نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۲، ص. ۳۰-۲۱

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 9, No. 1, Spring 2013, p. 21-30

بررسی اثر صمغ قدومه شهری بر ویژگی های امولسیون روغن ذرت در آب تولید شده با امواج فراصوت

مرجان سلیمان پور[۱]- رسول کدخدایی[۲]-آرش کوچکی[۳*]- سید محمدعلی رضوی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۴/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۸/۱

چکیده

در این تحقیق، اثر صمغ قدومه شهری (صفر، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ درصد وزنی) بر خصوصیات امولسیون روغن ذرت در آب تهیه شده با کنسانتره پروتئین آب پنیر (۲ درصد وزنی) در pH:۷ مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی ویژگی های امولسیون، قطر متوسط، سطح مخصوص ویژه، توزیع اندازه قطرات امولسیون، ویسکوزیته و رفتار جریان اندازه گیری شد. نتایج بررسی ها حاکی از این بود که با افزایش غلظت صمغ از صفر به ۰/۲ درصد، قطر متوسط ذرات ($D_{3,2}$) به طور معنی داری کاهش یافت اما با افزایش غلظت تا ۰/۶ درصد تغییر معنی داری در اندازه ذرات امولسیون ها مشاهده نگردید. افزایش غلظت صمغ اثر معنی داری بر سطح مخصوص قطرات (m^2/ml) و پهنای توزیع ذرات امولسیون ها نداشت. منحنی توزیع اندازه ذرات امولسیون ها نشانگر یکنواختی بیشتر قطرات فاز پراکنده در امولسیون حاوی غلظت بالای صمغ (۰/۶ درصد) بود. بررسی ویسکوزیته و رفتارجریان امولسیون ها نیز بیانگر این بود که ویسکوزیته امولسیون ها به طور قابل ملاحظه ای با افزایش غلظت صمغ افزایش یافت و امولسیون‌های حاوی صمغ در تمامی موارد رفتار رقیق شونده با برش را نشان دادند. نتیجه بررسی رفتار جریان امولسیون ها نشانگر تبعیت رفتار امولسیون ها از مدل هرشل باکلی بود.

واژه های کلیدی: امواج فراصوت، صمغ قدومه شهری، پایداری امولسیون، رفتار جریان

مقدمه

امولسیون یک سامانه ناهمگن با ابعاد A°۱۰۰۰-۱۰ می‌باشد که از دو مایع غیر قابل امتزاج که یکی از آن‌ها به صورت قطرات ریز در مایع دیگر پراکنده شده، تشکیل گردیده است (Khalloufi و همکاران، ۲۰۰۸). از جمله روش‌هایی که امروزه برای تهیه امولسیون‌ها مورد توجه قرار گرفته استفاده ازامواج فراصوت می باشد (McCarthy، ۱۹۶۴؛ Gopal، ۱۹۶۸؛ Abismail و همکاران، ۱۹۹۹؛ Canselier و همکاران، ۲۰۰۲). به دلیل پدیده کاویتاسیون، تنش برشی شدید و اغتشاشات موضعی به سطح مشترک روغن-آب اعمال می شود و باعث شکسته شدن و خرد شدن فاز روغن به قطرات بسیار کوچک می گردد (Behrend و همکاران، ۲۰۰۰؛ Eberth و Merry ، ۱۹۸۳؛ Povey و Mason، ۱۹۹۸).

امولسیون ها به لحاظ ترمودینامیکی ناپایدار هستند. دلیل ناپایداری این سیستم ها وجود نیروی کشش بین سطحی میان اجزا تشکیل دهنده دو مایع است. با افزودن ترکیباتی مانند امولسیفایر یا پایدارکننده می توان در مدت زمان معین (روز یا هفته) امولسیون پایدار تولید نمود.

یک امولسیون پایدار، امولسیونی است که توزیع اندازه ذرات، حالت تجمعی یا آرایش فضایی ذرات آن در طی زمان مشخص تغییر نکند. این زمان بسته به نوع امولسیون می تواند از چند ساعت تا چند ماه تغییر کند. به منظور افزایش مدت زمان نگهداری امولسیون معمولاً به یک عامل تثبیت کننده نیاز است (Dickinson، ۱۹۹۲). اغلب هیدروکلوئیدها امولسیفایرهای حقیقی نیستند و بر خلاف امولسیفایرها اتصالات هیدروفیلی-هیدروفوبی ایجاد نمی‌کنند (Glicksman، ۱۹۸۲). صرف نظر از درجه آمفی فیلیک، وزن مولکولی بالای هیدروکلوئیدها باعث شده است که این ترکیبات به

۱، ۳ و ۴- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: koocheki@um.ac.ir)
۲- دانشیار گروه نانوتکنولوژی مواد غذایی پژوهشکده علوم و صنایع غذایی خراسان رضوی

عنوان یک ترکیب با قابلیت امولسیون کنندگی بالا مطرح نباشند و به عنوان عامل تثبیت کننده استفاده شوند. هیدروکلوئیدها با افزایش گرانروی یا تشکیل ژل در فاز آبی مانع از تحرک قطرات روغن شده و از به هم چسبیدن آن‌ها جلوگیری می کنند و به این ترتیب باعث تثبیت امولسیون می شوند (Taherian و همکاران، ۲۰۰۷).

هر چه اندازه قطرات یک امولسیون کوچک تر باشد پایداری آن در برابر ته نشینی یا خامه ای شدن افزایش می‌یابد زیرا با کوچک شدن اندازه قطرات، تأثیر نیروی جاذبه و حرکت براونی کاهش پیدا کرده و در نتیجه احتمال فلوکوله شدن و بهم پیوستن آن ها به میزان قابل توجهی کم می شود (Izquierdo، ۲۰۰۲).

معمولاً آن دسته از هیدروکلوئیدهای غذایی که دارای فعالیت بین سطحی نیستند، قادر به جذب مستقیم در سطح مشترک آب و روغن نمی باشند اما از طریق بر همکنش با لایه پروتئین، اثر خود را بر پایداری امولسیون اعمال می‌کنند.

با توجه به استفاده گسترده از صمغ ها در صنعت و هزینه بالای این ترکیبات، یافتن منابع جدید برای تولید هیدروکلوئیدها همواره از اهمیت بالایی برخوردار بوده است. دانه قدومه شهری به شکل تخم مرغی و قهوه ای رنگ با پوششی نازک و موسیلاژی است (Koocheki و همکاران، ۲۰۰۹). این دانه به هنگام خیساندن در آب موسیلاژی تولید می کند که گرانروی نسبتاً بالایی داشته و قادر به تثبیت و پایداری قطرات فاز پراکنده در امولسیون روغن در آب می‌باشد. با وجود تحقیقات اولیه صورت گرفته، تاکنون تحقیق جامعی در مورد اثر صمغ استخراج شده از دانه قدومه شهری (*Lepidium perfoliatum*) به عنوان یک ترکیب تثبیت کننده در امولسیون آب در روغن انجام نشده است. بنابراین هدف از این تحقیقی بررسی اثر تثبیت کنندگی این صمغ در حضور پروتئین تغلیظ شده آب پنیر می باشد.

مواد و روش ها

مواد

دانه قدومه شهری از فروشگاه گیاهان دارویی در مشهد تهیه گردید. پروتئین آب پنیر تغلیظ شده (حاوی ۳۵ درصد پروتئین) از کارخانه مولتی تهیه شد. روغن ذرت بکار رفته در این تحقیق با نام تجاری گلدن مایز و از بازار محلی خریداری گردید. برای تهیه کلیه محلول ها از آب دیونیزه استفاده شد.

تهیه صمغ قدومه شهری

صمغ قدومه شهری در دمای ۴۸°C، pH=۸، نسبت آب به دانه ۳۰ به ۱ و مدت زمان ۱/۵ ساعت استخراج و در آون با دمای ۷۰°C خشک گردد (Koocheki و همکاران، ۲۰۰۹). صمغ استخراج شده توسط آسیاب پودر و به منظور یکنواخت شدن اندازه ذرات از الک عبور داده شد.

تهیه فاز پیوسته

جهت تهیه محلول‌های مورد نظر، مقادیر ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ گرم از صمغ قدومه شهری به همراه ۲ گرم پروتئین آب پنیر تغلیظ شده توسط یک همزن مغناطیسی در ۸۰ گرم آب دیونیزه به هم زده شد. پس از آن محلول صمغ و پروتئین به مدت یک شبانه روز در دمای ۴°C قرار داده شد تا جذب آب آن به طور کامل صورت پذیرد. پس از تهیه فاز پیوسته، pH آن با استفاده از اسید کلریدریک و سود ۰/۱ نرمال تنظیم گردید.

تهیه امولسیون

تمام امولسیون ها در سه مرحله تهیه شدند. برای این منظور روغن مورد نظر (۲۰ گرم) به محلول صمغ-پروتئین (با pH:۷) افزوده و توسط یک همزن مغناطیسی پیش مخلوط امولسیونی اولیه تهیه گردید. این امولسیون اولیه با استفاده از دستگاه هموژنایزر اولتراتوراکس T25 (IKA، آلمان) با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه در دمای اتاق همگن شد. هموژنیزه کردن ثانویه با استفاده از بیشینه شدت صوت و توسط دستگاه اولتراسوند ۲۵ kHz (Sonincs & Materials، آمریکا) مجهز به ژاکت سرمایی در توان اسمی ۷۵۰ وات صورت پذیرفت. مدت زمان سونیکاسیون با توجه به آزمایش های اولیه ۱۰ دقیقه و به صورت مداوم در نظر گرفته شد.

انتقال امواج از مبدل پیزوالکتریک به مخلوط توسط یک سونوترود از جنس تیتانیوم به قطر ۱۹ mm که تا عمق ۱ سانتی متر زیر سطح مایع غوطه ور شده بود انجام گرفت. برای جلوگیری از افزایش دما در جدار خارجی ژاکت، آب با دمای ۲۵ °C سیرکوله گردید تا دما در تمام مراحل اعمال صوت ثابت باقی بماند.

اندازه گیری اندازه ذرات امولسیون

متوسط قطر ذرات ($D_{3,2}$)، توزیع اندازه ذرات، پهنای توزیع ذرات (Span) و سطح ویژه قطرات (S) به کمک دستگاه انکسار نور لیزر (Fritsch Analysette 22، آلمان) و از طریق معادلات ذیل تعیین شد. برای این منظور ۰/۵ ml از نمونه در ۵ml محلول ۱ درصد SDS پراکنده شد و جهت اندازه گیری به درون دستگاه منتقل گردید (Palazolo و همکاران، ۲۰۱۱):

$$D_{32} = \frac{\Sigma n_i d_i^3}{\Sigma n_i d_i^2} \quad (۱)$$

که n_i تعداد ذرات با قطر d_i می باشد.

$$S = \frac{6\phi}{D_{32}} \quad (۲)$$

که φ حجم روغن (۰/۲) است.

$$Span = \frac{[d(v,90) - d(v,10)]}{d(v,50)} \quad (۳)$$

در این فرمول، d (v,10)، d (v, 50) و d (v, 90) به ترتیب، قطرها در ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد منحنی تجمعی است.

اندازه گیری ویسکوزیته و رفتار جریان

اندازه گیری ویسکوزیته و رفتار جریان امولسیون ها با استفاده از ویسکومتر چرخشی بروکفیلد (مدل RVDV-III، آمریکا) در سرعت برش های مختلف انجام شد. رفتار جریان از طریق برازش مدل هرشکل بالکلی بر داده‌های آزمون (تنش برشی – سرعت برشی) محاسبه گردید:

$$\tau = \tau_0 + k\gamma^n \quad (۴)$$

که در این معادله τ، تنش برشی (mPa)، τ_0، تنش تسلیم (mPa)، γ، سرعت برشی (s^{-1})، k ضریب قوام ($mPas^n$) و n، شاخص رفتار جریان (بدون بعد) است.

ویژگی های ظاهری و میکروسکوپی امولسیون

خصوصیات میکروسکوپی امولسیون ها با استفاده از میکروسکوپ نوری (labomed مدل lx 400 ، آمریکا) در بزرگ نمایی ۴۰ بررسی شد. ویژگی های ظاهری امولسیون نیز از طریق ریختن ۱۰ سی سی از امولسیون درون لوله آزمایش و بررسی میزان خامه ای شدن آن پس از ۲۸ روز نگهداری در دمای ۲۵°C با توجه به فرمول ذیل محاسبه گردید:

$$CI = \frac{HS}{HE} \times 100 \quad (۵)$$

در این فرمول CI اندیس خامه ای شدن، HS ارتفاع سرم و HE ارتفاع کل امولسیون می باشد.

محاسبات آماری

طرح در قالب فاکتوریل با طرح پایه کاملا تصادفی در سه تکرار انجام گرفت و منحنی ها با استفاده از نرم افزار Excel 2003 رسم شدند.

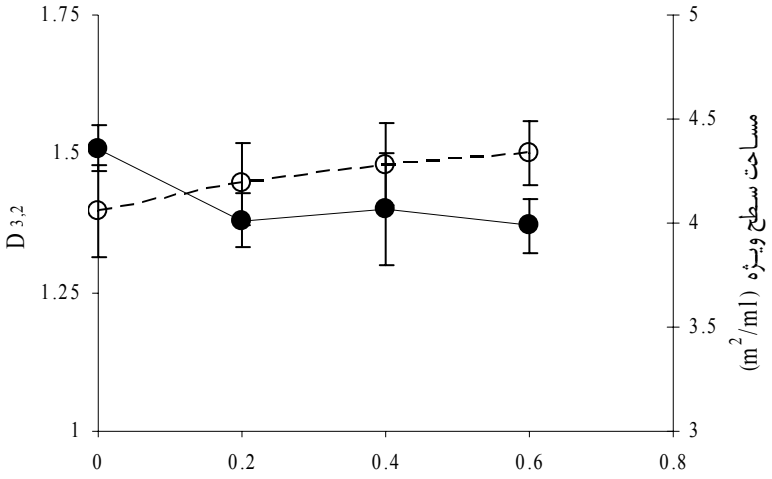
نتایج و بحث

اثر غلظت صمغ بر اندازه ذرات

افزایش غلظت صمغ از صفر به ۰/۲ درصد باعث کاهش قطر متوسط ذرات امولسیون شد در حالی که افزایش بیشتر غلظت صمغ تا ۰/۶ درصد اثر معنی داری بر اندازه ذرات امولسیون ها نگذاشت (شکل ۱). دلیل کاهش اندازه ذرات با افزایش غلظت صمغ را می توان به اثرات پایدارکنندگی صمغ از جمله افزایش ویسکوزیته فاز آبی (Taherian و همکاران، ۲۰۰۷)، ایجاد یک ساختار ژلی ضعیف، کاهش جاذبه میان قطرات از طریق ایجاد شبکه اطراف قطرات روغن و ایجاد پایداری استریک و الکتروستاتیکی نسبت داد (Dickinson، ۱۹۸۸). با توجه به قانون استوکس با افزایش ویسکوزیته سرعت خامه‌ای شدن و ناپایداری امولسیون کاهش می یابد. افزودن صمغ به امولسیون در طی هموژنیزاسیون می تواند جذب پروتئین روی سطح ذرات روغن را افزایش داده و باعث تشکیل ذرات ریز در امولسیون شود (Papalamprou و همکاران، ۲۰۰۵). این امر به دلیل افزایش ویسکوزیته فاز پراکنده و درنتیجه ایجاد زمان لازم برای جذب پروتئین بر روی ذرات روغن است که باعث جلوگیری از کوالسنس آن‌ها می شود (Makri و Doxastakis، ۲۰۰۶). از طرفی بر همکنش هیدروکلوئید–پروتئین در محلول‌ها و سطوح مشترک بین دو فاز، بر خصوصیات پایدارکنندگی امولسیون ها و دیسپرسیون ها اثر می گذارد (Dickinson و Galazka، ۱۹۹۱).

دامنه برهم کنش بین پروتئین و پلی ساکارید به توزیع گروه‌های باردار موجود بر سطح پروتئین، سهولت باز شدن ساختار پروتئین و انعطاف پذیری ساختمان و توزیع بار روی پلی ساکارید بستگی دارد. معمولاً آندسته از هیدروکلوئیدهای غذایی که دارای فعالیت بین سطحی نیستند، قادر به جذب مستقیم در سطح مشترک آب و روغن نمی باشند اما از طریق بر همکنش با لایه پروتئین، اثر خود را بر پایداری امولسیون اعمال می‌کنند. علت عدم تغییر چشمگیر در اندازه ذره امولسیون ها با افزایش غلظت صمغ از ۰/۲ تا ۰/۶ درصد می‌تواند این باشد که غلظت بالای صمغ قدومه شهری اثرات پایدارکنندگی خود را با گذشت زمان اعمال می کند و تاثیر چندانی بر تشکیل امولسیون با اندازه ذرات پایین ندارد.

در تحقیقی مشابه Ye و همکاران (۲۰۰۴) بیان نمودند که افزودن صمغ زانتان در مقادیر بالاتر از غلظت بحرانی (۰/۱۲ درصد) به امولسیون پایدار شده توسط پروتئین هیدرولیز شده آب پنیر تجاری (WPH) باعث کاهش درهم آمیختن قطرات گردید. این محققان علت این امر را افزایش گرانروی یا کاهش نیروهای جاذبه بین قطرات ذکر نمودند. با توجه به نتایج Sun و همکاران (۲۰۰۷) ، با افزایش غلظت صمغ زانتان، میزان خامه ای شدن امولسیون تثبیت شده با ایزوله پروتئین آب پنیر نیز کاهش یافت. نامبردگان این اثر را با استفاده از قانون استوکس توجیه نمودند. محققان دیگر نیز تاثیر صمغ قدومه شیرازی (Koocheki و همکاران، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱)، صمغ دانه کتان (Khalloufi و همکاران، ۲۰۰۸)، گوار و لوبیای لوکاست (Nor Hayati و همکاران، ۲۰۰۸) بر تشکیل ذرات کوچک در امولسیون را مورد بررسی قرار داده و به نتایج مشابه دست یافتند.



شکل ۱ – تاثیر غلظت صمغ قدومه شهری بر اندازه (●) و سطح مخصوص (○) قطرات امولسیون روغن ذرت در آب

برخلاف نتایج بدست آمده در این تحقیق، Makri و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی خصوصیات امولسیون پایدار شده با پروتئین‌های *Phaseolus vulgari* و *Phaseolus coccineus* به همراه صمغ عربی، لوبیای لوکاست و زانتان نتیجه گرفتند که پایداری امولسیون به نوع و طبیعت پلی ساکارید، نوع پروتئین، روش استخراج آن‌ها و pH محیط بستگی دارد به طوری که افزودن صمغ عربی باعث افزایش قطر ذرات و کاهش میزان جذب سطحی پروتئین شده اما افزودن زانتان باعث کاهش آن شد.

تغییر سطح ویژه با افزودن غلظت های مختلف صمغ در طی زمان در شکل ۱ نشان داده شده است. امولسیون حاوی ۰/۶ درصد صمغ نسبت به سایر امولسیون ها، سطح ویژه بزرگتری داشت اما اختلاف بین آن ها معنی دار نبود. نتایج مشابهی توسط Koocheki و همکاران (۲۰۰۹) مبنی بر افزایش سطح ویژه امولسیون ها با افزایش غلظت صمغ قدومه شیرازی گزارش شده است.

اثر غلظت صمغ بر پهنای توزیع ذرات (اسپان) و توزیع اندازه ذرات امولسیون

با افزایش غلظت صمغ از صفر به ۰/۶ درصد، اسپان نمودار توزیع اندازه ذرات تغییر معنی داری نداشت (شکل ۲). این امر نشان می دهد که پهنای توزیع ذرات به پروتئین موجود در سیستم بستگی داشته و وابسته به صمغ نبوده است. همانطور که مشاهده می شود تمامی امولسیون ها توزیع اندازه ذره مونومودال داشته و تنها یک پیک در منحنی توزیع اندازه ذرات مشاهده شد (شکل ۳). در تمامی غلظت ها، نمودار به صورت توزیع نرمال بود. با افزودن صمغ و افزایش غلظت آن تا ۰/۴ درصد، منحنی توزیع اندازه ذرات به سمت چپ و بالا تغییر مکان داد. افزایش غلظت صمغ از ۰/۴ به ۰/۶ درصد، اثر چشمگیری بر توزیع اندازه ذرات نداشت. این امر نشان می دهد که در نمونه های حاوی غلظت بالای صمغ (تا ۰/۴ درصد) ، تعداد ذرات با اندازه پایین‌تر بیشتر و پراکندگی آن ها کمتر بود.

Wang و همکاران (۲۰۱۱) اثر افزودن صمغ بذر کتان به امولسیون تهیه شده با ایزوله پروتئین سویا را بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که با افزودن ۰/۱ درصد صمغ به امولسیون، اندازه ذرات و پراکندگی آنها کمتر شد اما با افزایش غلظت صمغ تا ۰/۵ درصد، اندازه ذره و پراکندگی آن افزایش یافت. نامبردگان دلیل این امر را برهمکنش های محدود بین صمغ و ایزوله پروتئین آب پنیر دانستند. Koocheki و همکاران (۲۰۰۹) نیز کاهش پراکندگی و پهنای توزیع اندازه ذرات در اثر افزایش غلظت صمغ قدومه شیرازی را مشاهده نمودند. بر اساس تحقیق صورت گرفته توسط Nor Hayati و همکاران (۲۰۰۸)، امولسیون های تثبیت شده با صمغ های CMC، گوار و لوبیای لوکاست از لحاظ یکنواختی یکسان بودند ولی اسپان این امولسیون ها از امولسیون حاوی صمغ زانتان کمتر بود.

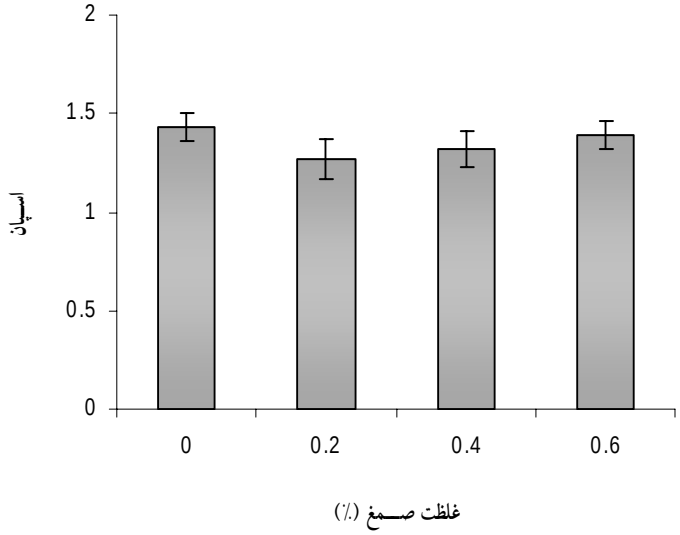
اثر غلظت صمغ قدومه شهری بر رفتار جریان امولسیون ها

پارامترهای حاصل از برازش مدل هرشل باکلی بر داده های تنش برشی در برابر سرعت برش حاکی از رفتار غیر نیوتنی امولسیون‌های حاوی صمغ در غلظت های مختلف (۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ درصد) بود (شکل ۴). امولسیون فاقد صمغ، رفتاری مشابه سیالات نیوتنی داشت اما سایر نمونه ها رفتار سودوپلاستیک و روان شونده با جریان داشتند (شکل ۴). در راستای نتایج این تحقیق Koocheki و همکاران (۲۰۰۹) بیان نمودند که در غلظت های ۱–۰/۵ درصد صمغ

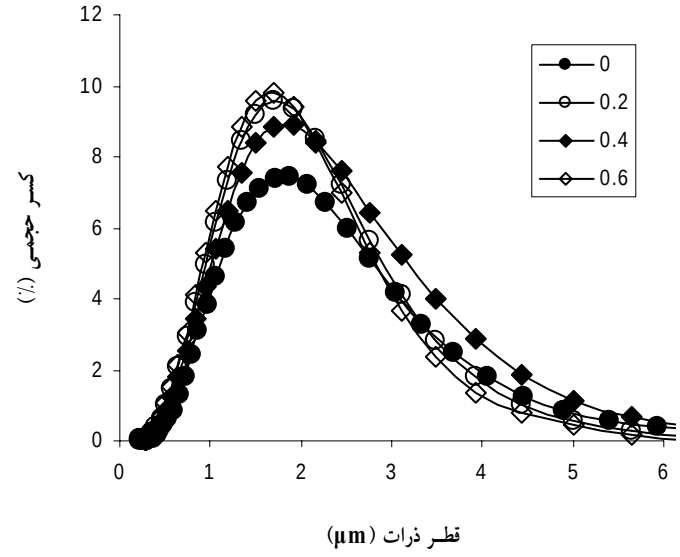
قدومه شیرازی، رفتار جریان امولسیون ها از نیوتنی به روان شونده با برش تغییر کرد که این امر به دلیل به هم پیوستگی جزئی ذرات امولسیون و یا خصوصیات ذاتی صمغ بود. نتایج مشابه با این تحقیق توسط Nor Hayati و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان داد که امولسیون‌های حاوی صمغ زانتان، لوبیای لوکاست، گوار و CMC رفتار روان شونده با برش داشتند و امولسیون های فاقد صمغ رفتار نیوتنی از خود نشان دادند.

در نمونه های حاوی صمغ، با افزایش سرعت برش، ویسکوزیته امولسیون ها کاهش یافت. این روند کاهشی در سرعت های برشی پایین چشمگیر بود. در حالیکه، در سرعت های برش بالاتر ویسکوزیته تقریبا ثابت باقی ماند (شکل ۴). ثابت ماندن ویسکوزیته در سرعت‌های برش بالاتر، به دلیل غلبه نیروهای هیدرودینامیکی و باقی ماندن ذرات به همان حالت اولیه در جهت جریان می باشد که این امر باعث ثابت ماندن ویسکوزیته می شود.

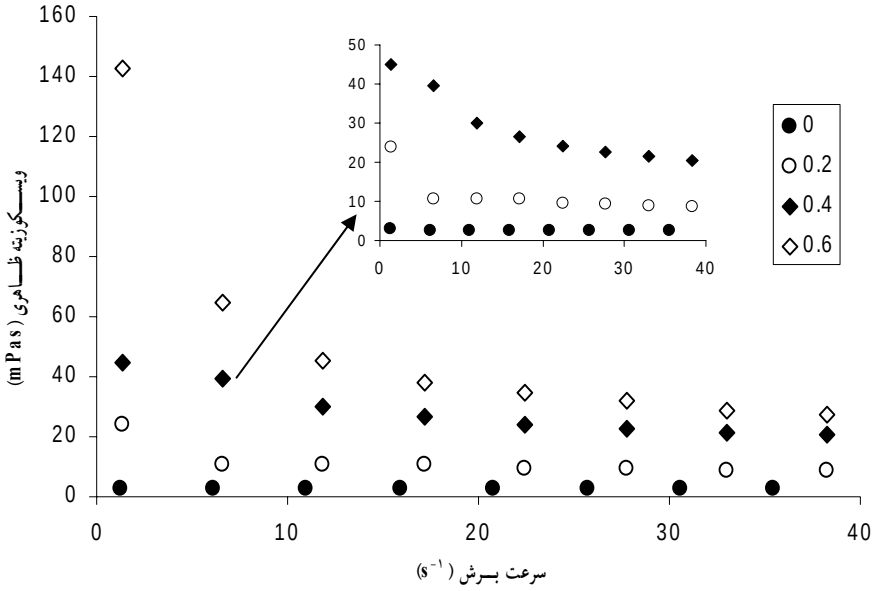
ویسکوزیته امولسیون ها با افزایش غلظت صمغ قدومه افزایش یافت (شکل ۴). حضور مقادیر زیاد مولکول های با وزن مولکولی بالا، مقاومت نسبت به جریان و ویسکوزیته امولسیون را افزایش داده و از وقوع پدیده خامه ای شدن در امولسیون جلوگیری می نماید (Koocheki و همکاران، ۲۰۰۹). Wang و همکاران (۲۰۱۱) نتیجه مشابهی را مبنی بر افزایش میزان ویسکوزیته در اثر افزایش غلظت صمغ بذر کتان در امولسیون تثبیت شده با ایزوله پروتئین سویا گزارش نمودند.



شکل ۲- اثر غلظت صمغ قدومه شهری بر پهنای توزیع ذرات (اسپان) امولسیون روغن ذرت در آب



شکل ۳- توزیع اندازه ذرات امولسیون های حاوی غلظت های مختلف صمغ قدومه شهری



شکل ٤- اثر سرعت برشی بر ویسکوزیته ظاهری امولسیون های حاوی غلظت های مختلف صمغ قدومه شهری

نتایج مطالعات Ercelabi و همکاران (۲۰۰۹) در مورد اثر صمغ گوار و پکتین بر خصوصیات رئولوژیکی امولسیون پایدار شده توسط ایزوله پروتئین آب پنیر نشان داد که با افزایش غلظت هیدروکلوئید، ویسکوزیته و ضریب قوام امولسیون افزایش یافته به طوریکه در سرعت برشی s^{-1} ۲۰، با افزودن پکتین میزان ویسکوزیته امولسیون ۵ برابر بیش از زمانی بود که پکتین در امولسیون موجود نبود. این محققان افزایش ویسکوزیته را به جداشدن فازها در مقیاس میکروسکوپی مرتبط دانستند و علت را عدم وجود برهمکنش بین پکتین و ایزوله پروتئین آب پنیر در pH=۷ دانستند.

میزان تنش تسلیم (τ_0) ضریب قوام (k) و شاخص رفتار (n) جریان امولسیون با غلظت های مختلف صمغ با استفاده از برازش مدل هرشل باکلی بر داده های تنش برش در برابر سرعت برش در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که این مدل به دلیل بالا بودن R^2 به خوبی داده ها را توصیف می کند. دلیل انتخاب این مدل نیز بالا بودن ضریب تبیین آن در مقایسه با سایر مدل ها بود.

بررسی شاخص رفتار جریان (n) امولسیون ها حاکی از این بود که با افزایش غلظت صمغ میزان n تا غلظت ۰/۴ درصد صمغ کاهش یافت و پس از آن ثابت باقی ماند. بنابراین امولسیون تثبیت شده با ۰/۴ درصد صمغ، حالت سودوپلاستیک بیشتری داشت. دلیل این تغییرات، مرتبط بودن این شاخص با اندازه متوسط ذرات روغن، توزیع اندازه ذرات و خاصیت کلوئیدی فاز پیوسته است. Krstonosic و همکاران (۲۰۰۹) نیز بیان نمودند که افزایش غلظت زانتان باعث کاهش شاخص رفتار جریان (n) امولسیون های روغن در آب تثبیت شده با پلی اکسی اتیلن (۲۰) و سوربیتان مونواولئات (Tween 80) شده و میزان سودوپلاستیسیته امولسیون را افزایش می دهد. Sun و همکاران (۲۰۰۷) نیز بیان نمودند که با افزایش غلظت صمغ زانتان شاخص رفتار جریان (n) امولسیون روغن در آب تثبیت شده با این صمغ کاهش یافت. در حالیکه، Ibanoglu (۲۰۰۲) چنین تغییری را برای امولسیون حاوی صمغ عربی مشاهده ننمود.

جدول ۱- پارامترهای حاصل از برازش مدل هرشکل بالکلی برای امولسیون های تثبیت شده با غلظت های مختلف صمغ دانه قدومه شهری

غلظت صمغ (٪)	τ_0 (mPa)	k (mPas)	n	R^2
۰	۰/۰۰۳۷	۲/۱۰±۰/۰۷	۱/۰۲±۰/۰۰۴	۰/۹۹
۰/۲	۰/۰۰۷±۰/۰۰۴	۱۵/۱۸±۰/۶	۰/۸۴±۰/۰۰۷	۰/۹۹
۰/۴	۰/۰۱۶±۰/۰۱۱	۵۵/۱۶±۲/۵۱	۰/۷۲±۰/۰۱	۰/۹۹
۰/۶	۰/۱۲±۰/۰۲	۷۳/۴۴±۴/۸۲	۰/۷±۰/۰۱	۰/۹۹

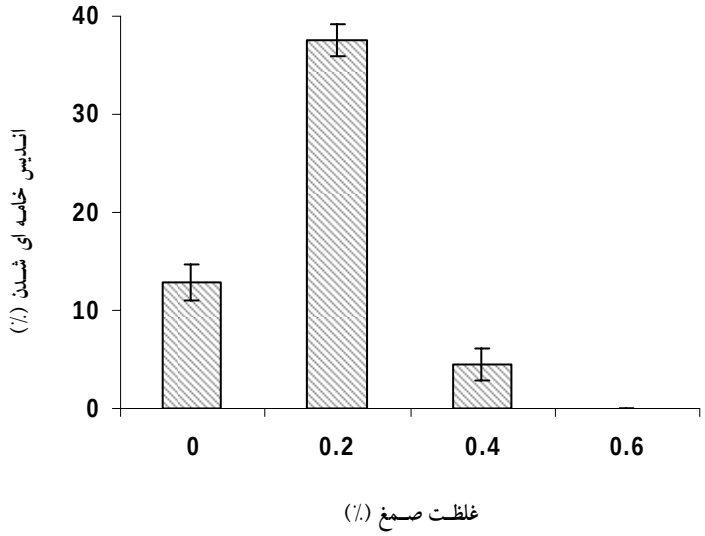
ضریب قوام امولسیون (k)، با افزایش غلظت صمغ افزایش یافت (جدول ۱). این امر به دلیل افزایش ویسکوزیته امولسیون و همچنین کاهش نیروی جاذبه بین ذرات می باشد (Nor Hayati و همکاران، ۲۰۰۸). نتایج مشابهی توسط Sun و همکاران (۲۰۰۷) و Ibanoglu (۲۰۰۲) مبنی بر افزایش میزان ضریب قوام امولسیون ها با افزایش غلظت صمغ‌های عربی و زانتان گزارش شده است.

با افزایش غلظت صمغ، میزان تنش تسلیم امولسیون ها افزایش یافت به طوری که در حضور ۰/۶ درصد صمغ، تفاوت چشمگیری در تنش تسلیم مشاهده گردید. دانستن تنش تسلیم برای طراحی بهینه سیستم های فرآیند غذایی بخصوص در حین فرآیندهای حرارتی سودمند است (Steff، ۱۹۹۶). حضور صمغ هایی که دارای تنش تسلیم هستند در فرمول ماده غذایی به قرار گرفتن هر جز از محصول در محل مناسب کمک می نماید (Rao و Kenny، ۱۹۷۵). نتایج مشابهی مبنی بر افزایش میزان تنش تسلیم امولسیون تهیه شده با ایزوله پروتئین سویا با افزایش غلظت صمغ بذر کتان تا ۰/۱ درصد گزارش شده است (Wang و همکاران، ۲۰۱۱). با این وجود، افزایش بیشتر غلظت صمغ بذر کتان بر میزان تنش تسلیم امولسیون ها بی اثر بود و تفاوت معنی داری بین آن‌ها مشاهده نشد. این محققان دلیل این امر را برهمکنش محدود بین صمغ بذر کتان و ایزوله پروتئین سویا ذکر نمودند.

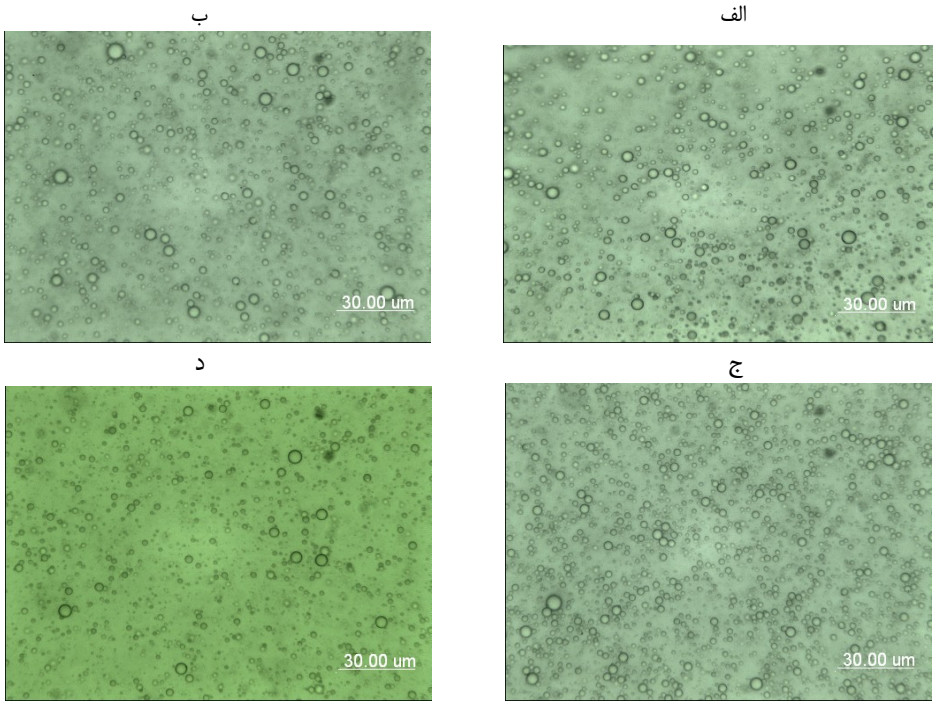
ویژگی های ظاهری امولسیون

امولسیون تهیه شده با غلظت های مختلف صمغ در زمان تولید از نظر ظاهری کاملا پایدار بودند. پس از ۲۸ روز نگهداری در دمای ۲۵°C نمونه فاقد صمغ و نمونه های حاوی غلظت های پایین صمغ خامه ای شدند (شکل ۵). اندیس خامه ای شدن برای امولسیون حاوی ۰/۲ درصد صمغ قدومه شهری نسبت به سایر نمونه ها بیشتر بود. ناپایداری امولسیون در این غلظت را می توان به ایجاد اتصال بین قطرات روغن توسط صمغ و بروز پدیده فلوکولاسیون نقصانی نسبت داد. Ye و همکاران (۲۰۰۴) نیز عنوان داشتند که افزودن غلظت‌های پایین صمغ زانتان میزان خامه‌ای شدن امولسیون را افزایش داد.

کاهش خامه ای شدن در غلظت های بالای صمغ به دلیل افزایش ویسکوزیته امولسیون و تشکیل شبکه در اثر افزودن صمغ دانه قدومه شهری است. Taherian و همکاران (۲۰۰۷) چنین عنوان کردند که افزودن زانتان به امولسیون، جدا شدن فازها از هم دیگر را آهسته کرد.Sun و همکاران (۲۰۰۷) نیز اثر زانتان بر ثبات امولسیون را مورد بررسی قرار داده و هیچ گونه دو فاز شدنی را مشاهده نکردند. نتایج تحقیق Nor Hayati و همکاران (۲۰۰۸) نیز حاکی از کاهش خامه ای شدن امولسیون در حضور پلی ساکاریدها بود. برخلاف این نظرات،Djordjevic و همکاران (۲۰۰۸) گزارش نمودند که امولسیون تثبیت شده با صمغ عربی نسبت به خامه ای شدن ذرات ناپایدار بود.



شکل ۵- اندیس خامه ای شدن امولسیون تهیه شده با غلظت های مختلف صمغ دانه قدومه شهری پس از ۲۸ روز نگهداری در دمای ۲۵°C.



شکل ٦- ساختار میکروسکوپی امولسیون های حاوی غلظت های مختلف صمغ (الف: صفر، ب: ۰/۲، ج: ۰/٤، د: ۰/٦ درصد)

ساختار میکروسکوپی ذرات امولسیون

توزیع ذرات امولسیون حاوی غلظت های مختلف صمغ به خوبی توسط میکروسکوپ قابل مشاهده است (شکل ۶). امولسیون فاقد صمغ نسبت به سایر امولسیون ها، توزیع اندازه ذرات گسترده تر و بزرگتری داشت. با افزایش غلظت صمغ میزان یکنواختی ذرات بیشتر و اندازه ذرات کوچکتر شد. این تصاویر به خوبی نتایج بدست آمده بااستفاده از دستگاه اندازه گیری ذرات را نشان می دهد.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن صمغ قدومه شهری اثر قابل ملاحظه ای بر ویسکوزیته، رفتار جریان امولسیون روغن در آب و بالتبع پایداری امولسیون داشت. اگرچه در حضور این صمغ، امولسیونی با اندازه ذرات کوچک‌تر و یکنواخت تر بدست آمد، اما به نظر می رسد که خواص پایدارکنندگی صمغ قدومه شهری با گذشت زمان بروز نماید. استفاده از ۰/۲ درصد صمغ به دلیل وقوع پدیده فلوکولاسیون نقصانی باعث ناپایداری امولسیون شد. بنابراین افزودن این غلظت از صمغ نه تنها باعث پایداری امولسیون نمی شود بلکه ناپایداری امولسیون را در پی خواهد داشت. با توجه به تشکیل امولسیون های پایدار و با اندازه قطرات ریز، چنین استنباط می شود که امواج فراصوت به خوبی توانایی لازم برای متلاشی کردن فاز روغن و کاهش اندازه قطرات را دارد.

منابع

Abismail, B., Canselier, J. P., Wilhelm, A. M., Delmas, H., and Gourdon, C., 1999, Emulsification by ultrasound: Drop size distribution and stability. Ultrasonics Sonochemistry, 6, 75–83.

Akhtar, M., Stenzel, J., Murray, B. S., and Dickinson, E., 2005, Factors affecting the perception of creaminess of oil-in-water emulsions. Food Hydrocolloids, 19, 521–526.

Behrend, O., Ax, K., and Schubert, H., 2000, Influence of continuous phase viscosity on emulsification by ultrasound. Ultrasonic Sonochemistry, 7, 77–85.

Canselier, J. R., Delmas, H., Wilhelm, A. M., and Abismail, B., 2002, Ultrasound emulsification—An overview. Journal of Dispersion Science and Technology, 23, 333-349.

Dickinson, E., 2003, Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. Food hydrocolloids, 17, 25-39.

Dickinson, E., and Galazka, V. B., 1992, Emulsion stabilization by protein/polysaccharide complex. In G. L. Philips, Wedlock, D. J., and Williams, P. A. (Eds.), Gum and stabiliseres for the Food Industry. Vol. 6. IRL Press,

Oxford.

Djordjevic, D., Cercaci, L., Alamed, J., McClements, D. J., and Decker, E. A., 2008, Chemical and physical stability of proteinand gum arabic-stabilized oil-in-water emulsions containing limonene. Journal of Food Science, 73, 167-172.

Eberth, K., and Merry, J., 1983, A comparative-study of emulsions prepared by ultrasound and by a conventional method—Droplet size measurements by means of a Coulter-Counter and microscopy. International Journal of Pharmaceutics, 14, 349–353.

Ercelabi, E, A., Ibanoglu, E., 2009, Rheological properties of whey protein stabilized emulsions with pectin and guar gum. Eur Food Res Technol. 229: 281-286.

Glicksman, M., 1982, Food hydrocolloids. Vol. 1-3, CRC press, Florida.

Gopal, E. S. R., 1968, Principles of emulsion formation, in Emulsion Science, Sherman, P., Academic Press, London.

Guo, Q., and Mu, T, H., 2011, Emulsifying properties of sweet potato protein: Effect of protein concentration and oil volume fraction. Food Hydrocolloids, 25, 98-106.

Ibanoglu, E., 2002, Rheological behaviour of whey protein stabilized emulsions in the presence of gum arabic. Journal of Food Engineering, 52, 273−277.

Izquierdo, P., Esquena, J., Tadros, T. F., Dederen, C., Garcia, M. J., Azemar, N., and Solans, C., 2002, Formation and stability of nanoemulsions prepared using the phase inversion temperature method. Langmuir, 18(1), 26–30.

Khalloufi, S., Corredig, M., Goff, H. D., and Alexander, M., 2008, Flaxseed gums and their adsorption on whey protein-stabilized oil-in-water emulsions. Food Hydrocolloids, Article in press.

Koocheki, A., Taherian, R. A., Razavi, S. M. A,. and Bostan, A., 2009, Response surface methodology for optimization of extraction yield, viscosity, hue and emulsion stability of mucilage extracted from *Lepidium Perfoliatum* seeds. Food Hydrocolloids, Food Hydrocolloids, 23, 2369-2379.

Koocheki, A., & Kadkhodaee, R., 2011, Effect of *Alyssum homolocarpum* seed gum, Tween 80and NaCl on droplets characteristics, flow properties and physical stability of ultrasonically prepared corn oil-in-water emulsions. Food Hydrocolloids, 25, 1149 1157.

Koocheki, A., Kadkhodaee, R., Mortazavi, S. A., Shahidi, F., & Taherian, A. R., 2009b, Influence of *Alyssum homolocarpum* seed gum on the stability and flow properties of O/W emulsion prepared by high intensity ultrasound. Food Hydrocolloids, 23, 2416-2424.

Koocheki, A., Mortazavi, S. A., Shahidi. F., Razavi, S. M. A., and Taherian, A. R., 2009, Rheological properties of mucilage extracted from *Alyssum Homolocarpum* seeds as a new source of thickening agent. Journal of Food Engineering, 91, 490-496.

Krstonosic, V., Dokic, L., Dokic, P., and Dapcevic, T., 2009, Effects of xanthan gum on physicochemical properties and stability of corn oil-in water emulsions stabilized by polyoxyethelene (20) sorbitan monooleate. Food Hydrocolloids, 23, 2212-2218.

Lai, L., Lin, P., 2004, Application od decolourised hsian-tsao leaf gum to low-fat salad dressing model emulsions: a rheological study. Journal of the Science of Food and Agriculture. 84: 1307-1314.

Makri, E. A., and Doxastakis, G. I., 2006, Study of emulsions and foams stabilized with Phaseolus vulgaris or Phaseolus coccineus with the addition of xanthan gum or NaCl. Journal of the Science of Food and Agriculture, 86, 1863–1870.

Makri, E. A., and Doxastakis, G. I., 2006 Study of emulsions stabilized with Phaseolus Vulgaris or Phaseolus Coccineus with the addition of Arabic gum, locust bean gum and xanthan gum. Food Hydrocolloids, 20, 1141-1152.

McCarthy, W. W., 1964, Ultrasonic emulsion. Drug and Cosmetic Industry, 94, 821-824.

McClements, D. J., 2005, Food emulsions: Principles, practice, and techniques. Boca Raton, FL: CRC Press.

Nor Hayati, I., Bin Che Man, Y., Ping Tan, C., and Nor Aini, I. 2008. Droplet characterization and stability of soybean oil/palm kernel olein O/W emulsions with the presence of selected polysaccharides. Food Hydrocolloids, Article in press.

Palazolo, G. G., Sobral, P. A., & Wagner, J. R., 2011, Freeze-thaw stability of oil-in-water emulsions prepared with native and thermally-denatured soybean isolates. Food Hydrocolloids, 25, 398-409.

Papalamprou, E. M., Makri, E. A., Kiosseoglou, V. D., and Doxastakis, G. I., 2005, Effect of medium molecular weight xanthan gum in rheology and stability of oil-in-water emulsion stabilized with legume proteins. Journal of the Science of Food and Agriculture, 85, 1967–1973.

Povey, M. J. W., and Mason, T. J., 1998, Ultrasound in Food Processing. New York, USA: Blackie Academic and Professional.

Rao, M.A. & Kenny, J. F., 1975, Flow properties of selected gums. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal, 8, 142–148.

Steff, J. F., 1996, Rheological methods in food process engineering. Freeman Press, USA.

Sun, C., and 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, 165-174.

Sun, C., Gunasekaran, S., and Richards, M. P., 2007, Effect of xanthan gum on physicochemical properties of whey protein isolate stabilized oil-in-water emulsions. Food Hydrocolloids, 21, 555–564.

Taherian, A. R., Fustier, P., and 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, 687–696.

Taherian, A. R., Fustier, P., and Ramaswamy, H. S., 2007, Effects of added weighting agent and xanthan gum on stability and rheological properties of beverage cloud emulsions formulated using modified starch. Journal of Food Process Engineering 30,204–224.

Wang, Y., Li, D., Wang, L., 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.

Ye, A., Hemar, Y., and Singh, H., 2004, Enhancement of coalescence by xanthan addition to oil-in-water emulsions formed with extensively hydrolysed whey proteins. Food Hydrocolloids, 18, 737-746.