.html (in Persian)

Mahmoudi, M. J., Amiri Raftani, Z., & Alimi, M. (2013, November). *Evaluation of the effect of maltodextrin as a fat substitute on low-fat yogurt quality*. Paper presented at the 20th National Congress of Food Science and Technology .https://www.civilica.com/Paper-NCFOODI20-NCFOODI20_416.html (in Persian)

Mohammad Amini, A. (2007). Extraction optimization of Balangu seed gum and effect of Balangu seed gum on the rheological and sensory properties of Iranian flat bread. (Unpublished mastre's thesis), Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Razmkhah Sharbiani, S., Razavi, S. M. A., Behzad, K., & Mazaheri Tehrani, M. (2010). The Effect of Pectin, Sage Seed Gum and Basil Seed Gum on Physicochemical and Sensory Characteristics of Non Fat Concentrated Yoghurt. *Iranian Journal of Food Science and Technology Research, 6*(1), 27-36. (in Persian)

Rigi, P., Sharifi, A., Rigi, M., & Opus, m. (2013, October). *Investigation of the synthetic parameters of drying aloe vera gel using pre-osmotic and microwave pre-treatments*. Paper presented at the 21st National Congress of Food Science and Technology. https://www.civilica.com/Paper-NCFOODI21-NCFOODI21_693.html (in Persian)

Rudan, M. A., Barbano, D. M., Guo, M. R., & Kindstedt, P. S. (1998). Effect of the Modification of Fat Particle Size by Homogenization on Composition, Proteolysis, Functionality, and Appearance of Reduced Fat Mozzarella Cheese1. *Journal of Dairy Science, 81*(8), 2065-2076. doi:https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75781-9

Sahan, N., Yasar, K., & Hayaloglu, A. A. (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. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.06.010

Sakhavatizadeh, S., & Sadeghzadeh Far, S. (2013). The effect of guar gum as a fat substitute on some chemical and sensory properties of low-fat yogurt. *Food Science and Technology (Food Science and Technology), 5*(2(16)), 29-38 .(in Persian)

Sandoval-Castilla, O., Lobato-Calleros, C., Aguirre-Mandujano, E., & Vernon-Carter, E. J. (2004). Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers. *International Dairy Journal, 14*(2), 151-159. doi:https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00166-3

Tamime, A. Y., Barrantes, E., & Sword, A. M. (1996). The effect of starch based fat substitutes on the microstructure of set-style yogurt made from reconstituted skimmed milk powder. *International Journal of Dairy Technology, 49*(1), 1-10. doi:https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.1996.tb02612.x

Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (1999). *Yoghurt-Science and Technology*: John Wiley & Sons, Ltd.

Trachoo, N., & Mistry, V. V. (1998). Application of Ultrafiltered Sweet Buttermilk and Sweet Buttermilk Powder in the Manufacture of Nonfat and Low Fat Yogurts1. *Journal of Dairy Science, 81*(12), 3163-3171. doi:https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75882-5

Walstra, P., Geurts, T. J., Noomen, A., Jellema, A., & Boekel, M. A. J. S. v. (1999). *Dairy Technology : Principles of Milk. Properties and Processes*. New York: Marcel Dekker.

Yad Mellat, M., Joyandeh, H., & Hojjati, M. (2017). Comparison of some physiochemical and sensory properties of low-fat stirred yogurt containing Persian and Balangu-Shirazi gums *Iranian Food Science and Technology, 14*(72), 131-326 .(in Persian)

Yang, X. (2010). Particle Swarm Optimization *Engineering Optimization* (pp. 203-211)

Determining and Comparing the Optimal Amount of Fat and Balangu Seed Gum in Fresh Yogurt Using Two Methods of Multiple Objective Particle Swarm Algorithm and Response Surface Methodology

Mohsen Ghods Rohani[1*], Morteza Kashaninejad[2], Hassan Rashidi[3], Samira Nowrouzi[4]

1- Assistant Professor, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
* Corresponding author (M.qhods@areeo.ac.ir)
2- PhD Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran
3- Associate Professor, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
4- MSc of Novel Dairy Products Manufacture, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

Abstract

In this study, the formulation of fresh low-fat yogurt containing Balangu seed gum was modeled and optimized. In this study, first the independent variables of balangu seed gum (0 to 0.1%) and fat (0 to 2%) were modeled completely randomly in the form of a central composite design and each of the response variables (syneresis, pH, flavor, color, texture, and overall acceptance) were presented in the form of a polynomial regression model as a function of independent variables.The results showed that with increasing balangu seed gum, syneresis and pH of the samples decreased and the flavor, color, texture, and overall acceptance of the samples increased. Also, the increase in fat only decreased the syneresis of the samples. Then, the obtained models were optimized by multi objective particle swarming algorithm and numerical optimization algorithm in response surface methodology, so that minimum syneresis and maximum texture, flavor, color and general acceptance scores were obtained. The results of comparing the mean of three optimal points of the two algorithms showed that in general, in optimizing the formulation of low-fat yogurt containing balangu seed gum, the multi-objective particle swarming algorithm has a better performance than the numerical optimization algorithm in response surface method. The average optimal amount of balangu seed gum and fat in the multi-objective particle swarm algorithm was 0.85 and 1%, respectively, and in the method of optimization algorithm in response surface methodology, was 0.89 and 1.94%.

Keywords: Balangu seed gum, Fresh low-fat yogurt, Optimization, Multiple objective particle swarm algorithm, Response surface methodology