

(مقاله پژوهشی)

بررسی خصوصیات رئولوژیکی و فیزیکوشیمیایی امولسیون روغن آفتابگردان تحت تاثیر آلومین تخم مرغ

سعید میرعرب رضی^۱، علی معتمد زادگان^{۲*}، سید احمد شهیدی^۳، علی رشیدی نژاد^۴

۱- دانش آموخته دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آیت... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

۴- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه مسی، نیوزلند.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۲۸

چکیده

در سیستم‌های غذایی بر پایه امولسیون، خصوصیات فیزیکی و رئولوژیکی مطلوب جهت نگهداری و حمل و نقل ضروری می‌باشد. پروتئین‌ها با خصوصیات امولسیفایری نقش ویژه‌ای در تولید این محصولات دارند. در این پژوهش از پروتئین آلومین سفیده تخم مرغ در غلظت‌های مختلف (۱/۵-۵ درصد (وزنی وزنی)) جهت تولید امولسیون ۳۰ درصد روغن در آب استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان داد در غلظت‌های ۳ و ۵ درصد آلومین خامه ای شدن (طی ۲۱ روز) رخ نداد. اندازه ذرات امولسیون در غلظت ۱/۵ درصد آلومین به صورت معنی داری بیشتر از سایر نمونه‌ها بود ($p < 0.05$). پتانسیل زتای نمونه‌های امولسیون تولیدی در محدوده ۲۱- تا ۳۶- میلی ولت بود. میزان پتانسیل زتا در امولسیون حاوی ۵ درصد آلومین به صورت معنی داری کمتر از سایر نمونه‌ها بود ($p < 0.05$). نتایج آزمون رئولوژیکی نشان داد که مدل کارثا بهترین مدل جهت برازش داده‌های رفتار جریان نمونه‌های امولسیونی بود. ویسکوزیته برشی صفر در نمونه‌های حاوی مقادیر بالاتر آلومین (۱-۵ درصد) کمتر بود. رفتار شل شوندگی با برش با افزایش غلظت آلومین تقویت شد. نتایج آزمون روبش فرکانس نشان داد که مدول الاستیک در تمامی گستره‌ی فرکانسی مورد بررسی بیشتر از مدول ویسکوز بود. ریز ساختار امولسیون‌های تولیدی بیانگر وجود ساختار همگن تر در امولسیون‌های حاوی مقادیر بیشتر آلومین بود. به طور کلی نتایج نشان داد با استفاده از آلومین در غلظت ۵ درصد می‌توان امولسیونی با خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی مطلوب تولید نمود.

واژه های کلیدی: آلومین، اندازه ذرات، پتانسیل زتا، پایداری امولسیون، خصوصیات رئولوژیکی.

۱- مقدمه

پروتئین‌ها ترکیب ضروری اکثر امولسیون‌های غذایی هستند که می‌توانند فاز روغنی را در فاز آبی امولسیون کرده و آن را پایدار نمایند (۱). طی هموژنیزاسیون مخلوط پروتئین / آب / روغن، پروتئین‌ها روی سطح ذرات روغن جذب شده، پراکنش ذرات چربی را با کاهش کشش بین سطحی فراهم می‌سازند و با تشکیل لایه محافظتی در اطراف ذرات چربی مانع الحاق آن‌ها می‌شوند (۲). تفاوت گسترده بین فعالیت سطحی پروتئین‌های مختلف مربوط به ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و ساختاری آن‌ها است که شامل اندازه، شکل، ترکیب و توالی آمینو اسیدها، بار الکتریکی و توزیع آن‌ها روی سطح پروتئین است. علاوه بر عوامل داخل مولکولی ذکر شده، فعالیت سطحی پروتئین‌ها در سیستم‌های غذایی با عوامل خارجی دیگری نظیر پی اچ، قدرت یونی، درجه حرارت و برهمکنش با دیگر ترکیبات غذایی تعیین خواهد شد (۳). پروتئین‌ها در مقایسه با سورفاکتانت‌های با وزن مولکولی پایین قادر به تشکیل یک لایه جذبی مستحکم و افزایش ویسکوزیته فاز پراکنده هستند، که منجر به افزایش پایداری امولسیون می‌شوند (۴). در سالیان گذشته، تمایل به استفاده از امولسیفایرها و ترکیبات فعال سطحی، سورفاکتانت‌های سنتزی دارای وزن مولکولی پایین و فسفولیپیدها، به عنوان ترکیبات طبیعی که با جذب بر سطح قطرات روغن و نیز کاهش کشش بین سطحی موجب افزایش پایداری می‌شوند بسیار زیاد بود (۵) اما امروزه به دلیل افزایش سطح آگاهی مصرف کنندگان و عدم تمایل آن‌ها به استفاده از مواد غذایی حاوی افزودنی‌های غیر طبیعی، استفاده از بیوپلیمرهای طبیعی (پروتئین و پلی ساکاریدها) در پایدارسازی امولسیون‌ها بخش عمده ای از مطالعات را به خود اختصاص داده است (۶). پروتئین سفیده تخم مرغ یکی از مهمترین پروتئین‌های مورد استفاده در صنعت غذا می‌باشد زیرا دارای خواص

کاربردی مختلفی نظیر: تشکیل ژل، کف زایی، نگهداری آب و خاصیت امولسیفایری می‌باشند (۷). پروتئین‌های اصلی سفیده تخم مرغ شامل اوآلبومین، اووترانسفرین، اووموگلوئید و لیزوزیم می‌باشد. حدود ۵۴٪ از پروتئین‌های سفیده را اوآلبومین تشکیل می‌دهد. اوآلبومین گلیکوفسفو پروتئینی با پی اچ ایزوالکتریک در حدود ۴/۵، وزن مولکولی در حدود ۴۵ کیلو دالتون و دمای دناتوره شدن ۷۱/۵-۸۴ درجه سانتی گراد است (۸). تحقیقات زیادی در خصوص ارتباط ساختار پروتئین‌های سفیده با خصوصیات کاربردی آن انجام گرفته است (۹، ۱۰). اقبال و همکاران (۲۰۱۷) اثر پروتئین سفیده تخم مرغ را بر خصوصیات امولسیون روغن ذرت در آب بررسی کردند و گزارش کردند که ویسکوزیته و کدورت امولسیون با افزایش غلظت پروتئین افزایش یافت (۱۱). آرزنی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که اولتراسوند با افزایش میزان آبگریزی در پروتئین‌های سفیده تخم مرغ سبب بهبود خصوصیات امولسیفایری در این پروتئین شد (۱۲). نیو و همکاران (۱۳) خصوصیات امولسیون حاوی صمغ عربی و اوآلبومین را تحت تاثیر تنش‌های محیطی بررسی کردند و نسبت ۱ به ۲ اوآلبومین به صمغ عربی را به عنوان بهترین نسبت انتخاب نمودند. هدف از انجام این پژوهش تولید امولسیون ۳۰ درصد (وزنی/وزنی) روغن در آب با استفاده از غلظت‌های مختلف آلبومین تخم مرغ و بررسی خصوصیات فیزیکی، رئولوژیکی و ریزساختاری امولسیون‌های تولیدی بود. بسیاری از محصولات غذایی بر پایه سیستم‌های امولسیونی هستند. پایداری و خصوصیات رئولوژیکی این سیستم‌ها اهمیت ویژه ای در نگهداری و توزیع این محصولات دارد. با توجه به اینکه پروتئین‌های سفیده تخم مرغ جزو رایج ترین و در دسترس ترین ترکیبات امولسیفایری هستند لذا در این پژوهش امولسیونی با استفاده از این پروتئین به عنوان سیستم مدل تولید و خصوصیات این امولسیون‌ها بررسی گردید.

۲- مواد و روش

مواد مورد استفاده جهت تولید امولسیون آلومین تخم مرغ (Applichem, Germany, A4344, 0250, lot 7K005289)، و روغن آفتابگردان (فامیلا، ایران) بود.

۲-۱- روش تهیه امولسیون

به منظور تهیه امولسیون ۳۰ درصد (وزنی/وزنی) روغن آفتابگردان در آب، ابتدا آلومین در دمای اتاق به مدت ۲ ساعت در آب دیونیزه همزده شد و سپس جهت حل شدن کامل تا روز بعد در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شد. پس از آماده سازی محلول آلومین، امولسیون با پخش کردن ۳۰ درصد (وزنی/وزنی) روغن آفتابگردان در محلول‌های آلومین (۱/۵-۵ درصد (وزنی/وزنی)) تهیه و این مخلوط به مدت ۲ دقیقه با استفاده از اولتراتوراکس (IKA T25 Basic, Germany) با سرعت ۱۱۰۰۰ rpm همزده و در ادامه توسط اولتراسوند پروبی (مدل UP400A، شرکت توسعه فناوری مافوق صوت، ایران) با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و شدت W/cm^2 ۱۰۰ به مدت ۲ دقیقه هموزن گردید (۱۳) و سپس آزمون‌های زیر بر روی آن انجام گرفت.

۲-۲- پایداری امولسیون

امولسیون‌های تهیه شده به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۳۵۰۰ rpm در دمای محیط سانتریفوژ شدند و براساس معادله ۱، درصد فاز جدا شده محاسبه گردید (۱۳):

معادله (۱)

$$100 \times \frac{\text{حجم سرم}}{\text{حجم کلی امولسیون}} = \text{میزان فاز جدا شده}$$

میزان پایداری امولسیون بر اساس تفاضل میزان فاز جدا شده از ۱۰۰ محاسبه شد.

۲-۳- خامه ای شدن

جهت بررسی خامه‌ای شدن، نمونه‌ها بلافاصله بعد از تهیه درون ظرف استریل درب دار ریخته و به مدت ۲۱ روز در دمای محیط بصورت ساکن نگهداری و بر اساس معادله ۲، درصد خامه ای شدن محاسبه شد (۱۴):

معادله (۲)

$$\text{درصد خامه ای شدن} = \frac{\text{ارتفاع لایه سرم}}{\text{ارتفاع کل امولسیون}} \times 100$$

۲-۴- پتانسیل زتا و اندازه ذرات

امولسیون‌ها بلافاصله پس از تولید با آب مقطر (نسبت ۱ به ۲۵) رقیق شدند و سپس پتانسیل زتا و اندازه ذرات توسط دستگاه زتا سایزر (ZEN3600, MALVERN, United Kingdom) اندازه گیری شد (۱۵).

۲-۵- آزمون‌های رئولوژیکی

آزمون‌های رئولوژیکی با استفاده از دستگاه رئومتر (Physica, MCR 301, Anton Paar GmbH, Germany) مجهز به هندسه استوانه هم محور دو گانه (با ارتفاع ۴۰ میلیمتر و قطر به ترتیب از خارج به داخل ۲۳/۸۲، ۲۴/۶۶ و ۲۷/۵۹ میلی متر) در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد انجام گرفت. آزمون رفتار جریان نمونه‌های امولسیونی به صورت افزایش سرعت برشی از ۰/۰۰۲ تا ۳۰۰ بر ثانیه انجام پذیرفت و از مدل‌های رئولوژیکی مختلف از جمله پاورلا^(۳)، هرشل بالکلی^(۴)، بینگهام^(۵)، کراس^(۶) و کارئا^(۷) برای برازش داده‌های رفتار جریانی مرحله رفت استفاده شد (۱۶):

معادله (۳)

$$\tau = k\dot{\gamma}^n$$

معادله (۴)

$$\tau = k\dot{\gamma}^n + \tau_0$$

معادله (۵)

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \dot{\gamma}$$

معادله (۶)

$$\eta_a = \eta_{\infty} + \frac{\eta_0 - \eta_{\infty}}{1 + (\alpha \dot{\gamma})^m}$$

- 1 -Power-law
- 2 -Herschel-Bulkley
- 3 -Bingham
- 4- Cross
- 5 -Carreau

$$\eta_{\alpha} = \eta_{\infty} + \frac{\eta_0 - \eta_{\infty}}{(1 + (\lambda_c \dot{\gamma})^2)^n} \quad (7) \text{ معادله}$$

که τ تنش برشی (Pa)، $\dot{\gamma}$ سرعت برشی (s^{-1})، k ضریب قوام که τ_0 تنش تسلیم (Pa)، n شاخص رفتار جریان (بدون واحد)، η_p ویسکوزیته پلاستیک بینگهام ($Pa \cdot s^n$)، λ_c و α_c ثابت‌های زمانی مرتبط با زمان استراحت پلیمر در محلول، η_0 ویسکوزیته برشی صفر (Pa.s)، η_{∞} ویسکوزیته برشی بی نهایت (Pa.s) و m و N توان‌های بدون واحد می‌باشند. آزمون روبش فرکانس در محدوده فرکانسی ۰/۱ تا ۱۰ هرتز در ناحیه خطی ویسکوالاستیک و دمای ۲۰ درجه سانتی گراد انجام پذیرفت و مدول‌های الاستیک و ویسکوز بر اساس تغییرات فرکانس رسم شد (۷، ۱۶).

۶-۲- بررسی ریز ساختار

بعد از تهیه امولسیون‌ها یک قطره از آن روی لام مخصوص میکروسکوپ نوری (Nikon, Eclipse) قرار گرفت و تصاویری با بزرگنمایی ۱۰ تهیه شد (۱۳).

۷-۲- طرح آماری و آنالیز داده‌ها

به منظور بررسی اثر غلظت آلومین بر خصوصیات امولسیون از طرح کاملاً تصادفی با حداقل ۲ تکرار استفاده شد. برای رسم منحنی‌ها از نرم افزار اکسل ۲۰۰۷ و سیگما پلات ۱۲ استفاده شد. مقایسه میانگین توسط آزمون دانکن در سطح آماری ۹۵ درصد با نرم افزار SPSS ورژن ۱۶ انجام گرفت. برای آنالیز داده‌های رئولوژیکی از نرم افزار رئوپلاس (نسخه ۳/۴) استفاده گردید.

۳- بحث

۳-۱- پایداری امولسیون و خامه ای شدن

جدول ۱ درصد پایداری امولسیون‌های حاوی مقادیر مختلف آلومین را تحت تاثیر نیروی سانتریفوژ نشان می‌دهد. بعد از سانتریفوژ میزانی از امولسیون در ته لوله به صورت رسوب ظاهر شد که این میزان رسوب با افزایش غلظت آلومین کاهش یافت. کمترین میزان پایداری مربوط به امولسیون

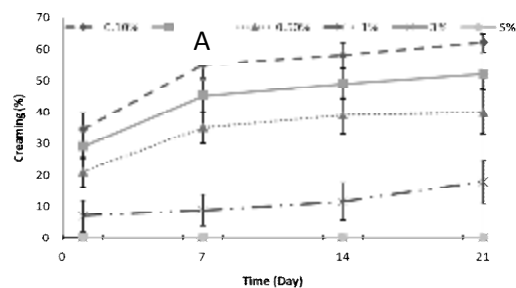
حاوی ۰/۱ درصد آلومین بود (۴۵ درصد) و بیشترین پایداری مربوط به امولسیون حاوی ۵ درصد آلومین بود (۱۰۰ درصد). جدایی فازی در غلظت‌های بالای آلومین مشاهده نشد. این امر می‌تواند به این دلیل باشد که قسمت‌های هیدروفب پروتئین در سطوح بینایی آب-روغن دنا توره و اطراف سطح قطرات روغن را احاطه می‌کنند، همچنین قسمت‌های آب دوست پروتئین می‌تواند در فاز آبی جهت گیری کرده که این رفتار دوگانه دوستی پروتئین می‌تواند مانع اتصال قطرات روغن و پایداری امولسیون شود (۱۷، ۱۸). به عبارت دیگر پایداری سیستم امولسیونی در غلظت‌های پایین آلومین کم می‌باشد زیرا در این غلظت‌ها شبکه سه بعدی ضعیفی شکل می‌گیرد که در نتیجه آن اندازه قطرات روغن بزرگ شده و در نتیجه جداسازی فازی افزایش و پایداری کاهش می‌یابد. درصد رویه بستن (خامه ای شدن) امولسیون‌های حاوی غلظت‌های مختلف آلومین در طی ۳ هفته نگهداری در دمای محیط در شکل ۱ نشان داده شده است. خامه ای شدن یکی از عوامل ناپایدار کننده امولسیون‌هاست که بر اساس اختلاف دانسیته بین دو مایع در امولسیون و نیروی جاذبه رخ می‌دهد (۱۹). خامه‌ای شدن در غلظت ۰/۱ درصد آلومین بعد از گذشت ۲۴ ساعت، ۳۴ درصد، در روز هفتم ۵۵/۲ درصد و تا روز ۱۴ تغییر خاصی نداشت. در روز ۲۱ م میزان خامه ای شدن در امولسیون حاوی ۰/۱ درصد آلومین ۶۲ درصد بود. در غلظت ۳ و ۵ درصد آلومین، خامه ای شدن طی ۲۱ روز رخ نداد. قطرات روغن در سیستم امولسیونی به صورت ضعیفی فلوکوله اند و ساختار امولسیون ممکن است طی زمان به دلیل حرکت براونی قطرات و نیروی جاذبه بازسازی شود. این ممکن است سبب کاهش تعداد پیوندهای بین قطرات و در نتیجه تخریب ساختار شود که این پدیده سبب کاهش تنش تسلیم و پدیده خامه ای شدن می‌شود. در غلظت‌های بالاتر، آلومین می‌تواند مانع از حرکت قطرات توسط شکل گیری شبکه سه بعدی شود (۲۰، ۲۱). پروتئین‌ها تمایل شدید به جذب در سطوح بینایی آب و روغن دارند و می‌توانند لایه ای پایدار اطراف قطرات روغن

پیوستن دوباره قطرات تعیین می‌شود. نتایج حاصل از بررسی اثر غلظت آلبومین بر اندازه ذرات امولسیون در شکل ۲A نشان داده شده است. نتایج نشان داد که اندازه ذرات امولسیون‌های تولیدی ۶۴۰ تا ۸۲۰ نانومتر بود. بیشترین اندازه ذرات مربوط به امولسیون‌های حاوی ۰/۱ درصد آلبومین بود که به صورت معنی داری بزرگتر از سایر امولسیون‌ها بود ($P < 0.05$) و با افزایش غلظت آلبومین اندازه ذرات کاهش یافت. با افزایش غلظت پروتئین، احتمال احاطه شدن قطرات امولسیون بوسیله آلبومین افزایش یافته و در نتیجه قطرات کوچک موجود در امولسیون، بهتر پوشش داده شده و اتصال بین‌ها کمتر رخ می‌دهد (۲۲). سان و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند با افزایش غلظت پروتئین اندازه ذرات امولسیون کاهش یافت. این کاهش به دلیل افزایش جذب پروتئین و ایجاد غشای کامل حول سطح قطرات روغن است که مانع از ناپایداری و همچنین تجمع مجدد قطرات در حین هموژنیزاسیون می‌گردد (۱۴). در تحقیق مشابهی به (۲۰۰۸) گزارش کرد که اندازه قطرات امولسیون با افزایش غلظت کازئینات سدیم کاهش یافت (۲۳). خالصی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند با افزایش غلظت پروتئین (در غیاب بخش محلول صمغ فارسی) اندازه ذرات امولسیون به طور منظم و معنی دار کاهش یافت. این پدیده می‌تواند دلیل حضور پروتئین‌های آزاد در فاز پیوسته امولسیون باشد که با تجمع در کنار یکدیگر و یا ایجاد اتصال عرضی بین قطره‌ای بر روی یکنواختی توزیع کلی اندازه قطرات سیستم تاثیر گذار می‌باشند (۲۴). علی پور و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند با افزایش نسبت پروتئین به صمغ قدومه شیرازی در مخلوط لیوفیلیزه صمغ-پروتئین، اندازه ذرات امولسیون کاهش یافت، دلیل این امر حضور بیشتر پروتئین است که با داشتن فعالیت سطحی بالا، باعث کاهش اندازه ذرات امولسیون می‌گردد (۲۵). پتانسیل زتا (ζ) شاخصی از بار الکتریکی سطح ذرات است که به ارزیابی برهم‌کنش‌های الکترواستاتیکی بین ذره‌ای و تعیین ثبات سامانه‌های کلئیدی کمک می‌کند. در شکل

ایجاد کنند. پایدارسازی امولسیون‌ها با به کارگیری امولسیفایرها امکانپذیر است. عوامل امولسیون‌کننده دارای ساختاری دوگانه دوست (حاوی گروه‌های قطبی و گروه‌های غیرقطبی) هستند، یعنی توانایی اتصال به هر دو فاز آب و روغن را دارا می‌باشند. این عوامل در سطح مشترک بین دو فاز قرار گرفته و سطح قطرات فاز پراکنده را با ایجاد یک لایه نازک به دور آن پوشش می‌دهند و به این ترتیب فشارهای بینایی را کاهش داده و از به هم چسبیدن و یکی شدن قطرات جلوگیری کرده و در نتیجه موجب پایداری امولسیون می‌گردند (۵، ۶).

جدول ۱- تاثیر غلظت آلبومین بر پایداری امولسیون‌های تولیدی

غلظت آلبومین (درصد)	پایداری
۰/۱	$45 \pm 7 / 0.7^d$
۰/۳	$65 \pm 7 / 0.7^c$
۰/۵	$67 / 5 \pm 3 / 53^c$
۱	$77 / 5 \pm 10 / 6^{bc}$
۳	$89 \pm 5 / 65^{ab}$
۵	$100 \pm 0 / 0.0^a$



شکل ۱- تاثیر غلظت آلبومین بر خامه‌ای شدن (طی ۲۱ روز

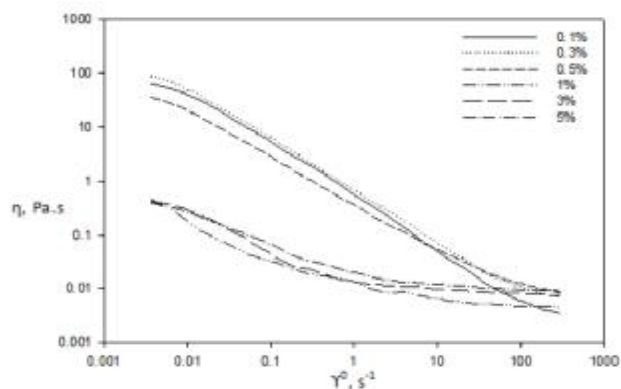
نگهداری) امولسیون‌های تولیدی

۲-۳- اندازه ذرات و پتانسیل زتا

به طور کلی امولسیون‌ها به وسیله فرآیندهای برشی فیزیکی تهیه می‌شوند و اندازه نهایی امولسیون‌های هموزن شده به وسیله تقابل دو فرآیند متضاد متلاشی شدن قطرات و به هم

۳-۳- ویژگی های رئولوژیکی

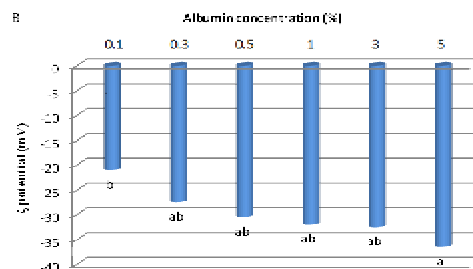
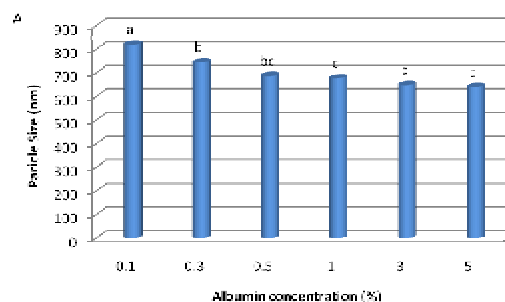
شکل ۳ رابطه ویسکوزیته ظاهری در برابر سرعت برشی امولسیون های حاوی غلظت های مختلف آلبومین را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود افزایش سرعت برشی در تمام نمونه های امولسیونی باعث کاهش ویسکوزیته ظاهری شد که بیانگر رفتار شل شونده با برش نمونه ها است. هنگامی سرعت برشی بر نیروی براونی غلبه کند قطرات امولسیون در جهت جریان جهت گیری می کنند و مقاومت آن ها به جریان کمتر و در نتیجه ویسکوزیته کاهش می یابد (۹). سو و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که رفتار شبه پلاستیک شل شونده با برش در امولسیون ها به دلیل وقوع فلوکولاسیون در آنهاست (۲۶). از این رو ویسکوزیته ظاهری آن ها به جهت شکسته شدن تجمعات قطرات در اثر اعمال تنش، به سرعت کاهش می یابد و به تدریج که گویچه ها در راستای نیروی برش قرار می گیرند به حد ثابتی می رسد و افزایش بیشتر سرعت برش تأثیر چندانی بر آن ندارد.



شکل ۳- اثر سرعت برشی بر ویسکوزیته ظاهری امولسیون های حاوی غلظت های مختلف آلبومین

نتایج حاصل از برازش داده ها با مدل های مختلف رئولوژیکی در جدول ۲ نشان داده شده است. طبق نتایج بدست آمده مدل کارئو با داشتن بیشترین ضریب تبیین به عنوان بهترین مدل انتخاب شد. در جدول ۱ پارامترهای مختلف مدل کارئو نشان داده شده است. این مدل بیشتر برای موادی است که در محدوده سرعت های برشی کم و زیاد دارای رفتار نیوتنی

۲B مقادیر پتانسیل زتا برای نمونه های امولسیونی تولیدی گزارش شده است. طبق نتایج گزارش شده، پتانسیل زتا در تمامی نمونه امولسیون های تولیدی دارای مقادیر منفی است زیرا بار الکتریکی خالص آلبومین در بالاتر از نقطه ایزوالکتریک پروتئین (PI= ۴/۶) منفی است. نتایج نشان داد که امولسیون پایدار شده با پروتئین در pH خنثی، پتانسیل زتایی در محدوده ۲۱- تا ۳۶- میلی ولت داشت. کمترین میزان پتانسیل زتا مربوط به نمونه امولسیون حاوی ۵ درصد آلبومین بود که مقدار آن ۳۶- میلی ولت بود. امولسیون حاوی ۰/۱ درصد آلبومین دارای پتانسیل زتای ۲۱- بود که بیانگر ناپایدار بودن این امولسیون است. جذب بیشتر آلبومین روی قطرات روغن در بیشتر شدن میزان منفی پتانسیل زتا شرکت دارد. افزایش غلظت آلبومین، جذب آلبومین را روی قطرات روغن افزایش می دهد زیرا دسترس بودن بیشتر آلبومین سبب شکل گیری آلبومین تک لایه^۱ بین سطحی و حتی چند لایه^۲ اطراف قطرات امولسیون می شود که می تواند باعث بیشتر منفی شدن بار اطراف سطح قطرات شود (۱۴).



شکل ۲- تاثیر غلظت آلبومین بر اندازه ذرات (A) و پتانسیل زتای امولسیون های تولیدی (B)

- 1- Monolayer
- 2- Multilayer

کاهش یافت (۲۸). بیشترین میزان شاخص رفتار جریان مربوط به نمونه حاوی ۰/۱ درصد آلومین بود (۰/۵۲۱) و در غلظت های بالاتر آلومین این پارامتر کاهش یافت که بیانگر رفتار شل شوندگی با برش بیشتر در نمونه های امولسیونی حاوی مقادیر بالاتر آلومین بود. کوچکی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که با افزایش غلظت پلی ساکارید شاخص قوام کاهش می یابد (۲۹).

هستند (۲۷). طبق نتایج بدست آمده ویسکوزیته برشی صفر با افزایش غلظت آلومین کاهش یافت. میزان ویسکوزیته برشی صفر در غلظت های ۱ تا ۳ درصد آلومین نزدیک به صفر بود. در غلظت های بالا، آلومین می تواند مانع فشردگی قطرات روغن و در نتیجه کاهش ضریب قوام شود. سلیمانپور و همکاران (۲۰۱۳) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. شاخص رفتار جریان نمونه های امولسیونی با افزایش غلظت آلومین

جدول ۲- ضریب تبیین حاصل از برازش داده های رفتار جریان با مدل های مختلف؛ پارامترهای بدست آمده حاصل از برازش داده های

رفتار جریان با مدل کارنا

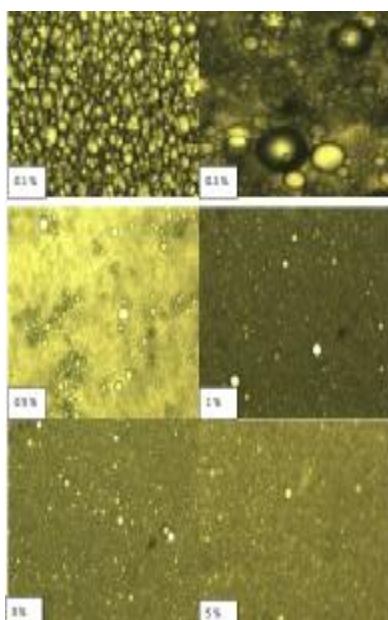
غلظت آلومین (%)	مدل های مختلف رئولوژیکی برازش شده		پارامترهای مربوط به مدل کارنو		
	کراس	کارنا	استوالد	هرشل بالکلی	η_0 (Pa.s)
۰/۱	۰/۴۹۰	۰/۹۴۸	۰/۳۹	۰/۲۸	۴۹/۰۰±۰/۰۰
۰/۳	۰/۸۹۵	۰/۹۵۵	۰/۶۹	۰/۶۰	۷۴/۷۸±۰/۰۰
۰/۵	۰/۸۶۳	۰/۹۵۵	۰/۸۱	۰/۵۲	۳۵/۹۸±۴/۰۸
۱	۰/۹۳۸	۰/۹۶۶	۰/۶۸	۰/۸۳	۰/۶۵۱±۰/۱۲
۳	۰/۵	۰/۸۶	۰/۶۸	۰/۹۲	۰/۵۳۲±۰/۲
۵	۰/۳۵	۰/۹۰۶	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۴۰۶±۰/۰۲

غلظت های مختلف آلومین نشان می دهد. همچنین تغییرات هر دو مدول رئولوژیکی در غلظت های ۰/۱ و ۰/۵ درصد آلومین به ترتیب در شکل های ۴c و ۴d نشان داده شده است. طبق نتایج بدست آمده G' و G'' با افزایش فرکانس، افزایش یافتند. G' مقادیر بیشتری از G'' داشت که می تواند بیانگر ساختار ژلی در سیستم باشد (۳۲، ۳۳). بالاتر بودن مدول الاستیک سبب تشکیل ساختار شبه جامد می شود که حرکت قطرات را محدود می کند. این بدین معنی است که امولسیون ها می توانند رفتار ژل ضعیف را حتی در غلظت های بالا نشان دهند و ساختار آن ها نسبت به تغییرات غلظت حساسیت زیادی ندارد و می توانند ساختار خود را حفظ نمایند.

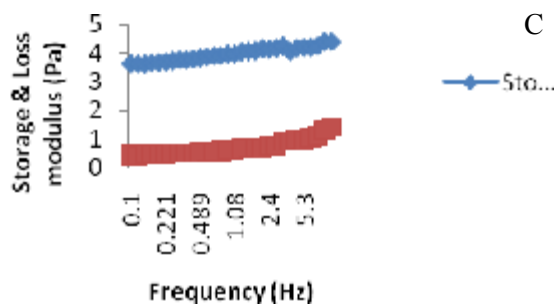
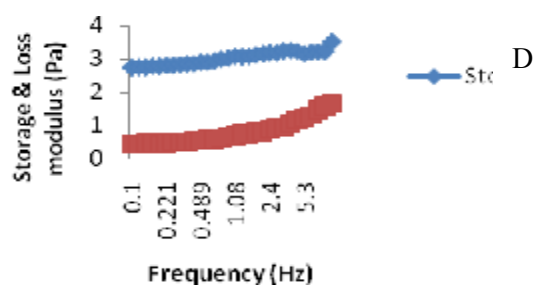
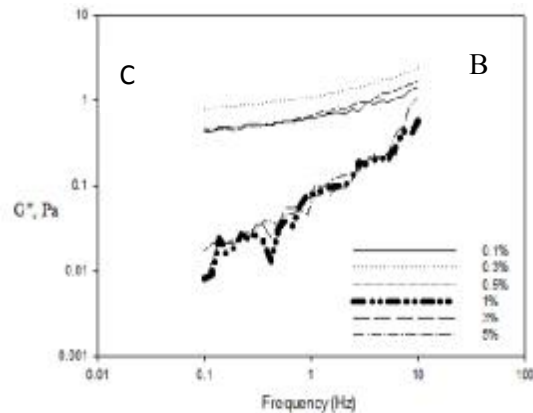
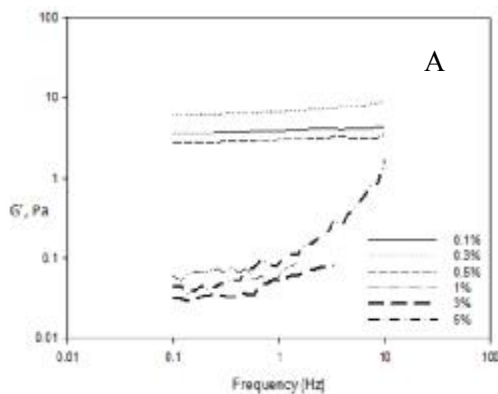
آزمون های نوسانی برای تعیین مقدار مدول الاستیک و ویسکوز به کار می رود و نتایج آن می تواند بیانگر شدت فلوکولاسیون امولسیون باشد (۹). داده های حاصل از آزمون فرکانس متغیر برای دسته بندی رفتار دیسپرسیون ها به کار می رود. در این آزمون، دیسپرسیون ها به چهار گروه متداول محلول های رقیق، سیستم شبکه به هم پیچیده (محلول های غلیظ)، ژل ضعیف و ژل قوی تقسیم می شوند (۳۰، ۳۱). مدول ذخیره (G') مقدار انرژی ذخیره شده در مواد طی هر سیکل تغییر شکل و مدول اتلاف (G'') مقدار انرژی از دست رفته در هر سیکل تغییر شکل را بیان می کند. شکل های ۴A و ۴B وابستگی مدول های G' و G'' را به فرکانس تحت تاثیر

۳-۴- ریز ساختار امولسیون

نتایج حاصل از تاثیر غلظت آلومین روی ریز ساختار امولسیون‌های تولیدی در شکل ۵ نشان داده شده است. بررسی‌های میکروسکوپی نشان داد که امولسیون‌های حاوی غلظت‌های ۳ و ۵ درصد آلومین دارای توزیع اندازه قطرات یکنواخت تری هستند و فلوک‌ها شدن در آن مشاهده نشد و در غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۳ درصد آلومین قطرات بزرگتری مشاهده شد. امولسیفایرهایی که جهت پایداری امولسیون استفاده می‌شوند عوامل فعال سطحی هستند که می‌توانند روی سطح قطرات جذب شده و کشش سطحی را کاهش دهند و در نتیجه از به هم چسبیدن قطرات نزدیک به هم جلوگیری کنند (۹). نتایج بدست آمده از این آزمون تاییدی بر نتایج بدست آمده از اندازه گیری ذرات امولسیون می باشد. در غلظت‌های بالای آلومین، به دلیل تشکیل یک شبکه در اطراف قطرات امولسیونی، مانع از فلوکوله شدن این قطرات می شود. در غلظت‌های پایین آلومین به دلیل اینکه این پروتئین نمی‌تواند به طور کامل اطراف قطرات را پوشش دهد این قطرات با هم اداغام شده و در نتیجه ذراتی بزرگتر تولید می‌شوند (۹).



شکل ۵- تاثیر غلظت آلومین بر ریز ساختار امولسیون‌های تولیدی



شکل ۴- تغییرات مدول ذخیره (A) و افت (B) در برابر فرکانس تحت تاثیر غلظت‌های مختلف آلومین؛ تغییرات مدول‌های رئولوژیکی ذخیره و افت امولسیون‌های حاوی ۰/۱ (C) و ۰/۵ درصد (D) آلومین

۴- نتیجه گیری

امولسیون‌ها سیستم‌های کلوئیدی شامل دو فاز غیر قابل امتزاج هستند که مهمترین مشکل سیستم‌های امولسیون ناپایداری ترمودینامیکی آن‌ها است. پایداری امولسیون‌ها با به کارگیری امولسیفایرها امکانپذیر است. یکی از ترکیباتی که با خاصیت امولسیفایری توانایی پایداری امولسیون را دارند پروتئین‌ها و به خصوص پروتئین‌های سفیده تخم مرغ می باشد. در این پژوهش تاثیر مقادیر مختلف آلبومین تخم مرغ (۱-۵ درصد) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی امولسیون روغن آفتابگردان در آب بررسی شد. در غلظت‌های ۳ و ۵ درصد آلبومین پدیده خامه ای شدن طی ۲۱ روز نگهداری مشاهده نشد. اندازه ذرات در امولسیون‌های حاوی ۱-۵ درصد آلبومین به صورت معنی داری کوچکتر از سایر نمونه‌ها بود. پتانسیل زتا در همه نمونه‌ها دارای مقادیر کوچکتر از صفر بود و با افزایش غلظت پروتئین مقدار آن کاهش یافت. امولسیون‌های آزمایش شده بعنوان سیالات غیرنیوتنی و سودوپلاستیک رفتار کردند که به خوبی با مدل کارنو توصیف شدند. تغییر غلظت آلبومین باعث تغییر خصوصیات رئولوژیکی امولسیون‌های غذایی شد که می‌تواند خصوصیات فرآورده نهایی مانند طعم، ظاهر، بافت و پایداری را تحت تاثیر قرار دهد. دانش کافی از تاثیر غلظت پروتئین بر خصوصیات امولسیون‌ها، سازندگان مواد غذایی را قادر به بهینه سازی شرایط فرایند و بهبود کیفیت فرآورده می سازد. مدول الاستیک و ویسکوز در همه نمونه‌های امولسیونی وابسته به فرکانس بود و با افزایش فرکانس هر دو مدول افزایش یافتند. در غلظت‌های بالاتر آلبومین ساختار یکنواخت تری مشاهده شد که بیانگر پوشش بهتر ذرات امولسیون به وسیله پروتئین می‌باشد. بر اساس نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه گیری کرد که آلبومین در غلظت ۵ درصد توانایی پایداری کردن امولسیون را دارا می‌باشد و می‌تواند امولسیونی با خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی مطلوب تولید نماید.

۵- منابع

1. Garti, N., Leser, M. E. 2001. Emulsification properties of hydrocolloids, *Polymers for advanced Technologies*, 12(1-2): 123-135.
2. McClements, D. J. 2004. Food emulsions: principles, practices, and techniques, first ed., CRC Press.
3. Rodríguez Patino, J. M., Pilosof, A. M. 2011. Protein-polysaccharide interactions at fluid interfaces, *Food Hydrocolloid*, 25: 1925-1937.
4. Garti, N. 1999. Hydrocolloids as emulsifying agents for oil-in-water emulsions. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 20: 327-355.
5. McClements, D. J., Decker, E. A. 2000. Lipid Oxidation in Oil-in-Water Emulsions: Impact of Molecular Environment on Chemical Reactions in Heterogeneous Food Systems, *Journal of Food Science*, 65(8):1270-82.
6. McClements, D. J., Li, Y. 2010. Structured emulsion-based delivery systems: Controlling the digestion and release of lipophilic food components, *Advance in colloid and interface science*, 159(2): 213-28.
7. Razi, S. M., Motamedzadegan, A., Shahidi, A., Rashidinejad, A. 2018. The effect of basil seed gum (BSG) on the rheological and physicochemical properties of heat-induced egg albumin gels. *Food Hydrocolloids*.
8. Altalhi, A. S. 2013. Egg white foam: a thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Food Technology at Massey University, Auckland, New Zealand Massey University.
9. Erçelebi, E. A., Ibanoglu, E. 2009. Rheological properties of whey protein isolate stabilized emulsions with pectin and guar gum, *European Food Research and Technology*, 229(2): 281-286.
10. Davis, J. P., Foegeding, E. A. 2007. Comparisons of the foaming and interfacial properties of whey protein isolate and egg white proteins, *Colloids*

- emulsions, *Advances in colloid and interface science*, 108: 227-258.
20. Krstonošić, V., Dokić, L., Nikolić, I., Milanović, M. 2015. Influence of xanthan gum on oil-in-water emulsion characteristics stabilized by OSA starch, *Food Hydrocolloids*, 45: 9-17.
 21. Hemar, Y., Tamehana, M., Munro, P. A., Singh, H. 2001. Influence of xanthan gum on the formation and stability of sodium caseinate oil-in-water emulsions, *Food hydrocolloids*, 15(4): 513-519.
 22. Khan, A., Azli, M. N. Abdul Rahim, K. 2005. Kajian ke atas ciri-ciri optimum dalam penyata kewangan berdasarkan Malaysian accounting standards board (MASB) 1.
 23. Ye, A. 2008. Complexation between milk proteins and polysaccharides via electrostatic interaction: principles and applications—a review, *Int. J. Food Sci, Tech*. 43: 406-415.
 24. Khalesi, H., Kadkhodaein, R., Emadzadeg, B. 2016. Study the effect of Persian gum and heating treatments on stabilized emulsion by whey protein concentrate. *Innovative food technology*. 13: 103-119.
 25. Alipour, A. 1, Koocheki, A.1 *, Kadkhodae, R. 2, Varidi, M. 2015. The effect of Alyssum homolcarpum seed gum–whey protein concentrate on stability of oil–in–water emulsion. *Iranian journal of food science and technology*, No. 48, Vol. 12.
 26. Xu, D., Wang, X., Jiang, J., Yuan, F. Gao, Y. 2012. Impact of whey protein e Beet pectin conjugation on the physicochemical stability of β -carotene emulsions, *Food Hydrocolloids*, 28: 258-266.
 27. Morris, E. R. 1989. Polysaccharide solution properties: origin, rheological characterization and implications for food systems, *Frontiers in carbohydrate research*, 1, 132-163.
 28. Soleimanpour, M., Koocheki, A., Kadkhodae, R. 2013. Influence of main emulsion components on the physical properties of corn oil in water emulsion: *and Surfaces B: Biointerfaces*, 54(2): 200-210.
 11. Iqbal, S., Batool, J., Ajaz, M., Ambreen, N., Akhlaq, M. 2017. Impact of Egg White Protein on the Quality and Stability of Corn Oil-in-Water Emulsion, *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 39(6): 911.
 12. Arzeni, C., Martínez, K., Zema, P., Arias, A., Pérez, O.E., Pilosof, A. M. R. 2012. Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality, *Journal of Food Engineering*, 108 (3): 463-472
 13. Niu, F., Zhou, J., Niu, D., Wang, C., Liu, Y., Su, Y., Yang, Y. 2015. Synergistic effects of ovalbumin/gum arabic complexes on the stability of emulsions exposed to environmental stress, *Food Hydrocolloids*, 47, 14-20.
 14. Sun, C., Gunasekaran, S. 2009. Effects of protein concentration and oil-phase volume fraction on the stability and rheology of menhaden oil-in-water emulsions stabilized by whey protein isolate with xanthan gum, *Food Hydrocolloids*, 23(1): 165-174.
 15. Surh, J., Decker, E. A., McClements, D. J. 2006. Influence of pH and pectin type on properties and stability of sodium-caseinate stabilized oil-in-water emulsions, *Food Hydrocolloids*, 20(5): 607-618.
 16. Salehi, F., Kashaninejad, M. 2015. Static rheological study of Ocimum basilicum seed gum, *International Journal of Food Engineering*, 11(1): 97-103.
 17. Erçelebi, E. A., Ibanoglu, E. 2010. Effects of pectin and guar gum on creaming stability, microstructure and rheology of egg yolk plasma-stabilized emulsions, *European Food Research and Technology*, 231(2): 297-302.
 18. Huang, X., Kakuda, Y., Cui, W. 2001. Hydrocolloids in emulsions: particle size distribution and interfacial activity, *Food Hydrocolloids*, 15(4): 533-542.
 19. Tadros, T. 2004. Application of rheology for assessment and prediction of the long-term physical stability of

31. Steffe, J. F. 1996. Rheological methods in food process engineering. 2nd edition, Freeman press.
32. Taherian, A. R., Fustier, P., Ramaswamy, H. S. 2006. Effect of added oil and modified starch on rheological properties, droplet size distribution, opacity and stability of beverage cloud emulsions, *Journal of Food Engineering*, 77(3):687-696.
33. Diftis, N., Biliaderis, C., Kiosseoglou, V. 2005. Rheological properties and stability of model salad dressing emulsions prepared with a dry-heated soybean protein isolate-dextran mixture, *Food Hydrocolloids*, 19(6): 1025-1031.
- Effect of oil volume fraction, whey protein concentrate and Lepidium perfoliatum seed gum, *Food research international*, 50(1): 457-466.
29. Koocheki, A., Taherian, A.R., Bostan, A. 2013. Studies on the steady shear flow behavior and functional properties of Lepidium perfoliatum seed gum, *Food Research International* 50: 446-456.
30. Clark, A.H., Ross-Murphy, S.B. 1987. Structural and mechanical properties of biopolymer gels, *Advances in Polymer Science*, 83: 57-192.

(Original Research Paper)

The Effect of Egg White Albumin on the Rheological and Physiochemical Properties of Sunflower Oil Emulsion

Saeed Mir Arab Razi¹, Ali Motamed Zadegan^{2*}, Seyyed Ahmad Shahidi³, Ali Rashidi Nezhad⁴

- 1- Ph.D Graduated, Department. of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
- 2- Associate Professor., Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
- 3- Associate Professor, Department. of Food Science and Technology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.
- 4- Assistant Professor., Department of Food Science and Technology, Massey university, New Zealand.

Received:18/06/2018

Accepted:13/11/2018

Abstract

In emulsion-based food systems, the desired physical and rheological properties are essential for the storage and transportation of the products. Proteins with special emulsifier properties play a special role in the production of such products. In this study, egg white albumin at different concentrations (0.1 to 5% w/w) was used for the manufacture of oil in water emulsions and the effect of this protein on the physical and rheological behaviour of the manufactured emulsions was studied. The results showed that creaming behaviour of the emulsions did not occur at the concentrations of 3 and 5% of albumin during 21 days of storage at ambient temperature. The particle size was larger in the case of the emulsion containing the lowest amount of albumin (0.1%) compared to the other samples ($p < 0.05$). Zeta potential of the emulsion samples was in the range of -21 to -36 mV, representing the high physical stability of these systems. However, this parameter (zeta potential) was significantly lower in the case of the emulsion containing 5% albumin ($p < 0.05$). The results from the rheological analysis indicated that Carreau was the best model for describing flow behavior data. Zero shear viscosity was lower in the samples containing a lower amount of albumin (i.e., 0.1-1%). The shear-thinning behavior increased with increasing albumin concentration. The frequency sweep test demonstrated that storage modulus was higher than viscous modulus in all of the frequency ranges applied. The morphological investigations indicated a more homogeneous structure in the samples containing higher amounts of egg albumin. Overall, the findings of this study demonstrated that the presence of egg white albumin in the basic emulsion systems can improve their physical stability and the rheological properties.

Keywords: Albumin, Zeta Potential, Particle Size, Emulsion Stability, Rheological Properties.

*Corresponding Author: amotgan@yahoo.com