

Optimization of mixture-process variable experiments in camel milk whipped cream using Multi-objective Shuffled Frog-Leaping Algorithm (SFLA)

Morteza Kashaninejad¹ | Seyed Mohammad Ali Razavi^{2*}

¹Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran

²Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran, Email: s.razavi@um.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 05.03.2021
Revised: 01.06.2021
Accepted: 13.06.2021

Keywords:
Camel milk
Carboxymethylcellulose
Cress seed gum
Shuffled frog-leaping
algorithm
Whey protein concentrate

ABSTRACT

Background and objectives: The shuffled frog-leaping algorithm is a relatively new optimization method that has shown its capabilities in recent years and there is no information about the effects of fat substitutions and whipping duration on the properties of camel milk whipped cream. In this regard, in this study, the effects of different amounts of carboxymethylcellulose (CMC) (0 to 0.2%), cress seed gum (CSG) (0 to 0.2%) as experimental variables of the mixture design and whey protein concentrate (WPC) (2 to 8%), and whipping time (WT) (2 to 8 min) as experimental variables of the process design were investigated on the physical and rheological properties of camel milk whipped cream. Then, these properties were optimized using multi-objective shuffled frog-leaping algorithm.

Materials and methods: Camel milk was purchased from a local market in Mashhad, Iran, and its fat was separated using a separator. Then, using Pearson square, with a mixture of skim milk and separated fat, camel cream samples with 37% fat were prepared. The samples containing CSG (0-0.2%), CMC (0-0.2%), and WPC (2-8%) were formulated. After pasteurization at 80 °C for 5 minutes in a water bath and homogenization at 50 °C and 3000 RPM for 1 min, the samples were placed in a refrigerator for complete hydration overnight at 4-6 °C. The next day, the samples were whipped at 25 °C with a stirrer at a maximum speed of 1500 rpm for 2-8 minutes. Finally, the overrun, foam stability and rheological properties of camel milk whipped cream were measured and the optimal conditions were determined.

Results: The results showed that with increasing the WP and WPC levels, overrun increased and samples with higher CMC had higher overrun than samples with higher CSG. With increasing the WPC and WP (in high WPC values), the foam stability of the samples increased and changing the ratio of CSG and CMC gums had no significant effect on the foam stability. The back extrusion tests showed that increasing the WP and CSG increased the hardness and adhesiveness of the samples. Overrun, foam stability, hardness, and consistency were considered to be maximum in order to optimise the whipped cream formulation, while adhesiveness and flow behaviour index were adjusted to be minimum. The optimized formulation contained 0.19% CMC, 0.01% CSG, 2% WPC and produced with 7.9 min WT.

Conclusion: Overall, the results showed that the shuffled frog-leaping algorithm may reach the optimal convergent solution in a very short time and high speed. As a result, the method presented in this research can be used for different purposes in which accuracy and duration are important.

Cite this article: Kashaninejad, M., Razavi, S.M.A. 2022. Optimization of mixture-process variable experiments in camel milk whipped cream using Multi-objective Shuffled Frog-Leaping Algorithm (SFLA). *Food Processing and Preservation Journal*, 13 (4), 57-78.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/EJFPP.2022.18932.1656

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

بهینه‌یابی متغیرهای مخلوط - فرآیند در تولید خامه قنادی شیر شتر با استفاده از الگوریتم جهش قورباغه چند هدفه

مرتضی کاشانی نژاد^۱ | سیدمحمدعلی رضوی^{۲*}

۱. گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
۲. گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران، رایانامه: s.razavi@um.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: از آنجایی که الگوریتم جهش قورباغه به‌عنوان یک روش بهینه‌یابی نسبتاً جدید مطرح است و در سال‌های اخیر قابلیت‌های خود را اثبات کرده است و متاسفانه اطلاعاتی در مورد خامه قنادی شیر شتر و اثرات جایگزین‌های چربی و شرایط مختلف تولید بر خصوصیات آن موجود نیست، لذا در این تحقیق، اثر مقادیر مختلف کربوکسی متیل سلولوز (۰ تا ۰/۲ درصد) و صمغ دانه شاهی (۰ تا ۰/۲ درصد) به‌عنوان متغیرهای آزمایشی طرح مخلوط و کنسانتره پروتئین آب پنیر (۲ تا ۸ درصد) و مدت زمان هم زدن (۲ تا ۸ دقیقه) به‌عنوان متغیرهای آزمایشی طرح فرآیند بر ویژگی‌های فیزیکی و رئولوژیکی خامه قنادی شیر شتر مورد بررسی قرار گرفت و سپس این خصوصیات با استفاده از مدل‌های به‌دست آمده از طرح آزمایشی متقاطع مخلوط - فرآیند توسط الگوریتم جهش قورباغه چند هدفه بهینه گردید.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۵ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۳	مواد و روش‌ها: شیر شتر از بازار محلی مشهد تهیه شد و سپس توسط سپراتور چربی آن جدا گردید. خامه تهیه شده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با صمغ دانه شاهی (۰/۲ - ۰ درصد)، صمغ گوار (۰/۲ - ۰ درصد) و کنسانتره پروتئین آب پنیر (۲-۸ درصد) طبق طرح متقاطع مخلوط - فرآیند در نسبت‌های مورد نظر مخلوط شدند. نمونه‌ها پس از پاستوریزاسیون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه (در حمام آب) و هم‌وزن‌سازی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌منظور آنگیری کامل به مدت یک شب در دمای ۴-۶ درجه سانتی‌گراد در یخچال قرار گرفتند. روز بعد، نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به وسیله همزن با حداکثر ۱۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲ تا ۸ دقیقه هم زده شدند تا هوادهی مناسب صورت پذیرد. در انتها افزایش حجم، پایداری کف و ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه‌ها اندازه‌گیری و شرایط بهینه تعیین شد.
واژه‌های کلیدی: الگوریتم جهش قورباغه شیر شتر صمغ دانه شاهی کربوکسی متیل سلولوز کنسانتره پروتئین آب پنیر	یافته‌ها: نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش مدت زمان هم زدن و کنسانتره پروتئین آب پنیر، حجم نمونه‌ها افزایش یافت و نمونه‌های دارای کربوکسی متیل سلولوز بیشتر نسبت به نمونه‌های دارای صمغ دانه شاهی بیشتر از افزایش حجم بالاتری برخوردار بودند. با افزایش کنسانتره پروتئین آب پنیر و مدت زمان هم‌زدن (در مقادیر بالای کنسانتره پروتئین آب پنیر)، پایداری نمونه‌ها نیز افزایش یافت و تغییر نسبت صمغ‌های دانه شاهی و کربوکسی متیل سلولوز هیچگونه اثر معنی‌داری بر پایداری نمونه‌ها نداشت. نتایج حاصل از آزمون اکستروژن پسر و بافت نیز نشان داد که با افزایش زمان هم‌زدن و افزایش صمغ دانه

شاهی، سختی و چسبندگی نمونه‌ها افزایش یافت. به‌منظور بهینه‌یابی صفات در این تحقیق، افزایش حجم، پایداری، سختی، ضریب قوام حداکثر و چسبندگی و رفتار جریان حداقل در نظر گرفته شدند که با توجه به صفات مذکور، میزان کربوکسی متیل سلولز ۰/۱۹ درصد، صمغ دانه شاهی ۰/۰۱ درصد، کنسانتره پروتئینی آب پنیر ۲ درصد و مدت زمان هم زدن ۷/۹ دقیقه به دست آمد.

نتیجه‌گیری: به طور کلی نتایج پژوهش نشان داد که الگوریتم جهش قورباغه علاوه بر دقت از سرعت بالایی هم برخوردار است و می‌تواند در زمان بسیار اندکی به جواب بهینه همگرا برسد. بنابراین روش ارائه شده در این پژوهش می‌تواند برای مقاصد مختلف که در آن دقت و زمان هر دو مهم است، مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: کاشانی‌نژاد، م.، رضوی، س.م.ع. (۱۴۰۰). بهینه‌یابی متغیرهای مخلوط- فرآیند در تولید خامه قنادی شیر شتر با استفاده از الگوریتم جهش قورباغه چند هدفه. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۳ (۴)، ۷۸-۵۷.

DOI:10.22069/EJFPP.2022.18932.1656



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

تولید فرآورده‌های چرب شیر شتر از جمله خامه قنادی، که از پرمصرف‌ترین فرآورده‌های لبنی در صنایع غذایی می‌باشد، به شرط حفظ خصوصیات مورد پسند مصرف‌کننده، بازار خوبی را برای تولید کنندگان فراهم خواهد کرد و می‌تواند در شیرینی‌های خامه‌ای، دسرها و کیک‌ها استفاده شود (۹). خامه قنادی، با کیفیت مناسب باید به راحتی زده شود و یک کف خوب با حجم بالای هوادهی ایجاد کند. مدت زمان زدن، هوادهی، ثبات و پایداری کف حاصل، از مهم‌ترین ویژگی‌های این محصول می‌باشند (۴۱). علیرغم این‌که خامه قنادی به دلیل طعم مطلوب، مورد پسند مصرف‌کنندگان است، به سبب بالا بودن میزان چربی و به تبع آن بالا بودن کالری، می‌تواند موجب بیماری‌های قلبی و عروقی و همچنین افزایش میزان چربی خون شود، در نتیجه با تولید خامه‌ای با درصد چربی پایین‌تر می‌توان این مشکلات و نگرانی‌ها را کاهش داد (۴۶). از طرفی کاهش چربی منجر به کاهش ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی غذا مانند طعم و مزه، احساس دهانی و بافت می‌شود (۳۸). بنابراین تولید یک محصول کم چرب با همان ویژگی‌های محصول پر چرب، دشوار است. امروزه افزودن جایگزین‌ها و یا مقلدهای چربی بر پایه پروتئین‌ها و یا کربوهیدرات‌ها مانند کنسانتره پروتئین آب پنیر، کربوکسی متیل سلولوز، صمغ گوآر و... بسیار توسعه یافته است (۴۱). کنسانتره پروتئین آب پنیر به دلیل ویژگی‌های مطلوبی از قبیل توانایی تشکیل ژل، ظرفیت نگهداری آب، و ویژگی‌های کف‌کنندگی و امولسیون‌کنندگی دارای اهمیت تجاری بالا و کاربردهای غذایی زیادی می‌باشد (۳۷). استفاده از مخلوط هیدروکلوئیدها نیز به علت خواص سینرژیستی (هم‌افزایی) آن‌ها در صنایع غذایی نیز بسیار رایج است، زیرا مشاهده شده است که استفاده

ترکیبی از صمغ‌ها می‌تواند در بسیاری موارد باعث بهبود کیفیت محصول شود و از طرفی با کمتر کردن غلظت یک صمغ در فرمولاسیون محصول، تولید آن از نظر اقتصادی نیز به صرفه‌تر خواهد بود (۲۴). دانه‌های شاهی حاوی ترکیبات موسیلاژی هستند که به عنوان منبع مناسبی از هیدروکلوئید آنیونی با وزن مولکولی بالا و خصوصیات عملکردی فوق‌العاده‌ای همچون پایدارکنندگی، قوام‌دهندگی و تشکیل ژل شناخته می‌شود (۳۱). هیدروکلوئید مورد توجه دیگر کربوکسی متیل سلولوز است که یک مشتق آنیونی از سلولز است. این صمغ به عنوان یک عامل قوام‌دهنده و پایدارکننده در محصولات غذایی به‌ویژه خامه استفاده می‌شود (۳۹). همچنین با توجه به اینکه ماده جامد کف (میزان پروتئین و درصد چربی)، دما و مدت زمان هم‌زدن، نوع و غلظت عامل کف‌ساز و پایدارکننده کف بر ویژگی‌های کف از جمله قابلیت کف‌کنندگی، پایداری کف و ویژگی‌های رئولوژیکی آن تأثیر زیادی دارند (۱۲)، لذا بررسی هم‌زمان این پارامترها می‌تواند در تولید اقتصادی و مطابق با انتظار مصرف‌کنندگان خامه قنادی بسیار حائز اهمیت باشد.

پیشرفت علم در زمینه معرفی روش‌های بهینه‌یابی سبب شده است که در سال‌های اخیر الگوریتم‌های بهینه‌یابی قدرتمندی در زمینه بهینه‌سازی توابع هدف ارائه شود که کارکرد بیشتر این روش‌ها با الهام‌گیری از طبیعت است. به دلیل ناکارآمدی روش‌های کلاسیک در مسائل پیچیده مهندسی، میتوان از روش‌های فرا ابتکاری در بهینه‌یابی این مسائل بهره جست (۴۵). از جمله این روش‌ها می‌توان الگوریتم ژنتیک، جامعه مورچگان^۱، ازدحام ذرات^۲ و الگوریتم کرم شب تاب^۳ را نام برد (۴۰). اما در کنار این روش‌ها، یوسف و لنسی (۲۰۰۳) برای نخستین بار از الگوریتم جهش

1. Ant colony algorithm
2. Particle swarm algorithm
3. Firefly algorithm

کربوکسی متیل سلولز و مدت زمان هم زدن مقرون به صرفه باشد.

مواد و روش‌ها تهیه کف خامه شیر شتر: شیر شتر از بازار محلی مشهد تهیه شد و سپس در مجتمع آموزشی - تحقیقاتی صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد، پیش گرم (۳۷ درجه سانتی‌گراد) شد و توسط سپراتور چربی آن جدا گردید. در مرحله بعد، با استفاده از مربع پیرسون مخلوط شیر پس چرخ و چربی تولیدی، نمونه‌های خامه شیر شتر با ۳۷ درصد چربی تهیه شد. خامه تهیه شده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با صمغ دانه شاهی (۰/۲ - ۰ درصد)، صمغ گوار (۰/۲ - ۰ درصد) و کنسانتره پروتئین آب پنیر (۸-۲ درصد) طبق طرح متقاطع مخلوط - فرآیند در نسبت‌های مورد نظر، مطابق جدول ۱، مخلوط شدند. نمونه‌ها پس از پاستوریزاسیون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه (در حمام آب) و هم‌وزنیزاسیون در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد توسط هم‌وزن‌ایزر اولتراتوراکس (IKA، ساخت آلمان)، به‌منظور آگیری کامل به مدت یک شب در دمای ۴-۶ درجه سانتی‌گراد در یخچال قرار گرفتند. روز بعد، نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به وسیله همزن با حداکثر ۱۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲ تا ۸ دقیقه طبق طرح متقاطع مخلوط - فرآیند (جدول ۱) هم زده شدند تا هوادهی مناسب صورت پذیرد. در انتها افزایش حجم، پایداری کف و خصوصیات رئولوژیکی نمونه‌ها اندازه‌گیری و شرایط بهینه به شرح ذیل تعیین شد.

ارزیابی پایداری کف: پایداری براساس روش پدرسون و همکاران (۲۰۰۹) با اندکی تغییر تعیین شد (۳۲). بدین منظور ۲۰ گرم کف خامه بلافاصله پس از تولید درون قیف بوخنر با قطر ۸۰ میلی‌متر که درون آن یک توری پلاستیکی با مش ۴۰ برای جلوگیری از خروج کف قرار داده شده بود، با احتیاط ریخته شد و

قورباغه برای حل مسائل ترکیبی مختلف بهره بردند و آن را به عنوان نوعی روش مفید برای یافتن جواب‌های عمومی معرفی کردند و نشان دادند که سرعت همگرایی و عملکرد این الگوریتم نسبت به سایر روش‌ها بهتر است (۱۵). یوسف و همکاران (۲۰۰۶) نیز با توسعه الگوریتم جهش قورباغه برای حل مسائل بهینه‌یابی ترکیبی استفاده کردند (۱۴). تاکنون از الگوریتم جهش قورباغه^۱ برای حل چندین مسئله بهینه‌یابی مانند مسئله گسسته فروشنده دوره گرد (۱۸)، بهینه‌یابی یک سیستم پیچیده تأمین آب (۱۰)، خوشه‌بندی (۴)، مکان‌یابی دستگاه‌های الکترومغناطیسی (۴۷) و صنعت خودرو بدون سرشین (۲۹) با موفقیت استفاده شده است. این الگوریتم قابلیت زیادی برای جست و جوی سراسری دارد و پیاده‌سازی آن نسبتاً آسان است. علاوه بر این، می‌توان از آن برای حل مسائل بهینه‌یابی پیچیده غیرخطی تشخیص‌ناپذیر و چند وجهی استفاده کرد.

از آنجا که الگوریتم جهش قورباغه به‌عنوان یک روش بهینه‌یابی نسبتاً جدید مطرح است در سال‌های اخیر قابلیت‌های خود را اثبات کرده و متأسفانه اطلاعاتی درمورد خامه قنادی شیر شتر و اثرات جایگزین‌های چربی و شرایط مختلف تولید بر خصوصیات آن موجود نیست. بنابراین هدف این تحقیق، بررسی و بهینه‌یابی تأثیر میزان کنسانتره پروتئین آب پنیر، کربوکسی متیل سلولز، صمغ دانه شاهی و مدت زمان هم زدن و برهم کنش آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و رئولوژیکی خامه قنادی شیر شتر بوده است؛ به‌طوری‌که علاوه بر بهبود خصوصیات آن، از لحاظ اقتصادی نیز تولید خامه قنادی شیر شتر با تعیین ترکیب بهینه کنسانتره پروتئین آب پنیر، صمغ‌های دانه شاهی و دانه شاهی و

(Ltd., UK) استفاده شد. برای این منظور از ظرف استوانه‌ای به قطر ۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متر و پروب به قطر ۴۵ میلی‌متر استفاده شد و سرعت حرکت پروب (سرعت کرنش) ۱ میلی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. نمونه‌های خامه در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد، تا ۶۰ درصد ارتفاع اولیه (ارتفاع ۴۰ میلی‌متر) سیلندر توسط پروب دستگاه اکستروود شدند. صفات مورد اندازه‌گیری شامل سختی (نیرو در کرنش هدف بر حسب نیوتن)، و چسبندگی (مساحت قسمت منفی نمودار یا همان مرحله باربرداری بر حسب میلی‌ژول) بودند (۷).

طرح آزمایشی متقاطع مخلوط - فرآیند: در این پژوهش اجزای طرح مخلوط شامل کریوکسی متیل سلولز به میزان ۰ تا ۰/۲ درصد و صمغ دانه شاهی به میزان ۰ تا ۰/۲ درصد تعریف شد؛ به طوری که این اجزاء ۰/۲ درصد وزن فرمول کلی را تشکیل دادند و فاکتورهای فرآیند شامل کنسانتره پروتئین آب پنیر به میزان ۲ تا ۸ درصد و مدت زمان هم زدن ۲ تا ۸ دقیقه بودند، به صورتی که تعداد کل مشاهدات حاصل از طرح متقاطع مخلوط - فرآیند ۱۷ تیمار بود (جدول ۱).

نتایج این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آماری دیزاین اکسپرت (Design-Expert, version 11, Stat-Ease Inc., USA) به روش طرح آزمایشی متقاطع مخلوط - فرآیند آنالیز شد و هر یک از متغیرهای پاسخ در قالب مدل رگرسیون ترکیبی طرح آزمایشی متقاطع مخلوط - فرآیند (رابطه ۳) ارائه شد (۶).

روی استوانه مدرج ۲۰ میلی‌لیتری قرار گرفت. در طول زمان، مایع به علت نیروی گرانشی از کف جدا و در استوانه جمع می‌شد. درصد وزن کف زهکشی نشده به وزن کف خامه اولیه پس از مدت یک ساعت به عنوان درصد پایداری ثبت گردید.

اندازه‌گیری افزایش حجم: به منظور محاسبه درصد افزایش حجم، وزن حجم مشخصی از خامه، قبل و بعد از هوادهی اندازه‌گیری شد. سپس درصد افزایش حجم با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (۱۳):

$$100 \times \frac{\text{وزن خامه بعد از هوادهی} - \text{وزن خامه قبل از هوادهی}}{\text{وزن خامه بعد از هوادهی}} = \text{درصد افزایش حجم}$$

آزمون رئولوژیکی برشی پایا: رفتار جریان نمونه‌ها در محدوده سرعت برشی ۴۰۰-۱۴ بر ثانیه با استفاده از اسپیندل مناسب (باب و کاپ، c25) ویسکومتر چرخشی بوهلین (Visco88, Bohlin Ltd., UK) اندازه‌گیری شد. دمای نمونه نیز در طول فرآیند با چرخش مداوم آب توسط حمام سیرکولاتور در بین دو جداره استوانه در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه داشته شد. داده‌های تنش برشی -درجه برش با استفاده از مدل قانون توان (رابطه ۲) برای توصیف رفتار جریان نمونه‌ها برازش شد (۳۶) که، k ضریب قوام^۱ مدل قانون توان (Pa sⁿ) و n شاخص رفتار جریان^۲ مدل قانون توان (بدون بعد) می‌باشد.

رابطه ۲. $\tau = k(\dot{\gamma})^n$

آزمون بافتی اکستروژن پسر: برای انجام آزمون اکستروژن پسر از دستگاه بافت‌سنج (Brookfield

1. Consistency coefficient
2. Flow behavior index

جدول ۱- سطوح واقعی متغیرهای فرآیند و اجزای مخلوط در طرح متقاطع مخلوط- فرآیند

Table 1- The actual level of process and mixture variable in mixture-process variable experiments

فرآیند		مخلوط			تیمار Treatments
Process variable		Mixture variables			
مدت زمان هم زدن (دقیقه) whipping time (min)	کسناتره پروتئین آب پنیر (%) whey protein concentrate (%)	صمغ دانه شاهی (درصد) cress seed gum (%)	کربوکسی متیل سلولز (درصد) carboxymethylcellulose (%)		
2	2	0.1	0.1		1
8	5	0	0.2		2
2	2	0.2	0		3
8	2	0	0.2		4
2	2	0	0.2		5
5	5	0.05	0.15		6
5	5	0.1	0.1		7
8	5	0.2	0		8
8	8	0	0.2		9
2	8	0	0.2		10
5	8	0	0.2		11
2	8	0.2	0		12
5	5	0.1	0.1		13
8	2	0.1	0.1		14
5	2	0.2	0		15
5	5	0.2	0		16
8	8	0.2	0		17

رابطه ۳.

$$Y = \sum_{k=1}^q y_k^0 x_k + \sum_{k=1}^{q-1} \sum_{l=i+1}^q y_{kl}^0 x_k x_l + \sum_{i=1}^m \left[\sum_{k=1}^q y_k^i x_k + \sum_{k=1}^{q-1} \sum_{l=k+1}^q y_{kl}^i x_k x_l \right] z_i + \sum_{k=1}^{m-1} \sum_{l=i+1}^m \left[\sum_{k=1}^q y_k^{ij} x_k + \sum_{k=1}^{q-1} \sum_{l=k+1}^q y_{kl}^{ij} x_k x_l \right] z_i z_j + \varepsilon_0$$

می‌باشد. این الگوریتم از زندگی گروهی قورباغه‌ها زمانی که به دنبال غذا می‌گردند الهام گرفته شده است (۲۷). این الگوریتم ترکیبی از ویژگی‌های الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جمعیت پرندگان را دارد و لذا نسبت به این دو روش از سرعت و دقت بالاتری برخوردار می‌باشد (۲۵). در این الگوریتم هر قورباغه بیانگر جوابی از مسئله می‌باشد. در روش مفروض، جمعیت اولیه را به چند گروه مجزا تقسیم می‌کنیم که تعداد قورباغه‌های موجود در همه‌ی گروه‌ها با هم برابر است. بر اساس این تقسیم‌بندی دو نوع تکنیک جستجو در این الگوریتم وجود دارد، تکنیک اول تکنیک جستجوی محلی است و بر اساس آن قورباغه‌ها در هر گروه با تبادل اطلاعات، موقعیت

که در مدل فوق، عبارات اول و دوم مربوط به اثرات خطی و غیر خطی اجزای مخلوط، عبارت سوم مربوط به اثرات خطی و غیرخطی متغیرهای فرآیند و عبارت چهارم مربوط به اثرات خطی و متقابل اجزای مخلوط و متغیرهای فرآیند می‌باشد. با استفاده از جدول آنالیز واریانس، معنی‌داری اثرات خطی، درجه دوم و متقابل ضرایب مدل رگرسیون برای هر پاسخ در سطوح ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ بررسی شد.

الگوریتم جهش قورباغه: این الگوریتم توسط یوسف و لنسی (۲۰۰۶) به منظور حل مسائل پیچیده‌ی بهینه‌یابی، بدون استفاده از روابط ریاضی ارائه گردید (۱۴). الگوریتم جستجوی جهش قورباغه (SFLA) یک الگوریتم جدید در خانواده الگوریتم‌های تکاملی

فرآیند با استفاده از الگوریتم جهش قورباغه توسط نرم‌افزار متلب (۲۰۱۶ a) انجام شد.

نتایج و بحث

مدل سازی: معادلات به‌دست آمده برای پیش‌بینی متغیرهای وابسته با استفاده از طرح آزمایشی متقاطع مخلوط- فرآیند برای متغیرهای معنی‌دار در جدول ۲ آمده است. برای بررسی صحت مدل از ضرایب تبیین (R^2) و تست عدم برازش استفاده گردید. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است ضریب تبیین برای کلیه صفات اندازه‌گیری شده بالاتر از ۰/۸ بوده و فاکتور عدم برازش نیز برای کلیه صفات اندازه‌گیری شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. بنابراین بالا بودن ضریب تبیین و معنی‌دار نبودن عدم برازش برای تمامی پاسخ‌ها، صحت مدل را برای برازش اطلاعات تأیید می‌کند (۳۰). برای مشاهده بهتر اثر متغیرهای مستقل بر صفات مورد آزمایش، نمودارهای سطح پاسخ برای هر صفت رسم گردید.

درصد افزایش حجم: درصد افزایش حجم به کارایی نفوذ هوا به داخل بافت خامه بستگی دارد. درصد افزایش حجم به‌عنوان ملاک درصد وجود هوا در بافت خامه قنادی است و اطلاعاتی از نحوه به دام افتادن هوا در حباب‌ها را در بردارد (۲۲). افزایش حجم نمونه‌های مورد آزمون بین ۲/۳ تا ۸۹/۷۵ درصد متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل Y_1 جدول ۲، اثرات خطی صمغ دانه شاهی و کربوکسی متیل سلولز و اثرات متقابل کربوکسی متیل سلولز- صمغ دانه شاهی و کربوکسی متیل سلولز- کنسانتره پروتئین آب پنیر و صمغ دانه شاهی- مدت زمان هم‌زدن و کربوکسی متیل سلولز- صمغ دانه شاهی- کنسانتره پروتئین آب پنیر در سطح ۹۹ درصد بر افزایش حجم نمونه‌ها معنی‌دار بودند. شکل ۱ تأثیر مدت زمان هم‌زدن، صمغ دانه شاهی و کربوکسی

خود را نسبت به غذا (بهترین جواب) بهبود می‌دهند و تکنیک دوم مربوط به تبادل اطلاعات بین گروه‌ها می‌باشد که بر اساس آن، بعد از هر جستجوی محلی در گروه‌ها، اطلاعات به دست آمده بین گروه‌ها با هم مقایسه می‌شود. جهت اجرای این الگوریتم، ابتدا پارامترهای اولیه عضو P الگوریتم مقداردهی می‌شوند و سپس جمعیت اولیه‌ای به‌صورت تصادفی تولید می‌شود. شایستگی هر عضو محاسبه گردیده و پس از مرتب نمودن جمعیت به صورت نزولی، کل جمعیت به m گروه تقسیم می‌شوند که هرکدام از این گروه‌ها شامل n عضو می‌باشند. این تقسیم‌بندی باید به گونه‌ای باشد که عضوهای با شایستگی بیشتر، در همه گروه‌ها قرار داشته باشند (۲۱). سپس جستجوی محلی برای جهش قورباغه‌های با بدترین شایستگی به سمت قورباغه‌های با بهترین شایستگی صورت می‌پذیرد. این جهش مطابق روابط ۴ و ۵ می‌باشد:

$$D = r(x_b + x_w) \quad \text{رابطه ۴}$$

$$x_g(\text{new}) = x_w + D, \quad D_{\min} \ll D \ll D_{\max} \quad \text{رابطه ۵}$$

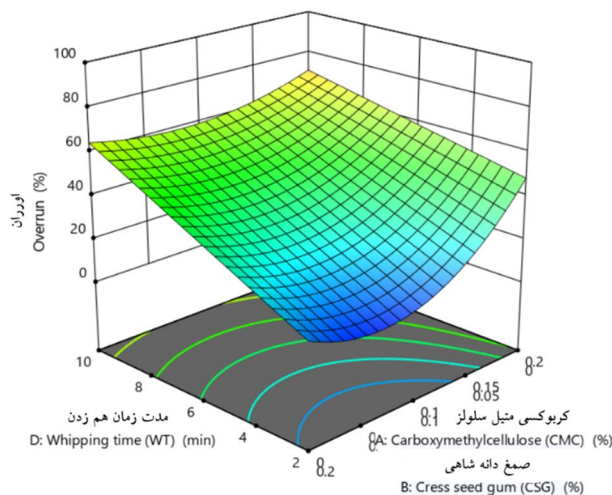
که در رابطه فوق x_b و x_w به ترتیب قورباغه‌های با بدترین و بهترین جواب، D مقدار جهش ضعیف‌ترین قورباغه به سمت بهترین عضو گروه، D_{\min} و D_{\max} به ترتیب بیشترین و کمترین حد مجاز برای جهش قورباغه و r عددی تصادفی در بازه [۰, ۱] می‌باشد. پس از اعمال تغییرات فوق در صورتی که قورباغه جدید دارای پاسخ بهتری نسبت به بدترین قورباغه گروه داشته باشد، جایگزین آن می‌گردد. در غیر این صورت همین اعمال با جایگزینی x_g با x_b تکرار می‌گردد. اگر با اعمال تغییر فوق پاسخ مناسب‌تری یافت نگردید، یک جواب به صورت تصادفی تولید شده و جایگزین بدترین عضو گروه گردد (۲۱). این روند برای تعداد تکرار مشخص ادامه می‌یابد تا در نهایت شرایط اتمام الگوریتم حاصل گردد. بهینه‌یابی

متیل سلولز بر افزایش حجم نمونه‌های خامه شتر (کنسانتره پروتئین آب پنیر=۴ درصد) را با توجه به معادله Y_1 جدول ۲ نشان می‌دهد.

جدول ۲- معادلات به دست آمده برای پیش بینی متغیرهای وابسته (داده‌های واقعی) با استفاده از روش طرح متقاطع مخلوط- فرآیند
Table 2- Predicted models for the physical, textural, and rheological properties of camel milk whipped creams using mixture-process cross design

متغیرهای وابسته Dependent variable	معادله Equation	F Value	p-value Prob > F	ضریب تبیین R^2	ضریب تغییرات CV	عدم برازش Lack of fit
افزایش حجم (درصد) Overrun (%)	$Y_1 = 428.58.26A + 36.68B - 611.2AB - 43.03AC + 14.32AC + 14.32AD - 5.62BC + 31.39BD + 696ABD + 181.58ABD$	11.92	0.0019	0.93	23	غیرمعنی دار n.s
پایداری (درصد) Foam stability (%)	$Y_2 = 96.63A - 5.58C + 4.82D + 0.93BD - 0.79D^2$	15.56	0.0003	0.86	3.2	غیرمعنی دار n.s
سختی (نیوتن) Hardness (N)	$Y_3 = -25.12A + 31.93B + 3.59AC + 4.67A + 2.20BC - 10.90BD - 0.60ACD + 0.57BCD - 0.59BC^2 + 0.65BD^2$	10.50	0.0001	0.951	16.30	غیرمعنی دار n.s
چسبندگی (میلی ژول) Adhesiveness (mJ)	$Y_4 = 2.366A - 1.93B + 113.85AB + 0.218AC + 3.52AD - 2.88BC - 0.66ACD + 22.77B^2 C$	4.50	0.045	0.81	6.64	غیرمعنی دار n.s
شاخص رفتار جریان Flow behavior index	$Y_5 = 2.58A + 2.08B + 0.08AC - 0.01AD + 0.08BC - 684/2BC + 4161ABC + 1057AC^2 + 4533AC^2$	12.34	0.0003	0.84	5.45	غیرمعنی دار n.s
ضریب قوام (پاسکال ثانیه) Consistency coefficient (Pa.s)	$Y_6 = 9.43A + 10.65B - 0.16C + 0.30D$	4.79	0.022	0.99	9.21	غیرمعنی دار n.s

A، B، C و D به ترتیب کربوکسی متیل سلولز (درصد)، صمغ دانه شاهی (درصد)، کنسانتره پروتئین آب پنیر (%) و مدت زمان هم زدن (دقیقه)



شکل ۱- تأثیر مدت زمان هم زدن، صمغ دانه شاهی و کربوکسی متیل سلولز بر افزایش حجم نمونه‌های خامه شتر محتوی ۴٪ کنسانتره پروتئین آب پنیر

Figure 1- The effect of whipping time, cress seed gum, and CMC on the overrun of camel milk whipped cream samples (4% WPC)

نمونه‌ها افزایش می‌یابد. افزایش زمان هم‌زدن، منجر به ورود هوای بیشتر به درون سیستم کف و به دام

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود با افزایش مدت زمان هم زدن، اورران (افزایش حجم)

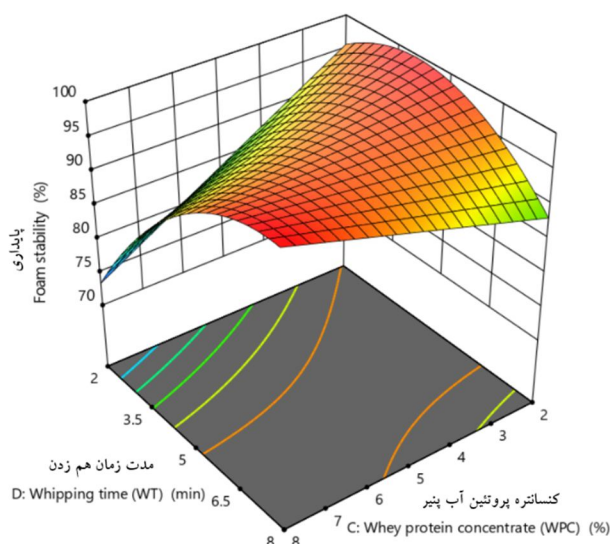
کاهش بیشتر افزایش حجم نمونه‌ها شده است. اسمیت و همکاران (۲۰۰۰) نیز بیان کردند افزودن ترکیبی از صمغ‌ها و امولسیفایرها در دو تیمار دمایی پاستوریزه کردن سریع و استریل کردن خامه قنادی به دلیل افزایش ویسکوزیته سرم، باعث کاهش درصد افزایش حجم شد (۴۱). همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اثر تغییرات کنسانتره پروتئین آب پنیر در زمان‌های همزدن و غلظت‌های مختلف صمغ‌ها بر افزایش حجم نمونه‌ها متفاوت بود؛ به طوری که در زمان‌های همزدن پایین و در شرایطی که از هردو صمغ کربوکسی متیل سلولز و صمغ دانه شاهی تقریباً به میزان یکسان وجود داشت، با افزایش غلظت کنسانتره پروتئین آب پنیر، افزایش حجم نمونه‌ها افزایش یافت. اما در زمان‌های همزدن بالا و در شرایطی که صمغ کربوکسی متیل سلولز در مقدار حداکثری بود، با افزایش کنسانتره پروتئین آب پنیر، افزایش حجم نمونه‌ها کاهش یافت. این تفاوت اثر کنسانتره پروتئین آب پنیر بر افزایش حجم نمونه‌ها می‌تواند ناشی از تغییرات ویسکوزیته نمونه‌ها و اثر حمایتی متفاوت پروتئین‌های آب پنیر از حباب‌های هوا در برابر فشار وارده از طرف مولکول‌های چربی و هوا باشد. زیرا به دلیل یکسان بودن ماهیت چربی و هوا، مولکول‌های چربی به سمت حباب‌های هوا جذب شده و موجب ترکیدن آن‌ها می‌شوند. درحقیقت با افزایش کنسانتره پروتئین آب پنیر، درصد چربی نمونه‌ها نیز کاهش یافته است، لذا افزایش همزمان کنسانتره پروتئین آب پنیر و زمان همزدن باعث کاهش جذب گویچه‌های چربی بر سطح حباب‌های هوا می‌شود که بالطبع میزان افزایش حجم نیز کم شده است (۱۷). ایزدی و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان دادند که با افزایش کنسانتره پروتئین آب پنیر از یک به سه درصد، افزایش حجم کف پنیر افزایش یافت، اما افزایش بیشتر کنسانتره پروتئین آب پنیر تا ۵

افتادن آن‌ها درون سیستم می‌گردد. همچنین افزایش زمان همزدن می‌تواند با افزایش میزان دناتوراسیون پروتئین‌ها و کاهش کشش سطحی سبب افزایش حجم شود (۱۱). نتایج مشابهی نیز برای خامه قنادی شیر گاو گزارش شده است (۱۶). همچنین مطابق شکل ۲ نمونه‌های دارای کربوکسی متیل سلولز بالاتر نسبت به نمونه‌های دارای صمغ دانه شاهی بالاتر از افزایش حجم بیشتری برخوردار هستند. کمترین افزایش حجم نیز مربوط به نمونه‌هایی است که از هر دو صمغ کربوکسی متیل سلولز و صمغ دانه شاهی به میزان تقریباً یکسان وجود دارد. ویسکوزیته نمونه‌ها نقش مهمی در میزان افزایش حجم دارد و حد معینی از ویسکوزیته برای ایجاد مقدار افزایش حجم مناسب مورد نیاز است (۱۲). بنابراین افزایش بیش از حد ویسکوزیته، مانع از ورود هوا به داخل سیستم شده و حداکثر میزان هوای محبوس شده در مخلوط را کاهش می‌دهد، از این رو موجب کاهش افزایش حجم کف می‌شود. هیدروکلونیدها اثرات قوام دهنده خود را از طریق اتصال به آب ایفا می‌کنند و بنابراین انتظار می‌رود که کف‌های سنگین‌تری ایجاد کنند. نتایج مشابهی برای کف کنسانتره پروتئین آب پنیر (۲۶) و خامه همزده گاو (۱۶) گزارش شده است. صمغ دانه شاهی نسبت به صمغ کربوکسی متیل سلولز در غلظت برابر دارای ویسکوزیته در درجه برش صفر بالاتر و ضریب قوام بالاتری است (۲). لذا انتظار می‌رود صمغ دانه شاهی سبب افزایش بیشتر ویسکوزیته سیستم نسبت به کربوکسی متیل سلولز شده، از این رو موجب کاهش ورود هوا به درون سیستم و در نتیجه افزایش حجم کمتر نمونه‌ها شده است. البته به نظر می‌رسد وجود همزمان کربوکسی متیل سلولز و صمغ دانه شاهی در نمونه‌ها نیز بر ویسکوزیته نمونه‌ها اثر سینرژیستی داشته است و موجب افزایش بیشتر ویسکوزیته نمونه‌ها و در نهایت

بین سطحی پی برد (۳۲). پایداری نمونه‌های مورد آزمون بین ۰/۸ تا ۲۸/۲۴ درصد متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل Y_2 جدول ۲، اثرات خطی کنسانتره پروتئین آب پنیر و مدت زمان همزدن و اثر متقابل کنسانتره پروتئین آب پنیر - مدت زمان همزدن در سطح ۹۹ درصد بر پایداری نمونه‌ها معنی‌دار بودند و تغییر نسبت صمغ‌های دانه شاهی و کربوکسی متیل سلولز هیچگونه اثر معنی‌داری بر پایداری نمونه‌ها نداشتند. شکل ۲ تأثیر کنسانتره پروتئین آب پنیر و مدت زمان همزدن بر پایداری نمونه‌های خامه شتر را (در غلظت ثابت صمغ دانه شاهی و کربوکسی متیل سلولز، ۰/۱ درصد) با توجه به معادله Y_2 جدول ۲ نشان می‌دهد.

درصد اثر معنی‌داری روی افزایش حجم نمونه‌ها نداشت (۱۹).

پایداری: پایداری کف به‌عنوان مقاومت ساختار در برابر متلاشی شدن شناخته می‌شود. این پایداری به شدت وابسته به ویژگی‌های فاز آبی پیوسته و همچنین ویژگی‌های ویسکوالاستیک لایه نازک بین سطحی می‌باشد. متلاشی شدن کف به سه شکل نمایان می‌شود؛ آب اندازی یا خروج آب از ساختار کف، الحاق حباب‌های هوا و غیریکنواخت شدن ساختار از طریق ایجاد حباب‌های بزرگی هوا در بخش‌های مختلف ساختار. در نتیجه با اندازه‌گیری میزان آب‌اندازی خامه قنادی تا حدودی می‌توان به ویژگی‌های بافتی آن به ویژه خصوصیات لایه نازک



شکل ۲- تأثیر کنسانتره پروتئین آب پنیر و مدت زمان هم زدن بر پایداری نمونه‌های خامه شتر (صمغ دانه شاهی = کربوکسی متیل سلولز = ۰/۱ درصد)

Figure 2- The effect of WPC and whipping time on the foam stability of camel milk whipped cream samples (0.1% CSG & CMC)

پروتئین آب پنیر، با افزایش مدت زمان همزدن، پایداری نمونه‌ها فقط افزایش می‌یابد. پروتئین‌های آب پنیر پروتئین‌های کروی هستند و به دلیل تشکیل لایه نازک چسبناک و ویسکوز، موجب تشکیل کفی با پایداری بالا می‌شوند (۳۳). با افزایش درصد کنسانتره پروتئین آب پنیر، ویسکوزیته و تنش تسلیم فاز

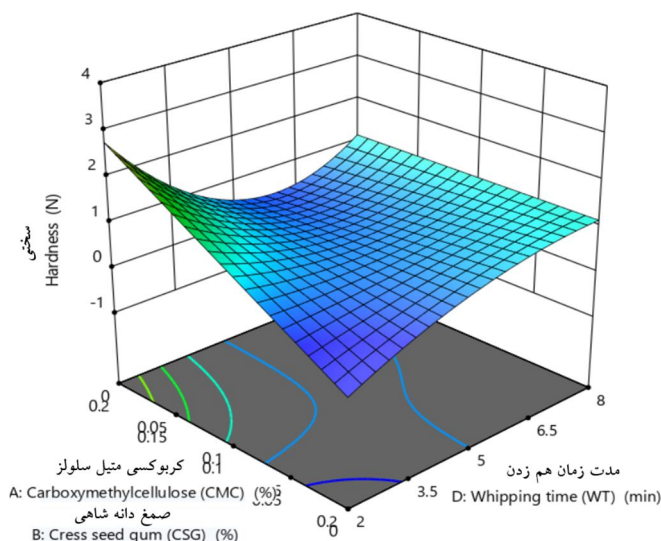
همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در مقادیر پایین کنسانتره پروتئین آب پنیر با افزایش مدت زمان همزدن (از ۲ تا ۴ دقیقه) پایداری نمونه‌ها افزایش می‌یابد، ولی با افزایش بیشتر مدت زمان همزدن (از ۴ تا ۸ دقیقه)، پایداری نمونه‌ها کاهش یافته است؛ در حالی که در مقادیر بالای کنسانتره

شاهی - مدت زمان هم زدن و کربوکسی متیل سلولز - صمغ دانه شاهی - کنسانتره پروتئین آب پنیر در سطح ۹۹ درصد بر چسبندگی نمونه‌ها معنی‌دار بودند. شکل ۳ تأثیر مدت زمان هم زدن، صمغ دانه شاهی و کربوکسی متیل سلولز بر سختی نمونه‌های خامه شتر را (در غلظت ثابت کنسانتره پروتئین آب پنیر، ۴ درصد) با توجه به معادله y_4 جدول ۲ نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود در شرایطی که مقدار کنسانتره پروتئین آب پنیر نمونه‌ها ۴ درصد ثابت باشد، با افزایش زمان هم‌زدن و افزایش صمغ صمغ دانه شاهی، سختی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. فرهمند فر و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان دادند که در خامه همزده، با افزایش درصد صمغ دانه شاهی از ۰/۱ به ۰/۳، میزان پارامترهای سختی و چسبندگی به‌ترتیب از ۵۱ و ۳۰/۶۵ به ۶۹/۵ نیوتن و ۴۷/۵ میلی‌ژول افزایش پیدا می‌کند (۱۶). زمان زدن مدت زمان لازم جهت ایجاد سختی مناسب است. با افزایش زمان زدن، حجم محصول پس از زدن و سختی افزایش می‌یابد، ولی این به معنای حداکثر سختی در بیشترین میزان افزایش حجم پس از زدن نیست و بعد از رسیدن به مقدار بیشینه، افزایش حجم پس از زدن شروع به کاهش می‌کند (۴۴). همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که به‌طور کلی تغییرات چسبندگی نمونه‌ها با تغییرات صمغ‌ها و کنسانتره پروتئین آب پنیر و مدت زمان هم‌زدن تقریباً مشابه تغییرات سختی نمونه‌ها بود. چسبندگی کار لازم جهت غلبه بر نیروی جاذبه سطحی بین ماده غذایی و سطح غیرهمجنس است و به عبارتی مبین انرژی لازم برای غلبه بر اصطکاک بین دو سطح غیرهمجنس می‌باشد (۸). جاویدی و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی اثر صمغ دانه ریحان و گوار روی خواص فیزیکی بستنی با درصد چربی کاهش یافته نشان دادند که پارامترهای چسبندگی و سختی دارای روند مشابه با یکدیگر هستند (۲۳).

پیوسته افزایش می‌یابد که در این صورت، کفی با پایداری بیشتر تشکیل خواهد شد، زیرا در این حالت دیواره میانی حفظ شده، به راحتی شکسته نمی‌شود (۵). همچنین، مقادیر بالاتر پایداری کف ایجاد شده توسط کنسانتره پروتئین آب پنیر ممکن است به دلیل توانایی بالای این پروتئین در ایجاد فیلم‌های پروتئینی با سختی^۱ بالا در اطراف حباب‌های هوا باشد که از تشکیل پیوندهای دی‌سولفیدی بین مولکولی ناشی می‌شود. علاوه بر این، تشکیل کواسروات^۲ بین پروتئین - پلی ساکارید در فصل مشترک بین هوا و آب می‌تواند یک فرآیند کارآمد برای افزایش پایداری کف باشد. افزایش زمان هم‌زدن نیز سبب دنا‌توره شدن بیشتر پروتئین‌های آب پنیر و افزایش گروه‌های آبدوست در سطح و در نتیجه افزایش پایداری کف می‌گردد. اما زمان‌های هم‌زدن بالاتر، خاصیت ویسکوالاستیکی و ارتجاعی لاملا را از بین می‌برد که در این حالت مقاومت دیواره حباب کمتر شده، منجر به کاهش استحکام ساختار کف و فروپاشی دیواره فصل مشترک بین حباب‌ها می‌شود (۳۵).

سختی و چسبندگی: سختی و چسبندگی نمونه‌های مورد آزمون به ترتیب بین ۰/۲۵ تا ۳/۴۸ نیوتن و ۰/۱ تا ۴ میلی‌ژول متغیر بودند. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل‌های هر دو پاسخ چسبندگی و نیروی چسبندگی (مدل‌های y_3 و y_4 جدول ۲)، اثرات متقابل کربوکسی متیل سلولز-مدت زمان هم زدن و صمغ دانه شاهی- کنسانتره پروتئین آب پنیر و صمغ دانه شاهی- مدت زمان هم زدن و کربوکسی متیل سلولز-مدت زمان هم زدن-کنسانتره پروتئین آب پنیر در سطح ۹۹ درصد بر سختی و اثرات خطی صمغ دانه شاهی و کربوکسی متیل سلولز و اثرات متقابل کربوکسی متیل سلولز - صمغ دانه شاهی و کربوکسی متیل سلولز - کنسانتره پروتئین آب پنیر و صمغ دانه

1. Rigidity
2. Coacervate

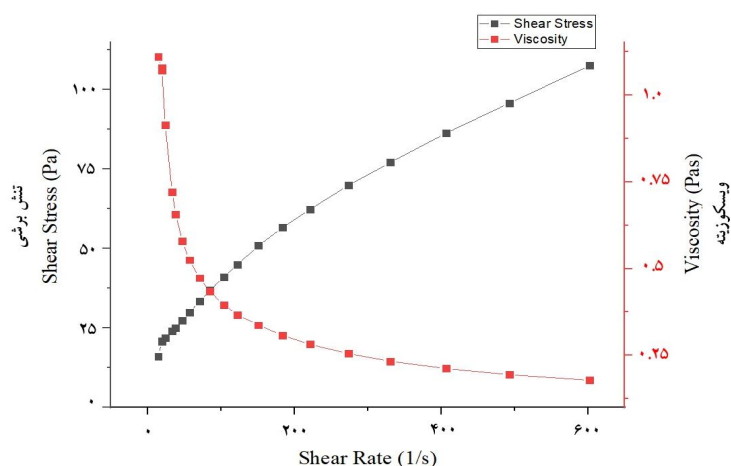


شکل ۳- تأثیر مدت زمان هم زدن، صمغ دانه شاهی و کربوکسی متیل سلولز بر سختی نمونه‌های خامه شتر (کنسانتره پروتئین آب پنیر = ۴ درصد)

Figure 3- The effect of whipping time, cress seed gum, and CMC on the hardness of camel milk whipped cream samples (4% WPC)

طبقه‌بندی می‌شوند (۴۳). در این تحقیق از مدل قانون توان برای توصیف رفتار جریان رئولوژیکی مستقل از زمان نمونه‌ها استفاده شد. نتایج بدست آمده از مدلسازی نشان داد مدل قانون توان به دلیل ضریب تبیین بالا ($R^2 > 0.95$)، مدل مناسبی برای برازش داده‌های تنش برشی - درجه برش نمونه‌های خامه شیر شتر می‌باشد.

رفتار جریان برشی پایا: شکل ۴ شاخص رفتار جریان برشی پایای تیمار شماره ۱ (جدول ۱) را بر حسب تنش برشی - درجه برش - ویسکوزیته را به‌عنوان نمونه نشان می‌دهد. از آنجایی که رابطه بین تنش برشی - درجه برش یا ویسکوزیته ظاهری - درجه برش کلیه نمونه‌ها مانند نمونه شماره ۱ غیرخطی بوده است، بنابراین نمونه‌های خامه شیر شتر از نظر رئولوژیکی جزء سیالات غیرنیوتنی شل شونده با برش



شکل ۴ - رفتار جریان برشی پایای تیمار ۱ (۰/۱ درصد کربوکسی متیل سلولز، ۰/۱ درصد صمغ دانه شاهی، ۲ درصد کنسانتره پروتئینی آب پنیر و ۲ دقیقه مدت زمان هم زدن)

Figure 4- The flow behavior of the treatment (No. 1) (CMC of 0.1%, CSG of 0.1%, WPC of 0.2% and WT of 2 min)

سلولز -کنسانتره پروتئین آب پنیر و صمغ دانه شاهی-
کنسانتره پروتئین آب پنیر در سطح ۹۹ درصد بر
شاخص رفتار جریان نمونه‌ها معنی‌دار بودند و مدت
زمان هم زدن هیچگونه اثر معنی‌داری بر شاخص
رفتار جریان نمونه‌ها نداشت.

پارامترهای حاصل از برازش مدل قانون توان برای
نمونه‌های خامه در محدوده درجه برشی ۶۰۰-۱۴
برثانیه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در جدول ۳ نشان
داده شده است. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل
۷۵ جدول ۲، اثرات خطی صمغ دانه شاهی و
کربوکسی متیل سلولز و اثرات متقابل کربوکسی متیل

جدول ۳- پارامترهای حاصل از برازش مدل قانون توان برای نمونه‌های خامه قنادی شیر شتر در محدوده درجه برشی ۶۰۰-۱۴ برثانیه
در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد

Table 3- The parameters of the Power-law and Cross-models and the hysteresis area determined for the camel milk whipped creams in the shear rate range of 14-600 s⁻¹ at 4 °C

ضریب تبیین Coefficient of determination	ضریب قوام (پاسکال ثانیه ^{ان}) Consistency coefficient (Pa.s ^b)	شاخص رفتار جریان Flow behavior index	مدت زمان هم زدن (دقیقه) whipping time (min)	کنسانتره پروتئین آب پنیر (%) whey protein concentrate (%)	صمغ دانه شاهی (درصد) cress seed gum (%)	کربوکسی متیل سلولز (درصد) carboxymethylcellu lose (%)	تیمار Treatment
0.99	18.15	0.46	2	2	0.1	0.1	1
0.98	2.82	0.59	8	5	0	0.2	2
0.95	3.29	0.43	2	2	0.2	0	3
0.99	4.70	0.50	8	2	0	0.2	4
0.99	1.56	0.58	2	2	0	0.2	5
0.97	1.90	0.57	5	5	0.05	0.15	6
0.99	4.21	0.53	5	5	0.1	0.1	7
0.98	4.12	0.49	8	5	0.2	0	8
0.99	2.62	0.64	8	8	0	0.2	9
0.96	1.63	0.63	2	8	0	0.2	10
0.99	2.22	0.63	5	8	0	0.2	11
0.99	0.68	0.58	2	8	0.2	0	12
0.97	4.21	0.49	5	5	0.1	0.1	13
0.99	4.16	0.50	8	2	0.1	0.1	14
0.99	1.82	0.49	5	2	0.2	0	15
0.95	3.15	0.49	5	5	0.2	0	16
0.99	3.17	0.55	8	8	0.2	0	17

ویسکوزیته بالا در مخلوط می‌شود. اما با افزایش
درجه برش، مولکول‌ها هم راستا شده و در نتیجه
اصطکاک داخلی و ویسکوزیته مخلوط کاهش می‌یابد
(۱). از طرفی در اثر اعمال درجه برش‌های بالا،
ساختار گلبول‌های چربی شکسته شده، در نتیجه
مقاومت درونی در برابر برش کاهش می‌یابد که
می‌تواند بیانگر رفتار شل‌شونده با برش نمونه‌های
خامه باشد (۳۴). همچنین ممکن است خامه شیر شتر

همانطور که در جدول ۳ ملاحظه می‌شود شاخص
رفتار جریان نمونه‌های مورد آزمون بین ۰/۴۳ تا ۰/۶۴
متغیر بود، که تأییدکننده رفتار شل‌شونده با برش
(سودوپلاستیک) نمونه‌های خامه شیر شتر می‌باشد.
علت بروز رفتار سودوپلاستیک کلیه نمونه‌ها این
است که مولکول‌ها در درجه برش‌های پایین به
صورت نامنظم آرایش پیدا می‌کنند و تنها به صورت
جزئی هم راستا می‌باشند و این امر منجر به ایجاد

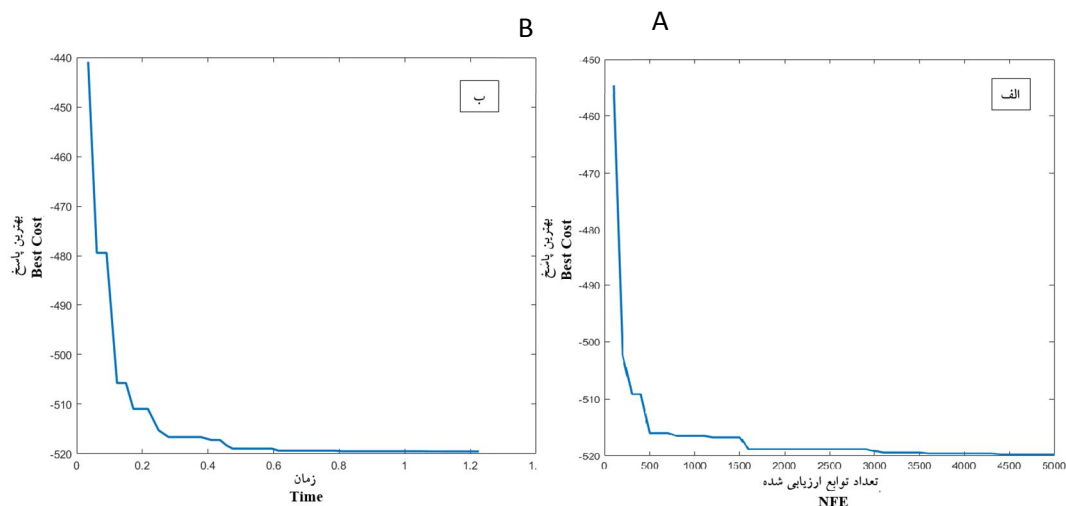
حاوی گلبول‌های چربی آکلمومره شده باشد که می‌تواند در اثر اعمال نیروی برشی، رفتار شل‌شونده با برش از خود نشان دهد. ضمن اینکه صمغ‌های دانه شاهی و کربوکسی متیل سلولوز، همانند بیشتر پلیمرهای با وزن مولکولی بالا، رفتار شل‌شونده با برش از خود نشان می‌دهند (۲)، لذا نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش غلظت کنسانتره پروتئین آب پنیر و کربوکسی متیل سلولوز، شاخص رفتار جریان نمونه‌ها کاهش یافت. نتایج مشابهی برای خامه همزده در حضور صمغ‌های دانه ریحان، دانه شاهی و دانه به گزارش شده است (۱۶).

بر اساس نتایج تحلیل واریانس Y_6 جدول ۲، اثرات خطی صمغ دانه شاهی و کربوکسی متیل سلولوز و اثرات متقابل کربوکسی متیل سلولوز - کنسانتره پروتئین آب پنیر - مدت زمان همزدن و صمغ دانه شاهی - کنسانتره پروتئین آب پنیر - کربوکسی متیل سلولوز در سطح ۹۹ درصد بر ضریب قوام نمونه‌ها معنی‌دار بودند. براساس جدول ۳ می‌توان دریافت ضریب قوام نمونه‌های مورد آزمون نیز بین $1/63$ تا $18/15$ پاسکال ثانیه متغیر بوده است. نتایج این تحقیق نشان داد که در مقادیر پایین کنسانتره پروتئین آب پنیر و مدت زمان هم‌زدن، بالاترین میزان ضریب قوام نمونه‌ها مربوط به نمونه‌هایی است که از هر دو میزان صمغ به میزان یکسان وجود دارد که نشان دهنده اثر سینرژیستی این دو صمغ بر ضریب قوام نمونه‌ها می‌باشد. ضریب قوام ملاکی برای اندازه‌گیری طبیعت ویسکوز مواد غذایی و فاکتوری مشابه با ویسکوزیته ظاهری است (۴۲). برای ایجاد ویسکوزیته بالا و احساس دهانی مناسب و دلخواه می‌بایست ضریب قوام نمونه‌ها بالا و شاخص رفتار جریان پایین باشد

(۲۰). از آنجایی که صمغ دانه شاهی قابلیت کاهش شاخص رفتار جریان قابل ملاحظه‌ای داشت و استفاده همزمان صمغ دانه شاهی و کربوکسی متیل سلولوز نیز موجب افزایش ضریب قوام نمونه‌ها می‌شد، به‌نظر می‌رسد استفاده همزمان دو صمغ در ایجاد و احساس دهانی مناسب و شرایط مطلوب در نمونه‌ها (در شرایط پایین کنسانتره پروتئین آب پنیر و مدت زمان هم‌زدن) بسیار موثر باشد. الغونه و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که در غلظت یک درصد، صمغ دانه شاهی نسبت به صمغ کربوکسی متیل سلولوز دارای شاخص رفتار جریان بالاتری ($0/73$ در برابر $0/4$) است (۳). **بهینه‌یابی:** در این پژوهش به منظور بهینه‌یابی شرایط تولید خامه قنادی شیر شتر با استفاده از متغیرهای مخلوط (کربوکسی متیل سلولوز و صمغ دانه شاهی) و فرآیند (میزان کنسانتره پروتئین آب پنیر و مدت زمان هم‌زدن) توابع هدف افزایش حجم، پایداری، سختی و ضریب قوام و کاهش چسبندگی و رفتار جریان بودند. داده‌های اولیه داده شده به الگوریتم جهش قورباغه درحقیقت داده‌های مدل‌های پیش‌بینی شده از طرح آزمایشی متقاطع مخلوط - فرآیند (جدول ۲) هستند. در الگوریتم‌های بهینه‌یابی پارامترهایی وجود دارند که تغییرات آن‌ها باعث تغییر عملکرد الگوریتم می‌گردد و در سرعت همگرایی و مرغوبیت جواب‌ها تأثیرگذار خواهد بود. بدست آوردن بهترین پارامترها با سعی و خطا و یا استناد به مرور منابع می‌باشد. لذا به‌منظور بهبود کارایی الگوریتم جهش قورباغه، سعی و خطاهایی برای بدست آوردن بهترین مقدار برای هر پارامتر انجام شد که نتایج نهایی آن‌ها در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- پارامترهای بهینه‌یابی شرایط تولید خامه قنادی شیر شتر با استفاده از الگوریتم جهش قورباغه

Selected model of central composite design (Table 2)	The objective function
مدل منتخب از طرح مرکب مرکزی (جدول ۲)	تابع هدف
چهار متغیر:	تعداد متغیرها
۱. کربوکسی متیل سلولز (x1) carboxymethylcellulose	Number of variables
۲. صمغ دانه شاهی (x2) cress seed gum	
۳. کنسانتره پروتئینی آب پنیر (x3) whey protein concentrate	
۴. مدت زمان هم زدن (x4) whipping time x1= 0 to 0.2% X2= 0 to 0.2% X3=2 to 8% X4=2 to 8%	بازه تغییر متغیرها Interval for changing variables
50	تعداد تکرارها (Number of Iterations)
10	تعداد ممبرکس‌ها (Number of Memplex)
10	اندازه جمعیت هر ممبرکس (Memplex Size)
3	تعداد فرزندان (Number of Offsprings)
2	اندازه گام (Step Size)
سپری شدن تعداد معینی از تکرارها بدون مشاهده بهبود خاصی در نتیجه Passing a certain number of iterations without observing a particular improvement in the result	شرط خاتمه Termination condition



شکل ۵ - نمودار همگرایی الگوریتم جهش قورباغه (الف: تعداد توابع ارزیابی شده ب: زمان) در بهینه‌یابی شرایط تولید خامه قنادی شیر شتر

Figure 5 - Convergence diagram of shuffled frog-leaping algorithm (a: number of functions evaluated b: time) in optimizing the production conditions of camel milk whipped cream

با توجه به شرایط در نظر گرفته شده برای الگوریتم، میزان کربوکسی متیل سلولز ۰/۱۹ درصد، صمغ دانه شاهی ۰/۰۱ درصد، کنسانتره پروتئینی آب پنیر ۲ درصد و مدت زمان هم زدن ۷/۹ دقیقه به دست آمد که چنین محصولی نیز دارای افزایش حجم ۸۱/۸۶ درصد، پایداری ۸۸/۸۵ درصد، سختی ۱/۷۸ گرم، چسبندگی ۲/۵۵ میلی ژول، ضریب قوام ۳/۶۰ پاسکال ثانیه و رفتار جریان ۰/۳۱ خواهد بود. شکل ۵ نیز نمودار همگرایی الگوریتم جهش قورباغه (الف): تعداد توابع ارزیابی شده ب: زمان) در بهینه‌یابی شرایط تولید خامه قنادی شیر شتر را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود نمودار پس از ارزیابی حدود ۱۵۰۰ پاسخ و زمان ۰/۸ ثانیه به همگرایی رسیده است. بنابراین می‌توان بیان کرد که پارامترهای الگوریتم به درستی انتخاب شده‌اند و نقاط بهینه تعیین شده نیز قابل اعتماد هستند. لازم به ذکر است که مدت زمان کل اجرای الگوریتم و تعداد پاسخ‌های مورد ارزیابی در این بهینه‌یابی نیز ۱/۲۵ ثانیه و ۵۰۰۰ بودند. لو و همکاران (۲۰۰۸) و چانگ و لنسی (۲۰۰۹) نیز در پژوهش‌های خود همگرایی در زمان بسیار کوتاه الگوریتم جهش غورباغه را گزارش کردند (۱۰، ۲۸).

نتیجه‌گیری

تولید فرآورده‌های چرب شیر شتر از جمله خامه قنادی، به شرط حفظ خصوصیات مورد پسند مصرف کننده، بازار خوبی را برای تولید کنندگان فراهم خواهد کرد. با توجه به اهمیت تأثیر شرایط فرآیند تولید و فرمولاسیون محصول بر ویژگی‌های خامه شیر شتر (از جمله هوادهی، پایداری کف و خصوصیات رئولوژیکی) و نبود اطلاعات کافی انتشار یافته، در این تحقیق تأثیر مقادیر مختلف کربوکسی متیل سلولز، صمغ دانه شاهی، کنسانتره پروتئین آب پنیر و مدت

زمان هم زدن و برهمکنش آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و رئولوژیکی خامه قنادی شتر مورد بررسی قرار گرفت و این شرایط توسط الگوریتم‌های بهینه‌یابی جدید و قدرتمند جهش قورباغه بهینه گردید تا علاوه بر بهبود خصوصیات کیفی آن، از لحاظ اقتصادی نیز تولید خامه قنادی شتر با تعیین ترکیب بهینه فرمولاسیون نیز مقرون به صرفه باشد. به‌طور کلی نتایج پژوهش نشان داد که استفاده همزمان مخلوطی از صمغ‌های کربوکسی متیل سلولز و صمغ دانه شاهی بر اکثر ویژگی‌های خامه قنادی از جمله پایداری و سختی نمونه‌ها اثر سینرژیستی داشتند، لذا استفاده مخلوطی از صمغ‌ها در تولید صنعتی این محصول باید مد نظر قرار گیرد. همچنین نتایج نشان داد که اگرچه استفاده از کنسانتره پروتئین آب پنیر در خامه قنادی شتر به دلیل ویژگی‌هایی از قبیل توانایی تشکیل ژل، ظرفیت نگهداری آب، ویژگی‌های کف‌کنندگی و امولسیون‌کنندگی دارای اهمیت بالایی است، اما در تولید خامه قنادی شتر، اثر تغییرات مقادیر آن در زمان‌های هم‌زدن و غلظت‌های مختلف صمغ‌ها بر خصوصیات فیزیکی و عملکردی محصول نهایی بسیار متفاوت بود. لذا تعیین مقدار بهینه اثرگذار آن بر ویژگی‌های محصول نهایی بسیار حائز اهمیت است. به‌طور کلی در این پژوهش به‌منظور تعیین شرایط بهینه، افزایش حجم، پایداری، سختی و ضریب قوام حداکثر و چسبندگی و رفتار جریان حداقل در نظر گرفته شدند. براساس نتایج بهینه‌یابی، میزان کربوکسی متیل سلولز ۰/۱۹ درصد، صمغ دانه شاهی ۰/۰۱ درصد، کنسانتره پروتئینی آب پنیر ۲ درصد و مدت زمان هم زدن ۷/۹ دقیقه به دست آمد. نمودار همگرایی الگوریتم نیز پس از ارزیابی حدود ۱۵۰۰ پاسخ و زمان ۰/۸ ثانیه به همگرایی رسید که نشان می‌دهد الگوریتم جهش قورباغه علاوه بر دقت، از سرعت بالایی هم برخوردار است و می‌تواند در زمان

تقدیر و تشکر

از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (طرح ۹۶۰۱۵۵۴۰) و معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد (طرح ۵۱۶۳۷) بابت حمایت مالی و تجهیزاتی این پروژه تشکر و قدردانی می‌شود.

بسیار اندکی به جواب بهینه همگرا برسد. روش ارائه شده در این پژوهش می‌تواند برای مقاصد زمان‌بندی که در آن دقت و زمان مهم است، مورد استفاده قرار گیرد.

References

1. Agyei Amponsah, J., Macakova, L., DeKock, H.L., Emmambux, M.N. 2019. Sensory, tribological, and rheological profiling of "clean label" starch-lipid complexes as fat replacers. *StarchStärke*, 71:1800340.
2. 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. *J. of Texture Studies*. 50:520-538.
3. Alghooneh, A., Razavi, S.M.A., Kasapis, S. 2018. Hydrocolloid clustering based on their rheological properties. *J of texture studies*. 49:619-638.
4. Amiri, B., Fathian, M., Maroosi, A. 2009. Application of shuffled frog-leaping algorithm on clustering. *The International J. of Advanced Manufacturing Technology*. 45:199-209.
5. Bag, S. K., Srivastav, P. P., Mishra, H. N. 2011. Optimization of process parameters for foaming of bael (*Aegle marmelos* L.) fruit pulp. *Food and Bioprocess Technology*. 4:1450-1458.
6. Bello, L.D., Vieira, A. 2011. Optimization of a product performance using mixture experiments including process variables. *J. of Applied Statistics*. 38:1701-1715.
7. Bourne, M.C. 1978. Texture profile analysis. *Food Technology*. 32:62-67.
8. Bylund, G. 1995. The chemistry of milk. *Dairy processing handbook Tetra Pak Processing Systems*, Lund, Sweden:13-36.
9. Camacho, M., MartínezNavarrete, N., Chiralt, A. 1998. Influence of locust bean gum/ λ -carrageenan mixtures on whipping and mechanical properties and stability of dairy creams. *Food Research International*. 31:653-658.
10. Chung, G., and Lansey, K. 2009. Application of the shuffled frog leaping algorithm for the optimization of a general large-scale water supply system. *Water resources management*. 23:797-823.
11. Delahaije, R.J., Lech, F.J., Wierenga, P.A. 2019. Investigating the effect of temperature on the formation and stabilization of ovalbumin foams. *Food Hydrocolloids*. 91:263-274.
12. Dickinson, E., Stainsby, G. 1988. *Advances in food emulsions and foams*. sole distributor in the USA and Canada, Elsevier Science Publishers.
13. Emam-djome, Z., Mousavi, M.E., Ghorbani, A.V., Madadlou, A. 2008. Effect of whey protein concentrate addition on the physical properties of homogenized sweetened dairy creams. *International J. of Dairy Technology*. 61:183-191.
14. Eusuff, M., Lansey, K., Pasha, F. 2006. Shuffled frog-leaping algorithm: a memetic meta-heuristic for discrete optimization. *Engineering optimization*. 38:129-154.
15. Eusuff, M.M., Lansey, K.E. 2003. Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm. *J of Water Resources planning and management*. 129:210-225.
16. Farahmandfar, R., Asnaashari, M., Taheri, A., Rad, T.K. 2019. Flow behavior, viscoelastic, textural and foaming characterization of whipped cream: Influence of *Lallemantia royleana* seed, *Salvia macrosiphon* seed and carrageenan gums. *International J.*

- of Biological Macromolecules. 121:609-615.
17. Harper, W., Peltonen, R., Hayes, J. 1980. Model food systems yield clearer utility evaluations of whey protein. *Food Product Development*. 14:52-56.
 18. Huang, Y., Shen, X.-N., You, X. 2021. A discrete shuffled frog-leaping algorithm based on heuristic information for traveling salesman problem. *Applied Soft Computing*. 102:107085.
 19. Izadi, Z., Mohebbi, M., Shahidi, F., Varidi, M., Salahi, M. R. 2020. Cheese powder production and characterization: A foam-mat drying approach. *Food and Bioproducts Processing*. 123:225-237.
 20. Izidoro, D., Sierakowski, M.-R., Waszczynskyj, N., Haminiuk, C. W., de Paula Scheer, A. 2007. Sensory evaluation and rheological behavior of commercial mayonnaise. *International J. of Food Engineering*. 3.
 21. Jaafari, A., Zenner, E. K., Panahi, M., Shahabi, H. 2019. Hybrid artificial intelligence models based on a neuro-fuzzy system and metaheuristic optimization algorithms for spatial prediction of wildfire probability. *Agricultural and Forest Meteorology*. 266:198-207.
 22. Jakubczyk, E., Niranjana, K. 2006. Transient development of whipped cream properties. *J. of Food Engineering*. 77:79-83.
 23. Javidi, F., Razavi, S. M., Behrouzian, F., Alghooneh, A. 2016. The influence of basil seed gum, guar gum and their blend on the rheological, physical and sensory properties of low fat ice cream. *Food Hydrocolloids*. 52:625-633.
 24. Kayacier, A., Dogan, M. 2006. Rheological properties of some gums-salep mixed solutions. *J. of Food Engineering*. 72:261-265.
 25. Kennedy, J., Eberhart, R. Year. Particle swarm optimization. In *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks*. IEEE; of Conference: 1942-1948.
 26. Liszka-Skoczylas, M., Ptaszek, A., Żmudziński, D. 2014. The effect of hydrocolloids on producing stable foams based on the whey protein concentrate (WPC). *J. of Food Engineering*. 129:1-11.
 27. Luo, J., Chen, M.-R. 2014. Improved shuffled frog leaping algorithm and its multi-phase model for multi-depot vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*. 41:2535-2545.
 28. Luo, X.-h., Yang, Y., Li, X. Year. Solving TSP with shuffled frog-leaping algorithm. In *2008 Eighth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*. IEEE; of Conference: 228-232.
 29. Ma, X., Bian, Y., and Gao, F. 2020. An improved shuffled frog leaping algorithm for multiload AGV dispatching in automated container terminals. *Mathematical Problems in Engineering*. 1260196
 30. Montgomery, D.C. 2017. *Design and analysis of experiments*. John Wiley & sons.
 31. Naji, S., Razavi, S.M., Karazhiyan, H. 2012. Effect of thermal treatments on functional properties of cress seed (*Lepidium sativum*) and xanthan gums: A comparative study. *Food Hydrocolloids*, 28:75-81.
 32. Padiernos, C., Lim, S.-Y., Swanson, B., Ross, C., and Clark, S. 2009. High hydrostatic pressure modification of whey protein concentrate for use in low-fat whipping cream improves foaming properties. *J. of Dairy Science*, 92:3049-3056.
 33. Phillips, L., Schulman, W., and Kinsella, J. 1990. pH and heat treatment effects on foaming of whey protein isolate. *J. of Food Science*. 55:1116-1119.
 34. Race, S. 1991. Improved product quality through viscosity measurement. *Food technology (Chicago)*, 45:86-88.
 35. Raharitsifa, N., Genovese, D.B., and Ratti, C. 2006. Characterization of apple juice foams for foam mat drying prepared with egg white protein and methylcellulose. *J. of Food Science*. 71:E142-E151.
 36. Rao, M. A. 2010. *Rheology of fluid and semisolid foods: principles and applications*. Springer Science & Business Media.

37. Richert, S., Morr, C., and Cooney, C. 1974. Effect of heat and other factors upon foaming properties of whey protein concentrates. *J. of Food Science*. 39:42-48.
38. Rudan, M.A., Barbano, D.M., Guo, M. R., and Kindstedt, P.S. 1998. Effect of the modification of fat particle size by homogenization on composition, proteolysis, functionality, and appearance of reduced fat Mozzarella cheese. *J. of Dairy Science*. 81:2065-2076.
39. Saha, D., and Bhattacharya, S. 2010. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. *J. of Food Science and Technology*. 47:587-597.
40. Sharma, S., Sharma, T.K., Pant, M., Rajpurohit, J., and Naruka, B. 2015. Centroid mutation embedded shuffled frog-leaping algorithm. *Procedia Computer Science*. 46:127-134.
41. Smith, A., Goff, H., and Kakuda, Y. 2000. Microstructure and rheological properties of whipped cream as affected by heat treatment and addition of stabilizer. *International Dairy J.* 10:295-301.
42. Sopade, P., and Kassam, A. 1992. Rheological characterization of akamu, a semi-liquid food made from maize, millet and sorghum. *J. of Cereal Science*. 15:193-202.
43. Steffe, J. F. 1996. *Rheological methods in food process engineering*. Freeman press.
44. Turgeon, S.L., and Beaulieu, M. 2001. Improvement and modification of whey protein gel texture using polysaccharides. *Food Hydrocolloids*. 15:583-591.
45. Weise, T. 2009. *Global optimization algorithms-theory and application*. Self-Published Thomas Weise.
46. Worrasinchai, S., Suphantharika, M., Pinjai, S., Jammong, P. 2006. β -Glucan prepared from spent brewer's yeast as a fat replacer in mayonnaise. *Food hydrocolloids*. 20:68-78.
47. Yang, W., Ho, S.L., and Fu, W. 2020. A Modified Shuffled Frog Leaping Algorithm for the Topology Optimization of Electromagnet Devices. *Applied Sciences*. 10:6186.

