



## بررسی اثر صمغ دانه ریحان بر پایداری، رفتار رئولوژیکی و اندازه ذرات امولسیون‌های تثبیت شده با کازئینات سدیم

مهسا خرمی<sup>۱\*</sup>، سیدهاشم حسینی‌پرور<sup>۲</sup>، علی معتمدزادگان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری  
<sup>۲</sup> پژوهشگر فوق دکتری، گروه تکنولوژی مواد غذایی، انستیتو غذا، تغذیه و سلامت انسان، دانشگاه مسی، نیویورک  
<sup>۳</sup> گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۲/۱۶

### چکیده

**سابقه و هدف:** امولسیون‌ها از اختلاط دو مایع غیرقابل امتزاج (معمولاً آب و روغن) تشکیل می‌شوند که یکی از مایعات به صورت قطرات کروی کوچک با قطر ۰/۱ تا ۱۰۰ میکرون در دیگری پراکنده شده است. امولسیون‌ها به علت تماس نامطلوب بین مولکول‌های آب و روغن از لحاظ ترمودینامیکی سامانه‌های ناپایداری می‌باشند. پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها زیست پلیمرهای طبیعی هستند که به صورت گسترده در بسیاری از کلوئیدهای غذایی و امولسیون‌ها به کار می‌روند. تعامل بین پروتئین‌ها و هیدروکلوئیدها می‌تواند نقش مهمی در ساختار و پایداری امولسیون‌ها ایفا نماید. پروتئین سدیم کازئینات به علت ویژگی‌های تغذیه‌ای و عملکردی بالا به طور گسترده در پایداری و تشکیل امولسیون‌های غذایی استفاده شده است. ریحان با نام علمی *ocimum basilicum* گیاهی دارویی با رشد گسترده در سطح ایران و هند است. صمغ دانه ریحان به عنوان جزء پایدارکننده و قوام دهنده از پتانسیل کاربردی بالایی در صنایع غذایی برخوردار می‌باشد. لذا هدف از پژوهش حاضر بررسی ویژگی‌های امولسیفایری صمغ دانه ریحان به هنگام افزودن به امولسیون پایدار شده با کازئینات سدیم و همچنین بررسی اثر صمغ دانه ریحان بر ویژگی‌های رئولوژیکی، پایداری و اندازه ذرات امولسیون‌های پایدار شده با کازئینات سدیم است.

**مواد و روش‌ها:** جهت بررسی اثر صمغ دانه ریحان بر رفتار امولسیون‌های پایدار شده با سدیم کازئینات، نمونه‌های امولسیونی با غلظت ثابت کازئینات سدیم (۰/۵ درصد وزنی - وزنی) و غلظت‌های مختلف از صمغ دانه ریحان (۰، ۰/۰۰۵، ۰/۰۲، ۰/۰۸، ۰/۱۵، ۰/۳، ۰/۵ درصد وزنی - وزنی) در شرایط pH خنثی (۶/۵) تهیه شدند. به منظور تولید امولسیون از دستگاه مولد امواج فراصوت با قدرت ۱۵۰ وات و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز برای مدت زمان ۶ دقیقه استفاده شد. میزان خامه‌ای شدن امولسیون از طریق مشاهده ظاهری، ویژگی‌های رئولوژیکی به وسیله دستگاه رئومتر MCR301، متوسط قطر، توزیع اندازه، اسپان و سطح مخصوص ذرات با کمک دستگاه مستر سایزر مدل ۲۰۰۰ اندازه‌گیری شد.

**یافته‌ها:** نتایج پایداری (به صورت ارزیابی چشمی) امولسیون‌ها پس از بیست و هشت روز نگهداری نشان داد بالاترین میزان خامه‌ای شدن مربوط به امولسیون حاوی ۰/۳ درصد صمغ دانه ریحان و پایین‌ترین میزان مربوط به امولسیون‌های حاوی ۰/۰۸ و ۰/۱۵ درصد صمغ دانه ریحان بود. بر اساس نتایج رئومتری رفتار جریان‌ی کلیه نمونه‌ها غیرنیوتنی و از نوع رقیق‌شونده با برش

\*مسئول مکاتبه: [mahsa\\_khorrami2009@yahoo.com](mailto:mahsa_khorrami2009@yahoo.com)

بوده و بهترین مدل برای توصیف داده‌های تجربی حاصل برای گروه شاهد و امولسیون‌های حاوی غلظت‌های ۰/۰۵ و ۰/۰۲ درصد صمغ دانه ریحان، مدل استوالد و برای سایر غلظت‌ها مدل هرشل بالکی بود. تغییرات غلظت تأثیر معنی‌داری بر اندیس جریان و ضریب قوام (مرتبط با ویسکوزیته) داشت. با افزایش غلظت صمغ، گرانروی و رفتار رقیق‌شوندگی افزایش یافت. نتایج آزمون روبش فرکانس نشان داد نمونه در مقادیر فرکانس‌های بالاتر فقط رفتار جریانی از خود نشان داد؛ در صورتی‌که در مقادیر فرکانس پایین دارای هر دو رفتار جریانی و الاستیک بود. تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های مورد بررسی بر اندازه قطرات تا غلظت ۰/۳ درصد مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ). در غلظت ۰/۳ درصد به دلیل حضور بیش از حد مولکول‌های صمغ جذب نشده فلوکولاسیون تجمع‌ی و افزایش معنی‌دار در اندازه قطرات مشاهده گردید.

**نتیجه‌گیری کلی:** نتایج نشان داد که صمغ دانه ریحان در غلظت‌های پایین (۰/۰۸ و ۰/۱۵ درصد) توانایی تشکیل امولسیون با اندازه قطرات کوچک و همچنین مقاوم در برابر تفکیک فازی را دارد و می‌تواند به عنوان یک هیدروکلوئید فعال در نظر گرفته شود.

**واژه‌های کلیدی:** امولسیون، صمغ دانه ریحان، کازئینات سدیم، توزیع اندازه ذرات، رئولوژی

### مقدمه

این پژوهش از هموژنایزر فراصوت جهت تهیه امولسیون روغن در آب استفاده شد.

امولسیون‌ها از لحاظ ترمودینامیکی سیستم‌های ناپایدار می‌باشند و لذا با گذشت زمان تمایل به دو فاز شدن دارند. اما این سیستم‌ها می‌توانند برای دوره‌های زمانی طولانی از لحاظ سینتیک پایدار باشند. برای ایجاد امولسیون با پایداری بلندمدت نیاز به استفاده از عوامل امولسیون‌کننده و پایدارکننده می‌باشد (۴). به همین دلیل اغلب در فرمولاسیون سیستم‌های امولسیونی این دو ترکیب وجود دارند (۶) و اکثر فرآورده‌های غذایی حاوی درشت مولکول‌هایی از جمله پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها می‌باشند که برهمکنش بین آن‌ها نقش مهمی را در سیستم‌های غذایی بازی می‌کنند (۲۳).

امولسیفایرها مولکول‌های دوگانه‌دوست با قسمت‌های چربی‌دوست و آبدوست به صورت توأم می‌باشند. در واقع امولسیفایری موثر است که کشش بین سطحی<sup>۲</sup> را بین سطح روغن و آب به سرعت کاهش داده و قطرات تازه شکل گرفته را در برابر فلوکوله شدن محافظت کند. متداول‌ترین

امولسیون‌ها سیستم‌های کلوئیدی ناهمگنی هستند که از اختلاط دو مایع غیرقابل امتزاج (معمولاً آب و روغن) تشکیل می‌شوند که یکی از مایعات به صورت قطرات کروی کوچک که معمولاً قطر آنها بین ۰/۱ تا ۱۰۰ میکرون بوده در دیگری پراکنده شده است (۱۶). امروزه امواج فراصوت از روش‌های مهم برای تهیه امولسیون‌ها می‌باشند. در این روش امواج صوتی با فرکانس بالا (۵۰-۱۸ کیلوهرتز) نیروی برشی قوی و گرادیان فشار در داخل ماده ایجاد کرده و قطرات به‌علت کاویتاسیون و اثرات توربولانت شکسته شده و امولسیون تشکیل می‌گردد.

در تحقیق آبیسمای و همکاران (۱۹۹۸) مشخص شد که کارایی امواج صوتی به‌مراتب بیش از روش‌های مکانیکی متداول است (۱)؛ به‌طوری‌که می‌توان اندازه قطرات را تا حد ۰/۳ میکرون کاهش داد. با توجه به توانایی فرایند فراصوت<sup>۱</sup> در کاهش اندازه قطرات فاز پراکنده امولسیون‌ها و تأثیر قابل توجه اندازه قطرات روغن بر پایداری امولسیون‌ها، در

دانه ریحان (*Ocimum basilicum*) حاوی مقادیر زیادی هیدروکلوئید با خواص رئولوژیکی مهم و قابل مقایسه با سایر هیدروکلوئیدهای تجاری است. دانه ریحان رنگ سیاه و بیضی شکل بوده و ابعادی به طول ۳/۱۱±۰/۲۹، عرض ۱/۸۲±۰/۲۶ و ارتفاع ۱/۳۴±۰/۱ میلی‌متر دارد. هیدروکلوئید دانه این گیاه ساختار هتروپلی‌ساکارییدی شامل گلوکومانان، زایلان و گلوکان دارد (۹). پژوهش‌های زیادی برای بررسی نقش پایدارکنندگی صمغ‌ها در امولسیون‌ها صورت گرفته است که می‌توان به مواردی چون تأثیر و کاربرد صمغ دانه ریحان و دانه مرو بر ویژگی‌های حسی و پایداری سس مایونز (۱۸)، تأثیر دو گونه صمغ کتیرا بر پایداری و برخی ویژگی‌های رئولوژیکی امولسیون روغن در آب (۱۰) و بررسی اثر صمغ قدومه شهری بر ویژگی امولسیون روغن در آب تولید شده با امواج فراصوت (۲۴) اشاره کرد.

بررسی منابع علمی تخصصی حاکی از این است که تاکنون گزارشی از سیستم‌های امولسیونی متشکل از کازئینات سدیم و صمغ دانه ریحان منتشر نشده است. از این رو در این پژوهش ویژگی‌های امولسیون روغن در آب تثبیت شده با کازئینات سدیم و صمغ دانه ریحان و تأثیر عواملی نظیر غلظت صمغ و برهمکنش پروتئین- پلی‌ساکارید بر ویژگی‌های رفتاری، رئولوژیکی و اندازه قطرات روغن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### مواد و روش‌ها

**مواد اولیه:** روغن مایع گیاهی کانولا ساخت شرکت فامیلای ایران از فروشگاه محلی، سدیم آزاید از شرکت مرک آلمان، کازئینات سدیم از شرکت فونترا (ALANATE 180, New Zealand Dairy Board, )

امولسیفایرهای مورد استفاده در صنعت مواد غذایی، سورفکتانت‌ها و بیوپلیمرهای دوگانه دوست می‌باشند. این امولسیفایرها بسته به ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مولکولی خود از قابلیت‌های متفاوتی جهت تشکیل امولسیون و پایداری آن برخوردار هستند (۶). پروتئین‌های شیر به علت اهمیت تغذیه‌ای و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی از ترکیبات کلیدی در اغلب مواد غذایی می‌باشند. این پروتئین‌ها سبب تسهیل در تشکیل امولسیون و بهبود پایداری آن از طریق کاهش کشش سطحی و تشکیل غشای محافظ در اطراف گلبول‌های چربی می‌شوند (۲۷).

کازئین‌ها گروه خاصی از پروتئین‌های شیر بوده که تقریباً به صورت ذرات کروی شکل به نام میسل رویت می‌شوند. سدیم کازئینات به عنوان امولسیفایر متداول در صنایع غذایی به کار می‌رود. این پروتئین با اسیدی کردن کازئین تا pH برابر با ۴/۶ و تعدیل دوباره pH به ۶/۷ توسط هیدروکسید سدیم تهیه و سپس پروتئین حاصل پاستوریزه و توسط خشک‌کن پاششی<sup>۱</sup> خشک می‌گردد (۱۲).

هیدروکلوئیدها بیوپلیمرهای آبدوست با وزن مولکولی بالا هستند که برای کنترل و بهبود ویژگی‌های عملکردی فراورده‌های غذایی به کار می‌روند. توانایی هیدروکلوئیدها در افزایش ویسکوزیته، سبب کاربرد آن‌ها به عنوان پایدارکننده امولسیون شده؛ بطوریکه با افزایش ویسکوزیته از رسوب ذرات و خامه‌ای شدن قطرات جلوگیری می‌کنند. اغلب هیدروکلوئیدها می‌توانند به عنوان پایدارکننده امولسیون‌های روغن در آب (تعدیل کننده بافت) عمل کنند ولی تنها تعداد کمی از آن‌ها در نقش امولسیفایر فعالیت دارند (۴).

### 1. Spray drying

Wellington) و دانه ریحان از یک فروشگاه محلی در مشهد خریداری شد.

**استخراج صمغ دانه ریحان:** استخراج صمغ بر اساس روش رضوی و همکاران (۲۰۰۹) انجام گرفت (۲۱). 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 (BF 400E) با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا کاملاً خشک شود. صمغ خشک شده جمع‌آوری و با آسیاب برقی مولینکس پودر، در ظروف درب‌دار ریخته شده و تا زمان مصرف در جای خشک و خنک نگهداری گردید. در مرحله استخراج صمغ و همچنین برای تهیه استوک‌ها (محلول اصلی) و نمونه‌های امولسیون از آب دیونیزه استفاده گردید.

**تهیه محلول صمغ و پروتئین:** جهت جلوگیری از رشد میکروب‌ها در تهیه محلول اصلی پروتئینی با ۱۰ درصد وزنی پروتئین سدیم کازئینات از آب دیونیزه حاوی ۰/۰۳ درصد سدیم آزاید استفاده شد. پودر پروتئین به‌صورت تدریجی اضافه و با هم‌زن مکانیکی (IKIA, Rw20 digital) به‌مدت نیم ساعت با دور ۳۰۰-۵۰۰ دور بر دقیقه هم‌زده شد. سپس جهت هیدراته شدن کامل محلول تهیه شده به‌مدت یک شبانه روز در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. برای تهیه محلول اصلی صمغ دانه ریحان یک درصد وزنی - وزنی، پودر صمغ در آب دیونیزه در حال هم‌زدن با هم‌زن مکانیکی (IKIA, Rw20 digital) با سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه حل گردید. سپس به‌مدت یک شب در حال هم‌زدن با هم‌زن مکانیکی جهت هیدراته شدن کامل قرار گرفته و سپس در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید.

**تهیه امولسیون:** برای تهیه امولسیون‌های روغن در آب براساس نتایج آزمون‌های مقدماتی و تحقیقات اسانو و همکاران، ۲۰۱۴ (۲۱) با کمی اصلاحات از غلظت ثابت پروتئین (۰/۵ درصد وزنی - وزنی) و غلظت‌های مختلف صمغ (۰، ۰/۰۰۵، ۰/۰۲، ۰/۰۸، ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد، وزنی/ وزنی) استفاده شد. سیستم‌های مخلوط پروتئین و پلی‌ساکارید (در شرایط pH=۶/۵) با اوزان معین از محلول‌های اصلی و آب دیونیزه تهیه شده و به مدت ۱۵ دقیقه برای همگن شدن کامل توسط هم‌زن مکانیکی هم‌زده شدند. سپس فاز آبی تهیه شده به‌همراه فاز روغنی در بن ماری (WM22) با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته تا دمای هر دو فاز به ۳۰ درجه سانتی‌گراد برسد. در مرحله بعد فاز روغنی به فاز آبی اضافه شده و مخلوط تهیه شده ابتدا با اولتراتوراکس<sup>۱</sup> (IKIA, T25 digital) به‌مدت ۱ دقیقه با ۹۶۰۰ دور بر دقیقه و سپس توسط اولتراسوند (Sonoplus ultrasonic homogenizer, Bandelin, HD 3200, Gr) با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و توان ۱۵۰ وات به‌مدت ۶ دقیقه (بر طبق نتایج بدست آمده از آزمون‌های مقدماتی) هم‌وزنیزه شدند. از آنجایی که در طی اعمال امواج فراصوت دمای مخلوط به‌دلیل تولید انرژی افزایش می‌یابد؛ لذا به‌منظور کنترل و تثبیت دما از مخلوط آب و یخ استفاده شد. بعد از امولسیفیکاسیون، نمونه‌ها درون ظروف پلاستیکی استریل درب‌دار ریخته و در دمای محیط جهت انجام آزمایشات مربوطه قرار گرفتند. لازم به‌ذکر است که pH نهایی امولسیون در محدوده خنثی اندازه‌گیری شد.

**پایداری امولسیون:** برای بررسی پایداری امولسیون شاخص پایداری امولسیون و میزان خامه‌ای شدن اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری شاخص پایداری

به صورت دو مرحله‌ای در دامنه سرعت برشی رفت<sup>۱</sup> ۲۵۰ - ۰/۰۰۵ بر ثانیه و برگشت ۲۵۰ - ۰/۰۰۵ بر ثانیه تعیین گردید. به منظور تعیین پارامترهای رفتار جریان نمونه‌ها و نیز رفتار رقیق شونده با برش<sup>۲</sup> از مدل‌های رئولوژیکی مستقل از زمان اسوالد (قانون توان)<sup>۳</sup> و هرشل بالکی<sup>۴</sup> به ترتیب روابط ۳ و ۴ استفاده شد؛ که در آن  $K$ ، ضریب قوام (پاسکال ثانیه)،  $n$  اندیس جریان (-) و  $\tau_0$  تنش تسلیم<sup>۵</sup> (پاسکال) می‌باشند.

$$\tau = k\dot{\gamma}^n + \tau_0 \quad \text{رابطه ۳ (مدل هرشل بالکی)}$$

$$\tau = k\dot{\gamma}^n \quad \text{رابطه ۴ (مدل اسوالد یا قانون توان)}$$

برای انجام آزمون روبش فرکانس، ابتدا محدوده ویسکوالاستیک خطی با آزمون روبش کرنش تعیین شد و سپس این آزمون در محدوده خطی کرنش ۵ درصد و دامنه فرکانس ۰/۰۱-۱۰ هرتز انجام گردید. تمام اندازه‌گیری‌ها در دو تکرار انجام گرفتند.

**توزیع اندازه ذرات:** اندازه‌گیری محدوده قطر قطرات، مساحت سطح مخصوص، متوسط قطر سطحی ( $d_{32}$ ) و اسپان ذرات با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری اندازه ذرات (Mastersizer, 2000, MALVERN Co. UK) در روز اول و ۲۸ آماده‌سازی نمونه‌ها بر اساس تفرق نور انجام شد. با ذکر این نکته که قبل از تزریق به دستگاه نمونه کاملاً همگن و اندازه‌گیری در دمای محیط انجام گردید (۷).

**تجزیه و تحلیل آماری:** کلیه آزمایشات حداقل در دو تکرار و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شدند. برای تعیین بهترین مدل به منظور توصیف داده‌های تجربی بدست آمده از آزمون‌های رئولوژی پایا، از روش رگرسیون استفاده شد و برای تعیین کیفیت

امولسیون با استفاده از سانتریفیوژ طبق روش سیارینی و همکاران (۲۰۰۹) با کمی اصلاحات انجام گرفت (۲۸). بلافاصله پس از تهیه امولسیون، نمونه‌ها درون ظروف استریل مدرج شده ریخته و با دور ۲۵۰۰g به مدت ۵ دقیقه و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردیدند. سپس بر اساس حجم فازهای جدا شده، شاخص پایداری امولسیون مطابق رابطه ۱ اندازه‌گیری شد؛ که در آن  $f_{EV}$  و  $i_{EV}$  به ترتیب حجم نهایی و حجم اولیه امولسیون است. تمام اندازه‌گیری‌ها در دو تکرار انجام گرفتند.

$$ESI = \left( \frac{f_{EV}}{i_{EV}} \right) \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

**اندیس خامه‌ای شدن:** سنجش میزان خامه‌ای شدن امولسیون از طریق مشاهده ظاهری طبق روش وانگ و همکاران (۲۰۱۰) با کمی اصلاحات انجام گرفت (۲۹). 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 سانتی‌گراد به مدت ۲۸ روز نگهداری شدند. بررسی پایداری و تفکیک نمونه‌های امولسیون در روزهای ۱، ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ ام با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد؛ که در آن  $H_E$  و  $H_S$  به ترتیب ارتفاع سرم و ارتفاع امولسیون می‌باشند. تمام اندازه‌گیری‌ها در دو تکرار انجام گرفتند.

$$CI = \left( \frac{H_S}{H_E} \right) \times 100 \quad \text{رابطه ۲}$$

**رفتار رئولوژیکی:** آزمون‌های رئولوژیکی جریان پایا بر روی نمونه‌های امولسیونی با استفاده از رئومتر (Anton Paar GmbH, Stautgart, Austria, Physica) (MCR 301) مجهز به ژئومتر دابل-گپ<sup>۱</sup> در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. رفتار جریان پایای محلول نمونه‌های امولسیونی پس از ۵ دقیقه استراحت

2. Shear Thinning  
3. Power Law  
4. Herschel-Bulkely  
5. Yield Stress

1. Double gap

برآزش از  $R^2$  (ضریب همبستگی) و SE (خطای استاندارد) استفاده گردید. آنالیز داده‌های رفتار جریان و مدلینگ توسط نرم‌افزار رئوپلاس<sup>۱</sup> 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<sup>۲</sup> و در سطح اطمینان ۹۵ درصد توسط نرم‌افزار مینی‌تب<sup>۳</sup> ویرایش ۱۶ انجام شد. برای ترسیم گراف‌ها نیز از نرم افزارهای مینی‌تب و اکسل ۲۰۰۷ استفاده شد.

### نتایج و بحث

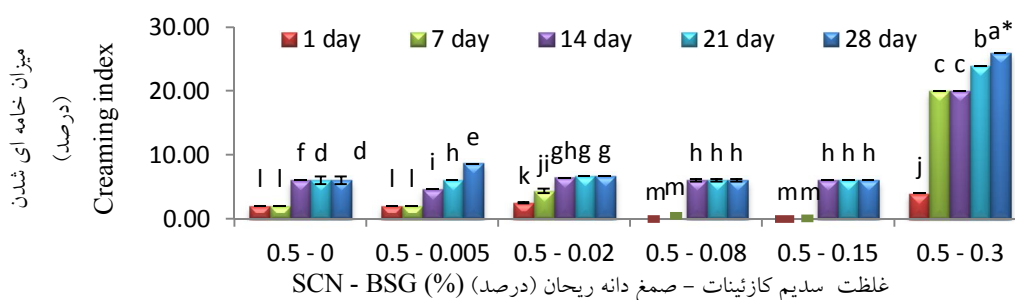
**میزان خامه‌ای شدن:** برای سنجش خامه‌ای شدن و شاخص پایداری امولسیون، در این قسمت شش نمونه امولسیون ۰/۵ درصد پروتئین با غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان (۰، ۰/۰۰۵، ۰/۰۲، ۰/۰۸، ۰/۱۵ و ۰/۳ درصد، وزنی/وزنی) در شرایط خنثی (PH=۶/۵) تهیه و میزان خامه‌ای شدن آن‌ها در طول ۲۸ روز به صورت چشمی و با در نظر گرفتن خطای چشم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از سنجش خامه‌ای شدن امولسیون‌ها در یک دوره زمانی ۲۸ روزه در شکل ۱ آورده شده است.

بین گروه شاهد و سایر نمونه‌ها از نظر میزان خامه‌ای شدن تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۱). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود در تمامی نمونه‌ها به جز نمونه امولسیون‌های حاوی غلظت ۰/۰۸ و ۰/۱۵ درصد صمغ بعد از گذشت یک روز از تولید، پدیده خامه‌ای شدن اتفاق افتاد. در نمونه امولسیون‌های ۰/۰۸ و ۰/۱۵ درصد صمغ در روزهای ۱ و ۷ پدیده خامه‌ای شدن مشاهده نشد. بین

غلظت‌های فوق‌الذکر هیچ گونه تفاوت معنی‌داری در روزهای ۱۴، ۲۱ و ۲۸ وجود نداشت. بین گروه شاهد و غلظت‌های ۰/۰۲ و ۰/۳ درصد صمغ در روز ۱ و ۷ تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در روز ۱ و ۷ بین گروه شاهد و غلظت ۰/۰۰۵ درصد صمغ از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. نتایج خامه‌ای شدن امولسیون‌ها نشان داد که بعد از گذشت ۲۸ روز از تولید، بالاترین میزان خامه‌ای شدن مربوط به امولسیون با غلظت ۰/۳ درصد صمغ و پایین‌ترین میزان، مربوط به امولسیون‌های ۰/۰۸ و ۰/۱۵ درصد صمغ می‌باشد. لیو و همکاران (۲۰۱۲) میزان خامه‌ای شدن نمونه امولسیون‌های تثبیت شده با سدیم کازئینات در حضور غلظت‌های مختلف کربوکسی‌متیل سلولز را اندازه‌گیری کردند (۱۴). نتایج آن‌ها نشان داد همه نمونه‌های امولسیونی حاوی کربوکسی‌متیل سلولز با گذشت زمان دو فاز شده و بالاترین میزان خامه‌ای شدن به نمونه امولسیون‌های حاوی ۰/۴ و ۰/۵ درصد صمغ نسبت داده شد (۱۴).

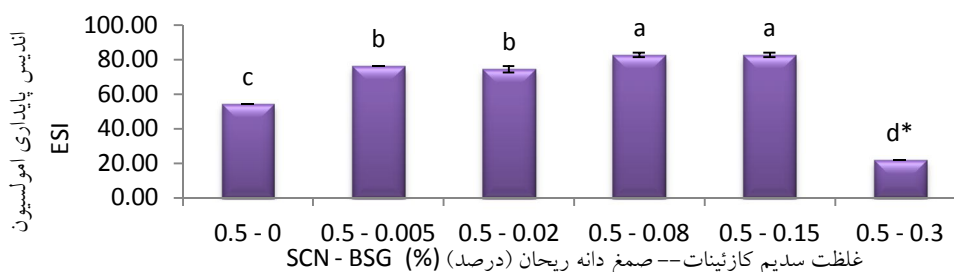
**پایداری امولسیون:** نتایج حاصل از سنجش پایداری امولسیون بلافاصله پس از تهیه در شکل ۲ آورده شده است. اثر غلظت بر روی شاخص پایداری امولسیون معنی‌دار می‌باشد و بیشترین پایداری مربوط به امولسیون ۰/۰۸ و ۰/۱۵ درصد صمغ و کمترین پایداری مربوط به غلظت ۰/۳ درصد می‌باشد (شکل ۲). این داده‌ها تأییدکننده گزارش هوانگ و همکاران (۲۰۰۱) در بررسی ویژگی‌های امولسیون‌کنندگی و ریزپوشانی کازئینات سدیم به‌تنهایی و در ترکیب با کربوهیدرات‌ها با غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد می‌باشند (۸).

1. Rheoplus 3.2x, Anton Paar Germany GmbH  
2. Tukeys, Test  
3. Minitab 16, Minitab Inc., USA



شکل ۱- اثر افزودن صمغ دانه ریحان بر روی میزان خامه‌ای شدن نمونه امولسیون‌های حاوی ۰/۵ درصد سدیم کازئینات \*حروف متفاوت نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف در سطح (P<۰/۰۵) است. داده‌ها میانگین ۴ تکرار می‌باشند.

Figure 1. Effect of basil seed gum (BSG) concentration (w/w) on creaming index of o/w emulsions stabilized by sodium caseinate (0.5%w/w)



شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان بر پایداری نمونه امولسیون‌های حاوی ۰/۵ درصد سدیم کازئینات \*حروف متفاوت نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف در سطح (P<۰/۰۵) است. داده‌ها میانگین حاصل از ۴ تکرار می‌باشند.

Figure 2. Effect of basil seed gum (BSG) concentration (w/w) on stability of o/w emulsions stabilized by sodium caseinate (0.5%w/w)

افزایش گرانیروی و نیز گسترش فضای آبی پیوسته اطراف قطرات فاز پراکنده و تثبیت آن‌ها در شبکه ژل-مانند و در نتیجه ایجاد ممانعت فضایی سرعت خامه‌ای شدن را کاهش و در نتیجه پایداری امولسیون را افزایش می‌دهد (۱۰). در واقع این ترکیبات با تغییر رفتار رئولوژیکی در نواحی بین قطرات روغن، سرعت جداسازی فاز را کنترل می‌کنند. 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. علت دیگر ناپایداری امولسیون در غلظت‌های پایین صمغ (۰/۰۰۵ و ۰/۰۲ درصد) وقوع پدیده فلوکولاسیون پل‌ساز<sup>۱</sup> 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. این گونه می‌توان تفسیر کرد که در این سیستم‌های امولسیونی و در pH خشی هر دو بیوپلیمر دارای بار منفی بوده و از این رو احتمالاً به‌دلیل عدم برهمکنش با یکدیگر منجر به جداسازی دو فاز سرمی و خامه‌ای می‌شوند (۳). یکی از علت‌های ناپایداری امولسیون در غلظت‌های پایین صمغ را می‌توان به حرکت آزادانه قطرات روغن در سیستم نسبت داد؛ به‌گونه‌ای که در غلظت‌های پایین صمغ ویسکوزیته فاز آبی برای جلوگیری از برخورد قطرات روغن کافی نبوده و در اثر برخورد با یکدیگر منجر به تجمع قطرات می‌شوند (۲۶). افزایش غلظت صمغ با

## 1. Bridging flocculation

(۱۱). فلوکولاسیون پل ساز (به اشتراک گذاشته شدن لایه جذبی<sup>۱</sup> بین دو قطره) در امولسیون‌هایی با نسبت امولسیفایر به روغن تقریباً پایین و یا امولسیون‌های حاوی امولسیفایرهای پلیمری با فعالیت سطحی متفاوت ممکن است روی دهد (۶). با افزایش غلظت صمغ از ۰/۰۲ به ۰/۱۵ درصد پایداری افزایش و سرعت خامه‌ای شدن کاهش یافته که این افزایش پایداری را می‌توان به حضور توام مولکول‌های کازئینات سدیم و صمغ دانه ریحان در سطح مشترک قطرات روغن و آب و ایجاد یک کمپلکس محلول و همچنین افزایش گرانشی فاز پیوسته در نتیجه حضور صمغ در فضای آبی پیوسته اطراف قطرات فاز پراکنده نسبت داد. در واقع صمغ دانه ریحان با تغییر رفتار رئولوژیکی در نواحی بین قطرات روغن، سرعت جداسازی فاز را کنترل می‌کند (۶).

کازئینات سدیم به صورت طبیعی به شکل میسل‌ی متشکل از ۴ فراکسیون اصلی  $\alpha_{s1}$ ،  $\alpha_{s2}$ ،  $\beta$  و  $\kappa$  وجود دارد که بسیار هیدروفوبیک می‌باشد (۲۵). این ویژگی سبب افزایش تمایل به جذب پروتئین در ناحیه بین‌سطحی در طول امولسیفیکاسیون می‌شود. pH ایزوالکتریک این پروتئین از ۳/۸ تا ۵/۸ متغیر بوده (۲)، و در pH بالاتر از نقطه ایزوالکتریک خود دارای بار منفی می‌باشد. بنابراین در سامانه‌های امولسیونی مورد بررسی حضور مولکول‌های کازئینات سدیم در سطح مشترک قطرات روغن و آب باعث می‌شود که از طریق ایجاد دافعه الکترواستاتیک و نیز ممانعت فضایی از بهم نزدیک شدن قطرات و در نتیجه تجمع آن‌ها جلوگیری نماید (۶). صمغ دانه ریحان (دارای بار منفی) نیز با حضور در سطح مشترک با ایجاد یک کمپلکس ضعیف و برگشت‌پذیر با پروتئین و کمک به کاهش کشش سطحی و افزایش دافعه از بهم پیوستن

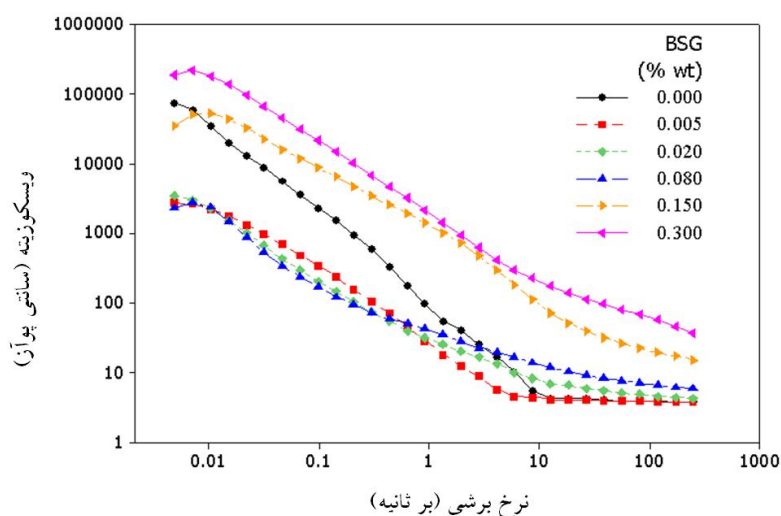
قطرات روغن جلوگیری می‌کند. با افزایش غلظت صمغ از ۰/۱۵ به ۰/۳ درصد پایداری کاهش و خامه‌ای شدن تسریع می‌شود. ویژگی‌های پایداری امولسیون‌های تهیه شده با مخلوط پروتئین پلی‌ساکارید به غلظت پلی‌ساکارید نیز بسیار وابسته است. برای هر سامانه امولسیونی به غلظت بهینه‌ای از امولسیفایر نیاز است؛ بطوریکه افزایش بیش از اندازه آن باعث رشد اندازه قطرات و کاهش پایداری امولسیون می‌شود. بنابراین می‌توان این چنین استنباط کرد که غلظت بهینه صمغ دانه ریحان ۰/۱۵ درصد بوده و بالاتر از آن، به علت ناسازگاری بین دو پلیمر (ناسازگاری ترمودینامیکی) و وقوع فولکولاسیون تخلیه‌ای<sup>۲</sup> یا نقصانی در فاز پیوسته ناپایداری امولسیون رخ می‌دهد. در واقع حضور بیش از حد صمغ‌های اضافی (جذب نشده) عامل ناپایداری امولسیون ۰/۳ درصد صمغ می‌باشد. وقوع فولکولاسیون تخلیه‌ای 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 و در نتیجه علاوه بر فاز خامه‌ای به جدا شدن فاز سرمی هم منجر می‌شود (۲۰).

**رفتار رئولوژی:** بررسی رفتار نمودارهای جریان‌ی نشان داد که رفتار جریان‌ی کلیه نمونه‌ها غیرنیوتنی و از نوع رقیق شونده با برش بوده و بهترین مدل برای توصیف داده‌های تجربی حاصل برای گروه شاهد و امولسیون‌های حاوی غلظت ۰/۰۰۵ و ۰/۰۲ درصد صمغ، اسوالد و برای سایر غلظت‌ها، هرشل بالکلی (به علت وجود تنش تسلیم) می‌باشد (شکل ۳).

## 1. Adsorbed layer

## 2. Depletion flocculation





شکل ۳- تأثیر غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان بر رفتار جریان‌ی نمونه امولسیون‌های حاوی ۰/۵ درصد سدیم کازئینات. داده‌ها میانگین دو تکرار می‌باشند.

Figure 3. Effect of basil seed gum (BSG) concentration (w/w) on flow behavior of o/w emulsions stabilized by sodium caseinate (0.5%w/w)

فلوکولاسیون نقصانی بیش از حد و به دلیل ساختار شبکه‌ای ایجاد شده، گرانیوی بالایی در فاز پیوسته ایجاد می‌شود که با در برگرفتن قطرات روغن فرایند جداسازی فاز به تأخیر می‌افتد (۲۶). اما به نظر می‌رسد این میزان از ویسکوزیته برای به تأخیر انداختن فرایند خامه‌ای شدن کافی نبوده و به همین دلیل جداسازی اتفاق می‌افتد.

در آزمون رویش کرنش در مقادیر کوچک کرنش، مقادیر مولفه‌های ویسکوز و الاستیک مستقل از مقدار کرنش می‌باشد. به محدودده‌ای از کرنش که این استقلال وجود دارد، اصطلاحاً ناحیه خطی ویسکوالاستیک می‌گویند. انجام آزمون‌های ویسکوالاستیک زمانی ارزشمند و قابل تفسیر خواهند بود که در محدوده ویسکوالاستیک خطی انجام شوند بنابراین تعیین مقدار کرنش یا تنش که پایین‌تر از آن رفتار ماده خطی است، بسیار مهم خواهد بود. برای تعیین محدوده ویسکوالاستیک خطی، در مقادیر فرکانس معین و پایین، منحنی  $G'$  یا  $G''$  بر حسب افزایش دامنه کرنش یا تنش رسم می‌شوند. مقدار

در جدول ۱ کلیه پارامترهای بدست آمده از برازش مدل‌های اسوالد و هرشل بالکلی بر داده‌های تجربی مشاهده می‌شود. این نتایج مربوط به یک روز پس از آماده سازی نمونه‌ها می‌باشد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر غلظت بر اندیس جریان و ضریب قوام (مرتبط با ویسکوزیته) معنی‌دار بوده و با افزایش غلظت صمغ، گرانیوی و رفتار رقیق‌شوندگی افزایش می‌یابد (شکل ۳). این موضوع می‌تواند به دلیل تشکیل شبکه و ساختار قوی‌تر در حضور غلظت بالاتر صمغ دانه ریحان باشد؛ بطوریکه امولسیون حاوی ۰/۳ درصد صمغ دارای بالاترین ضریب قوام و پایین‌ترین اندیس جریان می‌باشد. نیرینک و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند افزایش غلظت صمغ گوار در امولسیون‌های سدیم کازئینات اثر معنی‌داری بر ضریب قوام و ویسکوزیته ظاهری داشته و با افزایش غلظت صمغ، ضریب قوام و ویسکوزیته افزایش یافت (۱۷). وجود ویسکوزیته بالا در فاز پیوسته امولسیون حاوی ۰/۳ درصد صمغ را می‌توان به وقوع پدیده فلوکولاسیون نقصانی نسبت داد. در اثر پدیده

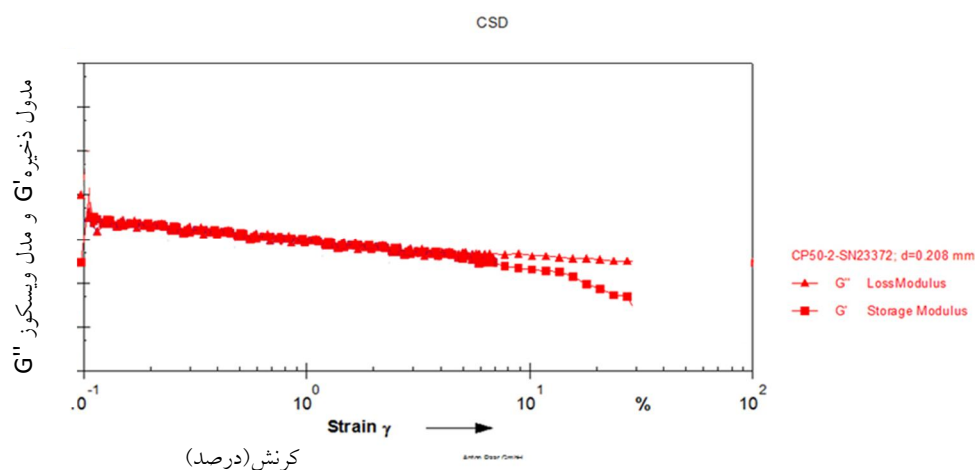
کرنشی که در آن منحنی  $G'$  یا  $G''$  روند نزولی پیدا گرفته می‌شود (شکل ۴).

جدول ۱- تاثیر غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان بر پارامترهای رئولوژیکی نمونه امولسیون‌های حاوی ۰/۵ درصد سدیم کازئینات  
Table 1. The effect of different concentration of basil seed gum (BSG) on the rheological properties of o/w emulsions stabilized by sodium caseinate (0.5%w/w)

ضرب همبستگی $R^2$	تنش تسلیم $y_0$ (pa)	ضرب قوام $k$ (pa.s)	اندیس جریان $n$	الف) نمونه (SCN% - BSG%)
0.999	-	0.004±0.001 <sup>c</sup>	0.969±0.021 <sup>a*</sup>	0.5-0
0.999	-	0.005±0.000 <sup>c</sup>	0.956±0.016 <sup>a</sup>	0.5-0.005
0.997	-	0.010±0.001 <sup>d</sup>	0.833±0.030 <sup>ab</sup>	0.5-0.02
0.995	0.015±0.008 <sup>c</sup>	0.025±0.002 <sup>b</sup>	0.757±0.007 <sup>bc</sup>	0.5-0.08
0.994	0.405±0.117 <sup>b</sup>	0.042±0.006 <sup>b</sup>	0.710±0.040 <sup>bc</sup>	0.5-0.15
0.999	0.918±0.030 <sup>a</sup>	0.160±0.008 <sup>a</sup>	0.609±0.084 <sup>c</sup>	0.5-0.3

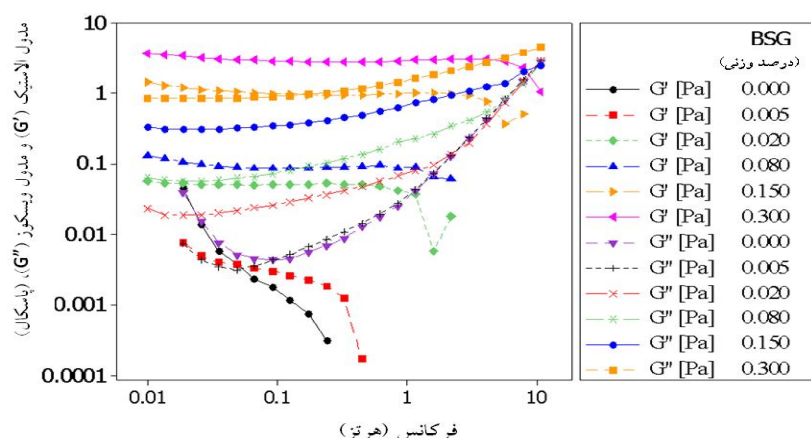
مدل انتخابی	خطای استاندارد SE	ب) نمونه (SCN% - BSG%)
اسوالد (قانون توان)	0.001	0.5-0
اسوالد (قانون توان)	0.000	0.5-0.005
اسوالد (قانون توان)	0.005	0.5-0.02
هرشل بالکلی	0.004	0.5-0.08
هرشل بالکلی	0.001	0.5-0.15
هرشل بالکلی	0.005	0.5-0.3

\*حروف متفاوت نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف آماری در سطح  $(P < 0.05)$  است.



شکل ۴- تعیین محدوده ویسکوالاستیک خطی در دامنه کرنش ۰/۱ تا ۱۰۰ درصد

Figure 4. Determination of the linear viscoelastic range at a strain range of 0.01-100%



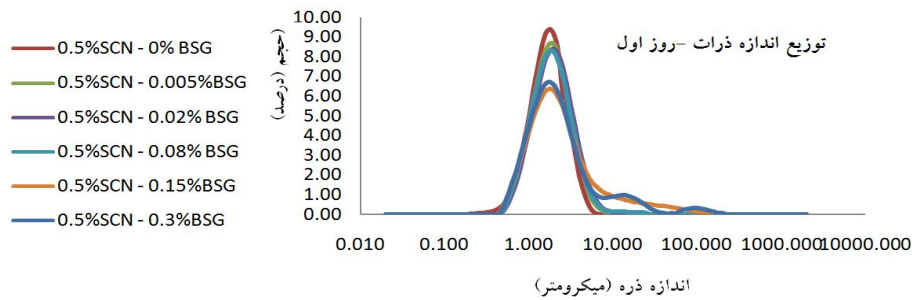
شکل ۵- تاثیر غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان بر رفتار ویسکوالاستیک نمونه امولسیون‌های حاوی ۰/۵ درصد سدیم کازئینات  
 Figure 5. Effect of basil seed gum (BSG) concentration (w/w) on viscoelastic properties of o/w emulsions stabilized by sodium caseinate (0.5%w/w)

گندم و ویژگی‌های رئولوژیکی و ساختاری نان را ورد بررسی قرار دادند. خمیرهای حاوی صمغ در مقایسه با نمونه شاهد دارای ویسکوزیته،  $G'$  و  $G''$  بالاتری بوده و مدول الاستیسیته ( $G'$ ) در مقایسه با مدول ویسکوز ( $G''$ ) بالاتر و هر دو با زیاد شدن فرکانس افزایش یافتند (۲۲).

**توزیع اندازه ذرات:** بررسی شکل منحنی‌های توزیع اندازه قطرات نمونه‌های امولسیون دلالت بر توزیع اندازه ذرات به صورت نرمال داشت و نشان داد در روز اول همه نمونه‌های امولسیون به جز غلظت ۰/۳ درصد از نوع مونومodal یا تک‌کوهانه بودند. بعد از گذشت ۲۸ روز از تولید نمونه‌های امولسیونی، شکل منحنی‌ها از حالت نرمال خارج شده و پیک‌هایی در منحنی مشاهده شد (شکل ۶ و ۷). این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده تشکیل قطرات بزرگ باشد که در تسریع جداسازی فاز امولسیون نیز تاثیر گذار می‌باشد (۳۰).

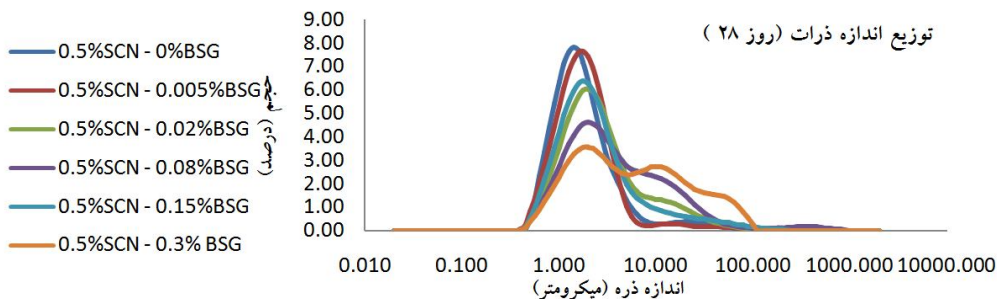
نتایج آزمون رویش فرکانس نشان داد در مقادیر فرکانس‌های پایین و در زیر نقطه تلاقی<sup>۱</sup> (نقطه برخورد مدول الاستیک و ویسکوز) نمونه‌های امولسیونی دارای هر دو رفتار جریانی و الاستیک می‌باشند (شکل ۵). در این مقادیر از فرکانس در کلیه نمونه‌ها به استثنای نمونه شاهد مدول ذخیره  $G'$  - که نشان‌دهنده میزان رفتار الاستیک (جامد) می‌باشد - بالاتر از مدول اتلاف  $G''$  است. بعد از نقطه تلاقی از میزان رفتار الاستیک نمونه‌ها کاسته شده؛ بطوریکه در مقادیر فرکانس‌های بالا تنها رفتار جریانی در نمونه‌ها مشاهده می‌شود. با افزایش غلظت صمغ هر دو مولفه الاستیک و ویسکوز به مقادیر بالاتری منتقل شده و تلاقی  $G'$  و  $G''$  در مقادیر بالاتری از فرکانس رخ داده؛ لذا می‌توان گفت ویژگی ویسکوالاستیک امولسیون‌ها به دلیل کنش‌های بیشتر بین صمغ و اجزا امولسیون با افزایش غلظت صمغ افزایش یافت (۱۵). رابرتس و همکاران (۲۰۱۲) اثر افزودن صمغ شنبلیله<sup>۲</sup> در غلظت‌های ۰، ۵ و ۱۰ درصد (وزنی/وزنی) به آرد

1. Cross over  
 2. Fenugreek gum



شکل ۶- تأثیر غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان بر منحنی توزیع اندازه قطرات نمونه امولسیون‌های حاوی ۰/۵ درصد سدیم کازئینات در روز اول

Figure 6. Effect of basil seed gum (BSG) concentration (w/w) on the particle size distribution of o/w emulsions stabilized by sodium caseinate (0.5%w/w) in first day



شکل ۷- تأثیر غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان بر منحنی توزیع اندازه قطرات نمونه امولسیون‌های حاوی ۰/۵ درصد سدیم کازئینات در روز بیست و هشتم

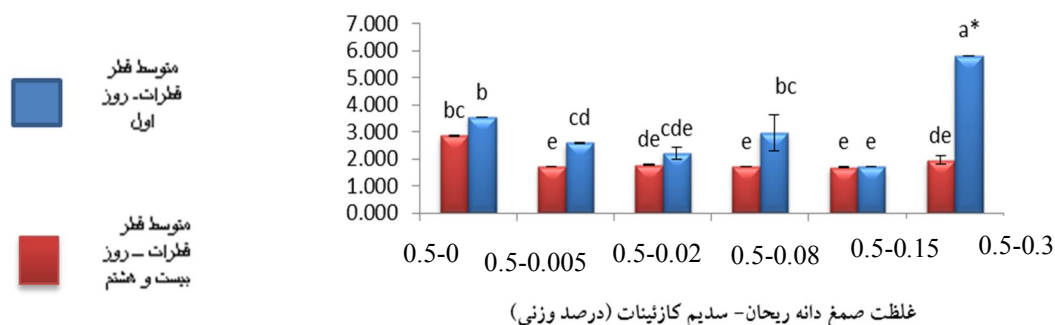
Figure 7. Effect of basil seed gum (BSG) concentration (w/w) on the particle size distribution of o/w emulsions stabilized by sodium caseinate (0.5%w/w) in twenty- eighth day

کاهش یافت. کاهش اندازه ذرات به علت جذب پلی- ساکاریدهای آنیونی بر روی سطح قطرات پوشیده شده از پروتئین می‌باشد. نتایج مشابهی توسط لیو و همکاران (۲۰۰۷) در رابطه با افزودن پکتین و پلی- ساکارید محلول سویا به امولسیون کازئینات سدیم گزارش شده است (۱۳). معنی‌دار نبودن تفاوت بین اندازه گویچه‌ها در امولسیون‌های حاوی مقادیر مختلف صمغ دانه ریحان تا غلظت ۰/۳ درصد نشان می‌دهد که حضور صمغ در ناحیه بین‌سطحی ناچیز بوده و بیشتر تمایل به حضور در فاز آبی دارد. معنی‌دار بودن ضریب قوام (مرتبط با ویسکوزیته) امولسیون- های حاوی مقادیر مختلف صمغ دانه ریحان تأیید کننده این مطلب می‌باشد.

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؛ بطوریکه وجود دو پیک مشخص در منحنی توزیع اندازه قطرات، نشان‌دهنده اندازه قطرات بزرگ است که در تسریع جداسازی فاز امولسیون تأثیرگذار می- باشد. بررسی روند تغییرات اندازه قطرات (۱۳۲) با غلظت صمغ دانه ریحان (شکل ۸) مشخص کرد که اندازه ذرات امولسیون حاوی پروتئین تنها در مقایسه با امولسیون‌های حاوی پروتئین و صمغ دانه ریحان به شکل معنی‌داری بیشتر بوده؛ بدین صورت که با افزودن غلظت پایینی از صمغ به امولسیون سدیم کازئینات، اندازه قطرات به شکل معنی‌داری تغییر و

می‌باشد (۱۴). در تحقیقی مشابه دیکینسون و همکاران (۲۰۰۳) دریافتند که افزایش غلظت توپین ۲۰ در امولسیون پایدارشده با کازئینات سدیم ابتدا باعث کاهش اندازه قطرات و سپس بزرگ شدن اندازه آنها گردید (۵) که این پدیده را به بی‌ثبات شدن امولسیون در غلظت‌های بالای توپین ۲۰ در اثر وقوع پدیده فلوکوله شدن نقصانی مربوط دانستند.

حضور کم پلی‌ساکارید ریحان به علت وجود دافعه الکترواستاتیک نسبتاً زیاد بین قطرات (آنیونی بودن پروتئین در  $pH=6.5$ ) و آنیونی بودن پلی‌ساکارید می‌باشد. در غلظت ۰/۳ درصد، فلوکولاسیون وسیعی توسط مکانیسم فلوکولاسیون نقصانی یا تجمع‌ی در امولسیون اتفاق افتاده که علت آن حضور بیش از حد پلی‌ساکاریدهای آنیونی جذب نشده در امولسیون

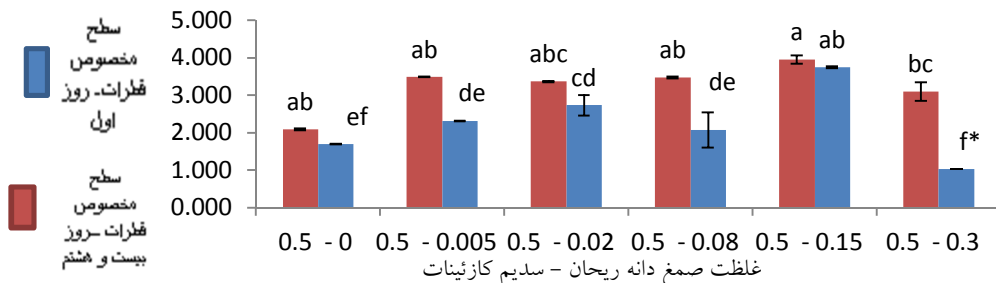


شکل ۸- تأثیر غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان بر متوسط اندازه ذرات نمونه امولسیون‌های حاوی ۰/۵ درصد سدیم کازئینات (d32) \*حروف متفاوت نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف در سطح ( $P < 0.05$ ) است.

Figure 8. Effect of basil seed gum (BSG) concentration (w/w) on the mean droplet size of o/w emulsions stabilized by sodium caseinate (0.5%w/w)

تهیه شده با سایر غلظت‌ها داشتند. به‌علاوه، نتایج بررسی اسپان منحنی‌های توزیع اندازه ذرات نمونه‌های امولسیونی (جدول ۲) نشان داد کمترین درجه یکنواختی اندازه گویچه‌ها در روز ۱ و ۲۸ مربوط به امولسیون حاوی ۰/۳ درصد صمغ بود.

نتایج مربوط به تاثیر غلظت صمغ بر سطح مخصوص قطرات (شکل ۹) نشان می‌دهد بعد از گذشت ۲۸ روز گویچه‌های چربی موجود در امولسیون ۰/۳ درصد صمغ سطح مخصوص به‌مراتب کوچکتری نسبت به قطرات موجود در امولسیون‌های



شکل ۹- تأثیر غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان بر سطح مخصوص ذرات نمونه امولسیون‌های حاوی ۰/۵ درصد سدیم کازئینات \* حروف متفاوت نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف در سطح ( $P < 0.05$ ) است.

Figure 9. Effect of basil seed gum (BSG) concentration (w/w) on the special surface area of o/w emulsions stabilized by sodium caseinate (0.5%w/w)

جدول ۲- تأثیر غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان بر اسپان ذرات نمونه امولسیون‌های حاوی ۰/۵ درصد سدیم کازئینات  
Table 2. Effect of basil seed gum (BSG) concentration (w/w) on the span of o/w emulsions stabilized by sodium caseinate (0.5%w/w)

غلظت صمغ دانه ریحان	روز اول	روز بیست و هشتم
0	1.364±0.098	20.859± 0.007
0.005	1.438±0.015	2.766±0.006
0.02	1.500±0.016	4.870±0.021
0.08	1.861±0.013	5.991±0.011
0.15	1.787±0.004	5.232±0.014
0.3	20.859± 0.007	29.264±0.043

### نتیجه‌گیری

یافت؛ بطوریکه امولسیون حاوی ۰/۳ درصد صمغ دارای بالاترین ضریب قوام و پایین‌ترین اندیس جریان بود. رفتار جریانی کلیه نمونه‌ها غیر نیوتنی و از نوع رقیق‌شونده با برش بود. بهترین مدل برای توصیف داده‌های تجربی حاصل برای گروه شاهد و امولسیون‌های حاوی غلظت ۰/۰۰۵ و ۰/۰۲ درصد صمغ، اسوالد و برای سایر غلظت‌ها، هرشل بالکلی بود. بررسی روند تغییرات اندازه قطرات با غلظت صمغ دانه ریحان مشخص کرد اندازه ذرات امولسیون حاوی پروتئین در مقایسه با امولسیون‌های حاوی پروتئین و صمغ دانه ریحان به شکل معنی‌داری بیشتر بوده؛ بدین صورت که با افزودن غلظت پایینی از صمغ به امولسیون سدیم کازئینات، اندازه قطرات به شکل معنی‌داری تغییر و کاهش یافت.

### سپاسگزاری

از مدیریت و کارشناسان آزمایشگاه مرکز رشد واحدهای فناور طبرستان به خاطر حمایت‌های مالی از این پژوهش سپاسگزاری می‌نمایم.

در امولسیون‌های حاوی صمغ دانه ریحان و پروتئین کازئینات سدیم، در حضور همه غلظت‌های صمغ جداسازی فازی در مدت زمان کوتاهی اتفاق افتاد که علت آن ناسازگاری ترمودینامیکی بود. علت ناپایداری امولسیون در غلظت‌های پایین صمغ (۰/۰۰۵ و ۰/۰۲ درصد) را می‌توان به وقوع پدیده فلوکولاسیون پل‌ساز نسبت داد. با افزایش غلظت صمغ از ۰/۰۲ به ۰/۱۵ درصد پایداری افزایش و سرعت خامه‌ای شدن کاهش یافت. با افزایش غلظت صمغ از ۰/۱۵ به ۰/۳ درصد پایداری کاهش و خامه‌ای شدن تسریع شد. بنابراین می‌توان این چنین استنباط کرد که غلظت بهینه صمغ دانه ریحان ۰/۱۵ درصد بوده و در مقادیر بالاتر به علت ناسازگاری بین دو پلیمر (ناسازگاری ترمودینامیکی) و وقوع فلوکولاسیون تخلیه‌ایی یا نقصانی در فاز پیوسته ناپایداری امولسیون رخ می‌دهد. داده‌های رئولوژیکی نشان داد اثر غلظت بر اندیس جریان و ضریب قوام (مرتبط با ویسکوزیته) معنی‌دار بوده و با افزایش غلظت صمغ، گراندروی و رفتار رقیق‌شوندگی افزایش

### منابع

1. Abismai, B., Cancelier, P., Wilhelm, A.M., Delmas, H., and Gourdon, C. 1998. Emulsification by ultrasound: Drop size distribution and stability. *Ultrasonic Sonochemistry*. 6: 1.75-83.
2. Dagleish, D.G., Srinivasan, M., and Singh, H. 1995. Surface properties of oil-in-water emulsion droplets

- containing casein and tween 60. J. of Agricultural and Food Chemistry. 43: 9. 2351–2355.
3. Dickinson, E., Golding, M., and Povey, M.J.W. 1997. Creaming and flocculation of oil-in-water emulsions containing sodium caseinate. J. of Colloid and Interface Science. 185: 2.515–529.
  4. Dickinson, E. 2003. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. Food Hydrocolloids. 17: 1.25–39.
  5. 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. 17: 2.211-220.
  6. Dickinson, E. 2009. Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. Food Hydrocolloids. 23: 6.1473-1482.
  7. Gu, Y.S., Decker, E.A., and McClements, D.J. 2005. Influence of pH and Carrageenan type of on properties of B-lactoglobulin stabilized oil- in water emulsion. Food Hydrocolloids. 19: 1.83-91.
  8. Huang, X., Kakoda Y., and Gui, W. 2001. Hydrocolloid in emulsions particle size distribution and interfacial activity. Food Hydrocolloids. 15: 5.533–542.
  9. Hosseiniparvar, S.H., Mortazavi, S.A., Razavi, S.M.A., Matia-Merino, L., and Motamedzadegan, A. 2009. Flow behavior of basil seed gum solutions mixed with locust bean gum and guar gum. Electronic J. of Food Processing and Preservation. 1: 2.69-84. (In Persian).
  10. Karimi, N., Mohammadifar, M.A., and Nayebzade, K. 2013. Effect of two types of Iranian gum tragacanth on stability and rheological properties of oil-in-water emulsion. Iranian J. of Nutrition Sciences & Food Technology. 8: 3.87-98.
  11. Klein, M., Aserin, A., and Garti, N. 2010. Enhanced stabilization of cloudy emulsions with gum Arabic and whey protein isolate. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 77: 1.75-81
  12. 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: 5.868-878.
  13. Liu, J., Verespej, E., Alexander, M., and Corredig, M. 2007. Comparison on the effect of high-methoxyl pectin or soybean-soluble polysaccharide on the stability of sodium caseinate-stabilized oil/water emulsions. J. of Agricultural and Food Chemistry. 55: 15.6270–6278.
  14. Liu, L., Zhao, Q., Liu, T., Kong, J., Long, Z., and Zhao, M. 2012. Sodium caseinate / carboxymethyl cellulose interactions at oil–water interface: Relationship to emulsion stability. Food Chemistry. 132: 4.1822-1829.
  15. 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. J. of Food Engineering. 64: 3.335-342.
  16. McClements, D.J. 2004. Food Emulsions Principles, Properties and Techniques. Boca Raton, Fl: CRC Press. 632P.
  17. Neiryneck, N., Van lent, K., Dewettinck, K., and Van der Meeren, P. 2007. Influence of pH and biopolymer ratio on sodium caseinate — guar gum interactions in aqueous solutions and in O/W emulsions. Food Hydrocolloids. 21: 5.862-869.
  18. Niknia, S., Razavi, S.M.A., Koocheki, A., and Nayebzade, K. 2010. The influence of application of basil seed and sage seed gums on the sensory properties and stability of mayonnaise. Electronic J. of Food Processing and Preservation. 2: 2.61-80. (In Persian).
  19. Osano, J.P., Hosseini-Parvar, S.H., Matia-Merino, L., and Golding, M. 2014. Emulsifying properties of a novel polysaccharide extracted from basil seed (*Ocimum bacilicum* L.): Effect of polysaccharide and protein content. Food Hydrocolloid. 37: 40-48.

20. Reiffers-Magnani, C., Cuq, J.L., and Watzke, H.J. 2000. Depletion flocculation and thermodynamic incompatibility in whey protein stabilized o/w emulsions. *Food Hydrocolloids*. 14: 6.521-530.
21. 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 J. of Food Science & Technology*. 44: 9.1755-1762.
22. Roberts, K.T., Cui, S.W., Chang, Y.H., Ng, P.K.W., and Graham, T. 2012. The influence of fenugreek gum and extrusion modified fenugreek gum on bread. *Food Hydrocolloids*. 26: 2.350-358.
23. 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: 8.689-753.
24. Soleimanpour, M., Koocheki, A. and Kadkhodae, R. 2012. Influence of main emulsion components on the physical properties of corn oil in water emulsion: Effect of oil volume fraction, whey protein concentrate and *Lepidium perfoliatum* seed gum. *Food Research International*. 50: 1.457-466.
25. Surh, J., Decker E.A., and Mc Clements D. 2006. Influence of pH and pectin on properties and stability of sodium caseinate stabilized oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*. 20: 5.607-618.
26. J. 2006. Influence of pH and pectin on properties and stability of sodium caseinate stabilized oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*. 20: 5.607-618.
27. 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: 4.555-564.
28. Speiciene, V., Guilmineau, F., Kulozik, U. and Leskauskaitė, D. 2007. The effect of chitosan on the properties of emulsions stabilized by whey proteins. *Food Chemistry*. 102: 4.1048-1054.
29. 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: 2.306-313.
30. 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. *J. of Food Engineering*. 96: 4. 555-561.
31. Yousefi, F., Abbasi, S., and Ezzatpanah, H.R. 2012. Effect of Persian gum concentration, oil content, whey protein concentrate, and pH on the stability of emulsions prepared by ultrasonic homogenizer. *J. of Research and Innovation in Food Science and Technology*. 1: 3.199-218.



## The influence of Basil seed gum concentration on the stability, particle size and rheological properties of oil-in- water emulsion stabilized by sodium caseinate

M. Khorrami<sup>1\*</sup>, S.H. Hosseini-Parvar<sup>2</sup>, A. Motamedzadegan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc Graduate student, Department of Food Science and Technology, Sari University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Iran,

<sup>2,3</sup>Faculty member, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Received: 2018./5/19; Accepted: 2019/5/6

### Abstract

**Background and objectives:** Emulsions consist of two immiscible liquids (usually oil and water) where one of the liquids is dispersed in the other in form of small (0.1-100 $\mu$ m) spherical droplets. Emulsions are thermodynamically unstable due to the unfavorable contact between oil and water molecules. Proteins and hydrocolloids are natural biopolymers extensively used in many food colloids and emulsions. The interactions between the proteins and hydrocolloids may play a significant role in the structure and stability of emulsions. Sodium caseinate (CN) has been widely used in the formation and stabilization of food emulsions due to its excellent functional and nutritional properties. Basil (*ocimum basilicum*) is an herbaceous plant popularly grown in India and Iran. Since basil seeds are available in abundance, there is a great potential to utilize the gum of basil seeds as a functional ingredient in the food industry due to its potential uses as a thickening and stabilizing ingredient. Therefore, the aim of this research was to study the emulsifying properties of basil seed gum when mixed with a CN-stabilized emulsion and to demonstrate the effect of basil seed gum on the rheological, particle size and stability of CN-stabilized emulsions.

**Material and methods:** To study the effect of basil seed gum on behavior of stable emulsions with sodium caseinate, emulsions with a fixed concentration of protein (0.5 wt%) and different amounts of basil seed gum (0, 0.005, 0.02, 0.08, 0.15 and 0.3% w / w) were prepared in pH 6.5. The emulsions prepared by using a sonicator with a nominal power output of 150 W and an operating frequency of 20 kHz. Creaming index emulsion through visual observation, the rheological properties by rheometer MCR 301, mean diameter, particle size distribution, specific surface area and Span was measured with the device master sizer Model 2000.

**Results:** The results of stability showed that after 28 days the highest was related to the emulsion with 0.3% Basil seed gum (w/w) and the lowest creaming index was related to 0.08% and 0.15% Basil seed gum (w/w). 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% and 0.02% Basil seed gum (w/w) was Ostwald and for the remaining emulsions was Herschel–Bulkley. 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 shear-thinning 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 polysaccharide result in depletion flocculation and significant increase in particle size.

**Conclusion:** The results showed that Basil seed gum could form small emulsion droplets and stabilize emulsions against phase separation by using as low as 0.08% and 0.15% (w/w). Basil seed gum can be categorized as a novel surface active hydrocolloid.

**Keywords:** Basil seed gum, Sodium caseinate, Creaming, Rheology, Particle size distribution

---

\*Corresponding author; mahsa\_khorrani2009@yahoo.com