



بررسی اثر صمغ دانه ریحان بر روی پایداری، رفتار رئولوژیکی و اندازه ذرات امولسیون‌های ایزوله پروتئین آب پنیری

مهسا خرمی^۱، سید هاشم حسینی‌پرور^{۲*} و علی معتمدزادگان^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۲ استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۵/۰۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۸/۲۴

چکیده

در این پژوهش، خصوصیات امولسیون روغن در آب تثبیت شده با مخلوط ایزوله پروتئین آب پنیری (۰/۵ درصد وزنی-وزنی) و صمغ دانه ریحان (۰، ۰/۰۲، ۰/۰۸، ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد وزنی-وزنی) در شرایط pH خنثی مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تولید امولسیون از دستگاه مولد امواج فراصوت با قدرت ۱۵۰ وات و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز برای مدت زمان ۶ دقیقه استفاده شد و پایداری، خصوصیات رئولوژیکی، قطر متوسط، سطح مخصوص و توزیع اندازه قطرات امولسیون اندازه‌گیری گردید. نتایج پایداری به صورت ارزیابی چشمی نشان داد که بالاترین میزان خامه‌ایی شدن پس از بیست و هشت روز مربوط به امولسیون ۰/۳ درصد صمغ و پایین‌ترین میزان مربوط به امولسیون ۰/۱۵ درصد بود. نتایج رئومتری نشان داد که رفتار جریان کلیه نمونه‌ها غیرنیوتنی و از نوع روان شونده با برش بوده و بهترین مدل برای توصیف داده‌های تجربی حاصل برای گروه شاهد و امولسیون با غلظت ۰/۰۰۵ درصد صمغ، اسوالد و برای سایر غلظت‌ها، هرشل بالکلی بود. تغییرات غلظت تاثیر معنی‌داری بر اندیس جریان و ضریب قوام (مرتبط با ویسکوزیته) داشت. با افزایش غلظت صمغ، گراندروی و رفتار رقیق‌شوندگی افزایش یافت. در آزمون روبش فرکانس نتایج نشان داد که در مقادیر فرکانس‌های بالاتر نمونه فقط رفتار جریانی از خود نشان داده در صورتی که در مقادیر فرکانس پایین دارای هر دو رفتار جریانی و الاستیک بود. از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین تاثیر غلظت‌های مورد بررسی بر اندازه قطرات تا غلظت ۰/۳

* مسئول مکاتبه: s.h.hosseini@sanru.ac.ir

درصد در سطح اطمینان ۰/۰۵ درصد مشاهده نشد. در غلظت ۰/۳ درصد حضور بیش از حد مولکول‌های صمغ جذب نشده منجر به فلوکولاسیون تجمعی و افزایش معنی‌دار در اندازه قطرات گردید.

واژه‌های کلیدی: امولسیون، صمغ دانه ریحان، ایزوله پروتئین آب پنیری، توزیع اندازه ذرات، رئولوژی

مقدمه

در سیستم‌های غذایی یک جزء یا بیشتر از یک جزء به صورت پراکنده در جزء دیگر قرار گرفته‌اند به یک چنین سیستم‌های غذایی، دیسپرسیون گفته می‌شود. در این سیستم‌ها جزء پراکنده موسوم به فاز پراکنده یا غیر پیوسته و جزء یا قسمتی که اجزای پراکنده را در برمی‌گیرد، فاز پیوسته نامیده می‌شود. امولسیون یک دیسپرسیونی بوده که از دو مایع غیرقابل اختلاط (معمولا آب و روغن) تشکیل شده که یکی از مایعات به صورت قطرات کروی کوچک که معمولا قطر آنها بین ۰/۱ تا ۱۰۰ میکرون بوده در دیگری پراکنده شده است (مک کلمنتس، ۲۰۰۴). امولسیون‌ها بر طبق توزیع فضایی نسبی دو فاز آب و روغن، می‌توانند به انواع امولسیون‌های آب در روغن (W/O) (مارگارین و کره) و روغن در آب (O/W) (شیر، خامه و مایونز) طبقه‌بندی شوند. علاوه بر امولسیون‌های مرسوم ذکر شده، تهیه امولسیون‌های مضاعف نیز امکان‌پذیر است که به‌عنوان نمونه می‌توان به امولسیون‌های روغن در آب در روغن (O/W/O) و آب در روغن در آب (W/O/W) اشاره کرد (مک کلمنتس، ۲۰۰۴). امولسیون‌ها از لحاظ ترمودینامیکی سیستم‌های ناپایدار می‌باشند بنابراین با گذشت زمان تمایل به دو فاز شدن دارند. از لحاظ فیزیکی، یک امولسیون می‌تواند توسط خامه‌ایی شدن، فلوکوله شدن، کواگوله شدن و یا Ostwald ripening ناپایدار گردد (مک کلمنتس، ۲۰۰۴). اما این سیستم‌ها می‌توانند برای دوره‌های زمانی قابل توجه‌ایی از لحاظ سینتیک پایدار باشند. پایداری امولسیون عبارت است از توانایی یک امولسیون در جلوگیری از ایجاد هر گونه تغییر در خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن در طول زمان. به‌طورکلی تهیه یک امولسیون پایدار از لحاظ کینتیک در طی یک دوره زمانی (روز، هفته، ماه و...)، به‌وسیله افزودن استابیلایزرها یا پایدار کننده‌ها به محیط امولسیون امکان‌پذیر است. استابیلایزرها بسته به نوع عملکرد خود به دو دسته امولسیفایر و تعدیل کننده بافت تقسیم می‌شوند. به هرگونه ماده فعال در سطح که توانایی جذب در حد فاصل بین سطح روغن و آب را داشته و از قطرات امولسیون در مقابل تشکیل

توده حفاظت کند، امولسیفایر گویند. امولسیفایرها، مولکول‌های آمفیفیلیک با قسمت‌های لیپوفیلیک و هیدروفیلیک به صورت توام می‌باشند. در واقع امولسیفایری موثر است که کشش بین سطحی را بین سطح روغن و آب به سرعت کاهش داده و قطرات تازه شکل گرفته را در برابر فلوکوله شدن محافظت کند که این عمل محافظت، ابتدا از طریق اثر کشش سطحی دینامیکی (مکانیسم گیبس - مارانگونی) و بعد از آن از طریق تعاملات دافعه کلئیدی (مکانیسم‌های پایداری فضایی و الکترواستاتیک) انجام می‌شود (دیکینسون، ۱۹۹۲). در صورتی که یک امولسیفایر مناسب با غلظت مطلوب، به امولسیون افزوده شود لایه قوی و پایداری بر روی سطح قطرات ریز تازه تشکیل شده فاز پراکنده ایجاد شده که این لایه از بروز بهم چسبیدن و یکی شدن قطرات در هنگام برخورد آن‌ها با یکدیگر جلوگیری کرده و عدم ثبات امولسیون را به حداقل می‌رساند (دیکینسون، ۲۰۰۹). امولسیفایرهای زیادی به‌عنوان اجزای غذایی در دسترس بوده و هریک از آن‌ها خصوصیات منحصر به فرد خود را دارند (کریگ و اسپارسو، ۲۰۰۴). تاثیر یک امولسیفایر برای یک کاربرد خاص، تابع یک سری خصوصیات بوده که عبارتند از: حداقل مقدار لازم برای تولید یک امولسیون پایدار، توانایی آن برای تولید ذرات کوچک در طول هموژناسیون و توانایی آن در جلوگیری از تجمع ذرات در طول زمان. این خصوصیات به نوع غذایی که امولسیفایر در آن وجود دارد و به شرایط محیطی برای مثال قدرت یونی، نوع روغن، فعل و انفعالات بین اجزا، دما، هم‌زدن مکانیکی و pH بستگی دارد. مصرف امولسیفایرها در تولید انواع مواد غذایی از سال‌ها پیش متداول گردیده و با سرعت چشمگیری در حال توسعه و ترقی می‌باشد (اسمیتز و همکاران، ۱۹۹۶). متداول‌ترین امولسیفایرهای به‌کار برده شده در صنعت مواد غذایی، سورفاکتانت‌ها و بیوپلیمرهای آمفیفیلیک می‌باشند. این امولسیفایرها بسته به خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مولکولی خود از قابلیت‌های متفاوتی جهت تشکیل امولسیون و پایداری آن برخوردار هستند (دیکینسون، ۲۰۰۹). پروتئین‌های شیر و هیدروکلئیدها، بیوپلیمرهای فعال در سطح بوده که اغلب به‌عنوان امولسیفایر در مواد غذایی استفاده می‌شوند. پروتئین‌های شیر، به‌علت اهمیت تغذیه‌ای و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خود، ترکیبات کلیدی در اغلب مواد غذایی می‌باشند. این نوع از ترکیبات به‌عنوان امولسیفایر به‌فرم‌های شیرکامل، پروتئین‌های آب پنیر و کازئین‌ها در بسیاری از فرآورده‌های غذایی بر پایه امولسیون مانند نوشیدنی‌ها، دسرهای منجمد شده، بستنی، مکمل‌های ورزشی و سس سالاد به کار می‌روند. آن‌ها سبب تسهیل در تشکیل امولسیون و بهبود پایداری آن از طریق کاهش کشش سطحی و تشکیل یک غشای محافظ در اطراف گلبول‌های چربی می‌شوند.

آب پنیر یک محصول جانبی حاصل از تولید پنیر و کازئین بوده که حاوی مخلوطی از چندین پروتئین با ارزش تجاری می‌باشد و از نظر تغذیه‌ای و بیولوژیکی از جایگاه خوبی در مواد غذایی برخوردار است (اسمیتز و همکاران، ۱۹۹۶). پروتئین‌های آب پنیر به چندین فرم مختلف تولید و عرضه می‌گردند که معمولی‌ترین آن‌ها پروتئین آب پنیر ایزوله و پروتئین آب پنیر کنسانتره هستند. ایزوله پروتئین آب پنیری در مقایسه با پروتئین آب پنیر کنسانتره دارای غلظت‌های پروتئینی بیشتر و ناخالصی کمتری بوده و متعاقباً به دلیل انجام فرایندهای بیشتر بر روی آن، از لحاظ قیمت نیز گران‌تر می‌باشد (لیزاراگا و همکاران، ۲۰۰۸). واژه هیدروکلوئید معمولاً برای توصیف یک گروهی از پلی‌ساکاریدها و تعداد کمی از پروتئین‌ها (مخصوصاً ژلاتین) به کار می‌رود. هیدروکلوئیدها از منابع بسیار متنوعی مانند درختان، قسمت‌های مختلف گیاهان، جلبک‌های دریایی، بافت‌های حیوانی و منابع میکروبی به دست می‌آیند. یکی از نقش‌های کلیدی هیدروکلوئیدهای غذایی، کنترل ماندگاری امولسیون‌ها است. اغلب هیدروکلوئیدها می‌توانند به‌عنوان پایدارکننده امولسیون‌های روغن در آب (تعدیل‌کننده بافت) عمل کنند ولی تنها تعداد کمی از آن‌ها در نقش امولسیفایر فعالیت دارند. عملکرد اخیر نیازمند فعالیت سطحی قابل توجه در سطح بین فاز آب و روغن است (دیکینسون، ۲۰۰۳). کاربردی‌ترین امولسیفایرهای هیدروکلوئیدی در مواد غذایی عبارتند از: صمغ عربی، نشاسته اصلاح شده، سلولز اصلاح شده، انواعی از پکتین‌ها، برخی از گالاکتومانان‌ها و صمغ دانه ریحان.

ریحان یک گیاه یک‌ساله با شاخه‌های کوچک و آرومای مطلوب بوده که در ایران رشد می‌کند. دانه‌های این گیاه با موسیلاژ پوشانده شده و به‌عنوان پماد بر روی زخم استفاده می‌شوند. این گیاه در بسیاری از مناطق دنیا به‌خصوص مناطق گرمسیری آسیا، آفریقا و آمریکای جنوبی و مرکزی رشد می‌کند (شرمن، ۱۹۹۵؛ سیارینی و همکاران، ۲۰۰۹). دانه‌های ریحان در داروهای سنتی برای درمان بیماری‌های گوارشی استفاده می‌شود. علاوه بر این در ایران و بسیاری از مناطق آسیا در نوشیدنی‌ها (شربت) و دسرهای یخی (فالوده) به منظور ایجاد ظاهر مناسب و همچنین فیبر رژیمی به‌کار می‌رود. دانه ریحان به‌رنگ سیاه و به‌شکل بیضی بوده و دارای ابعادی به‌طول $3/11 \pm 0/29$ میلی‌متر و عرض $1/82 \pm 0/26$ میلی‌متر و ارتفاع $1/34 \pm 0/1$ میلی‌متر می‌باشد (حسینی‌پرور و همکاران، ۲۰۱۰). وقتی که دانه ریحان در آب خیسانده می‌شود به‌دلیل وجود مواد پلی‌ساکاریدی، پریکارپ بیرونی متورم شده و به یک ماده ژلاتین ماندنی تبدیل می‌شود (آزوما و ساکاموتو، ۲۰۰۳). تحقیقات نشان داده‌اند که پلی‌ساکارید استخراج شده از دانه ریحان شامل دو بخش اصلی گلوکومانان (۴۳ درصد) با اتصالات عرضی (۴→۱) و گزیلان

(۲۴/۲۹ درصد) و همچنین دارای بخش کوچکی از گلوکان (۲/۳۱ درصد) می‌باشد. علاوه بر این حضور آرابینو گالاکتان بسیار منشعب همراه با گلوکومانان و گزیلان گزارش شده است (آزوما و ساکاموتو، ۲۰۰۳).

در اکثر سیستم‌های غذایی پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها به‌عنوان اجزای اصلی ماده غذایی حضور داشته و پایداری کلی و ساختار این سیستم‌های غذایی نه فقط بستگی به خصوصیات فیزیکی-شیمیایی این ماکرومولکول‌ها داشته بلکه به ماهیت و قدرت فعل و انفعالات این اجزا نیز بستگی دارد (دیکینسون، ۱۹۹۸). در سال‌های اخیر پیشرفت بسیار خوبی برای درک متغیرهای مهم و برهم‌کنش‌هایی که پایداری فیزیکی، رئولوژی و بافت مخلوط‌های پروتئین و پلی‌ساکارید را کنترل می‌کنند، انجام گرفته است. کمپلکس‌های پروتئین-پلی‌ساکارید می‌توانند به‌عنوان عوامل ایجاد بافت، عوامل انکپسوله کننده، جایگزین چربی و پایدارکننده امولسیون‌ها و سیستم‌های پراکنده دیگر نقش مهمی را در مواد غذایی ایفا کنند. بنابراین این پژوهش درک درستی از تعامل‌های ایجاد شده بین پروتئین پلی‌ساکارید در محیط امولسیون را فراهم کرده و هدف آن استفاده بیشتر از پروتئین و پلی‌ساکارید به‌صورت توأم در امولسیون‌های غذایی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

روغن مایع گیاهی کانولا ساخت شرکت فامیلای ایران از فروشگاه محلی، سدیم آزاید از شرکت مرک آلمان، ایزوله پروتئین آب پنیری از شرکت فونترای نیوزلند و دانه ریحان از یک عطاری در مشهد خریداری شد. در مرحله استخراج صمغ و همچنین برای تهیه استوک‌ها و نمونه‌های امولسیون، از آب دیونیزه استفاده گردید.

برای استخراج صمغ، ابتدا دانه‌های ریحان به‌دقت تمیز شده و بعد از جداسازی ناخالصی‌ها به‌صورت دستی، دانه‌ها از الک عبور داده شدند تا گرد و غبار، سنگ‌ها و ضایعات موجود در آن‌ها جدا شوند. بر اساس روش رضوی و همکاران (۲۰۰۹) از دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، pH ۷، ۲۰ دقیقه زمان خیساندن و نسبت آب به دانه، ۱:۶۵ جهت استخراج صمغ استفاده شد. در مرحله اول استخراج، دانه‌ها در نصف مقدار آب دیونیزه لازم خیسانده و به‌مدت ۲۰ دقیقه تا متورم شدن کامل در بن ماری ۷۰ درجه سانتی‌گراد (همراه با هم‌زدن در فواصل کوتاه) گذاشته شدند. جداسازی صمغ از دانه‌های متورم به‌وسیله عبور دانه‌ها از استخراج‌کننده (پارس خزر p ۷۰۰) که سطح چرخان آن تراش خورده و صاف شده بود انجام گردید.

این صفحه چرخان موجب تراشیدن لایه صمغ سطح دانه می‌شود. صمغ جداسازی شده در این مرحله جمع‌آوری شده و مابقی صمغ چسبیده به دانه‌ها با غوطه‌ور کردن دانه‌ها در نصف آب باقی‌مانده و عبور دادن از اکستراکتور جدا شدند. در مرحله سوم بقیه آب اضافه شده و استخراج همانند مرحله دوم تکرار گردید. صمغ جمع‌آوری شده از مراحل مختلف با هم مخلوط شده و سپس از یک صافی پارچه‌ای (ازجنس حریر با منافذ بسیار ریز) با فشار گذرانده شد تا ذرات ریز و ناخالصی‌های موجود در آن کاملاً صاف شوند. سپس در ظروف یک بار مصرف با حجم مشخصی ریخته شده و به مدت ۷۲ ساعت در آون فن‌دار با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا کاملاً آب از دست داده و خشک شود. صمغ خشک شده در پایان کار جمع‌آوری و با آسیاب برقی پودر شده و در ظروف درب‌دار ریخته شده و تا زمان مصرف در یخچال نگهداری گردید.

برای تهیه محلول اصلی پروتئینی، از آب دیونیزه حاوی ۰/۰۳ درصد سدیم آزاید (جهت جلوگیری از رشد میکروب‌ها) استفاده شد. برای تهیه ۱۰۰ گرم محلول اصلی ایزوله پروتئین آب پنیری ۲۰ درصد وزنی- وزنی، ۲۰ گرم پودر پروتئین آب پنیری ایزوله به ۸۰ گرم آب دیونیزه در دمای اتاق به صورت تدریجی اضافه و با هم‌زن (IKIA, Rw20 digital) به مدت نیم ساعت با دور rpm ۳۰۰-۵۰۰ هم‌زده شد. سپس محلول تهیه شده، در یخچال در دمای ۴ درجه جهت هیدراته شدن کامل به مدت یک شبانه روز نگهداری گردید.

برای تهیه محلول اصلی صمغ ۱ درصد وزنی- وزنی، یک گرم پودر صمغ در ۹۹ گرم آب دیونیزه حاوی ۰/۰۳ درصد سدیم آزاید در حال هم‌زدن با هم‌زن مکانیکی با سرعت rpm ۱۲۰۰ حل گردید. محلول تهیه شده به مدت یک شب در حال هم‌زدن با هم‌زن مکانیکی جهت هیدراته شدن کامل قرار گرفته و سپس در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید.

برای تهیه امولسیون‌های روغن در آب با غلظت ثابت پروتئین (۰/۵ درصد وزنی- وزنی) و درصدهای مختلف صمغ دانه ریحان (۰ درصد، ۰/۰۰۵ درصد، ۰/۰۲ درصد، ۰/۰۸ درصد، ۰/۱۵ درصد و ۰/۳ درصد وزنی- وزنی) سیستم‌های مخلوط پروتئین و پلی‌ساکارید با وزن‌های معینی از محلول‌های اصلی و آب دیونیزه تهیه شده و به مدت ۱۵ دقیقه برای هم‌گن شدن کامل توسط مخلوط‌کن (IKIA, Rw20 digital) هم‌زده شدند. سپس فاز آبی تهیه شده به همراه فاز روغنی در بن ماری با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته تا دمای هر دو فاز به ۳۰ درجه برسد. در مرحله بعد فاز روغنی به فاز آبی اضافه

شده و مخلوط تهیه شده ابتدا با اولتراتوراکس^۱ (IKIA, T25 digital) به مدت ۱ دقیقه با دور ۹/۶۰۰ rpm و سپس توسط اولتراسوند (Sonoplus ultrasonic homogenizer, Bandelin, HD3200, Gr) با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و توان ۱۵۰ وات به مدت ۶ دقیقه هموژنیزه شدند. بعد از امولسیفیکاسیون، نمونه‌ها درون ظروف پلاستیکی استریل درب‌دار ریخته و در دمای محیط جهت انجام آزمایشات مربوطه قرار گرفتند. لازم به ذکر است که pH نهایی امولسیون در محدوده خنثی اندازه‌گیری شد. برای بررسی پایداری امولسیون، توانایی امولسیون‌کنندگی^۲ و میزان خامه‌ایی شدن^۳ اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری توانایی امولسیون‌کنندگی با استفاده از سانتریفیوژ طبق روش سارینی و همکارانش (۲۰۰۹) با کمی اصلاحات انجام گرفت بلافاصله پس از تهیه امولسیون، نمونه‌ها درون ظروف استریل مدرج شده ریخته و با دور ۲۵۰۰g به مدت ۵ دقیقه و دمای ۲۵ درجه سانتریفیوژ گردیدند سپس بر اساس حجم فازهای جدا شده، شاخص ویژگی امولسیون‌کنندگی اندازه‌گیری شد. تمام اندازه‌گیری‌ها دوبار انجام گرفتند.

$$ESI = \left(\frac{f_{EV}}{i_{EV}} \right) \times 100$$

در اینجا f_{EV} و i_{EV} به ترتیب حجم نهایی و حجم اولیه امولسیون است. سنجش میزان خامه‌ایی شدن امولسیون از طریق مشاهده ظاهری طبق روش وانگ و همکارانش (۲۰۱۰) با کمی اصلاحات انجام گرفت. در این روش بلافاصله پس از تهیه امولسیون، هر یک از نمونه‌ها را در درون ظروف استریل (با حجم مشخص) ریخته و پس از بستن درب آن‌ها به منظور جلوگیری از تبخیر، در یک محل ساکن با دمای ۲۵ درجه به مدت ۲۸ روز نگهداری شدند. بررسی پایداری و تفکیک نمونه‌های امولسیون در روزهای ۱، ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ ام با استفاده از معادله زیر محاسبه شد. تمام اندازه‌گیری‌ها دوبار انجام گرفتند.

$$CI = \left(\frac{H_S}{H_E} \right) \times 100$$

در اینجا H_S و H_E به ترتیب ارتفاع سرم و ارتفاع امولسیون می‌باشند. آزمون‌های رئولوژیک بوسیله دستگاه رئومتر MCR 301 ساخت شرکت آنتون پار^۴ آلمان و ژئومتر double gap در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، یک روز پس از تهیه امولسیون‌ها انجام شد. برای تنظیم دما،

- 1- Ultra- turax
- 2- Emulsion Stability Index
- 3- Creamin Index
- 4- Anton par

سیستم Peltier plate. مجهز به سیرکولاتور آب به کار گرفته شد. این آزمون‌ها شامل آزمون پایا و آزمون نوسانی (رویش فرکانس) بود. رفتار جریانی پس از ۵ دقیقه استراحت به صورت دوبرحله‌ای رفت s^{-1} $250 - 0/005$ و برگشت s^{-1} $250 - 0/005$ انجام گرفت.

برای انجام آزمون رویش فرکانس، ابتدا محدوده ویسکوالاستیک خطی تعیین و سپس این آزمون در محدوده خطی $\gamma=5\%$ و دامنه فرکانس $100 - 0/01$ هرتز انجام گردید. تمام اندازه‌گیری‌ها دوبار انجام گرفتند. نمودارها توسط نرم‌افزار رئوپلاس^۱ نسخه $3/2$ ثبت و در نرم‌افزار مینی‌تب رسم شدند. به منظور تعیین مدل مناسب برای رفتار جریانی، مدل‌های هرشل بالکلی^۲، کاسون^۳ و اسوالد^۴ بر داده‌های تجربی برازش داده شد و پارامترهای مدل مذکور برای کلیه نمونه‌ها تعیین و مدل هرشل بالکلی و مدل اسوالد به عنوان بهترین مدل بر اساس بالاترین R^2 و پایین‌ترین SD انتخاب گردیدند.

$$\tau = k \dot{\gamma}^n + \tau_0 \quad \text{مدل هرشل بالکلی}$$

$$\tau = k \dot{\gamma}^n \quad \text{مدل اسوالد}$$

k: ضریب قوام (pa. s)، n: اندیس جریان، τ_0 : تنش تسلیم (pa)

اندازه‌گیری متوسط قطر، توزیع اندازه و سطح مخصوص ذرات با کمک دستگاه سنجش اندازه ذرات (Mastersizer, 2000, MALVERN, usa) در روز اول و بیست و هشتم آماده‌سازی نمونه‌ها انجام شد. با ذکر این نکته که قبل از تزریق به دستگاه نمونه کاملاً همگن و اندازه‌گیری در دمای محیط انجام گردید. این دستگاه قطر ذرات را براساس تئوری Mie^۵ و از روی پراکنش اشعه محاسبه نموده و میانگین قطر را تحت عناوین عدد ساتر^۶ یا میانگین قطر سطح - وزن (d_{32})، عدد دبروکر^۶ یا میانگین قطر حجم - وزن (d_{43}) به دست می‌دهد. اسپان^۷ اندازه پهنای نمودار توزیع اندازه ذرات را نشان می‌دهد هر چه این نمودار باریک‌تر باشد عدد اسپان کوچک‌تر است و مقدار آن از فرمول زیر به دست می‌آید. سطح

-
- 1- Rheoplus
 - 2- Herschel- Balklley
 - 3- Casson
 - 4- Ostwald
 - 5- Sauter
 - 6- De Brouckere
 - 7- Span

مخصوص ذرات^۱ نیز بر حسب میلی‌متر مربع بر میلی‌لیتر از روی قطر متوسط به صورت ذیل محاسبه شد:

$$D_{32} = \frac{\sum nidi^3}{\sum nidi^2} \quad D_{43} = \frac{\sum nidi^4}{\sum nidi^3} \quad SSA = 6/D_{32} \quad \text{Span} = \frac{[d(v,90) - d(v,10)]}{d(v,50)}$$

ni تعداد قطرات با قطر di می‌باشند.

در این فرمول $d(v,0/1)$ و $d(v,0/9)$ به ترتیب نمایانگر ۱۰ درصد، ۵۰ درصد و ۹۰ درصد ذرات موجود با قطری کمتر از مقدار داده شده می‌باشند.

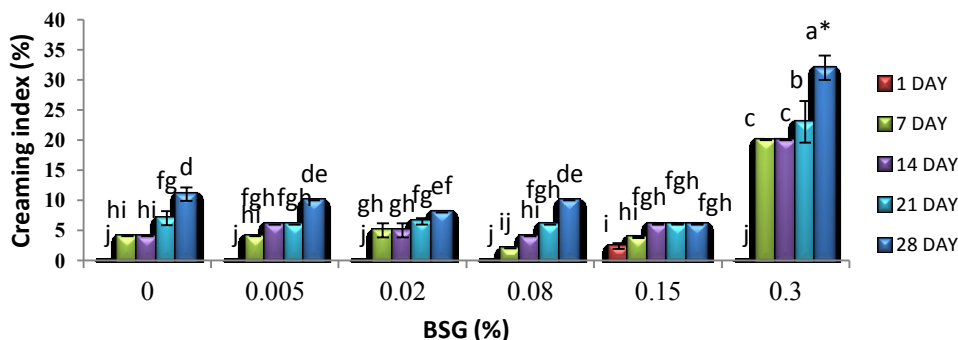
کلیه آزمایشات حداقل در دو تکرار و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شدند. برای تعیین بهترین مدل جهت توصیف داده‌های تجربی به دست آمده از آزمون‌های رئولوژی پایا، از روش رگرسیون استفاده شد و برای تعیین کیفیت برازش از R^2 (ضریب همبستگی) و SD (انحراف معیار) استفاده گردید. به منظور ارزیابی رفتار تیکسوتروپی (کاهش ویسکوزیته در اثر برش) میزان مساحت حلقه هیسترسیس^۲ که مساحت بین داده‌های تنش برشی رو به بالا^۳ و رو به پایین^۴ در منحنی رفتار جریان است، اندازه‌گیری و مقایسه گردید. آنالیز داده‌های رفتار جریان و مدلینگ و نیز محاسبه مساحت حلقه هیسترسیس توسط نرم‌افزار رئوپلاس^۵ ویرایش ۳/۲ انجام شد. نتایج اثر تیمارها بر صفات مختلف به صورت انحراف معیار \pm میانگین ارائه شد. آنالیز واریانس و نیز مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی^۶ و در سطح اطمینان ۹۵ درصد توسط نرم‌افزار مینی‌تب^۷ ویرایش ۱۶ انجام شد. برای ترسیم گراف‌ها نیز از نرم‌افزارهای مینی‌تب و اکسل ۲۰۰۷ استفاده شد.

نتایج و بحث

برای سنجش خامه‌ایی شدن و توانایی امولسیون‌کنندگی، در این قسمت شش نمونه امولسیون ۰/۵ درصد پروتئین با غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان (۰، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۲، ۰/۰۰۸، ۰/۰۱۵ و ۰/۳ درصد) در شرایط خنثی (pH=۶/۵) تهیه و میزان خامه‌ایی شدن آن‌ها در طول ۲۸ روز به صورت چشمی و با در

-
- 1- Surface special area
 - 2- Hysteresis Loop
 - 3- Upward
 - 4- Downward
 - 5- Rheoplus 3.2x, Anton Paar Germany GmbH
 - 6- Turkeys, Test
 - 7- Minitab 16, Minitab Inc., USA

نظر گرفتن خطای چشم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از سنجش خامه‌ایی شدن امولسیون در یک دوره زمانی بیست و هشت روز در شکل ۱ آورده شده است. داده‌ها میانگین حاصل از ۴ تکرار می‌باشند.

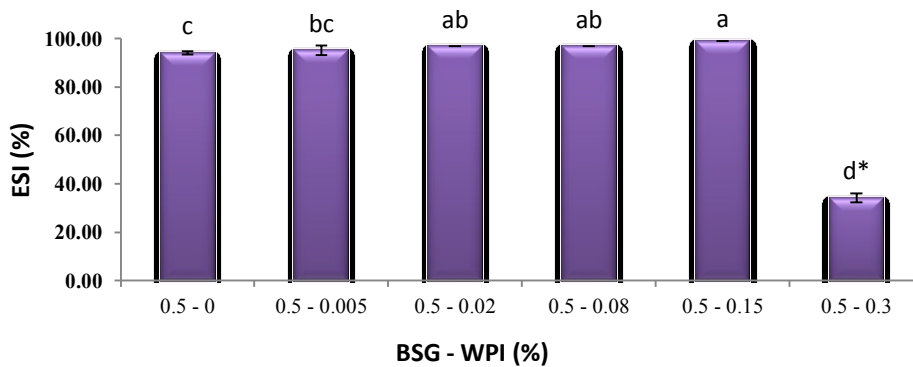


شکل ۱- اثر افزودن صمغ دانه ریحان بر روی میزان خامه‌ایی شدن امولسیون ایزوله پروتئین آب پنبیری. *حروف متفاوت نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف در سطح ($P < 0.05$) است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمامی نمونه‌ها به جز امولسیون حاوی غلظت ۰/۱۵ درصد صمغ بعد از گذشت یک روز از تولید، هیچ‌گونه نشانه‌ایی از خامه‌ایی شدن مشاهده نشده اما با گذشت زمان پدیده دوفازه شدن در سایر نمونه‌ها نیز اتفاق افتاده و بالاترین سرعت دوفازه شدن مربوط به امولسیون با غلظت ۰/۳ درصد صمغ می‌باشد. در روز هفتم بین گروه شاهد و غلظت‌های ۰/۰۰۵، ۰/۰۲ و ۰/۱۵ درصد و همچنین بین غلظت‌های ۰/۱۵ و ۰/۰۸ درصد و نیز بین گروه شاهد و غلظت‌های ۰/۰۸ و ۰/۰۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود نداشته در صورتی که بین غلظت ۰/۰۸ و ۰/۰۲ درصد و همچنین بین غلظت ۰/۳ درصد و بقیه غلظت‌ها اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

در روز چهاردهم و بیست و یکم تفاوت معنی‌داری بین گروه شاهد و غلظت‌های ۰/۰۰۵، ۰/۰۲، ۰/۰۸ و ۰/۱۵ درصد مشاهده نشده در صورتی که بین غلظت ۰/۳ درصد و بقیه غلظت‌ها اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در روز بیست و هشتم بین گروه شاهد و غلظت‌های ۰/۰۰۵ و ۰/۰۸ درصد و نیز بین غلظت‌های ۰/۰۰۵، ۰/۰۲ و ۰/۰۸ درصد و همچنین بین غلظت‌های ۰/۰۲ و ۰/۱۵ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده در صورتی که بین غلظت ۰/۰۲ درصد و گروه شاهد و نیز بین گروه شاهد و غلظت ۰/۱۵ درصد و همچنین بین غلظت ۰/۳ درصد و بقیه غلظت‌ها اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

نتایج خامه‌ای شدن امولسیون‌ها نشان می‌دهد که بعد از گذشت ۲۸ روز از تولید، بالاترین میزان خامه‌ایی شدن مربوط به امولسیون حاوی غلظت ۰/۳ درصد صمغ می‌باشد. از لحاظ آماری بین غلظت‌های ۰/۰۲ و ۰/۱۵ درصد (به استثنای روز اول) از نظر میزان خامه‌ایی شدن تفاوت معنی‌داری وجود نداشته با این وجود می‌توان گفت که به علت یکسان بودن سرعت دو فازه شدن امولسیون ۰/۱۵ درصد در روزهای ۱۴، ۲۱ و ۲۸ ام، این امولسیون از لحاظ سینتیک پایدارتر است. نتایج حاصل از سنجش توانایی امولسیون‌کنندگی بلافاصله پس از تهیه امولسیون در شکل ۲ آورده شده است. داده‌ها میانگین حاصل از ۴ تکرار می‌باشند.



شکل ۲- اثر افزودن صمغ دانه ریحان بر روی توانایی امولسیون‌کنندگی امولسیون ایزوله پروتئین آب پنبیری. *حروف متفاوت نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف در سطح ($P < 0.05$) است.

نتایج حاصل از بررسی اثر غلظت بر روی توانایی امولسیون‌کنندگی نشان می‌دهد که بین گروه شاهد و غلظت‌های ۰/۰۲، ۰/۰۸، ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد صمغ از نظر توانایی امولسیون‌کنندگی تفاوت معنی‌داری وجود داشته و کمترین توانایی مربوط به امولسیون ۰/۳ درصد صمغ و بیشترین توانایی مربوط به امولسیون‌های ۰/۰۲، ۰/۰۸ و ۰/۱۵ درصد صمغ می‌باشد. مطابق با نتایج به‌دست آمده در امولسیون‌های حاوی صمغ و پروتئین در حضور همه غلظت‌های صمغ جداسازی فازی در مدت زمان کوتاهی اتفاق افتاده که علت آن ناسازگاری ترمودینامیکی می‌باشد و این‌گونه می‌توان تفسیر کرد که در این سیستم‌های امولسیونی و در pH خنثی هر دو بیوپلیمر دارای بار منفی بوده و از این رو احتمالاً به‌دلیل عدم بر هم

کنش با یکدیگر منجر به جداسازی دو فاز سرمی و خامه‌ایی می‌شوند. در این ارتباط نتایج مشابهی توسط خالوفی (۲۰۰۸b) که تاثیر صمغ آبیونی حاصل از گیاه بزرک را بر پایداری نمونه‌های امولسیون‌های حاوی ایزوله پروتئین آب پنیری بررسی کرد، مشاهده شد. از آنجایی که بین گروه شاهد و غلظت‌های ۰/۰۲، ۰/۰۸، ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد صمغ از نظر توانایی امولسیون‌کنندگی تفاوت معنی‌داری وجود دارد بنابراین می‌توان تا حدودی حضور صمغ دانه ریحان در ناحیه بین سطحی را پیش‌بینی کرد. در واقع صمغ دانه ریحان پلی‌ساکاریدی آبیونی است که علاوه بر دارا بودن خاصیت پایدارکنندگی، دارای خاصیت امولسیفایری نیز می‌باشد. در سیستم‌های امولسیون‌های حاوی پروتئین - پلی‌ساکارید که به روش مخلوط^۱ (حضور توام پروتئین و پلی‌ساکارید به هنگام امولسیفیکاسیون) تهیه می‌شوند پلی‌ساکارید (در صورت داشتن خاصیت امولسیفایری) به دو روش می‌تواند در ناحیه بین سطحی حضور داشته و پایداری امولسیون را افزایش دهد: ۱- از طریق ایجاد کمپلکس ضعیف با قطعات پپتیدی پروتئین‌های اطراف گلبول‌های چربی (در صورت باردار بودن پلی‌ساکارید) ۲- رقابت با پروتئین‌ها و قرارگرفتن در ناحیه بین سطحی (تاناسوکارن و همکاران، ۲۰۰۶).

تعامل‌های باردار تنها زمانی اتفاق می‌افتند که پروتئین به‌طور کامل دارای بار منفی یا مثبت نباشد (اسمیت و همکاران، ۱۹۹۸). در بالاتر از نقطه ایزوالکتریک، پروتئین به‌طور کامل دارای بار منفی نبوده و تعدادی از قطعات پپتیدی آن هنوز دارای بار مثبت می‌باشند (کلین و همکاران، ۲۰۱۰). در این مقادیر از $pH > IEP$ ، پروتئین‌های اطراف گلبول‌های چربی می‌توانند با هیدروکلوئیدهای باردار واکنش داده و کمپلکس ضعیفی را تشکیل دهند که نه تنها کمپلکس حاصل رسوب نکرده بلکه ترکیبی است کلوئیدی که به‌مانند یک توده مولکولی بزرگ با خصوصیت بین سطحی و آمفیفیلیک عمل می‌کند.

در نمونه‌های امولسیون‌های تهیه شده با غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان به‌دلیل بالاتر بودن pH محیط از نقطه ایزوالکتریک پروتئین، صمغ آبیونی دانه ریحان از یک طرف با ایجاد کمپلکس ضعیف با قطعات پپتیدی پروتئین (دارای بار مثبت) و از طرف دیگر با حضور خود در ناحیه بین سطحی می‌تواند تا حدودی پایداری امولسیون را افزایش دهد. لازم به‌ذکر است که تایید حضور صمغ در ناحیه بین سطحی تنها از طریق اندازه‌گیری قطر قطرات امکان‌پذیر بوده و بدون بررسی روند تغییرات اندازه قطرات با غلظت صمغ نمی‌توان حضور صمغ را در ناحیه بین سطحی تایید کرد. البته نقش پایدارکنندگی

پلی ساکارید نیز در اعمال پایداری بسیار حائز اهمیت است. مابقی مولکول‌های آب دوست صمغ (که جذب پروتئین در ناحیه بین سطحی نشده و یا در رقابت پیروز نشده) وارد فاز آبی شده و با جذب آب سبب افزایش ویسکوزیته می‌گردند. ویسکوزیته بالا سبب کند شدن و به تعویق انداختن حرکت قطرات و در نتیجه کاهش سرعت دو فازه شدن می‌شود (وندین و هال، ۲۰۰۱).

تأثیر غلظت صمغ بر پایداری امولسیون نیز بسیار موثر می‌باشد. نتایج پایداری به‌روشنی نشان می‌دهد که با افزایش غلظت صمغ از ۰/۱۵ به ۰/۳ درصد پایداری به‌طور معنی‌داری کاهش یافته پس به‌نظر می‌رسد که غلظت ۰/۳ درصد همان غلظت بحرانی در پدیده تجمع تخلیه‌ای بوده که سبب ناپایداری امولسیون می‌گردد. در واقع حضور بیش از حد صمغ‌های اضافی (جذب نشده) عامل ناپایداری امولسیون ۰/۳ درصد صمغ می‌باشد. وقوع فلوکولاسیون تخلیه‌ای^۱ در فاز پیوسته امولسیون علاوه بر افزایش نیروی جاذب بین قطرات، به علت ایجاد فشار اسمزی در بین ذرات، باعث نزدیک شدن آن‌ها به یکدیگر شده در نتیجه علاوه بر فاز خامه‌ای، منجر به جدا شدن فاز سرمی هم می‌شود.

در جدول ۱ الف و ب کلیه پارامترهای بدست آمده از برازش مدل‌های اسوالد و هرشل بالکلی بر داده‌های تجربی مشاهده می‌شود. داده‌ها میانگین حاصل از ۲ تکرار می‌باشند. *حروف متفاوت در هر ردیف نشان دهنده معنی‌دار بودن اختلاف در سطح (P<۰/۰۵) است. این نتایج مربوط به یک روز پس از آماده‌سازی نمونه‌ها می‌باشد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر غلظت بر روی اندیس جریان و ضریب قوام (مرتبط با ویسکوزیته)، معنی‌دار بوده و با افزایش غلظت صمغ گرانیروی و رفتار رقیق‌شوندگی افزایش می‌یابد که می‌تواند به دلیل تشکیل شبکه و ساختار قوی‌تر در حضور غلظت بالاتر صمغ دانه ریحان باشد. به‌طوری‌که امولسیون حاوی ۰/۳ درصد صمغ دارای بالاترین ضریب قوام و پایین‌ترین اندیس جریان می‌باشد. نمودار جریان امولسیون نیز (شکل ۳) همین موضوع را تایید می‌کند. ماندلا و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که افزایش غلظت صمغ زانتان باعث افزایش ضریب قوام و کاهش اندیس جریان می‌شود. وانگ و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند که افزایش غلظت صمغ بذرتان سبب افزایش ویسکوزیته و رفتار رقیق‌شوندگی در امولسیون‌های تثبیت شده با ایزوله پروتئین سویا شد.

نشریه فرآوری و نگهداری مواد غذایی جلد (۵)، شماره ۲، ۱۳۹۲

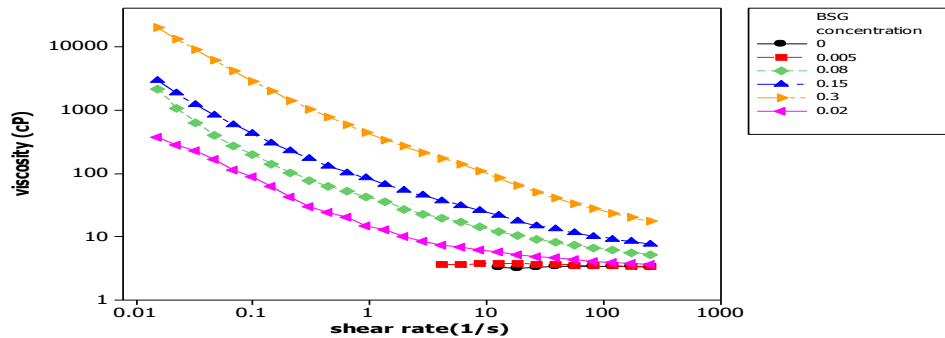
جدول ۱- میانگین و انحراف معیار برخی ویژگی‌های رئولوژیک پایا برای امولسیون با غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان

میزان هیستریسیس (pa/s)	تنش تسلیم (pa)y ₀	الفتیج (لفیج) قوام (pa.s)k	اندیس جریان n	نمونه (WPI% - BSG%)
۰/۱۹۰±۰/۱۵۶ ^c	-	۰/۰۰۳±۰/۰۰۰ ^d	۰/۹۹۳±۰/۰۰۳ ^{a*}	۰/۵ - ۰
۱/۵۱۰±۰/۲۲۶ ^c	-	۰/۰۰۴±۰/۰۰۱ ^d	۰/۹۶۲±۰/۰۳۸ ^a	۰/۵ - ۰/۰۰۵
۴/۰۰۵±۰/۲۷۶ ^d	۰/۰۰۶±۰/۰۰۰ ^b	۰/۰۰۸±۰/۰۰۱ ^{cd}	۰/۸۴۵±۰/۰۱۳ ^b	۰/۵ - ۰/۰۲
۸/۳۶۰±۰/۸۳۴ ^c	۰/۰۱۸±۰/۰۰۶ ^b	۰/۰۱۹±۰/۰۰۴ ^c	۰/۷۵۷±۰/۰۲۷ ^{bc}	۰/۵ - ۰/۰۸
۱۴/۱۵۵±۰/۶۱۵ ^b	۰/۰۳۶±۰/۰۰۳ ^b	۰/۰۴۵±۰/۰۰۷ ^b	۰/۶۶۶±۰/۰۳۰ ^c	۰/۵ - ۰/۱۵
۳۳/۸۳۰±۰/۲۲۶ ^a	۰/۲۵۶±۰/۰۲۴ ^a	۰/۱۷۱±۰/۰۰۱ ^a	۰/۵۷۱±۰/۰۰۱ ^d	۰/۵ - ۰/۳

(ب)

مدل انتخابی	SE	ضریب همبستگی R ²	نمونه (WPI% - BSG%)
اسوالد (قانون توان)	۰/۰۰۱	۰/۹۹۹	۰/۵ - ۰
اسوالد (قانون توان)	۰/۰۰۱	۰/۹۹۹	۰/۵ - ۰/۰۰۵
هرشل بالکلی	۰/۰۰۲	۰/۹۹۶	۰/۵ - ۰/۰۲
هرشل بالکلی	۰/۰۰۲	۰/۹۹۸	۰/۵ - ۰/۰۸
هرشل بالکلی	۰/۰۰۵	۰/۹۹۶	۰/۵ - ۰/۱۵
هرشل بالکلی	۰/۰۱۲	۰/۹۹۶	۰/۵ - ۰/۳

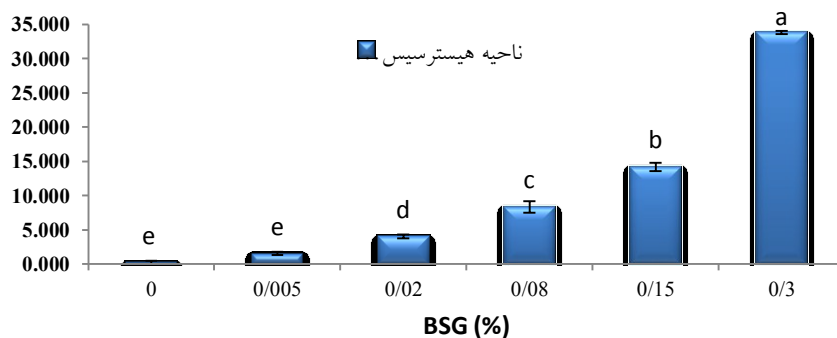
همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود رفتار جریان کلیه نمونه‌ها غیر نیوتنی و از نوع روان‌شونده با برش بوده و بهترین مدل برای توصیف داده‌های تجربی حاصل برای گروه شاهد و امولسیون با غلظت ۰/۰۰۵ درصد صمغ، اسوالد و برای سایر غلظت‌ها، هرشل بالکلی (به‌علت وجود تنش تسلیم) می‌باشد.



شکل ۳- رفتار جریان‌های امولسیون‌های ایزوله پروتئین آب پنبیری با غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان.

وجود ویسکوزیته بالا در فاز پیوسته امولسیون ۰/۳ درصد صمغ را می‌توان به وقوع پدیده فلوکولاسیون نقصانی (تخلیه‌ایی) نسبت داد. در اثر پدیده فلوکولاسیون تخلیه‌ایی بیش از حد و به دلیل ساختار شبکه‌ایی ایجاد شده، گرانیوی بالایی در فاز پیوسته ایجاد می‌شود که با در برگرفتن قطرات روغن فرایند جداسازی فاز به تاخیر می‌افتد (سان و همکاران، ۲۰۰۷). اما به نظر می‌رسد ویسکوزیته حاصل برای به تاخیر انداختن فرایند خامه‌ایی شدن کافی نبوده و به همین دلیل جداسازی اتفاق می‌افتد. مقایسه پایداری امولسیون‌ها نشان داد که با افزایش غلظت صمغ از صفر به ۰/۱۵ درصد پایداری امولسیون به ویژه بعد از ۲۸ روز نگهداری افزایش و سرعت خامه‌ایی شدن کاهش یافته است. علت ناپایداری امولسیون در غلظت‌های پایین صمغ را می‌توان به حرکت آزادانه قطرات روغن در سیستم نسبت داد. به گونه‌ایی که در غلظت‌های پایین صمغ نیروهای ضعیف ویسکوز در فاز آبی برای جلوگیری از برخورد قطرات روغن کافی نبوده و در اثر برخورد با یکدیگر منجر به تجمع قطرات می‌شوند (کوچکی و همکاران، ۲۰۰۹؛ سان و همکاران، ۲۰۰۷). اما با افزایش غلظت صمغ گرانیوی افزایش پیدا کرده زیرا هیدروکلئیدها اصولاً مولکول‌های آب دوست هستند که با حضورشان از طریق افزایش فضای آبی پیوسته اطراف قطرات فاز پراکنده و تثبیت آن‌ها در شبکه ژل مانند با ایجاد ممانعت فضایی، سرعت خامه‌ایی شدن را کاهش و در نتیجه پایداری امولسیون را افزایش می‌دهند (هانگ و همکاران، ۲۰۰۱). در واقع این ترکیبات با تغییر رفتار رئولوژیکی در نواحی بین قطرات روغن، سرعت جداسازی فاز را کنترل می‌کنند (گوزی و همکاران، ۲۰۰۴). بنابراین دلیل دیگر پایداری امولسیون ۰/۱۵ درصد صمغ را می‌توان به ویسکوزیته نسبتاً بالای فاز پیوسته آن در اثر حضور مولکول‌های صمغ در فاز آبی نسبت داد.

در بررسی رفتار جریانی امولسیون‌ها حلقه هیستریسیس هم مشاهده شد که نشان می‌دهد. نمونه‌ها علاوه بر دارا بودن رفتار رقیق‌شوندگی با برش دارای رفتار تیکسوتروپیک نیز می‌باشند. رضوی و کاراژیان در سال ۲۰۰۹ وجود حلقه هیستریسیس را در صمغ‌های ثعلب و دانه بالنگو گزارش نمودند. میزان هیستریسیس اندازه‌گیری شده نمونه‌ها در جدول ۱ الف آورده شده است. نتایج آنالیز واریانس میانگین مساحت حلقه هیستریسیس نمونه‌های امولسیونی با غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان نشان داد که نمونه‌ها در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارند. همانطور که در شکل ۴ مشخص است میزان هیستریسیس امولسیون ۰/۳ درصد صمغ به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر نمونه‌های امولسیونی می‌باشد. این پدیده احتمالاً در اثر جدا شدن فازی است. در واقع افزایش میزان شکست ساختار سبب تشدید رفتار وابسته به زمان می‌شود.



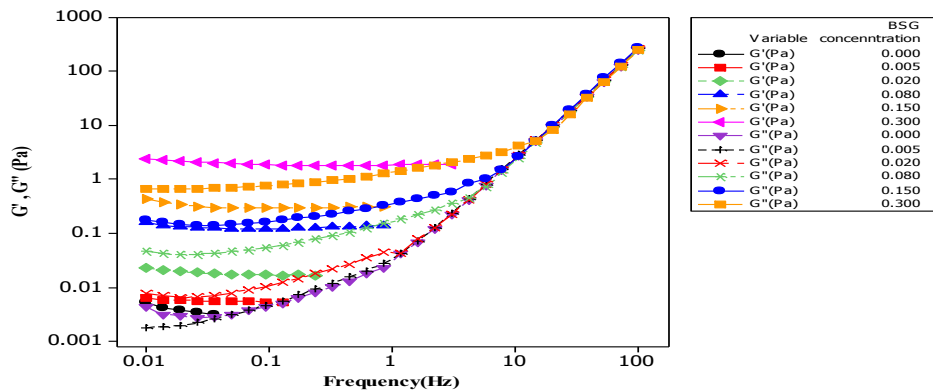
شکل ۴- اثر غلظت صمغ دانه ریحان بر مقادیر هیستریسیس.

*حروف متفاوت نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف در سطح $P < 0/05$ است.

در آزمون روبش فرکانس نتایج نشان داد که در مقادیر فرکانس‌های بالاتر نمونه تنها دارای رفتار جریانی بوده در صورتی که در مقادیر فرکانس پایین دارای هر دو رفتار جریانی و الاستیک می‌باشد. در تمامی نمونه‌ها در فرکانس‌های پایین، مدول ذخیره G' که نشان‌دهنده میزان رفتار الاستیک (جامد) می‌باشد، بالاتر از مدول اتلاف G'' است.

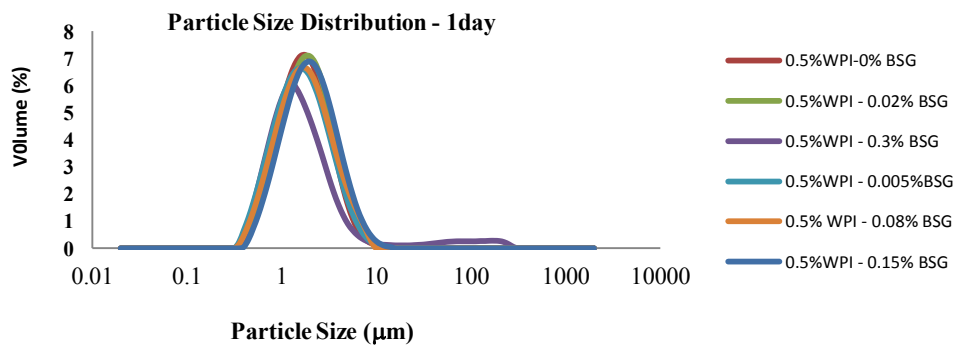
با افزایش غلظت صمغ هر دو مولفه الاستیک و ویسکوز به مقادیر بالاتری منتقل شده و خصوصیت الاستیک امولسیون‌ها با افزایش غلظت صمغ افزایش یافته که این هم می‌تواند به دلیل کنش‌های بیشتر

بین صمغ و اجزا امولسیون باشد (ماندالا و همکاران، ۲۰۰۴). شکل ۵ رفتار ویسکوالاستیک نمونه‌های امولسیونی را نشان می‌دهد.

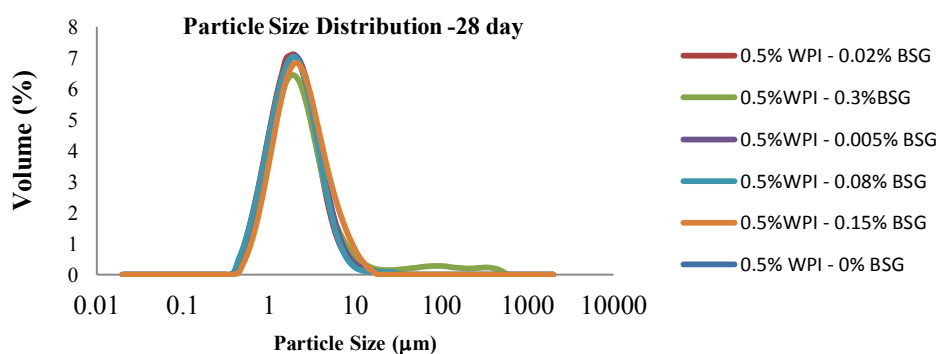


شکل ۵- رفتار ویسکوالاستیک امولسیون‌های ایزوله پروتئین آب پنیری با غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان.

بررسی شکل منحنی‌های توزیع اندازه قطرات نمونه‌های امولسیون دلالت بر این دارد که همگی آن‌ها به جز غلظت ۳ درصد صمغ از نوع مونومدال یا تک کوهانه بوده و توزیع اندازه ذرات به صورت نرمال می‌باشد (شکل ۶ و ۷). در طی ۲۸ روز نگهداری نمونه‌های امولسیون، منحنی‌های توزیع اندازه قطرات به تدریج به سمت راست تغییر مکان داده (اندازه قطرات بزرگتر شده) و متوسط قطر قطرات افزایش پیدا کرد.



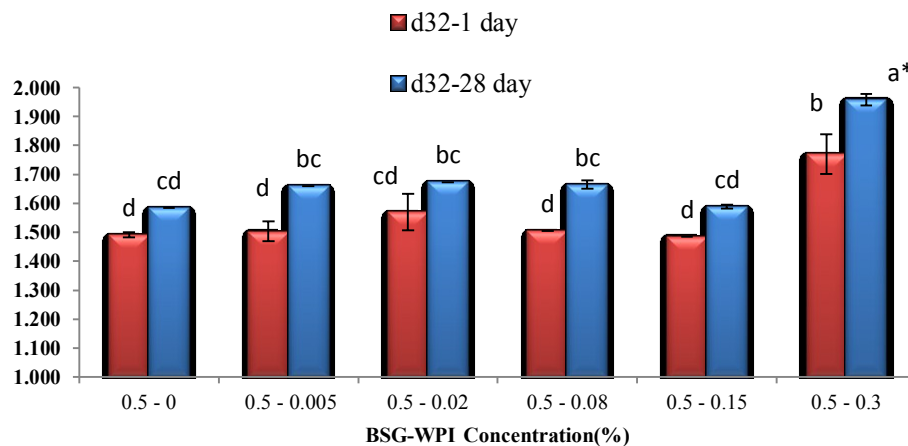
شکل ۶- منحنی توزیع اندازه قطرات نمونه امولسیون‌های حاوی غلظت ثابت پروتئین و غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان در روز اول.



شکل ۷- منحنی توزیع اندازه قطرات نمونه امولسیون‌های حاوی غلظت ثابت پروتئین و غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان در روز بیست و هشتم.

بررسی روند تغییرات اندازه قطرات با غلظت صمغ مشخص کرد که با افزایش غلظت صمغ از صفر به ۰/۰۲ درصد متوسط قطر گویچه‌ها افزایش یافته اما در بالاتر از این مقدار (تا غلظت ۰/۱۵ درصد) قطر ذرات شروع به کاهش نموده و دوباره با افزایش غلظت صمغ تا ۰/۳ درصد به‌طور چشمگیری اندازه قطرات افزایش یافته (شکل ۸) با این وجود از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین تاثیر غلظت‌های مورد بررسی بر اندازه قطرات در سطح اطمینان ۰/۰۵ درصد تا غلظت ۰/۳ درصد مشاهده نشد. خالوفی و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش دادند که افزودن صمغ بذر کتان تا غلظت ۰/۳۳ درصد بر روی اندازه ذرات امولسیون ایزوله پروتئین آب پنیری تاثیر معنی‌داری نداشت. عدم تفاوت معنی‌دار بین تاثیر غلظت‌های صمغ بر اندازه قطرات نشان‌دهنده حضور ناچیز صمغ دانه ریحان در ناحیه بین سطحی و میزان کم تعامل بین صمغ و پروتئین‌های کلونیدی (پروتئین‌های اطراف گلبول‌های چربی) می‌باشد. از طرف دیگر تاثیر معنی‌دار غلظت‌های صمغ بر روی ضریب قوام (مرتبط با ویسکوزیته) به‌روشنی نشان می‌دهد که مولکول‌های صمغ بیشتر از آنچه که نقش امولسیفایری داشته، به عنوان پایدارکننده در این امولسیون‌ها عمل کرده و با افزایش ویسکوزیته از طریق جذب آب سبب کند شدن سرعت جداسازی فازی شده اما در غلظت ۰/۳ درصد حضور بیش از حد مولکول‌های صمغ منجر به فلوکولاسیون تجمعی، ایجاد پیوند‌های عرضی بین قطرات، افزایش معنی‌دار در اندازه قطرات و به دنبال آن ناپایداری شدید در امولسیون

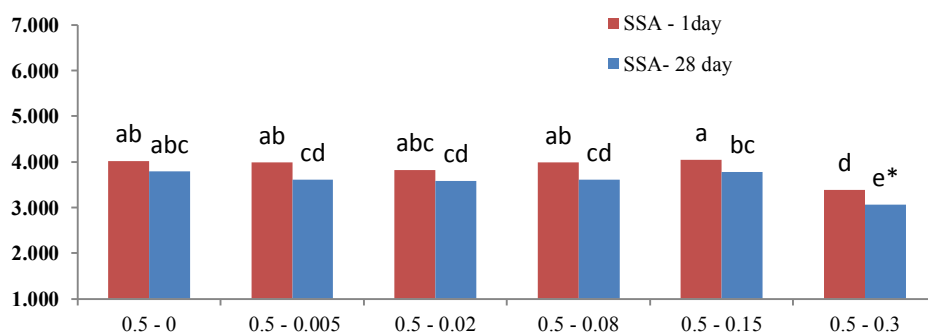
شده است. نتایج مشابهی توسط سان و همکارانش (۲۰۰۷) در رابطه با اثر صمغ زانتان بر پایداری نمونه‌های امولسیون حاوی ایزوله پروتئین آب پنیری گزارش شده است.



شکل ۸- تاثیر مقدار صمغ دانه ریحان بر متوسط اندازه ذرات (d₃₂)

*حروف متفاوت نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف در سطح (P<۰/۰۵) است.

نگاهی به توزیع اندازه قطرات (شکل ۶ و ۷) به روشنی نشان می‌دهد که در غلظت ۰/۳ درصد صمغ تغییرات چشمگیری در اندازه گویچه‌ها اتفاق افتاده به طوری که دو پیک در منحنی توزیع اندازه قطرات ایجاد شده است که نشان‌دهنده اندازه قطرات بزرگ است که در تسریع جداسازی فاز امولسیون تاثیرگذار می‌باشند. نتایج مربوط به تاثیر غلظت صمغ بر روی سطح مخصوص قطرات نیز در شکل ۹ آورده شده و همان‌طور که مشاهده می‌شود بعد از گذشت بیست و هشت روز، گویچه‌های چربی موجود در امولسیون حاوی ۰/۳ درصد صمغ مخصوص به مراتب کوچکتری نسبت به قطرات موجود در امولسیون‌های تهیه شده با سایر غلظت‌ها داشتند.



شکل ۹- تاثیر مقدار صمغ دانه ریحان بر سطح مخصوص ذرات
*حروف متفاوت نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف در سطح ($P < 0.05$) است.

علاوه بر این، نتایج بررسی اسپان منحنی‌های توزیع اندازه ذرات نمونه‌های امولسیون‌ی جدول ۲ بیانگر این است که کمترین درجه یکنواختی اندازه گویچه‌ها در روز اول و بیست و هشتم مربوط به امولسیون حاوی ۰/۳ درصد صمغ می‌باشد

جدول ۲- نتایج بررسی اسپان منحنی‌های توزیع اندازه ذرات نمونه‌های امولسیون‌ی.

روز بیست و هشتم	روز اول	غلظت صمغ دانه ریحان
۱/۸۵۷ ± ۰/۰۰	۱/۷۵۲ ± ۰/۰۳۵	۰ درصد
۱/۸۷۶ ± ۰/۰۰	۱/۹۱۲ ± ۰/۰۴۹	۰/۰۰۵ درصد
۱/۸۶۵ ± ۰/۰۰	۱/۷۷۱ ± ۰/۰۲۱	۰/۰۲ درصد
۲/۸۲۴ ± ۰/۰۳۶	۱/۹۹۳ ± ۰/۰۰۰	۰/۰۸ درصد
۲/۰۴۷ ± ۰/۰۵۵	۲/۱۱۹ ± ۰/۳۴۹	۰/۱۵ درصد
۳/۳۰۸ ± ۰/۲۰۲	۲/۷۶۸ ± ۰/۰۰۰	۰/۳ درصد

نتیجه‌گیری

امولسیون تهیه شده با صمغ دانه ریحان بهترین پایداری را در غلظت ۰/۱۵ درصد صمغ به دلیل افزایش ویسکوزیته نسبتاً بالای فاز پیوسته و محدود کردن حرکت قطرات روغن در امولسیون، طی نگهداری نشان داد. اما در غلظت ۰/۳ درصد صمغ به دلیل تاثیر حضور و غلظت صمغ در ایجاد

فلوکولاسیون تخلیه‌ایی یا نقصانی در مدت زمان کوتاه‌تری ناپایداری و جداسازی فازها مشاهده شد. داده‌های رئولوژیکی نشان دادند که رفتار جریان‌ی کلیه نمونه‌ها غیرنیوتنی و از نوع روان‌شونده با برش بوده و بهترین مدل برای توصیف داده‌های تجربی حاصل برای گروه شاهد و امولسیون با غلظت ۰/۰۵ درصد صمغ، اسوالد و برای سایر غلظت‌ها، هرشل بالکلی (به‌علت وجود تنش تسلیم) بود. اثر غلظت بر روی اندیس جریان و ضریب قوام (مرتبط با ویسکوزیته)، معنی‌دار بوده و با افزایش غلظت صمغ گرانیروی و رفتار رقیق‌شوندگی افزایش یافت. از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین تاثیر غلظت‌های مورد بررسی بر اندازه قطرات (به استثنای غلظت ۰/۳ درصد) در سطح اطمینان ۰/۰۵ درصد مشاهده نشد. عدم تفاوت معنی‌دار بین تاثیر غلظت‌های صمغ بر اندازه قطرات، نشان‌دهنده حضور ناچیز صمغ دانه ریحان در ناحیه بین سطحی و میزان کم تعامل بین صمغ و پروتئین‌های کلونیدی (پروتئین‌های اطراف گلبول‌های چربی) بود. تاثیر معنی‌دار غلظت‌های صمغ بر روی ضریب قوام (مرتبط با ویسکوزیته) به‌روشنی نشان داد که مولکول‌های صمغ بیشتر از آنچه که نقش امولسیفایری داشته، به عنوان پایدارکننده در این امولسیون‌ها عمل کرده و با افزایش ویسکوزیته از طریق جذب آب سبب کند شدن سرعت جداسازی فازی شده اما در غلظت ۰/۳ درصد حضور بیش از حد مولکول‌های صمغ سبب فلوکولاسیون تجمعی، ایجاد پیوندهای عرضی بین قطرات، افزایش معنی‌دار در اندازه آن‌ها و به‌دنبال آن منجر به ناپایداری شدید امولسیون گردید.

سپاسگزاری

این پژوهش در آزمایشگاه مرکز رشد واحدهای فن‌آوری طبهرستان انجام گرفته است. نویسندگان مقاله به‌دین وسیله از مدیریت و کارشناسان این مرکز قدردانی می‌نمایند.

منابع

- Azoma, J. and Sakamoto, M. 2003. Cellulosic hydrocolloid system present in seed of plants. *Trends in Glycoscience and Glycotechnology*, 15: 1–14.
- Dickinson, E. 1992. Introduction to Food Colloids, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Dickinson, E. 1998. Stability and rheological implications of electrostatic milk protein– polysaccharide interactions. *Trends in Food Science and Technology*, 9: 347–54.

- Dickinson, E., Radford, S.J. and Golding, M. 2003. Stability and rheology of emulsions containing sodium caseinate: combined effects of ionic calcium and non-ionic surfactant. *Food Hydrocolloids*, 16: 153-160.
- Dickinson, E. 2009. Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. *Food Hydrocolloids*, 23:1473-1482.
- Guzey, D., Kim, H.J. and McClement, D.J. 2004. Factors influencing the production of o/w emulsions stabilized by β -lactoglobulin-pectin membranes. *Food Hydrocolloids*, 18: 967-975
- Huang, X., Kakoda, Y. and Gui, W. 2001. Hydrocolloid in emulsions particle size distribution and interfacial activity. *Food Hydrocolloids*, 15: 533-542.
- Hosseini-Parvar, S.H., Matia-Merino, L., Goh, K.K.T., Razavi, S.A. and Mortazavi, S.M.A. 2010. Steady shear flow behavior of gum extracted from *Ocimum basilicum* L. seed: Effect of concentration and temperature. *Journal of Food Engineering*, 101: 236-243.
- Krog, N.J. and Sparso, F.V. 2004. Food Emulsifiers: Their chemical and physical properties. In S. Friberg, K. Larsson and J. Sjoblom (Eds.), *Food emulsions* (p141). New York: Marcel Dekker.
- Khalloufi, S., Corredig, M., Goff, H.D. and Alexander, M. 2008a. Flaxseed gums and their adsorption on whey protein-stabilized oil- in- water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 23:611-618.
- Khalloufi, S., Alexander, M., Goff, H.D. and Corredig, M. 2008b. Physicochemical properties of whey protein isolates stabilized oil- in water emulsion when mixed with Flaxeed gums at natural pH. *Food Hydrocolloids*, 23:611-618.
- Klein, M., Aserin, A., Svitov, I. and Garti, N. 2010. Enhanced stabilization of cloudy emulsions with gum Arabic and whey protein isolate. *Colloids and Surfaces B: Bio interfaces*, 77:75-81.
- Koocheki, A., Mortazavi, S.A., Shahidi, F., Razavi, S.M.A. and Taherian, A.R. 2009. Rheological properties of mucilage extracted from *Alyssum homolocarpum* seed as a new source of thickening agent. *Journal of Food Engineering*, 91: 490-496.
- Lizarraga, M.S., Pan, L.G., Anon, M.C. and Santiago, L.G. 2008. Stability of concentrated emulsions measured by optical and rheological methods. Effect of processing conditions-I. Whey protein concentrate. *Food Hydrocolloids*, 22: 868-878.
- McClements, D.J. 2004. *Food Emulsions Principles, Properties and Techniques*. Boca Raton, FL: CRC Press. 632P.
- Mandala, I.G., Savvas, T. P. and Kostaropoulos, A. E 2004. Xanthan and locust bean gum influence on the rheology and structure of a white model-sauce, *Journal of Food Engineering*, 64: 335-342.
- Razavi, S.M.A., Mortazavi, S.A., Matia-Merino, L., Hosseini-Parvar, S.H., Motamedzadegan, A. and Khanipour, E. 2009. Optimization study of gum

- extraction from Basil seeds (*Ocimum basilicum* L.). *International Journal of Food Science & Technology*, 44: 1755–1762
- Razavi, S.M.A. and Karazhiyan, H. 2009. Flow properties and thixotropy of selected hydrocolloids: Experimental and modeling studies. *Food Hydrocolloids*, 23: 908-912.
- Schmitt, C., Sanchez, C., Desobry-Banon, S. and Hardy, J. 1998. Structure and techno functional properties of protein-polysaccharide complexes: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38: 689–753.
- Sherman, P. 1995. A critique of some methods proposed for evaluating the emulsifying capacity and emulsion stabilizing performance of vegetable proteins. *Italian Journal of Food Science*, 1: 3-10
- Smithers, G.W., Ballard, F.J., Copeland, A.D., De Silva, K.J., Dionysius, D.A. and Francis, G.L. 1996. Symposium: advances in dairy foods processing and engineering. *Journal of Dairy Science*, 79:1454-9.
- Sun, C., Gunasekaran, S. and Richards, M.P. 2007. Effect of xanthan gum on physicochemical properties of whey protein isolate stabilized oil-in-water emulsion. *Food Hydrocolloids*, 21: 555–564
- Sciarini, L.S., Maldonado, F., Ribotta, P.D., Perez, G.T. and Leon, A.E. 2009. Chemical composition and functional properties of Gleditsia triacanthos gum. *Food Hydrocolloids*, 23: 306–313.
- Thanasukarn, P., Pongsawatmanit, R. and McClements, D.J. 2006. Utilization of layer-by-layer interfacial deposition technique to improve freeze-thaw stability of oil-in-water emulsions. *Food Research International*, 39: 721–729
- Wendin, K., Hall, G. 2001. Influences of fat, thickener, and emulsifier contents on salad dressings: static and dynamic sensory and rheological analyses. *Food Science and Technology*, 34:222-231
- Wang, B., Li, D., Wang, L.J., and Ozkan, N. 2010. Effect of concentrated flaxseed protein on the stability and rheological properties of soybean oil-in-water emulsions. *Journal of Food Engineering*, 96: 555–561.
- Wang, Y., Li, D., Wang, L.J. and Adhikari, B. 2011. The effect of addition of flaxseed gum on the emulsion properties of soybean protein isolate (SPI). *Journal of Food Engineering*, 104:56-62.

The influence of Basil seed gum concentration on the stability, particle size and rheological properties of oil-in- water emulsion stabilized by whey protein isolate

M. Khorrami¹, S.H. Hosseini-Parvar² and A. Motamedzadegan³

¹M.Sc Student, Department of Food Science and Technology, Sari University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Iran, ^{2,3}Assistant Prof., Dept. of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Abstract

In this study the effect of Basil seed gum (BSG) concentration (0%, 0.005%, 0.02%, 0.08%, 0.15% and 0.3% w/w) on the stability, particle size distribution and rheological properties of O/W emulsion stabilized by whey protein isolate (0.5% w/w) was investigated at neutral pH. The emulsion prepared by using a sonicator with a nominal power output of 150 W and an operating frequency of 20 kHz. Sonication of samples was carried out in a temperature-controlled chamber at a constant temperature of 20 °C for 6minutes. The results of stability showed that after 28 days the highest and the lowest creaming index was related to the emulsion with 0.3% and 0.15% Basil seed gum (w/w), respectively. Rheological data showed that all model emulsions exhibit non-Newtonian shear–thinning flow behaviors ($n < 1$). The best model for emulsions without and with 0.005% Basil seed gum (w/w) was Ostwald and for the another emulsions was Herschel–Balkley. The consistency coefficient k , which is a reflection of the viscosity, has been significantly increased with the increasing gum concentration. The flow behavior index n , which indicates the extend of shea-thining behavior is decreased by the increase in Basil seed gum concentration. The results of frequency sweep experiments showed that at low frequency, all emulsions indicated both viscous(G'') and elastic (G') behavior but at high frequency all emulsions only indicated a viscous behavior The results of particle size distribution showed that the addition of Basil seed gum up to 0.3% had no significant effect on the particle size. At 0.3% concentration, over presence non adsorbed polysacharid result in depletion fluccolation and significant increase in particle size

Keywords: Basil seed gum, Whey protein isolate, Creaming, Rheology, Particle size distribution

*Corresponding author; s.h.hosseini-parvar@sanru.ac.ir

