بررسی اثر نسبت‌های مختلف فاز آبی، پروتئین‌ها و امولسیفایرها بر ویژگی‌های رئولوژیکی کره کم‌چرب

نفیسه واحدی[۱] *، مصطفی مظاهری طهرانی[۲]، سید محمدعلی رضوی[۲]

۱- دانش‌آموخته دکتری مهندسی علوم و صنایع‌غذایی دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشیار و عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع‌غذایی دانشگاه فردوسی مشهد
(تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۸)

چکیده

در این پژوهش، تولید کره کم‌چرب بر پایه آرد سویا و کازئینات سدیم به عنوان فراورده‌ای جدید مورد مطالعه قرار گرفت. تیمارهای اعمال‌شده شامل نسبت آب به کره، نسبت آرد سویا به کازئینات سدیم و میزان امولسیفایر بودند که تاثیر آنها بر ویژگی‌های رئولوژیکی کره کم‌چرب نظیر سختی، گسترش‌پذیری، چسبندگی، الاستیسیته و قوام مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی فاکتورهای آزمایشی و بهینه‌سازی فرمولاسیون از روش سطح پاسخ در قالب طرح آزمایشی مرکب مرکزی استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش نسبت آب به کره به‌عنوان فاکتور اصلی تاثیرگذار بر خصوصیات محصول، میزان سختی، چسبندگی، الاستیسیته، قوام و گسترش‌پذیری کاهش می‌یابد. در نهایت با ارزیابی نتایج، فرمول بهینه‌ای که دارای نسبت آب به کره برابر با ۱/۰۳ (۵۰ درصد آب و ۴۸/۵ درصد کره)، نسبت آرد سویا به کازئینات سدیم برابر با ۱/۵۷ (۵ درصد آرد سویا و ۳/۲ درصد کازئینات سدیم) و میزان امولسیفایر برابر با ۰/۶۶ بود تعیین شد. محصول نهایی یک امولسیون آب در روغن بود که جدا از کم‌کالری بودن، دارای اثرات عملکردی و تغذیه‌ای ناشی از حضور ترکیبات پروتئینی نیز بود و ویژگی‌های محصول نهایی قابلیت رقابت با کره معمولی را داشتند.

کلید واژگان: بهینه‌سازی؛ امولسیون آب در روغن؛ ویژگی‌های رئولوژیکی؛ کره کم‌چرب؛ ترکیبات پروتئینی.

* مسئول مکاتبات: nafise_vahedi@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

کره، همان‌طور که در لغتنامه وبستر[1] تعریف شده است، امولسیون زرد روشن و جامدی از روغن، هوا و آب است که از طریق چرخ‌کردن شیر یا خامه تولید شده و به‌عنوان غذا استفاده می‌شود. برخی فراورده‌های دیگری که با کره رقابت می‌کنند شامل مارگارین، مخلوط کره- مارگارین و گستردنی‌های کم‌چرب (که از چربی شیر و یا روغن‌های گیاهی تهیه می‌شوند) هستند. پیش‌نیازهای کلی برای فراورده‌های گستردنی با کیفیت بالا عبارتند از: عطر و طعم و ظاهر مطلوب، عدم وجود ترکیبات مولد طعم نامطلوب، کیفیت خوب تولید، ذوب مطلوب و گسترش‌پذیری [۱].

کره‌های کم‌چرب امولسیون‌های آب در روغنی هستند که از یک فاز پیوسته روغنی شامل ترکیب روغنی، امولسیفایرها و ترکیبات رنگی، یک فاز پراکنده آبی شامل آب، پایدارکننده‌ها و ترکیبات پروتئینی، و افزودنی‌های دیگر شامل شیرین‌کننده‌ها، طعم‌دهنده‌ها، نگهدارنده‌ها و... تشکیل شده‌اند [۲]. بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۱۰۰۸۴، کره‌های گسترش‌پذیر بر حسب میزان چربی به چند دسته تقسیم می‌شوند: کره‌کم‌چرب با محتوای چربی ۴۰-۱۰ درصد، کره نیم‌چرب با محتوای چربی بیشتر از ۶۰-۴۰ درصد و کره چرب با محتوای چربی بیشتر از ۶۰ و کمتر از ۸۰ درصد.

در ساختار این محصولات، حجم فاز پراکنده (آبی) می‌تواند از فاز پیوسته (روغنی) تجاوز کند و بالطبع باعث بروز مشکلاتی در زمینه پایداری، کاهش نقطه ذوب و ایجاد طعم شود. عوامل مهم در تهیه کره کم‌چرب عبارتند از: ویژگی‌های ذوب مخلوط چربی، نوع و مقدار مصرف امولسیون‌کننده و اضافه کردن پایدارکننده‌ها به فاز آبی. این دسته محصولات از نظر اقتصادی و عملکردی و نیز کم‌کالری بودن به عنوان جایگزین‌های کره معرفی شده‌اند [۴ و ۵].

در تهیه کره کم‌چرب، معمولا اصل را بر جایگزینی بخشی از چربی کره با آب قرار می‌دهند و برای پایدارکردن آب اضافه‌شده از ترکیباتی نظیر پایدارکننده‌ها و امولسیفایرها استفاده می‌شود. تحقیقات متعددی برای تولید کره کم‌چرب صورت گرفته است. از آن جمله می‌توان به تولید کره خیلی کم‌چرب[2] به روش مبتنی بر حذف چربی کره از ترکیبات اولیه اشاره کرد [۶]. در این پژوهش از امولسیفایرها برای بهبود ساختار کره نهایی استفاده شد. در پژوهش‌های مشابه دیگر، دانشمندان از هیدروکلوئیدهای مختلف و در مقادیر متنوع، برای پایدارسازی فاز آبی کره کم‌چرب بهره جستند [۲، ۷، ۸، ۹ و ۱۰]. استفاده از ترکیبات پلی‌ساکاریدی نظیر نشاسته در محصول باعث افزایش قوام، گسترش‌پذیری در دمای یخچال، افزایش ویسکوزیته فاز آبی و بالطبع پایداری آن از طریق ممانعت از تراوش آب، بهبود عطر و طعم محصول نهایی و در نهایت تولید محصولی با خصوصیات ارگانولپتیک خوب و پایدار از نظر میکروبی می‌گردد [۱۱ و ۱۲]. پایدارکننده‌ها نیز با کنترل اندازه ذرات فاز آبی و تشکیل قطرات بزرگتر فاز آبی باعث بهبود خصوصیات عطر و طعمی می‌شوند [۱۳].

کازئینات سدیم ترکیبی پروتئینی است که فعالیت سطحی بالایی داشته و امولسیون‌های نرمی را ایجاد می‌نماید [۱۴]. این دسته پروتئین‌ها در مقایسه با دیگر پروتئین‌های کروی ساختمان بی‌نظم‌تری داشته و آبگریزترند که ناشی از حضور پرولین زیاد و عدم حضور سیستئین در ساختمان آنهاست. این دو ویژگی همراه با وزن مولکولی نسبتا پایین آن، منجر به پخش سریع کازئین‌ها در سطح مشترک آب-روغن می‌شود [۱۵]. پروتئین‌های سویا نیز دارای ویژگی‌هایی نظیر امولسیفیکاسیون، جذب آب و روغن، کنترل ویسکوزیته و بافت هستند [۱۶]. بکارگیری این دو ترکیب پروتئینی با یکدیگر باعث بهبود پایداری می‌شود [۱۷]. لازم به ذکر است که آرد سویا از نظر خصوصیات عملکردی نه تنها قابل رقابت با کازئینات سدیم است بلکه از برخی جنبه‌ها بر آن برتری نیز دارد. آرد سویا و نیز کازئینات سدیم معمولا برای ناپایدار کردن امولسیون در دهان و تاثیر متقابل بر عوامل امولسیفایری وارد سیستم می‌شوند و باعث افزایش اندازه قطرات فاز آبی شده و آزادسازی طعم نیز بیشتر می‌شود [۱۳].

1. Webster

2. Light butter

Archive of SID

www.SID.ir

هدف از این پژوهش، تولید و بهینه‌سازی فرمولاسیون محصولی با خصوصیات مشابه کره اما با محتوای چربی کمتر بود که با تکیه بر کاربرد پروتئین‌های گیاهی و لبنی در فاز آبی، سعی بر این بوده که محصولی با نزدیک‌ترین خصوصیات به کره معمولی تولید شده و بهینه‌یابی فرمولاسیون آن صورت بگیرد تا بتواند نظرات مصرف‌کنندگان را تامین نماید. به این منظور از آرد کامل سویا و کازئینات سدیم استفاده شد تا در کنار کاهش میزان کره مورد استفاده، محصولی با ویژگی‌های مطلوب فیزیکی و رئولوژیکی تولید شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

آرد کامل سویا از شرکت فراورده‌های پروتئینی توس سویا (مشهد) و کازئینات سدیم از شرکت میلاد (نیشابور) تهیه شد. پایدارکننده‌ها شامل صمغ لوبیای لوکاست، کاراجینان و آلژینات سدیم، امولسیفایرها شامل مونو- دی گلیسیرید و PGPR و نگهدارنده که بنزوات سدیم بود از شرکت سیگما آلدریچ تهیه شدند. دیگر ترکیبات بکار رفته شامل کره، نشاسته، شکر، نمک و وانیل از فروشگاه‌های محلی فراهم آمدند.

۲-۲- روش‌ها

روش تهیه کره کم‌چرب

به طورکلی برای تولید کره کم‌چرب ابتدا بایستی فاز آبی و روغنی به طور جداگانه تهیه شوند. فاز روغنی از مخلوط روغنی همراه با امولسیفایرها تشکیل شده است. فاز آبی نیز شامل آب، ترکیبات پروتئینی یا ژلی، نمک، پایدارکننده‌ها و عوامل نگهدارنده و طعم‌دهنده می‌باشد. برای تهیه فاز روغنی، کره تا دمای حدود ۵۰ درجه سانتیگراد گرم شده و پس از ذوب کامل آن امولسیفایرها به آن اضافه می‌شوند. برای تهیه فاز آبی، ابتدا آرد کامل سویا در آب ۸۰ درجه سانتیگراد حل شده و به مدت ۵ دقیقه با دور ۳ میکسر FUMA JAPAN Model No.: FU-777 مخلوط می‌شود. سپس کازئینات سدیم نیز اضافه شده و همزدن ادامه می‌یابد تا مخلوط همگنی حاصل شود. در مرحله بعد دیگر ترکیبات شامل شکر، نشاسته، نمک، نگهدارنده و طعم‌دهنده اضافه شده و در نهایت پایدارکننده‌ها به آرامی اضافه می‌شوند. پس از اطمینان از مخلوط‌شدن کل مواد، فاز روغنی ذوب‌شده به آرامی به فاز آبی در حال همزدن اضافه می‌شود و عملیات همزدن تا رسیدن به یک ساختار یکنواخت ادامه می‌یابد. پس از ایجاد دیسپرسیون آب و مخلوط روغنی، دمای آن از دمای اولیه مخلوط‌کردن (حدود ۵۵ درجه سانتیگراد) تا دمایی کمتر از دمای جامدشدن روغن موجود (حدود ۲۵ درجه سانتیگراد)، کاهش داده می‌شود. دیسپرسیون سرد برای مدت مشخصی در دمای موردنظر می‌ماند تا این اطمینان حاصل شود که کل چربی به صورت جامد درآمده است.

آزمون‌ها

به منظور تعیین اثر فرمولاسیون‌های مختلف بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی کره‌کم‌چرب، آزمون‌های ذیل انجام شدند:

- **تعیین رطوبت:** پس از خشک کردن ظرف مخصوص نمونه در اتو ۱۰۰ درجه سانتیگراد و سپس توزین دقیق آن، ۳ گرم از نمونه کره کم‌چرب داخل ظرف توزین شده و به مدت حدود ۴-۳ ساعت در اتو ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از طی زمان مورد نظر، از اتو خارج شده، در دسیکاتور سرد شده و عمل توزین تکرار شد و مجددا ظرف به اتو برگردانده شد. این عملیات تا ثابت شدن وزن ظرف طی دو توزین متوالی تکرار شد. در نهایت درصد رطوبت نمونه تعیین گردید.
- **تعیین فعالیت آب:** با داشتن مقدار رطوبت و میزان مواد جامد کل، می‌توان با استفاده از روابط ذیل، که حاصل پژوهش Steinberg و Lang (۱۹۸۱) هستند، میزان a_w را تعیین نمود:

$$\log(1-a_w)=\frac{MW-\sum(a_i w_i)}{\sum(b_i w_i)}$$

$$W=\sum w_i$$

M: میزان رطوبت مخلوط (g H_2O/g Solid) ؛ W: مواد جامد کل مخلوط (g Solid) ؛ w_i: ماده جامد هر جزء (g Solid)؛ b_i و a_i: پارامترهای جذب آب که برای هر ترکیب مقدار مشخصی است [۱۸].

Archive of SID
www.SID.ir

– اندازه‌گیری ویسکوزیته: ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه‌های کره کم‌چرب با استفاده از رئومتر هم‌محور بوهلین (Visco, Malvern)، مجهز به یک واحد کنترل دما (Julabo Labortechnik، F12، آلمان) تعیین گردید. پیکربندی رئومتر به صورت باب و کاپ بوده که کاپ مورد استفاده برای این نمونه از نوع C14 و باب آن چرخنده است. اندازه‌گیری‌ها در دامنه درجه برش S^{-1} ۱۵۰–۱۵۰ و در دمای ثابت ۰/۲ ± ۲۵ درجه سانتیگراد انجام گرفت. ۲ گرم از هر نمونه بین باب و کاپ قرار داده شد و اندازه‌گیری بلافاصله انجام شد.

آزمون بافتی نفوذ با استفاده از دستگاه بافت‌سنج QTS:

– با استفاده از پروب استوانه‌ای برای ارزیابی مقاومت ژل: به این منظور از یک میله استوانه‌ای با قطر mm ۶ استفاده شد که با سرعت mm/s ۲ و به مقدار حدودا mm ۸ وارد ژل شده و مقاومت ژل اندازه‌گیری شد.

– استفاده از پروب مخروطی برای ارزیابی گسترش‌پذیری: به این منظور از پروب مخروطی با زاویه ۴۵ درجه استفاده شد که با سرعت mm/s ۲ و به مقدار حدودا mm ۳۶ وارد ژل شده و میزان گسترش‌پذیری نمونه تعیین شد.

طرح آزمایشی

برای تعیین مقادیر بهینه اجزاء در فرمولاسیون کره کم‌چرب، از روش سطح پاسخ در قالب طرح آزمایشی چرخش‌پذیر مرکب مرکزی[3] و نرم‌افزار Design-Expert (نسخه 8.0.7.1) استفاده شد. تیمارهای تعریف‌شده در این پژوهش شامل مقدار کره از ۵۰–۳۵ درصد؛ مقدار آب از ۵۵–۴۰ درصد؛ مقدار آرد کامل سویا از ۶–۴ درصد؛ مقدار کازئینات سدیم از ۴–۲ درصد و مقدار امولسیفایرها از ۰/۷–۰/۴ درصد بودند. برای تعیین میزان آب و کره و نیز آرد کامل سویا و کازئینات سدیم از نسبت بین آنها استفاده شد؛ به این ترتیب که تیمارهای اصلی در این دو مورد به صورت نسبت آب به کره در دامنه ۱/۲۵–۰/۶۳ درصد و نسبت آرد کامل سویا به کازئینات سدیم در دامنه ۳–۱ درصد تعریف شدند. در نتیجه اجزای ترکیب شامل نسبت آب به کره (۱/۲۵–۰/۶۳ درصد)، نسبت آرد کامل سویا به کازئینات سدیم (۳–۱درصد) و امولسیفایر (۰/۷–۰/۴درصد) بودند. فرمول‌های ارائه‌شده توسط نرم‌افزار ۲۰ حالت بود که در جدول ۱ آمده است. برای بهینه‌یابی فرمول نهایی با توجه به اهمیت هر صفت در کیفیت محصول نهایی، مقدار بهینه یا مطلوب هر صفت تعیین شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- فعالیت آب

با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری فعالیت آب، کمترین مقدار a_w به ترتیب به نمونه‌های ۵، ۳، ۶، ۱۸ و ۱۶ اختصاص دارد. این نمونه‌ها کمترین میزان نسبت آب به کره، یعنی بالاترین میزان کره، را دارا بودند. میزان آرد سویا و کازئینات سدیم در این فرمول‌ها متغیر بود و نمی‌توان a_w را تابع مستقیمی از این نسبت دانست. ترکیبات پروتئینی قادر به جذب آب آزاد و ایجاد پیوند با آن بوده و از این طریق بر فعالیت آب تاثیرگذارند. اثرات نسبت آب به کره و نیز آرد سویا به کازئینات سدیم بر a_w در شکل ۱- الف نشان داده شده است. همان‌طور که مشهود است با افزایش نسبت آب به کره، میزان فعالیت آب افزایش یافته است.

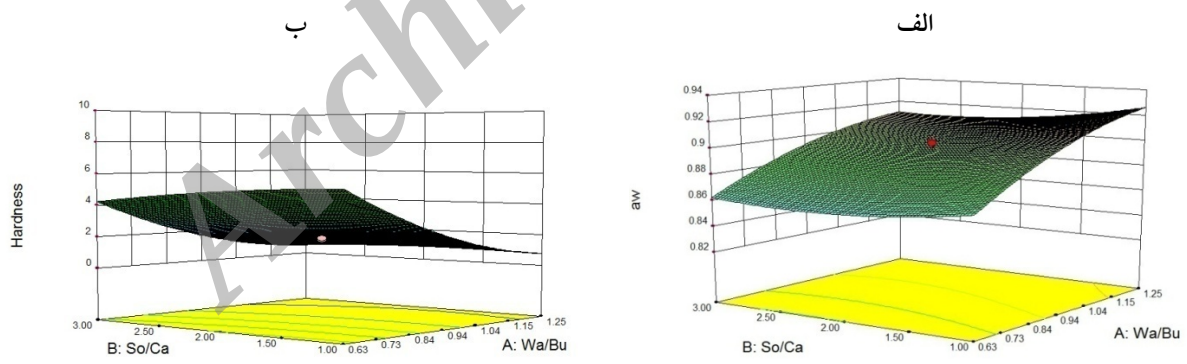
3. Central Composite

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱ ترکیب فرمول‌ها در کره کم‌چرب در طرح مرکب مرکزی

	فاکتور ۱	فاکتور ۲	فاکتور ۳
فرمول	A : نسبت آب به کره	B : نسبت آرد سویا به کازئینات سدیم	C : امولسیفایر
۱	۰/۹۴	۲	۰/۸
۲	۰/۹۴	۲	۰/۵۵
۳	۰/۶۳	۱	۰/۷۰
۴	۰/۹۴	۰/۳۲	۰/۵۵
۵	۰/۴۲	۲	۰/۵۵
۶	۰/۶۳	۳	۰/۴۰
۷	۰/۹۴	۲	۰/۵۵
۸	۰/۹۴	۲	۰/۵۵
۹	۱/۲۵	۳	۰/۷۰
۱۰	۱/۴۶	۲	۰/۵۵
۱۱	۱/۲۵	۱	۰/۴۰
۱۲	۰/۹۴	۲	۰/۵۵
۱۳	۱/۲۵	۳	۰/۴۰
۱۴	۰/۹۴	۲	۰/۵۵
۱۵	۰/۹۴	۲	۰/۵۵
۱۶	۰/۶۳	۱	۰/۴۰
۱۷	۰/۹۴	۲	۰/۳۰
۱۸	۰/۶۳	۳	۰/۷۰
۱۹	۰/۹۴	۳	۰/۵۵
۲۰	۱/۲۵	۱	۰/۷۰



شکل ۱ تاثیر نسبت آب به کره و آرد سویا به کازئینات سدیم بر (الف) فعالیت آب و (ب) سختی کره کم‌چرب

Archive of SID

www.SID.ir

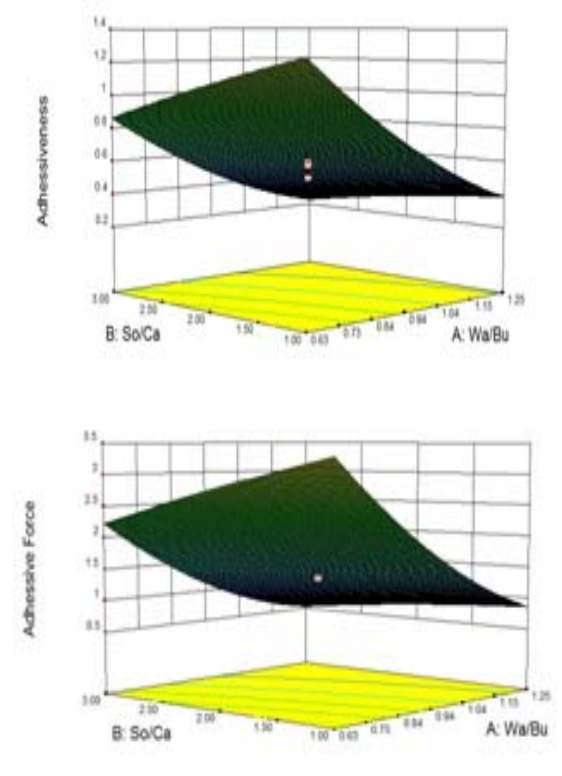
۳-۲- سختی

با توجه به نتایج حاصل از آزمون سختی، بالاترین میزان سختی به نمونه ۵ و کمترین آن به نمونه ۹ اختصاص دارد. این پارامتر نیز کاملا متاثر از نسبت آب به کره می‌باشد چراکه نمونه ۵ دارای کمترین میزان آب می‌باشد. کلیه نمونه‌های حاوی مقادیر مشابه آب و کره در دامنه مشخصی از سختی قرار داشتند. همان‌طور که در شکل ۱- ب مشخص است با افزایش نسبت آب به کره، میزان سختی نمونه‌های کره کم‌چرب کاهش می‌یابد. حضور هیدروکلوئیدها خصوصا صمغ لوبیای لوکاست نیز باعث کاهش سختی محصول می‌شود [۱۹]. با توجه به اینکه فرمولاسیون محصول حاوی ترکیبات پروتئینی محلول در آب است، با افزایش درصد آب میزان انحلال پروتئین‌ها نیز افزایش یافته و ساختار محصول نهایی از نرمی بالاتری برخوردار می‌گردد. عملیات خرد کردن و هموژنیزاسیون محصول نیز تاثیر بسزایی در کاهش سختی محصول دارند [۲۰].

۳-۳- چسبندگی و نیروی چسبندگی

با درنظر گرفتن نتایج آزمون بافت، نمونه ۵ بالاترین و نمونه‌های ۹ و ۱۳ پایین‌ترین میزان چسبندگی را به خود اختصاص دادند. همان‌طور که در شکل ۲- الف نشان داده شده است با افزایش میزان آب به کره، میزان چسبندگی به شدت کاهش یافته است.

روند تغییرات مقادیر نیروی چسبندگی انطباق زیادی با مقادیر چسبندگی نشان داد (شکل ۲- ب). با توجه به ضرایب رگرسیون نیز می‌توان گفت که نسبت آب به کره بیشترین تاثیر را بر میزان نیروی چسبندگی نمونه‌ها داشته است.



شکل ۲ تاثیر نسبت آب به کره و آرد سویا به کازئینات سدیم بر (الف) چسبندگی و (ب) نیروی چسبندگی کره کم‌چرب

عوامل ژل‌دهنده مورد استفاده بر میزان چسبندگی محصول تاثیرگذارند. بر اساس نتایج حاصل از پژوهش موران و هپ‌بورن (۱۹۸۳) بکارگیری عوامل ژل‌دهنده با نقطه ذوب پایین نظیر ژلاتین باعث تولید محصولی با احساس دهانی بسیار چسبنده (در مقادیر بالای استفاده) و یا بسیار آبکی (در مقادیر پایین استفاده) می‌شود. این پژوهشگران دریافتند که عوامل ژل‌دهنده با نقطه ذوب متوسط نظیر کاراجینان، صمغ لوبیای لوکاست و گزانتان در پایداری و کیفیت خوب محصول تاثیرگذارند. این دسته ترکیبات سریع‌تر تشکیل ژل می‌دهند، قدرت ژل نسبتا بالایی دارند و به ایجاد قطرات کوچک فاز پراکنده کمک می‌نمایند، ویسکوزیته آنها قابل کنترل بوده و باعث افزایش پایداری امولسیون می‌شوند [۱۰].

۳-۴- ویسکوزیته

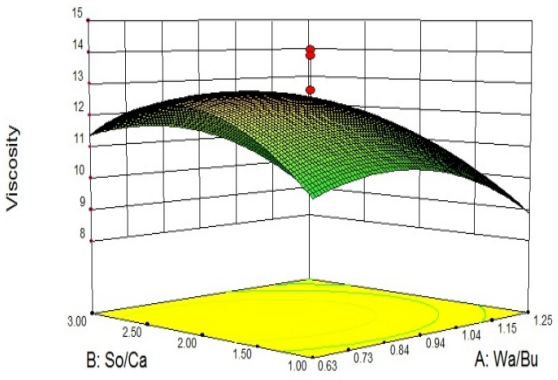
با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویسکوزیته، نمونه‌های ۴ و ۲۰ کمترین و نمونه‌های ۱۵ و ۶ بیشترین مقادیر ویسکوزیته را به خود اختصاص دادند. با افزایش نسبت آب به کره از ۰/۶۳ تا حدود ۰/۸ مقدار ویسکوزیته کره کم‌چرب روند افزایشی نشان داد اما پس از این محدوده و تا رسیدن به

Archive of SID

www.SID.ir

حداکثر میزان نسبت آب به کره، شاهد روند کاهشی ویسکوزیته بودیم. نسبت آرد سویا به کازئینات سدیم نیز تا حدود ۲/۵ باعث افزایش ویسکوزیته کره کم‌چرب شد اما از این محدوده تا مقدار حداکثر (۳) روند کاهشی از خود نشان داد (شکل ۳). این امر با یافته‌های وونگ و تیور (۱۹۹۵) که بیان داشتند افزایش میزان مواد جامد می‌تواند باعث افزایش ویسکوزیته محصول شود، همخوانی دارد [۲۰].

روند افزایشی میزان امولسیفایر نیز باعث کاهش مقدار ویسکوزیته نمونه‌ها گردید. ریس‌من و میلو (۱۹۸۳) نیز با تایید این مطلب، بیان داشتند که ترکیبات پروتئینی باعث ناپایداری شدید امولسیون می‌شوند که با بکارگیری عوامل ژل‌دهنده می‌توان این تاثیر را خنثی نمود. مکانیسم این خنثی‌سازی از طریق انکپسولاسیون و یا تشکیل کمپلکس پروتئین با عوامل ژل‌دهنده بوده و با اتصال به آب باعث افزایش ویسکوزیته می‌شود [۲]. همچنین موران (۱۹۷۸) دریافت که صمغ لوبیای لوکاست و پروتئین‌های با منشاء لبنی دارای تاثیر سینرژیستی بر افزایش ویسکوزیته هستند. نشاسته موجود در فرمولاسیون نیز بر افزایش ویسکوزیته تاثیرگذار است. نشاسته در امولسیون‌ها باعث افزایش ویسکوزیته فاز آبی و پایداری آن از طریق ممانعت از تراوش آب می‌شود. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که در گستردنی‌هایی که حاوی مقادیر مناسبی نشاسته هستند عوامل مولد عطر و طعم نیز بهتر آزاد می‌شوند [۱۹]. همچنین محققان بیان داشته‌اند که ترکیب نشاسته و پروتئین در فاز آبی دارای اثر سینرژیستی بر ویسکوزیته است [۲۱].



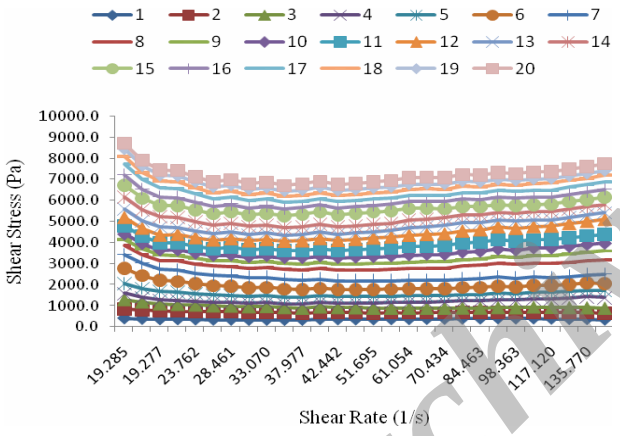
شکل ۳ تاثیر نسبت آب به کره و آرد سویا به کازئینات سدیم بر ویسکوزیته کره کم‌چرب

۳-۵- ضریب قوام، شاخص رفتار جریان

شکل ۴ رئوگرام جریان فرمولاسیون‌های مختلف کره کم‌چرب را نشان می‌دهد. برای تمامی نمونه‌ها، اطلاعات مربوط به تنش برشی و درجه برش موید این مطلب بود که ارتباط این دو بصورت غیرخطی است. لذا جریان غیرنیوتنی برداشت می‌شود و شاخص رفتار جریان (n) کمتر از یک (۰/۰۱۱-۰/۴۵) بدست آمد. برای تفسیر ارتباط بین درجه برش و ویسکوزیته ظاهری از مدل‌های پاورلا، کاسون، هرشل‌بالکلی و کاسون استفاده شد اما اکثر نمونه‌ها با R^2 بالایی با مدل پاورلا برازش شدند. مقادیر مربوط به ضریب قوام و شاخص رفتار جریان بر اساس رابطه ذیل محاسبه گردیدند:

$$\eta_a = K\dot{\gamma}^{n-1}$$

در این رابطه، η_a بیانگر ویسکوزیته ظاهری (Pa.s)، K ضریب قوام ($Pa.s^n$)، $\dot{\gamma}$ درجه برش (s^{-1}) و n شاخص رفتار جریان (بدون بعد) می‌باشد.

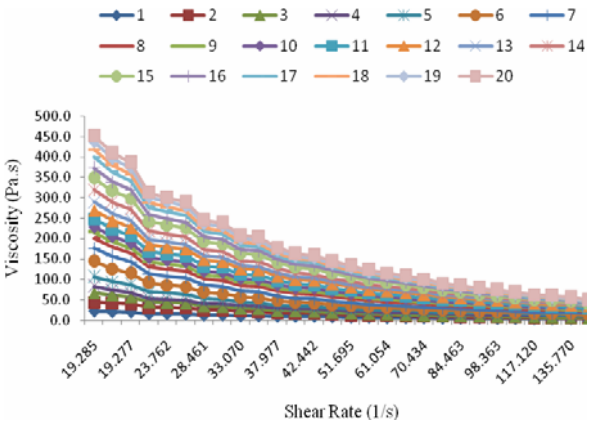


شکل ۴ رئوگرام جریان نمونه‌های کره کم‌چرب

بر اساس نتایج می‌توان این‌گونه استنباط کرد که رفتار جریان در همه نمونه‌ها شل‌شونده بود و ویسکوزیته ظاهری تمامی آنها با افزایش درجه برش کاهش یافت (شکل ۵). در یک امولسیون غلیظ، انعقاد منجر به تشکیل یک شبکه سه‌بعدی از ذرات به‌هم پیوسته خواهد شد و برش سبب تخریب و ازهم پاشیدگی گسترده‌ای در ذرات به هم پیوسته می‌گردد. در نتیجه مقاومت امولسیون در مقابل جریان کاهش یافته و ویسکوزیته ظاهری آن تدریجا کاهش می‌یابد [۲۲].

Archive of SID

www.SID.ir



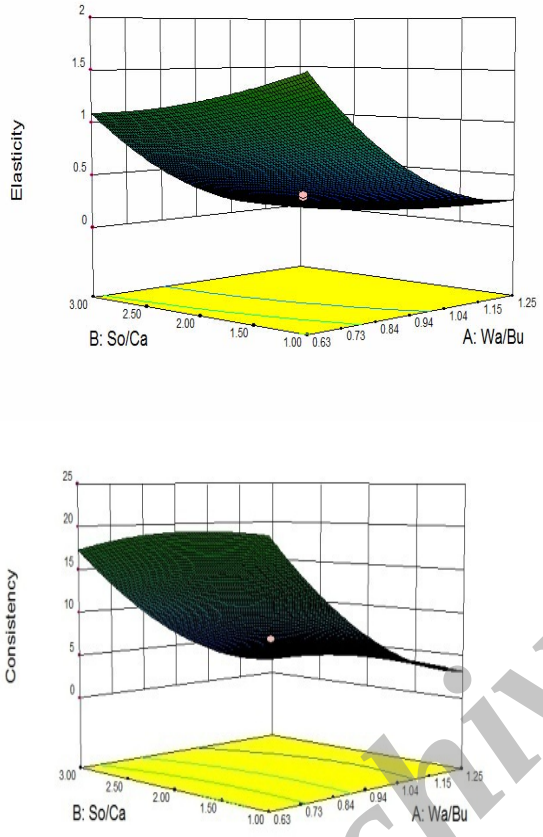
شکل ۵ تغییرات ویسکوزیته ظاهری دربرابر درجه برش

۳-۶- الاستیسیته

با توجه به نتایج، نمونه ۵ بالاترین و نمونه ۱۰ و ۱۳ پایین‌ترین میزان الاستیسیته را نشان دادند. با افزایش نسبت آب به کره و نیز آرد سویا به کازئینات سدیم، میزان الاستیسیته نمونه‌ها کاهش یافت به‌طوری‌که نسبت آب به کره روند کاهشی شدیدتری را باعث شد (شکل ۶- الف). هیدروکلوئیدهای بکاررفته در فرمولاسیون، خصوصا کاراجینان و صمغ لوبیای لوکاست، نیز در الاستیسیته تاثیرگذارند. این ترکیبات ایجاد ژل شدیدا الاستیک نموده و امکان تهیه امولسیونی با پلاستیسیته مشابه با کره را فراهم می‌سازند [۱۰].

۳-۷- قوام

قوام شاخصی برای تعیین پایداری محصول طی نگهداری است. با توجه به مقادیر قوام، نمونه‌های ۹ و ۱۳ کمترین و نمونه۵ بیشترین مقادیر قوام را به خود اختصاص دادند. با افزایش نسبت آب به کره میزان قوام نمونه‌های کره کم‌چرب شدیدا کاهش یافت اما نسبت آرد سویا به کازئینات سدیم تاثیر چشمگیری بر تغییرات قوام نداشت (شکل ۶- ب). قطرات کوچک آب که با ذرات هیدروکلوئیدی ترکیب شده‌اند باعث افزایش قوام و پایداری محصول می‌گردند. موران و بودور (۱۹۸۱) دریافتند که قطرات کوچک آب در صورت عدم ترکیب با هیدروکلوئیدها، به‌راحتی باعث جداشدن آب می‌شوند و در طی دوره نگهداری و نیز حین مصرف باعث ازهم پاشیدن نمونه و بروز ظاهر خرده‌خرده می‌شوند [۲۳]. بکارگیری کره در فرمولاسیون کره کم‌چرب باعث ایجاد قوام مطلوب در محصول می‌شود. ووس و روجرز (۱۹۶۸) بیان داشتند که چربی موجود در کره حاوی مقدار زیادی کریستال‌های چربی آزاد و گلبول‌های چربی بزرگ است که باعث ایجاد قوام و بافت مطلوب در آنها می‌شود. اگرچه وجود مقادیر زیاد کریستال‌های چربی آزاد در کره باعث ایجاد شکنندگی در آن می‌شود، اما این حالت در کره‌های کم‌چرب وجود ندارد که به دلیل حضور عوامل ژل‌دهنده در آنها می‌باشد [۲۴].



شکل ۶ تاثیر نسبت آب به کره و آرد سویا به کازئینات سدیم بر (الف) الاستیسیته و (ب) قوام کره کم‌چرب

افزایش میزان امولسیفایرها نیز باعث افزایش ناچیزی در میزان قوام نمونه‌ها گردید. مطابق با یافته کریستنسن (۲۰۰۰) سیستم امولسیفایری شامل مونو و دی‌گلیسرید و نیز PGPR قادر به حفظ ساختار امولسیون W/O قبل از کریستالیزاسیون و نیز طی نگهداری محصول است [۲۵].

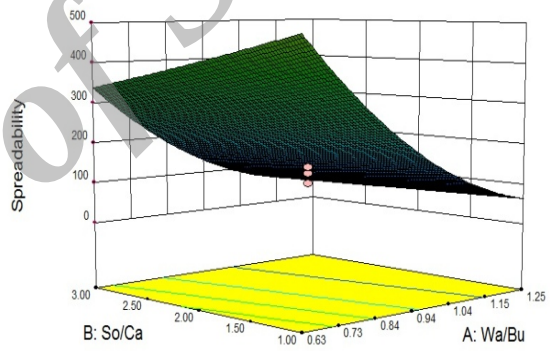
۳-۸- گسترش‌پذیری

با توجه به نتایج، بالاترین مقدار گسترش‌پذیری به نمونه ۵ و پایین‌ترین آن به نمونه‌های ۱۰ و ۱۳ اختصاص دارد. از بین سه فاکتور اعمال‌شده در فرمول‌ها، نسبت آب به کره بیشترین تاثیر را بر میزان گسترش‌پذیری نمونه‌ها داشت و با افزایش این

Archive of SID

www.SID.ir

نسبت، گسترش‌پذیری کاهش یافت (شکل ۷). به عبارت دیگر می‌توان گفت که با کاهش میزان کره، گسترش‌پذیری نیز کاهش یافت. وونگ و تیورر (۱۹۹۵) نیز همین نتیجه را بیان داشتند که هرچه میزان روغن گستردنی مغز دانه کمتر باشد قابلیت پخش‌شدن محصول کمتر است. افزایش میزان امولسیفایرها نیز باعث افزایش گسترش‌پذیری نمونه‌های کره کم‌چرب شد. عملیات برش محصول در دستگاه همزن باعث ازهم‌گسیختگی غشاء گلبول‌های چربی شده و محصولی یکنواخت تولید می‌شود که بلافاصله پس از خروج از یخچال و نیز در دمای معمول اتاق قابل گسترش است [۲۰]. سیلور (۱۹۸۷) نیز در تولید گستردنی کره‌ای کم‌چربی که از نظر ترکیبات بکاررفته تشابه زیادی با فرمولاسیون تولیدی در پژوهش حاضر داشت همین خصوصیات را برای محصول نهایی تولیدی ذکر نمود [۲۶].



شکل ۷ تاثیر نسبت آب به کره و آرد سویا به کازئینات سدیم بر گسترش‌پذیری کره کم‌چرب

۳-۹- تعیین فرمولاسیون بهینه

طبق نظر Burling و همکاران (۲۰۰۵) برای اینکه محصول نهایی دارای خصوصیاتی مشابه با کره باشد بایستی موارد ذیل در آن صدق کنند: گسترش‌پذیری خوب و آسان در دمای ۲۵- ۵ درجه سانتیگراد و بدون بروز سینرزیس؛ احساس کرمی (خامه‌ای) بدون بروز ساختار شنی یا کریستالی؛ ذوب آسان در دهان بدون بروز احساس چسبندگی و طعم نامطلوب یا بد؛ تولید آسان و ارزان؛ دارا بودن حالت کره‌ای از نظر داوران حسی؛ و البته دارا بودن چربی بسیار کمتر در مقایسه با کره معمولی [۲۷].

با بررسی نتایج حاصل از آزمون‌های رئولوژیکی مقاله حاضر و نیز امتیازات داوران حسی که در مقاله جداگانه‌ای به چاپ رسیده است [۲۸]، فرمول بهینه پیشنهادی توسط نرم‌افزار که دارای بالاترین مطلوبیت بود، دارای نسبت آب به کره برابر با ۱/۰۳ (۵۰ درصد آب و ۴۸/۵ درصد کره)، نسبت آرد سویا به کازئینات سدیم برابر با ۱/۵۷ (۵ درصد آرد سویا و ۳/۲ درصد کازئینات سدیم) و میزان امولسیفایر برابر با ۰/۶۶ بود. بر این اساس با بکارگیری این مقادیر می‌توان با اطمینان ۸۷ درصد به فرمولاسیون کره کم‌چرب با ویژگی‌های حسی بهینه دست یافت.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان گفت که با کاهش درصد کره و جایگزینی آن با آب و ترکیبات پروتئینی و هیدروکلوئیدی امکان تولید محصولی وجود دارد که جدا از اثرات خوب تغذیه‌ای، در دماهای پایین قابل گستردن بوده و خصوصیات پلاستیک کره در دمای محیط را نیز دارا می‌باشد. در صورت بالا بودن درصد پروتئین در محصول احتمال بروز طعم نامطلوب و یا بوی نامطبوع در محصول افزایش می‌یابد و همچنین هزینه تولید نیز در حد بسیار زیادی افزایش خواهد یافت. فراورده حاصل مالش‌پذیر بوده و در دمای محیط از نظر فیزیکی پایدار است، دارای طعم کره‌ای است؛ احساس دهانی خوبی داشته، نرم‌است و چسبندگی بافت کمی دارد.

۵- منابع

[1] Bradley, R.L. and Smukowski, M. (2009). Butter, In The Sensory Evaluation of Dairy Products, S. Clark et al., Editors. Springer Science and Business Media, NY, p. 135.

[2] Reissmann, H. and Milo, B. (1983). 25 To 65 wt. % fat content water-in-oil emulsion spread whose aqueous phase comprises a gelling system. United States Patents No. 4389426.

[3] Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). (2006). Dairy fat spread-Specifications and test methods. No. 10084. The Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Tehran.

[4] Caponio, F. and Gomes, T. (2004). Examination of lipid fraction quality of margarine. Journal of Food Science, 69: 63–66.

Archive of SID
www.SID.ir

[5] Laia, O. M., Ghazalia, H. M., Cho, F. and Chong, C. L. (2000). Physical and textural properties of an experimental table margarine prepared from lipase-catalysed trasnesterified palm stearin: palm kernel olein mixture during storage. Food Chemistry, 71: 173–179.
[6] Todd, M. (2005). Method of forming a light butter. United States Patents No. 6916499.
[7] Alexa, R., Mounsey, J., O'Kennedy, B. and Jacquier, J. (2010). Effect of k-carrageenan on rheological properties, microstructure, texture and oxidative stability of water-in-oil spreads. LWT - Food Science and Technology, 43: 843–848.
[8] Amer, V. (1981). Low fat butter-like spread. United States Patents No. 4307125.
[9] Izzo, H., Pincus, S., Theiler, J. and Cirigliano, M. (1989). Edible spread and process for the preparation thereof. United States Patents No. 4882187.
[10] Moran, D. and Hepburn, J. (1983). Edible emulsions containing gelling agents. United States Patents No. 4414236.
[11] Bakal, A., Cash, P. and Eisenstadt, M. (1994). Low calorie low fat butter-like spread. United States Patents No. 5346716.
[12] Bodor, J., Heslinga, L. Van Heteren, J. and De Vries, B. (1986). Edible water-in-oil emulsion spreads containing hydrated starch particles dispersed in the aqueous phase. United States Patents No. 4591507.
[13] Tholl, G. (1994). Process for the production of low-calorie spreads. United States Patents No. 5352475.
[14] Courthaudon, J., Girardet, J., Campagne, S., Rouhier, L., Campagna, S. Linden, G. and Lorient, D. (1999). Surface active and emulsifying properties of casein micelles compared to those of sodium caseinate. International Dairy Journal, 9: 411-412.
[15] Dickinson, E. (1989). Surface and emulsifying properties of caseins. Journal of Dairy Research, 56: 471-477.
[16] Endres, J.G. (2001). Soy protein products: characteristics, nutritional aspects, and utilization, Revised and expanded edition. AOCS Press, ISBN 1-893997-27-8, Champaign.
[17] Damodaran, S. (2005). Protein stabilization of emulsions and foams. Journal of Food Science, 70 (3): R54-R66.
[18] Lang, K. W. and Steinberg, M. P. (1981). Prediction water activity from 0.30 to 0.95 of a multicomponent food formulation. Journal of Food Science, 46 (3): 670-672.
[19] Moran, D.P.J. (1978). Phase inverting low fat spreads. United States Patents No. 4115598.
[20] Wong, V.Y.L. and Theurer, M.D. (1995). Process for making high protein and/or reduced fat nut spreads and product thereof which have desirable fluidity, texture and flavor. United States Patents No. 5433970.
[21] Gupta, B.B. and Platt, B.L. (1991). Low fat spread. United States Patents No. 4990355.
[22] Mun, S., Kim, Y. L., Kang, C. G., Park, K. H., Shim, J. Y., & Kim, Y. R. (2009). Development of reduced-fat mayonnaise using 4_GTase-modified rice starch and xanthan gum. International Journal of Biological Macromolecules, 44, 400–407.
[23] Moran, D. and Bodor, J. (1981). Edible emulsions and process for their preparation. United States Patents No. 4305970.
[24] Voss, G. and Rogers, C. (1968). Process for making low fat spread. United States Patents No. 3366492.
[25] Cai C. Christensen, Methods to reduce fat content and costs of different fat based products, Available at www.foodnavigator.com/smartlead/view/200170/4/Methods-to-reduce-fat-content-and-costs-of-different-fat-based-products.
[26] Silver, J. (1987). Method of making low-fat butter or margarine spread and resulting product. United States Patents No. 4978553.
[27] Burling, H., Madsen, J.C. and Frederiksen, H.K. (2005). Stabilizers useful in low fat spread production. International Patent classification A23D 7/005. Publication No. WO/2005/041677.
[28] Vahedi, N., Mazaheri Tehrani, M., Razavi, S.M.A. and Kadkhodaee, R. (2013). Optimization of Low-Fat Butter Formulation according to Its Organoleptic properties Using Response Surface Methodology (RSM). Iranian Food Science and Technology Research Journal, 9 (3), In press.

Archive of SID

www.SID.ir

Influence of different levels of aqueous phase, proteins and emulsifiers on rheological properties of low-fat butter

Vahedi, N. [1*], Mazaheri Tehrani, M. [2], Razavi, S. M. A. [2]

1. PhD graduated of food science and technology engineering, Ferdowsi University of Mashhad.
2. Associate Professor, Department of Food Sci. & Technology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

(Received: 91/8/16 Accepted: 92/3/8)

In this research, the production of low fat butter, as a novel product, based on full-fat soy flour and sodium caseinate was studied. Water : butter ratio, soy flour : sodium caseinate ratio and emulsifier content were the designed factors and their effects on rheological properties of low-fat butter such as hardness, spreadability, adhesiveness, elasticity and consistency were evaluated. The Central Composite Design (CCD) and Response Surface Methodology (RSM) were employed as experimental design and statistical analysis. By increasing water to butter ratio, as a principal factor affecting on product characteristics, hardness, adhesiveness, elasticity, consistency and spreadability were reduced. The final product was w/o emulsion which was low-calorie, had functional and nutritional effects due to protein components and also its properties could be compared with ordinary butter. Based on final results, the optimum formulation for low-fat butter were: water : butter ratio as 1.03 (50% water and 48.5% butter), soy flour : sodium caseinate as 1.57 (5% soy flour and 3.2% sodium caseinate) and 0.66% emulsifier.

Keywords: Optimization; W/O emulsion; Rheological properties; Low-fat butter; Protein components.

Archive of SID

* Corresponding Author E-Mail Address: nafise_vahedi@yahoo.com

www.SID.ir