بررسی تأثیر انجماد، پاستوریزاسیون و استریلیزاسیون بر ویژگی های امولسیون روغن در آب تثبیت شده با صمغ دانه قدومه شهری و کنسانتره پروتئین آب پنیر

آرش کوچکی[1*]، محمدعلی حصاری نژاد[2]

۱- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹٤/۳/۵)

چکیده

در این پژوهش، اثر صمغ قدومه شهری (صفر، ۰/۳ و ۰/٦ درصد وزنی) و تیمارهای حرارتی (انجماد، پاستوریزاسیون، استریلیزاسیون) بر خصوصیات امولسیون روغن در آب تهیه شده با کنسانتره پروتئین آب پنیر (٦ درصد وزنی) در pH:۷ مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی ویژگی های امولسیون، توزیع اندازه قطرات امولسیون، سرعت رویه بستن، ویژگی های میکروسکوپی، ویسکوزیته و رفتار جریان اندازه گیری شد. نتایج بررسی ها نشان داد که اعمال فرایندهای حرارتی باعث افزایش اندازه ذرات در امولسیون های حاوی صمغ-پروتئین گردید. آسیب غشای بین سطحی در دماهای بالا مانند دمای استریلیزاسیون بیشتر از سایر دماها بود. همچنین غلظت های پایین صمغ قدومه شهری در امولسیون حاوی ایزوله پروتئین آب پنیر توانست تا حدودی سیستم را نسبت به فرایندهای حرارتی مقاوم سازد. بررسی سرعت رویه بستن نشان داد که ثبات امولسیون در برابر رویه بستن با افزایش غلظت صمغ در تمام غلظت ها و در تمام فرآیندهای حرارتی افزایش یافت و در غلظت های ۰/۳ و ۰/٦ درصد صمغ، تمام فرآیندهای حرارتی باعث افزایش پایداری امولسیون گردید. 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 امولسیون های حاوی صمغ در تمامی تیمارهای حرارتی رفتار رقیق شونده با برش را نشان دادند.

واژگان کلیدی: صمغ قدومه شهری، پایداری امولسیون، انجماد، پاستوریزاسیون، استریلیزاسیون

* مسئول مکاتبات: koocheki@um.ac.ir

۱- مقدمه

امولسیون‌ها، دیسپرسیون‌های مایع در مایع (معمولاً آب و روغن) هستند که یکی از آن‌ها به صورت ذرات کروی ریز درون مایع دیگر پراکنده شده است. این امولسیون ها از نظر ترمودینامیکی ناپایدار هستند و از طریق مکانیسم های مختلف مانند لخته شدن، تجمع و انعقاد قطرات پراکنده تمایل به بی ثباتی دارند [۱]. به منظور تشکیل و پایدارسازی امولسیون ها از امولسیفایر و پایدارکننده ها استفاده می شود [۲].

پروتئین‌ها و پلی ساکاریدها به طور گسترده در تولید امولسیون های غذایی مورد استفاده قرار می گیرند [۳]. استفاده از این دو ترکیب باعث ایجاد بافت، ساختار و پایداری سیستم امولسیون خواهد شد [٤]. پروتئین ها کشش سطحی آب-روغن را کاهش داده و باعث تسهیل تشکیل امولسیون می شوند [٥]. نتایج تحقیقات نشان داده است که پروتئین آب پنیر از طریق جذب در سطح آب- روغن [٦و ۷] به تشکیل و تثبیت امولسیون روغن در آب (O/W) [۸] کمک می کند.

معمولا به منظور افزایش پایداری ذرات روغن در برابر خامه ای شدن و سایر پدیده هایی که باعث کاهش پایداری می شوند، از ترکیب پروتئین ها و پلی ساکاریدها استفاده می گردد. اکثر پلی ساکاریدها مولکول های فعال سطحی نیستند و معمولا به عنوان عامل تغلیظ کننده و به منظور افزایش گرانروی و تأخیر در ناپایداری امولسیون، به فاز آبی افزوده می گردند [۹].

صمغ استخراج شده از دانه قدومه شهری (*Lepidium perfoliatum*) قادر به تثبیت و پایداری قطرات فاز پراکنده در امولسیون روغن در آب می باشد [۱۰]. سلیمان پور و همکاران (۱۳۹۲)، اثر صمغ قدومه شهری بر ویژگی های امولسیون روغن ذرت در آب تولید شده با امواج فراصوت را بررسی نمودند و بیان داشتند که ویسکوزیته و در نتیجه پایداری امولسیون ها با افزایش غلظت صمغ قدومه افزایش یافت [۱۰]. نتایج تحقیق کوچکی و کدخدایی (۲۰۱۱) نیز نشان داد که ثبات امولسیون با افزایش غلظت صمغ قدومه شیرازی افزایش می یابد [۱۱].

ممکن است فرآیندهای حرارتی متعددی مانند پاستوریزاسیون، استریلیزاسیون، پخت و خشک کردن در زمان تولید، نگهداری و مصرف امولسیون های غذایی مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین، بررسی مقاومت ذرات فاز پراکنده امولسیون در برابر حرارت بسیار حائز اهمیت است [۱۲]. یکی از پرکاربردترین فرایندهای مورد استفاده در صنایع غذایی، سردکردن و انجماد می باشد. اکثر موادغذایی از جمله نوشابه های امولسیونی و سایر فراورده های غذایی امولسیونی نظیر فراورده های لبنی، سس ها و بستنی ها در معرض دماهای پایین قرار می گیرند.

باتوجه به اینکه اعمال فرایندهای حرارتی و انجماد بر ویژگی های امولسیون اثر گذاشته و باعث ناپایداری آن می شود، هدف از این پژوهش بررسی اثر صمغ دانه قدومه شهری بر ویژگی های امولسیون تهیه شده با پروتئین تغلیظ شده آب پنیر (WPC) تحت شرایط دمایی مختلف بود. بدین منظور توزیع اندازه ذرات، خامه ای شدن و گرانروی امولسیون اندازه گیری شد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد

روغن ذرت با نام تجاری گلدن مایز از بازار محلی؛ سدیم آزاید از شرکت مرک آلمان و کنستانتره پروتئین آب پنیر(WPC) تجاری (کد A635) از شرکت پودر شیر مولتی مشهد خریداری شد. صمغ دانه قدومه شهری بر اساس روش کوچکی و همکاران (۲۰۰۹) استخراج شد. این صمغ حاوی ۸۸/۲۳ درصد کل کربوهیدرات، ٤/٦ درصد پروتئین، ٦ درصد رطوبت و ۰/۱۸ درصد خاکستر و بدون چربی می باشد [۱۳].

۲-۲- آماده سازی امولسیون

به منظور آماده سازی فاز پیوسته، محلول صمغ و کنسانتره پروتئین به صورت جداگانه تهیه شد. محلول های صمغ دانه قدومه شهری با مقادیر مشخص (صفر، ۰/۳ و ۰/٦ گرم) در ٤۰ گرم آب دیونیزه (شرکت آبتین) تهیه و به منظور جذب آب کامل به مدت ۲٤ ساعت با استفاده از همزن مغناطیسی با سرعت آرام در دمای اتاق به هم زده شد. کنسانتره پروتئین آب پنیر به مقدار ٦ گرم در ٤۰ گرم آب دیونیزه بر روی همزن مغناطیسی با دور چرخش ٦۰۰ rpm تهیه و به محلول صمغ افزوده شد. ۲۰ گرم روغن ذرت به دیسپرسیون تهیه شده بر روی همزن مغناطیسی طی ۵ دقیقه به آهستگی اضافه گردید. به تمام نمونه ها (w/w) ۰/۰۲ درصد سدیم آزاید برای جلوگیری از رشد باکتری ها افزوده شد. سپس امولسیون اولیه تهیه شده با هموژنایزر آزمایشگاهی (Ultra Turrax T-25, IKA Instruments, Germany) با دور چرخش rpm ۱۲۰۰۰ به مدت ۵ دقیقه در دمای اتاق هموژن گردید. پس از تهیه فاز پیوسته، pH اندازه گیری شد که در تمام نمونه ها این مقدار حدود ۷ بود. پس از تهیه امولسیون ها، تیمارهای

حرارتی انجماد (انجماد توسط ازت مایع و نگهداری در فریزر با دمای ۱۸°C- به مدت ۲٤ ساعت)، پاستوریزاسیون (در حمام بن ماری در دمای ٦٨°C به مدت ۳۰ دقیقه) و استرلیزاسیون (در اتوکلاو در دمای ۱۲۱/۱°C به مدت ۱۵ دقیقه) بر روی امولسیون ها انجام گرفت.

۲-۳- سنجش اندازه ذرات امولسیون

به منظور بررسی یکنواختی امولسیون های تولیدشده، اندازه ذرات و دامنه پراکندگی ذرات (PDI)[1] به کمک دستگاه سنجش اندازه ذرات (Particle size analyzer, Cordouan, French, NanoQ software Vasco 3) بر مبنای پراکندگی نور لیزر، اندازه گیری شد. پراکندگی نور لیزر (DLS) به طور معمول در غالب Z-average بیان می شود. به منظور جلوگیری از اثر تفرق چندگانه، نمونه ها به نسبت ۱:٤۰ با آب مقطر رقیق سازی شدند.

۲-٤- اندازه گیری سرعت رویه بستن[2]

بلافاصله بعد از تولید امولسیون ها با تیمارهای حرارتی مشخص، ۱۰ میلی لیتر از نمونه ها درون لوله آزمایش ریخته و درب آن بسته شد و در دمای محیط (۲۵ °C) به مدت ۲۸ روز نگهداری شد. برای تعیین شاخص رویه بستن (CI)، ارتفاع کل امولسیون (HE) و ارتفاع سرم (HS) در فواصل زمانی ۷ روزه اندازه گیری شد و سپس از معادله زیر استفاده گردید.

$$CI = \frac{H_S}{H_E} \times 100$$

شاخص رویه بستن بطور غیرمستقیم میزان تجمع ذرات در امولسیون را مشخص می کند. بطور کلی هرچه تجمع ذرات بیشتر باشد، اندازه ذرات بزرگتر و سرعت رویه بستن بیشتر است.

۲-۵- ویژگی های میکروسکوپی امولسیون

ابتدا مقداری از امولسیون با محلول سدیم دودسیل سولفات (SDS) ۱ درصد به نسبت ۱ به ۱۰ مخلوط شد، سپس یک قطره از آن بر روی لام ریخته شد و خصوصیات میکروسکوپی نمونه ها با استفاده از میکروسکوپ نوری (lambomed، مدل lx 400، آمریکا) در بزرگ نمایی ٤۰× بررسی گردید.

۲-٦- تعیین ویژگی های رئولوژیکی امولسیون

اندازه گیری گرانروی و رفتار جریان امولسیون ها با استفاده از ویسکومتر چرخشی بوهلین (Bohlin Model Visco 88, Bohlin Instruments, U.K.) انجام شد. به منظور مدل سازی رفتار جریان نمونه های امولسیون با توجه به ماهیت غیرنیوتنی آن ها (کاهش گرانروی با افزایش درجه برش) از مدل قانون توان استفاده شد. مدل قانون توان رایج ترین مدل پیشگویی رفتار سیالات غیر نیوتنی می باشد. در این مدل رابطه تنش برشی و درجه برش به صورت زیر است:

$$\tau = k\gamma^n \qquad \text{رابطه ۱-}$$

در این معادله k ضریب قوام (Pa.s) و n شاخص رفتار جریان (بدون بعد) می باشد.

۲-۷- طرح آماری و آنالیز داده ها

به منظور بررسی اثر صمغ قدومه شهری و تیمارهای حرارتی مختلف بر ویژگی های امولسیون های تثبیت شده با ٦ درصد WPC تحت تیمارهای حرارتی مختلف، طرح آزمایشی فاکتوریل با پایه کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل ترکیبی از غلظت صمغ قدومه شهری (صفر، ۰/۳، ۰/٦ درصد و تیمارهای حرارتی (انجماد، پاستوریزاسیون و استرلیزاسیون) بود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اندازه ذرات

توزیع اندازه و قطر متوسط ذرات امولسیون، تأثیر فراوانی بر ثبات آن دارند. رئولوژی، بافت، ظاهر و رنگ امولسیون نیز تحت تأثیر این دو فاکتور می باشند. بنابراین جهت بررسی پایداری و شاخص های کیفی امولسیون، اندازه گیری اندازه ذرات بسیار حائز اهمیت است. هرچه اندازه ذرات امولسیون کوچکتر باشد، امولسیون پایدارتر است و خامه ای شدن حداقل می شود؛ زیرا اندازه ذرات بر جدایی ثقلی قطرات روغن از فاز آبی امولسیون ها تأثیر زیادی دارد و [۱۱و ۱٤و ۱۲و ۲٤].

همانطور که در شکل ۱ ملاحظه می گردد با افزایش غلظت صمغ از صفر تا ۰/٦ درصد، در نمونه شاهد و نمونه منجمد شده، اندازه ذرات تغییر معنی داری نکرد ($p<۰/۰۵$). اما در نمونه هایی که استریل و پاستور شده بودند، با افزایش غلظت صمغ، اندازه ذرات به ترتیب از ٦٤۸±۳۰ به ۱۲٤٦±۲۲ نانومتر و از ۲۳۸±٦ به ۷۹٤±۲۵ نانومتر افزایش یافت.

معمولا امولسیون ها به دلیل ناپایداری ترمودینامیکی به تغییرات دمایی مقاوم نبوده و دچار شکست می‌شوند. با اعمال

1. Poly disparity index
2. Creaming

فرایندهای پاستوریزاسیون و استریلیزاسیون، پروتئین موجود در امولسیون دناتوره شده و ویژگی های عملکردی آن تغییر می کند [۱۵]. تغییر کنفورماسیون پروتئین ها احتمالا باعث ایجاد اتصال بین ملکول های صمغ و پروتئین در محیط آبی شده و درنتیجه از طریق وقوع پدیده فلوکولاسیون نقصانی موجب افزایش اندازه ذرات در غلظت های بالای صمغ شود. پاره شدن غشاهای بین سطحی در اثر اعمال حرارت نیز می تواند باعث در هم آمیختگی ذرات شده و اندازه ذرات را افزایش دهد [۱۶].

همانطور که در شکل ۱ ملاحظه می گردد، اندازه ذرات امولسیون در امولسیون های منجمد شده نسبت به نمونه شاهد تفاوت معنی داری نداشت. بنابراین امولسیون های تهیه شده با ایزوله پروتئین آب پنیر و صمغ دانه قدومه شهری نسبت به تنش انجماد مقاوم تر هستند. سایر تحقیقات نیز نشان داده است که ترکیبات موجود در امولسیون به خصوص نوع امولسیفایر بر پایداری امولسیون در برابر فرایند انجماد موثر است [۱۷]. وجود صمغ در این امولسیون ها نیز احتمالا باعث کاهش میزان کریستال های یخ در فاز آبی شده که این امر باعث کاهش فشار بر دیواره قطرات و پایداری سیستم در حین انجماد می شود.

اعمال فرایندهای حرارتی باعث افزایش اندازه ذرات در امولسیون های حاوی صمغ-پروتئین شد (شکل ۱). این افزایش برای نمونه هایی که تحت تاثیر فرایند استریلیزاسیون قرار گرفته بودند بیشتر بود. آسیب غشای بین سطحی در اثر اعمال حرارت باعث در هم آمیختگی ذرات می شود [۱۶] که این تخریب در دماهای بالا مانند دمای استریلیزاسیون بیشتر از سایر دماها می باشد.

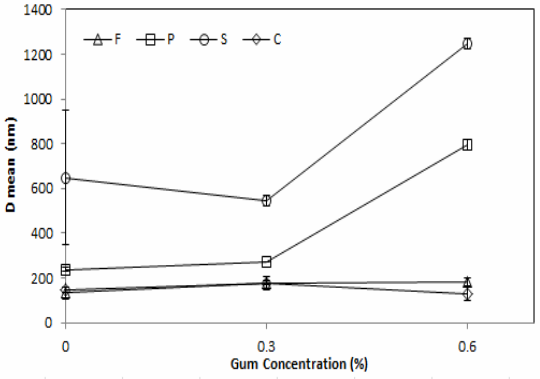

Fig 1 Average diameter of fresh emulsion as a function of freezing (F), pasteurization (P), sterilization (S) and *L. perfoliatum* seed gum concentration. (C is control sample)

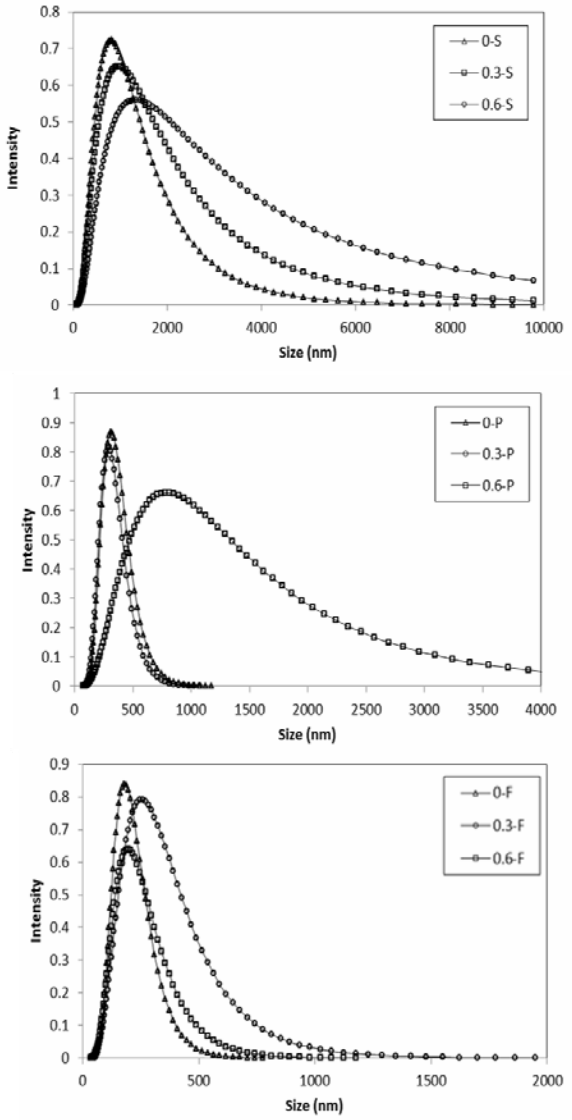

Fig 2 Particle size distribution of freshly prepared emulsion as a function of freezing (F), pasteurization (P), sterilization (S) processes and *L. perfoliatum* seed gum concentration (0, 0.3 and 0.6%)

توزیع اندازه ذرات برای بسیاری از کاربردهای عملی امولسیون ها حائز اهمیت می باشد. اثر غلظت صمغ بر توزیع اندازه ذرات امولسیون برای نمونه های تحت تیمارهای حرارتی مختلف، در شکل ۲ ارائه شده است. تمام منحنی های توزیع، دارای یک پیک بودند. اعمال فرایند استریلیزاسیون و افزایش غلظت سبب شد که منحنی توزیع اندازه ذرات به سمت راست تمایل یافته و همچنین پهنای این منحنی افزایش یابد. در غلظت ۰/۶ درصد نیز اعمال تیمار حرارتی پاستوریزاسیون باعث انحراف منحنی به سمت راست گردید. این مشاهدات نشان دهنده بزرگتر شدن اندازه ذرات و کاهش یکنواختی آنها

می باشد. انجماد امولسیون های تثبیت شده با صمغ دانه قدومه شهری و پروتئین آب پنیر نیز باعث انحراف جزئی منحنی به سمت راست شد (شکل ۲) در نتیجه افزایش اندازه ذرات بسیار محدود و ذرات یکنواختی بالاتری داشتند.

۳-۲- سرعت رویه بستن

روند رویه بستن امولسیون روغن در آب حاوی غلظت های مختلف صمغ قدومه شهری در فرآیندهای حرارتی اعمال شده طی ۳ هفته نگهداری در دمای محیط (۲۵°C) در شکل ۳ نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می شود ثبات امولسیون در برابر رویه بستن با افزایش غلظت صمغ در تمام غلظت ها و در تمام فرآیندهای حرارتی افزایش یافت به طوری که در امولسیون حاوی ۰/٦ درصد صمغ طی ۲۱ روز، جداسازی بسیار کمی مشاهده گردید. افزایش پایداری در اثر افزودن صمغ را می توان به افزایش گرانروی فاز آبی امولسیون مرتبط دانست. در این حالت با توجه به قانون استوکس، با افزایش گرانروی حرکت قطرات به سمت بالا کند شده و سرعت رویه بستن امولسیون کاهش می یابد. علاوه بر این ثبات امولسیون در حضور پلی ساکارید با وزن مولکولی بالا می تواند به علت محصور شدن قطرات در شبکه سه بعدی ایجاد شده توسط آن نیز باشد [۲]. بنابراین، با وجود افزایش اندازه ذرات در غلظت ۰/٦ درصد صمغ، افزایش گرانروی به حدی بود که از دو فاز شدن سیستم امولسیونی جلوگیری کرد.

در غلظت های ۰/۳ و ۰/٦ درصد صمغ، تمام فرآیندهای حرارتی باعث افزایش پایداری امولسیون گردید. افزایش دما باعث افزایش مدول های الاستیک و ویسکوز و گرانروی کمپلکس صمغ دانه قدومه شهری می‌شود (۲) و در واقع حرارت سبب تشدید بر هم کنش های هیدروفوبی در محلول صمغ دانه قدومه شهری شده و شبکه ژلی را تقویت می کند؛ بنابراین، می توان این گونه تصور کرد که کاهش خامه ای شدن و افزایش پایداری امولسیون در فرآیندهای حرارتی به دلیل افزایش استحکام شبکه می‌باشد. این پدیده مشابه اثر افزایش غلظت برخی صمغ ها مانند زانتان [۱۸و ۱۹] و قدومه شهری [۱۰] در پایداری امولسیون می باشد. بوف و همکاران (۲۰۰۲) نیز با بررسی تأثیر زمان – دما از حداقل شرایط پاستوریزاسیون (٦۲/۵°C به مدت ۳۰ دقیقه) تا حداکثر شرایط (۱۰۰°C به مدت ۹۰ دقیقه) بر خصوصیات امولسیون کنندگی صمغ عربی، پایداری حرارتی بالای آن را مشاهده کرده و دریافتند خصوصیات امولسیون کنندگی آن پس از حرارت بهبود یافت [۲۰].

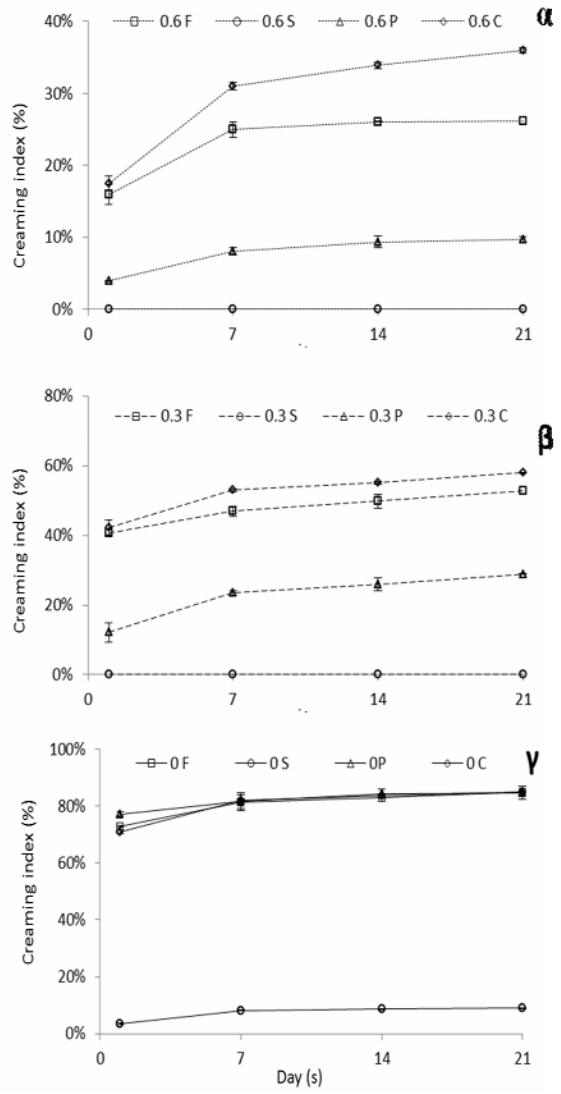

Fig 3 Creaming index as a function of freezing (F), pasteurization (P), sterilization (S) for WPC emulsions containing different concentration of *L. perfoliatum* seed gum (0:α, 0.3: β, 0.6: γ) during storage at 25°C. (C is control sample)

با توجه به شکل ۳، فرآیند انجماد نیز در غلظت های مشابه صمغ، باعث افزایش پایداری و کاهش سرعت رویه بستن امولسیون گردید. فریتاس و همکاران (۲۰۰۹) مشابه همین نتیجه را برای پایدارسازی امولسیون تشکیل شده توسط محلول پلی ساکارید تولید شده توسط سودوموناس اولئوورانس در

تیمار حرارتی انجماد گرفتند [۲۱]. با انجماد امولسیون روغن در آب، در صورت وجود پروتئین، پروتئین ها دناتوره شده و عملکرد آنها کاهش می‌یابد [۱۵] اما چون بخش های هیدروفوب بیشتر د ردسترس قرار می گیرند، می تواند باعث تثبیت امولسیون گردد.

نتایج این بخش نشان داد که در صورت استفاده از صمغ قدومه شهری، می توان امولسیون هایی تولید کرد که شرایط فرایند را تحمل کرده و سیستمی نسبتا پایدار ایجاد کند.

۳-۳- ساختار میکروسکوپی امولسیون

بررسی های میکروسکوپی نشان داد که با افزایش غلظت صمغ در فرآیند پاستوریزاسیون، قطرات درشت تر شدند اما مشابه اطلاعات بدست آمده از دستگاه سنجش اندازه ذرات، در فرآیند حرارتی استریلیزاسیون اندازه ذرات در غلظت ۰/۳ درصد کوچکتر و توزیع یکنواخت تری داشتند. این تصاویر به خوبی نتایج بدست آمده با دستگاه سنجش اندازه ذرات را تأیید می‌نماید. چنانچه در شکل ٤ ملاحظه می گردد بین توزیع اندازه ذرات نمونه های کنترل و انجماد در غلظت های مختلف هیچگونه تفاوت چشمگیری مشاهده نشد.

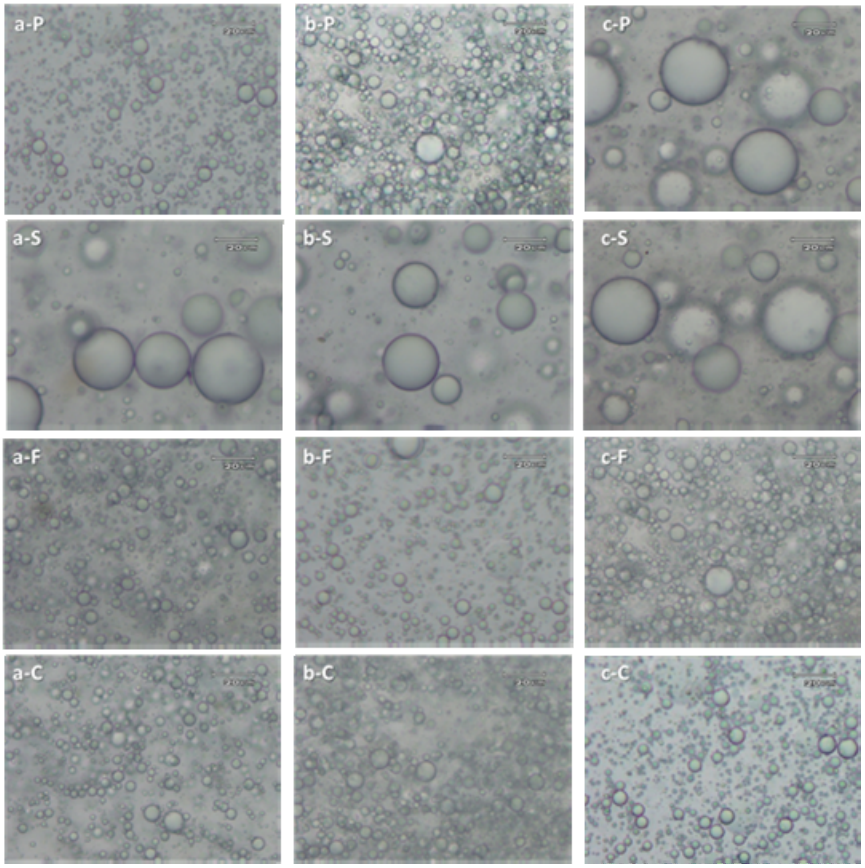

Fig 4 The microscopic structure of fresh emulsions containing different *L. perfoliatum* seed gum concentrations during various thermal processes (a:0, b:0.3 and c:0.6%; C:control sample, F:freezing, P:pasteurization, S:sterilization processes.

۳-٤- خصوصیات رئولوژیکی و رفتار جریان امولسیون ها

پارامترهای حاصل از برازش مدل قانون توان بر داده های تنش – درجه برش در امولسیون تحت تأثیر غلظت صمغ و نوع فرایند حرارتی در جدول ۱ نشان داده شده است. ضریب تبیین در همه موارد بالاتر از ۰/۹۳ بود که نشان دهنده مناسب بودن این مدل برای بیان رفتار جریان امولسیون های تولیدی می باشد.

رفتار جریان تعیین کننده درجه شبه پلاستیک بودن یک سیال است، به طوری که با کاهش آن درجه سودوپلاستیسیته افزایش می یابد [۲۲و ۲۳]. تحقیقات نشان می دهد که رفتار غیرنیوتنی زمانی اهمیت دارد که شاخص رفتار جریان به کمتر از ۰/٦ کاهش یابد [۲٤]. همانطور که در جدول ۱ ملاحظه می گردد،

شاخص رفتار جریان در تمام تیمارهای حرارتی حاوی صمغ دانه قدومه شهری کمتر از ٠/٦ بود. این خصوصیت در امولسیون‌های روغن در آب اهمیت فراوانی دارد زیرا ضمن این که امولسیون در هنگام خروج از ظرف به راحتی جریان پیدا می کند، از جدا شدن ذرات در اثر نیروی جاذبه نیز جلوگیری شده و امولسیون با ثبات می ماند [١٩].

در نمونه های فاقد صمغ، بجز نمونه هایی که فرایند استریلیزاسیون بر روی آن ها انجام شده بود، تمام امولسیون‌ها n نزدیک به یک داشتند که نشان دهنده رفتار نزدیک به نیوتنی این امولسیون ها است. اما در تیمار استریلیزاسیون مقدار n برابر ٠/٦٠٩٤ بود. این کاهش احتمالا به دلیل وجود گروه های سولفیدریل در پروتئین آب پنیر بوده که در دمای بالا (بالای ٨٠ درجه سانتی گراد) با تشکیل پیوندهای دی سولفیدی، شبکه ژلی ایجاد کرده و باعث افزایش گرانروی و خروج جریان از حالت نیوتنی می شود.

با افزایش غلظت صمغ، شاخص رفتار جریان تقریبا در تمام تیمارهای حرارتی کاهش یافت (جدول ١). نتایج تحقیق سان و همکاران (٢٠٠٧) نیز نشان داد که با افزایش غلظت صمغ زانتان شاخص رفتار جریان (n) امولسیون روغن در آب تثبیت شده با این صمغ کاهش یافت. این مطلب نشان دهنده انحراف از رفتار نیوتنی و چشمگیر بودن رفتار روان شوندگی با برش امولسیون با افزایش غلظت صمغ می باشد [١٨].

Table 1 Power law model parameters for emulsions with different *L. perfoliatum* seed gum concentrations and thermal processes.

	Freezing			Pasteurization			Sterilization			Control		
	0	0.3	0.6	0	0.3	0.6	0	0.3	0.6	0	0.3	0.6
k	0.006	1.015	3.063	0.004	1.772	1.984	0.788	7.595	9.077	0.049	4.920	18.780
n	0.9719	0.3644	0.3590	0.9787	0.4480	0.3319	0.6094	0.3905	0.4231	0.9269	0.4730	0.3810
R^2	0.95	0.98	0.99	0.99	0.99	0.93	0.99	0.93	0.96	0.99	0.98	0.97

The standard deviation for all data is smaller than 2%

از ضریب قوام (k)، جهت ارزیابی گرانروی امولسیون استفاده می شود و افزایش آن نشان دهنده افزایش گرانروی و جاذبه بین قطرات است. ضریب قوام با افزایش غلظت در تمام نمونه ها افزایش یافت. ضریب قوام امولسیون ها در تیمار استریلیزاسیون، پاستوریزاسیون و انجماد با افزایش غلظت از صفر تا ٠/٦ به ترتیب از ٠/٧٨٨ به ٩/٠٧٧، از ٠/٠٠٤ به ١/٩٨٤ و از ٠/٠٠٦ به ٣/٠٦٣ پاسکال ثانیه رسید. نتایج مشاهده شده بیانگر توانایی بالای صمغ دانه قدومه شهری در افزایش گرانروی محیط تحت شرایط تیمارهای حرارتی مختلف می باشد. علت افزایش ضریب قوام که معیاری از گرانروی نیز می باشد، فزونی تعداد مولکول های با وزن مولکولی بالا و درگیری زنجیره های آن ها با هم، تشکیل فیلم های بین سطحی و در نتیجه مقاومت در برابر جریان است [٢٢و ٢٦]. با افزایش غلظت هیدروکلوئید، ضریب قوام به دلیل افزایش ظرفیت اتصال آب هیدروکلوئید، افزایش گرانروی، کاهش تحرک مولکول ها، تشکیل فیلم های بین سطحی و احتمالا به هم پیوستگی نقصانی افزایش پیدا کرد [٢٦و٢٧]. ویلیامز و همکاران نیز به نتایج مشابهی مبنی بر افزایش گرانروی امولسیون با افزایش درصد صمغ دست یافتند [٢٨].

همانطور که در جدول ١ مشاهده می شود در تیمار حرارتی استریلیزاسیون در دو غلظت صفر و ٠/٣ درصد ضریب قوام نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت که احتمالا مربوط به افزایش تمایل پلیمرهای این صمغ به اتصالات بین مولکولی در حرارت های بالا می باشد. همچنین افزایش تجمعات زنجیره های این پلیمر طی حرارت دهی در دمای بالا (استریلیزاسیون) در نهایت گرانروی محلول را پس از استریلیزاسیون افزایش داد.

حرارت دهی باعث بازشدن نواحی پروتئینی می گردد، در نتیجه آمینواسیدهای غیرقطبی به سمت فاز روغنی و گروه های هیدروفیل به سمت قطرات فاز آبی هدایت می شوند. این اتفاق باعث بهبود ظرفیت و پایداری امولسیون کنندگی می گردد. با این وجود، گاهی حرارت دهی تنها بخشی از پروتئین را باز می کند و تنها بخشی از اسیدهای آمینه به سمت فاز روغنی هدایت می شوند [٢٠]. همچنین همان طور که گزارش گردید حرارت دهی باعث افزایش گرانروی محلول صمغ می گردد، در نتیجه با توجه به این که عامل اصلی خاصیت امولسیون کنندگی پلی ساکاریدها افزایش گرانروی فاز پیوسته

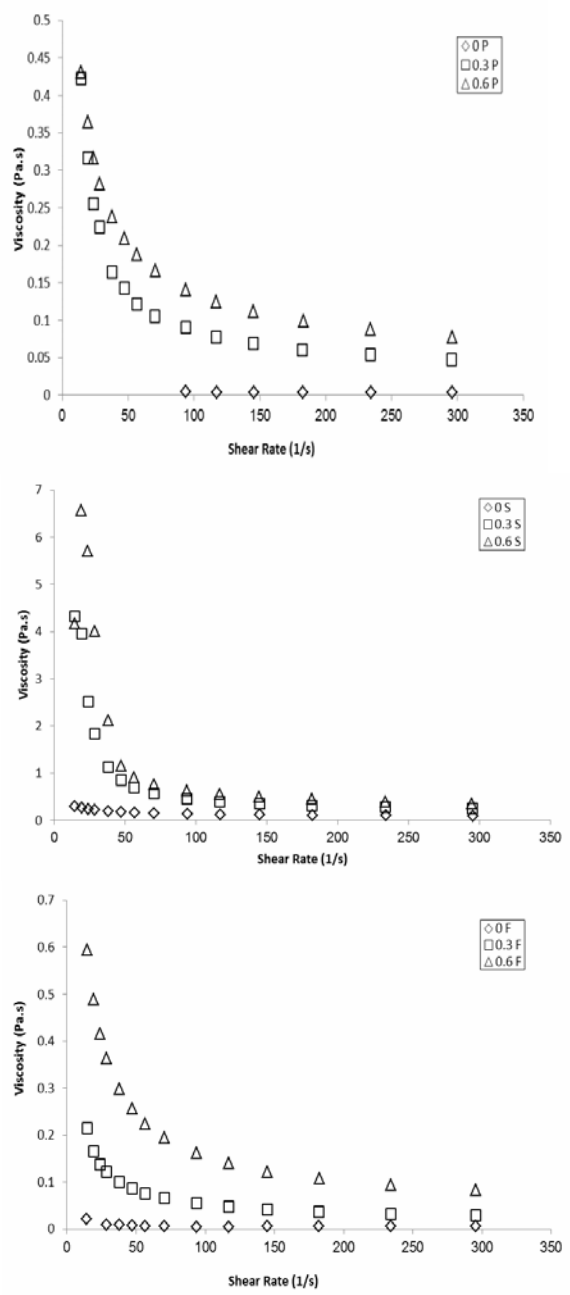

Fig 5 Effect of different *L. perfoliatum* seed gum concentrations and thermal processes on viscosity-shear rate profile of emulsions (◊: 0%, □: 0.3%, Δ: 0.6%, F:freezing, P:pasteurization, S:sterilization processes).

اما در سرعت های برشی بالاتر به دلیل غلبه نیروهای هیدرودینامیکی و قرارگیری قطرات در جهت اعمال برش گرانروی ثابت می شود. ناکاما و همکاران (۲۰۰۸) نیز نتایج مشابهی را برای امولسیون های تهیه شده با صمغ عربی مشاهده نمودند [۳۱]. لازم به ذکر است که با افزایش درصد صمغ دانه قدومه شهری رفتار شبه پلاستیک تشدید گردید زیرا توسط آنها است، افزایش خاصیت امولسیون کنندگی پس از حرارت دهی نیز کاملاً منطقی به نظر می رسد.

در غلظت بالاتر (۰/٦ درصد) ضریب قوام کاهش یافته است. با توجه به اینکه گرانروی امولسیون به طور قابل ملاحظه ای وابسته به فاز پیوسته است [۲۹] می توان چنین استنباط نمود که در غلظت بالاتر، در فرایند حرارتی استریلیزاسیون احتمالا ساختار صمغ دچار شکست شده و باعث کاهش گرانروی و ضریب قوام شده است. قابلیت امولسیون کنندگی محلول های صمغ عربی نیز پس از اعمال تیمار حرارتی کاهش می یافت که به دلیل دناتوراسیون ناحیه پروتئینی عنوان شده است [۱۵]. همچنین ملاحظه می گردد که با اعمال درجه حرارت پاستوریزاسیون نسبت به نمونه شاهد ضریب قوام به دلیل افزایش تحرک مولکول ها و شکسته شدن اجتماع قطرات کاهش یافت که البته غلظت صمغ نیز وابسته بود و در غلظت های بالاتر تغییرات بیشتری مشاهده گردید. با انجماد امولسیون روغن در آب نیز ضریب قوام با کاهش دما به کمتر از حد مشخص کاهش یافت و نشان می دهد که انجماد تأثیر تخریبی بر باندهای بین مولکولی داشته است. همچنین با تشکیل کریستال های یخ و کاهش آب آزاد، امولسیفایرها از سطح قطرات جدا شده و جذب سطح کریستال های یخ می شوند [۳۰]. این شرایط موجب بروز نوعی رقابت در جذب امولسیفایر به سطح قطرات روغن و یا سطح کریستال های یخ شده و در نتیجه سبب کاهش پوشش دهی سطح ذرات و افزایش به هم پیوستگی و در هم آمیختگی می شوند [۳۰]. در این شرایط ممکن است امولسیفایرها قدرت امولسیون کنندگی و ویژگی های سطحی خود را از دست بدهند [۱۲].

نتایج داده های گرانروی- سرعت برش نشان داد که با افزایش غلظت صمغ دانه قدومه شهری گرانروی کلیه امولسیون ها در هر سه تیمار حرارتی افزایش پیدا کرد (شکل ۵).

با افزایش سرعت برش نیز گرانروی در کلیه ی نمونه ها کاهش یافت که نشان دهنده رفتار شبه پلاستیک آن ها می باشد، به طوری که در درجه برش های بالاتر رفتار نزدیک به نیوتنی مشاهده شد. در سرعت های برشی پایین با افزایش درجه برش، قطرات امولسیون و مولکول ها به تدریج در جهت جریان قرار گرفته و مقاومت در برابر جریان رفته رفته کم کی شود، بنابراین گرانروی کاهش می یابد [۱۲].

با افزایش غلظت صمغ، درصد پلی مرهای با وزن مولکولی بالا افزایش یافته و مقاومت در برابر جریان را کاهش خواهد داد. گرانروی امولسیون تابع گرانروی فاز پیوسته می باشد و گرانروی فاز پیوسته یکی از فاکتورهای مهم جهت تثبیت امولسیون می باشد [۳۲]. افزایش گرانروی فاز پیوسته، حرکت قطرات و برخورد آن ها با یکدیگر را کاهش داده و بنابراین میزان به هم پیوستگی و در هم آمیختگی آن ها کاهش می یابد. علت کاهش گرانروی در درجه برش های بالاتر به دلیل شکسته شدن اجتماعات قطرات در نمونه ها می باشد [۱۹].

٤- نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن صمغ قدومه شهری اثر قابل ملاحظه ای بر ویسکوزیته، رفتار جریان امولسیون روغن در آب و بالتبع پایداری امولسیون داشت. بعلاوه، نتایج حاکی از عدم تأثیر تخریبی تیمارهای حرارتی در دماهای پاستوریزاسیون، استریلیزاسیون و انجماد بر ویژگی های عملکردی این صمغ بود. در برخی موارد تیمار حرارتی باعث بهبود این خصوصیات گردید. مقاومت صمغ دانه قدومه شهری در دماهای بالا و انجماد باعث سهولت استفاده از آن در فرمول امولسیون هایی غذایی می شود. این بررسی نشان داد که اعمال فرایندهای حرارتی باعث افزایش آسیب غشای بین سطحی و بالتبع آن باعث افزایش اندازه ذرات در امولسیون های حاوی صمغ-پروتئین گردید. بررسی سرعت رویه بستن نیز نشان داد که ثبات امولسیون در برابر رویه بستن با افزایش غلظت صمغ در تمام غلظت ها و در تمام فرآیندهای حرارتی افزایش یافت و در غلظت های ۰/۳ و ۰/٦ درصد صمغ، تمام فرآیندهای حرارتی باعث افزایش پایداری امولسیون گردید. امولسیون های تشکیل شده در تمامی تیمارهای حرارتی، رفتار رقیق شونده با برش را نشان دادند.

٥- منابع

[1] Dickinson, E. (1997). Properties of emulsions stabilized with milk proteins: overview of some recent developments. Journal of Dairy Science, 80, 2607-2619.

[2] Dickinson, E., & Galazka, V. B. (1992). Emulsion stabilization by protein/polysaccharide complex. InPhilips, G. L., Wedlock, D. J., & Williams, P. A. (Eds.), (1992). Gum and stabilisers for the food industry, Vol. 6. Oxford: IRL Press.

[3] Ye, A., Hemar, Y., & 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.

[4] Dickinson, E., & McCalements, D. J. (1995). Protein-polysaccharide interactions. Advances in food colloids. New York: Blackie Academic & Professional.

[5] Damodaran, S. (2005). Protein stabilization of emulsions and foams. Journal of Food Science, 70,54-66.

[6] Dalgleish, D. G. (1997). Adsorption of protein and the stability of emulsions. Trends in Food Science & Technology, 8, 1-6.

[7] Pearce, K. N., & Kinsella, J. E. (1978). Emulsifying properties of proteins: evaluation of a turbidity technique. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 26, 716-723.

[8] Mangino, M. E. (1984). Physicochemical aspects of whey protein functionality. Journal of Dairy Science, 67, 2711-2722.

[9] Paraskevopoulou, A., Boskou, D., & Kiosseoglou, V. (2005). Stabilization of olive oil-lemon juice emulsion with polysaccharides. Food Chemistry, 627-634.

[10] Soleimanpour, M., Kadkhodaee, R., Koocheki, A. (1392). The effect of *Lepidium perfoliatum* seeds gum on corn oil in water emulsion characteristics produced by ultrasound. Iranian Food Science and Thechnology Research Journal, 9(1): 21-30.

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

[12] McClements, D. J. (2005). Food emulsions: Principles, practice, and techniques. Boca Raton, FL: CRC Press.

[13] Koocheki, A., Taherian, A. R., Razavi, S. M. A., & 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, 23, 2369-2379.

behavior of carboxymethyl cellolose. Carbohydrate Polymers, 54: 73-82.

[24] Muller, F. L., Pain, J. P., and Villon, P. (1994). On the behavior of non-Newtonian liquids in collinear ohmic heaters. In Proceeding of the 10th international heat transfer conference. Freezing, melting, internal forces convection and heat exchangers. 4:285-290.

[25] Farhoosh, R., and Riazi, A. (2007). A compositional study on two current types of salep in Iran and their rheological properties as a function of concentration and temperature. Journal of Food Hydrocolloids. 21: 660-666.

[26] Gomez-Diaz, D., and Navaza, J. M. (2003). Rheology of aqueous solutions of food additives effect of concentration, temperature and blending. Journal of Food Engineering, 56: 387-392.

[27] Maskan, M. and Gogus, F. (2000). Effect of sugar on the rheological properties of sunflower oil-water emulsions. Journal of Food Engineering. 43: 173-177.

[28] Williams, P. A., and Philips, G. O. (2001). Gum Arabic: functional properties and food applications, Handbook of Dietary Fiber (S. Sungsoo Cho and M. L. Dreher, ed.), Marcel Dekker, New York.

[29] Brill, J.P., Mukherjee, H. (1999). Multiphase Flow in Wells; SPE Monograph. 17. Henry L. Doherty Series. SPE. Richardson. TX.

[30] Ghosh, S., Coupland, J. (2008). Factors affecting the freeze-thaw stability of emulsions. Journal of Food Hydrocolloids. 22(1):105-111.

[31] Nakauma, M., Funami, T., Noda, S., Ishihara, S., Al-Assaf, S., Nishinari, K., and Philips, G. O. (2008). Comparison of sugar beet pectin, soybean soluble polysaccharide, and gum Arabic as food emulsifier: 1.Effect of concentration, pH, and salt on the emulsifying properties. Journal of Food Hydrocolloids, 22: 1254-1267.

[32] Tyrode, E., Allouche, J., Sadtler, E., Choplin, L., Salager, J. L. (2005). Emulsion Catastrophic Inversion from Abnormal to Normal Morphology. 4. Following the emulsion viscosity during three inversion protocols and extending the critical dispersed-phase concept. Industry and Engineering Chemistry Research. 44 (1): 67-74.

[14] Dickinson, E., & Stainsby, G. (1988). Advances in food emulsions and foams. London: Elsevier.

[15] Guzey D. and McClements, D. J. M. (2006). Formation, stability and properties of multilayer emulsions for application in the food industry. Advances in Colloid and interface Science, 128-130: 227-48.

[16] Arianfar, A., Shahidi, F., Kadkhodaee, R. (1392). Optimization of some extraction method and evaluation of the factors effect on the formation and stability of Ginger's essential oil's emulsion in green tea extract. PhD dissertation at Ferdowsi University of Mashhad.

[17] Thanasukarn, P., Pongsawatmanit, R., McClements, D. J. Food Hydrocolloids. (2004). Influence of emulsifier type on freeze-thaw stability of hydrogenated palm oil-in-water emulsions. Journal of Food Hydrocolloids: 18(6): 1033-1043.

[18] Sun, C., Gunasekaran, S., & 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.

[19] Taherian, A. R., Fustier, P., & 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.

[20] Buff, R. A., Reineccius, G. A., and Oehlert, W. O. (2002). Influence of time-temperature treatment on the emulsifying properties of gum acacia in beverage emulsion. Journal of Food Engineering, 51: 341-345.

[21] Freitas, F., Alves, V. D., Carvalheira, M., Costa, N., Oliveira, R., and Reis, M. A, M. (2009). Emulsifying behavior and rheological properties of extracellular polysacharude produced by psedomonas oleovorans grown on glycerol byproduct. Carbohydrate Polymers, 78 (3), 549-556.

[22] 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.

[23] Togrul, D. J., and Arsalan, N. (2003). Production of carboxymethyl cellolose from sugar beet pulp cellolose and rheological

Effect of freezing, pasteurization and sterilization on physical properties of oil-in-water stabilized with *Lepidium perfoliatum* seed gum and whey protein concentrate

Koochaki, A. [1*], Hesari-nezhad, M. A. [2]

Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
PhD Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
(Received: 93/11/11 Accepted: 94/3/5)

Effects of *Lepidium perfoliatum* seed gum (LPSG) concentration (0, 0.3 and 0.6 wt%) and different processing treatments (freezing, pasteurization and sterilization) on physical and stability of oil-in-water emulsion prepared by whey protein (6 wt%) was investigated. For this purpose, particle size distribution, creaming index, microscopic characteristics, viscosity and flow behavior of emulsions were studied. Results showed that thermal processing increased the particle size of dispersed phase. Results also showed that the damage of membrane surface at high temperature such as sterilization was higher than other temperatures. At low *Lepidium perfoliatum* seed gum concentration, the emulsions were somewhat more resistant to thermal processes. However, at higher gum concentrations (0.3 and 0.6%), thermal processing did not have a negative effect on the emulsion stability. The viscosity and consistency coefficients also increased with increasing gum concentration. Shear thinning behavior for emulsions at all thermal treatments were also observed. Therefore, adding LPSG to the emulsion could increase its stability to the thermal processing.

Key words: *Lepidium perfoliatum* seed gum; Emulsion stability; Freezing; Pasteurization; Sterilization

[*] Corresponding Author E-Mail Address: koocheki@um.ac.ir