

تأثیر میزان صمغ فارسی، روغن، پروتئین و پ هاش بر پایداری امولسیون تهیه شده با فراصوت

فاطمه یوسفی¹، سلیمان عباسی^{2*}، حمید عزت پناه³

- 1- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران
2- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تربیت مدرس
* نویسنده مسئول (sabbasifood@modares.ac)
3- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده

تاریخ دریافت: 90/08/07
تاریخ پذیرش: 90/10/28

واژه های کلیدی

امولسیون
صمغ فارسی
فلوکولاسیون تخلیه ای
ناسازگاری ترمودینامیکی

در این مطالعه اثر غلظت فاز محلول صمغ فارسی (0/25-1 درصد)، حجم فاز روغنی (5-15 درصد)، حضور و عدم حضور پروتئین های محلول شیر تغلیظ شده (صفر و 1 درصد)، پ هاش (3/5-8) و زمان نگهداری (2، 7 و 20 روز نگهداری در دمای 5 درجه سانتی-گراد) بر پایداری، ویژگی های میکروسکوپی، رئولوژیکی و توزیع اندازه قطرات امولسیون تهیه شده با فرآیند فراصوت بررسی شد. مطابق نتایج در امولسیون های فاقد پروتئین، فاز محلول صمغ فارسی توانایی کاهش کشش سطحی را نداشت و فقط در غلظت های بیش از 0/5 درصد، احتمالاً از طریق افزایش گرانیروی، به پایداری امولسیون کمک کرد. در پ-هاش 8، پایداری این امولسیون به شدت افزایش یافت در حالیکه با کاهش پ هاش (3/5)، سرعت جداسازی فاز افزایش یافت. در ضمن، در پ هاش 7 پایداری امولسیون های فاقد فاز محلول صمغ فارسی و حاوی پروتئین های محلول شیر قابل توجه بود، در حالی که در نمونه های دارای صمغ (0/5-1)، احتمالاً به دلیل ناسازگاری ترمودینامیکی¹ بین دو بیوپلیمر و فلوکولاسیون تخلیه ای²، فازها از یکدیگر جدا شدند، همچنین در این امولسیون در پ هاش های 3/5 و 5، فرآیند خامه ای شدن³ با سرعت بیشتری صورت گرفت. این صمغ در پ هاش محدوده خنثی با پروتئین های جذب شده بر سطوح قطرات ناسازگار بوده و این امر منجر به جداسازی فازها شد.

مقدمه

می شود (Dickinson, 1992; Dalglish, 2006). در ضمن، سیستم های امولسیون معمولاً به طور ترمودینامیکی ناپایدار هستند از این رو برای ایجاد امولسیون با پایداری بلند مدت نیاز به استفاده از عوامل امولسیون کننده و پایدار کننده می باشد (Dickinson, 2003). به همین دلیل، اغلب در

امولسیون سیستمی است شامل دو فاز غیر قابل امتزاج به طوری که یکی از فازها در دیگری پراکنده

- 1-Thermodynamic incompatibility
- 2- Depletion flocculation
- 3- Creaming

Ercelebi and Ibanuglo, 2007)، صمغ تخم کتان (Khalloufi et al., 2008)، صمغ حاصل از دانه آلیزووم (Koochaki et al., 2009)، بررسی شده اما تا کنون اثر صمغ فارسی در این سامانه ها، مورد بررسی قرار نگرفته است.

صمغ فارسی پلی ساکاریدی محلول در آب با قدرت بالای جذب آب می باشد که از تنه بادام کوهی از خانواده گلسرخیان ترشح می شود. این درخت در شهرهای مختلف کشور یافت می شود. گرچه این صمغ دارای برخی کاربردهای دارویی، غذایی و صنعتی می باشد ولی ساختار و ترکیب شیمیایی این نوع صمغ هنوز ناشناخته است (عباسی و رحیمی، 1387). از سوی دیگر در رابطه با ویژگی های کاری این صمغ تاکنون مطالعات چندانی انجام نشده است و از معدود کارهای گزارش شده می توان به تاثیر فاز محلول این صمغ در پایداری سازی مخلوط شیر-آب پرتقال (محمدی، 1388؛ محمدی و همکاران، 1389) و امکان استفاده از فاز نامحلول آن برای تهیه پاستیل اشاره کرد (عباسی و همکاران، 1390). از این رو، هدف این پژوهش بررسی خواص کاری صمغ فارسی به عنوان منبع جدید صمغ در ایجاد و پایداری امولسیون روغن در آب تحت تاثیر عوامل مختلف از جمله غلظت صمغ، پ هاش، میزان فاز روغنی، اعمال فرایند فراصوت در حضور و عدم حضور تغلیظ شده پروتئین های محلول شیر می باشد.

مواد و روش ها

تهیه محلول صمغ فارسی

گرانول صمغ فارسی از عطاری سنتی در شیراز تهیه شد، پس از جداسازی ناخالصی ها، بوسیله آسیاب (Werke, SP400 Model, Germany) به صورت پودر درآمده و از الک آزمایشگاهی (No. 60, Babak-Pars) عبور داده شد. سپس از پودر تهیه شده جهت تهیه محلول صمغ با غلظت 1، 2، 3 و 4 درصد وزنی/حجمی استفاده شد. بدین منظور ابتدا پ هاش آب مقطر با استفاده از محلول فسفات بافری 5 میلی مولار حاوی 0/2٪ وزنی سدیم آزید (به عنوان ترکیب ضد میکروبی) در حدود 6/5 تا 7 تنظیم شد. مواد شیمیایی مورد استفاده از شرکت مرک آلمان تهیه

فرمولاسیون سیستم های امولسیون این دو ترکیب وجود دارند (Dickinson, 2008) و اکثر فرآورده های غذایی حاوی درشت مولکول هایی از جمله پروتئین ها و پلی ساکاریدها می باشند که برهمکنش بین آن ها نقش مهمی را در سیستم های غذایی بازی می کنند (Tolstoguzov, 1991; Benichou et al., 2007) به طوری که این برهمکنش ها در محلول ها و در سطوح مشترک بر پایداری دیسپرسیون های غذایی نقش مهمی دارند (Shcmit et al., 1999) از جمله مواد پروتئینی، پروتئین های محلول شیر را می توان نام برد که از دو جنبه تغذیه ای و عملکردی (پایداری سازی قطرات روغن در سیستم های امولسیونی) در فرمولاسیون های غذایی دارای اهمیت هستند (Damodaran, 2005). مواد پلی ساکاریدی نیز مولکول های آبدوست با وزن مولکولی بالا هستند که اغلب علیرغم دارا نبودن فعالیت سطحی به علت قابلیت پایدار نمودن امولسیون ها و حفظ آن ها در برابر تجمع¹، بهم آمیختگی² تغییر بافت، تغییر ویژگی رئولوژیکی و ظاهری، امکان نگهداری امولسیون های غذایی را فراهم می آورند (Huang et al., 2001; Dickinson, 2008)

با توجه به توانایی فرآیند فراصوت³ جهت کوچک کردن اندازه قطرات فاز پراکنده امولسیون ها و تاثیر قابل توجه اندازه قطرات روغن بر پایداری امولسیون ها و ممانعت از پدیده هایی مانند تجمع و خامه ای شدن، حفظ رنگ، ظاهر، بافت و ویژگی های مطلوب رئولوژیکی (Jafari et al., 2008)، در این پژوهش از این نوع هموزنایزر جهت تهیه امولسیون روغن در آب استفاده شد.

اگرچه اثر پلی ساکاریدهای باردار در سامانه های امولسیونی در حضور و عدم حضور پروتئین های محلول شیر مانند تاثیر اگزوپلی ساکاریدها (De Kruif and Tuinier, 1999)، آلژینات (Pongsawatnanit et al., 2006)، زانتان (Laneuvill et al., 2000)، پکتین (Guzey et al., 2004)، کاراگینان (Gu et al., 2005)، زانتان (Sun et al., 2007)، گوار و کاراگینان

- 1- Flocculation
- 2- Coalescence
- 3- Ultrasound

که در اغلب موارد 10٪ فاز روغنی به استثنای نمونه-های 4 و 5 استفاده شد. در ضمن، در برخی موارد برای تهیه نمونه های امولسیون مخلوط صمغ (PG) و پروتئین (WPC)، از صمغ در غلظت های 0/25 تا 1٪ به همراه 1٪ پروتئین استفاده شد (جدول 1، نمونه های 9 تا 14). به این ترتیب که فاز محلول و فاز روغن با استفاده از همزن مغناطیسی به مدت 5 دقیقه مخلوط شدند سپس برای دستیابی به قطرات ریز امولسیون با استفاده از همزنایزر فراصوت (Misonix sonicator، مدل 4000، ساخت آمریکا) که در اغلب موارد به جزء نمونه شماره 6 تا 9 از شرایط ثابت شدت 70٪، دمای 30 درجه سانتی گراد، زمان 2 دقیقه استفاده شد. دستگاه فراصوت دارای توان اسمی 600 وات و بسامد 36 کیلوهرتز بوده که مورد اخیر قابل تغییر نمی باشد. شدت امواج بین 0 تا 100 درصد قابل تغییر است. در ضمن پروب مورد استفاده از نوع High gain horns با ضخامت 19 میلی متر بود. از آنجائی که در طی اعمال امواج فراصوت دمای مخلوط به دلیل تولید انرژی افزایش می یابد لذا به منظور کنترل و تثبیت دمای مخلوط از مخلوط آب-یخ استفاده شد. همچنین به منظور کاهش دما در طول فرآیند فراصوت از یخ استفاده شد. در نهایت پ هاش تمام تیمارها با استفاده از اسید کلریدریک 1 نرمال و هیدروکسید سدیم 0/5 نرمال در پ هاش مورد نظر تنظیم شد. همچنین نمونه های امولسیون قبل از آنالیز به مدت 24 ساعت در دمای یخچال نگهداری شدند.

بررسی پایداری امولسیون

پایداری نمونه های امولسیون از طریق مشاهده ظاهری آن ها اندازه گیری شد، بدین ترتیب پس از آماده سازی، نمونه ها در داخل لوله آزمایش ریخته شده و پس از بستن درب آن ها در دمای 5 درجه سانتی گراد نگهداری شدند. این شاخص برای نمونه-های حاوی صمغ فارسی به تنهایی پس از 2، 7 و 20 روز بر اساس فرمول 1، اندازه گیری شد. نکته قابل توجه این است که در طول نگهداری برخی از نمونه ها به چندین فاز جدا شدند: فاز خامه ای در بالای لوله آزمایش که کدرتر از امولسیون اولیه است، فاز

شد. سپس پودر صمغ به آن اضافه شد و به مدت 60 دقیقه در دمای اتاق بوسیله همزن مغناطیسی مخلوط گردید. آنگاه محلول تهیه شده جهت هیدراته شدن کامل تر صمغ به مدت 24 ساعت در دمای 5 درجه سانتی گراد نگهداری شد. سپس فازهای محلول و نامحلول با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ Eppendorf (Centrifuge, 5810R Model, Germany) جداسازی شدند (محمدی، 1388). از آن جایی که در این پژوهش صرفاً از فاز محلول صمغ فارسی استفاده شد از این رو، محلول های صمغ با غلظت های 0/25، 0/5، 0/75 و 1 درصد جهت انجام مراحل بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

تهیه محلول پروتئینی

پودر تغلیظ شده پروتئین های محلول شیر از شرکت مولر آلمان با مشخصات (پروتئین بیش از 81٪، لاکتوز کمتر از 2/5٪، چربی کمتر از 7/5٪ و خاکستر کمتر از 2/5٪) تهیه شد. برای تهیه محلول، مقدار 1 گرم از این پودر به 90 میلی لیتر محلول فسفات بافری حاوی 0/2٪ وزنی سدیم آزاید اضافه شد سپس به مدت 30 دقیقه با همزن در دمای اتاق مخلوط گردید. برای اطمینان از هیدراسیون، محلول پروتئینی به مدت 24 ساعت در دمای 5 درجه سانتی گراد نگهداری شد. در ضمن، برای آماده سازی مخلوط پروتئین آب پنیر (1٪) و صمغ فارسی (0/25، 0/5، 0/75، 1)، درصدهای مشخص شده از پودرهای هر کدام مطابق روش های پیش گفته شده به محلول بافری اضافه شده و در رابطه با روش تهیه مخلوط آن ها نیز، محلول صمغ در غلظت های اشاره شده را به محلول پروتئین با غلظت های متفاوت و در نسبت های مختلف پروتئین:صمغ (50:50، 73:17، 91:9) اضافه کرده و عمل هم زدن به مدت 10 دقیقه با همزن مغناطیسی انجام شد. همچنین در تهیه نمونه های امولسیون از روغن آفتابگردان (صافولا، بهشهر-ایران) استفاده شد.

آماده سازی امولسیون

پس از تهیه محلول صمغ، امولسیون در غلظت-های (0/5-1٪) صمغ (جدول 1، نمونه های 1 تا 3)

شده پس از 2 و 7 روز نگهداری در دمای یخچال بر اساس فرمول شماره 2 محاسبه شد (Huang et al., 2001).

امولسیون در وسط، مشابه امولسیون اولیه بوده و فاز سرمی در پایین که حاوی دیسپرسیون آب و صمغ می باشد. همچنین تعیین شاخص خامه ای شدن نمونه ها در حضور پروتئین سرمی بر اساس فاز سرمی جدا

$$\text{فرمول شماره 1} = \frac{\text{ارتفاع امولسیون باقی مانده}}{\text{ارتفاع امولسیون اولیه}} \times 100 = \text{پایداری امولسیون}$$

$$\text{فرمول شماره 2} = \frac{\text{ارتفاع لایه سرمی}}{\text{ارتفاع کل امولسیون}} \times 100 = \text{شاخص خامه ای شدن}$$

جدول 1- فرمولاسیون امولسیون های حاوی صمغ فارسی تحت تاثیر تیمارهای مختلف

پ هاش	زمان	دما	شدت (%)	حجم روغن	غلظت (%)WPC	غلظت PG(%)	نمونه شماره
6	2	30	70	10	-	1	1
6	2	30	70	10	-	0/75	2
6	2	30	70	10	-	0/5	3
6	2	30	70	5	-	0/5	4
6	2	30	70	15	-	0/5	5
3/5	2	30	70	10	-	0/5	6
8	2	30	70	10	-	0/5	7
6	2	30	70	10	1	0	8
6/6	2	30	70	10	1	0/5	9
6/6	2	30	70	10	1	0/75	10
6/6	2	30	70	10	1	1	11
6/6	2	30	70	10	1	1/25	12
5	2	30	70	10	1	0/5	13
3/5	2	30	70	10	1	0/5	14

پس از آماده سازی حرارت داده شدند (آب با دمای 80 درجه سانتی گراد به مدت 30 دقیقه) و پس از سرد شدن سانتریفوژ شدند (3500 دور بر دقیقه و زمان 10 دقیقه)، در نهایت بر اساس فرمول 4 پایداری امولسیون کنندگی محاسبه شد (Sciarini et al., 2008).

اندازه گیری توانایی امولسیون کنندگی برای این منظور، نمونه ها پس از آماده سازی، سانتریفوژ (3500 دور بر دقیقه و زمان 10 دقیقه) شدند سپس براساس حجم فازهای جدا شده، شاخص ویژگی امولسیون کنندگی اندازه گیری شد (فرمول 3). برای تعیین پایداری حرارتی امولسیون، نمونه ها

$$\text{فرمول شماره 3} = \frac{\text{حجم امولسیون}}{\text{حجم کل نمونه}} \times 100 = \text{ویژگی امولسیون کنندگی}$$

$$\text{فرمول شماره 4} = \frac{\text{حجم اولیه امولسیون}}{\text{حجم نهایی امولسیون}} \times 100 = \text{پایداری امولسیون کنندگی}$$

اندازه گیری توزیع اندازه قطرات

پراکندگی اندازه قطرات امولسیون 24 ساعت بعد از آماده سازی نمونه ها بر اساس تفکیک تفرق نور انجام شد. بدین ترتیب که اندازه گیری محدوده قطر قطرات، مساحت سطح مخصوص، متوسط قطر حجمی (d_{43}) و متوسط قطر سطحی (d_{32}) با استفاده از دستگاه اندازه گیری اندازه ذرات (Mastersizer 2000S, Malvern, UK) انجام شد. با ذکر این نکته که قبل از تزریق به دستگاه نمونه کاملا همگن و اندازه گیری در دمای محیط انجام شد (Gu et al., 2005).

اندازه گیری ویژگی های رئولوژیکی

ویژگی های رئولوژیکی امولسیون ها با استفاده از ویسکومتر چرخشی (Model RVD - II, Brookfield Engineering, Inc., USA) در دمای 25 درجه سانتی گراد توسط دوک شماره 3 اندازه گیری شد. بدین ترتیب که 600 میلی لیتر از نمونه امولسیون داخل بشر ریخته شد و دوک را در داخل آن غوطه ور کرده، پس از تنظیم دور چرخشی (3 تا 200 دور بر دقیقه)، میزان گرانیوی ظاهری و گشتاور ثبت شد، سپس بر اساس داده های بدست آمده و به کمک فرمول ها و روابط خاص رابطه بین تنش برشی - ویسکوزیته محاسبه شد (Mitschka, 1982).

بررسی ریزساختاری

بررسی ریزساختار امولسیون ها با استفاده از میکروسکوپ نوری (Nikon microscope Eclipse E400, Nikon Corporation, Japan) مجهز به دوربین دیجیتال صورت گرفت. برای این منظور یک قطره از نمونه همگن شده روی لام قرار داده شد و پس از لامل گذاری، تصاویر ریزساختاری نمونه ها در بزرگنمایی 40 مشاهده شد با ذکر این نکته که باید از همگن بودن نمونه قبل از آنالیز اطمینان داشت.

نتایج و بحث

نتایج پایداری امولسیون های حاوی مقادیر مختلفی از صمغ فارسی، فاز روغنی، شرایط فراصوت (شدت، دما، زمان) و پ هاش در جدول 2، نشان داده شده است. مقایسه پایداری امولسیون ها (جدول 2، ردیف 1-3) نشان داد که با افزایش غلظت صمغ از 0/5 به 1 درصد، پایداری امولسیون به ویژه بعد از 20 روز نگهداری افزایش و سرعت خامه ای شدن کاهش یافت (شکل 2A). علت ناپایداری امولسیون در غلظت پایین صمغ را می توان به حرکت آزادانه قطرات روغن در سیستم نسبت داد به گونه ای که در این غلظت از صمغ، نیروهای ضعیف ویسکوز در فاز آبی برای جلوگیری از برخورد قطرات روغن کافی نبوده و در اثر برخورد با یکدیگر منجر به تجمع قطرات می شود (25 و 38) که البته با گذشت زمان نیز در اثر افزایش برخورد قطره - قطره، فلوکه - فلوکه و فلوکه، و حرکات براونسی (Chanamai, and McClements, 2002) میزان قطرات فلوکه شده افزایش می یابد. بنابراین با توجه به افزایش اندازه شعاع قطرات فلوکه شده نسبت به قطرات فلوکه نشده در امولسیون، بر اساس قانون استوکس، خامه ای شدن تسریع می شود (McClements, 2004). نتایج این آزمون پس از 20 روز از بررسی مجدد، نشانگر این موضوع می باشد. در ضمن، معمولا پدیده تجمع در حضور صمغ های غیرجاذب از نوع تجمع سازی تخلیه ای می باشد (De Kruijff, and Tuinier, 1999) که علاوه بر فاز خامه ای منجر به جداسازی فاز سرمی هم می شود (شکل 2). همچنین، وقوع فلوکولاسیون تخلیه ای در فاز پیوسته امولسیون علاوه بر افزایش نیروی جاذب بین قطرات، به علت ایجاد فشار اسمزی در بین قطرات، باعث نزدیک شدن قطرات به یکدیگر و بوجود آمدن این نوع فلوکولاسیون می شوند (Chanamai and McClement., 2002; McClement, 2004; Nor Hayati et al., 2009).

جدول 2- تاثیر غلظت های مختلف فاز محلول صمغ فارسی، روغن، تیمارهای فراصوت، پ هاش و زمان نگهداری در یخچال بر پایداری امولسیون ها (درصد جداسازی فاز)

زمان نگهداری (روز)			ترکیب امولسیون *
20	7	2	1
95	99	100	2
91	97/5	100	3
63	95	100	4
76	99	100	5
45	85	94	6
45	78	100	7
96	100	100	

* ترکیب امولسیون ها در جدول شماره 1 توضیح داده شده است.

استفاده برای این نوع سیال ها $n > 1$ نشان دهنده رفتار دایلاتانت (غلیظ شوندگی) می باشد. به عبارت دیگر، همه امولسیون های مورد مطالعه در حضور صمغ فارسی در محدوده سرعت برشی بررسی شده، دارای رفتار دایلاتانت بودند. با توجه به این نکته که در سیستم های امولسیونی گرانیوی با غلظت پلی ساکراید و اندازه قطرات تغییر می یابد و رفتار جریان امولسیون ها با طبیعت کلئیدی فاز پیوسته، اندازه متوسط قطرات و پراکندگی قطرات مرتبط می باشد، بنابراین هر نوع تغییری در بار الکتریکی سطح ذرات (تغییر پ هاش)، غلظت الکترولیت، حضور ترکیبات پلیمری منجر به تغییراتی در ویژگی رئولوژیکی سیستم خواهد شد. بنابراین به نظر می رسد که حضور تعداد زیاد مولکول های با وزن مولکولی بالا مقاومت به جریان را افزایش داده که خود عامل موثری بر افزایش گرانیوی ظاهری امولسیون می باشد (McClement, 2004) که به وسیله حرکت کند گرانیوی با افزایش سرعت برشی نشان داده شد. نتایج مشابهی با مطالعه اثر صمغ آنیونی آلیزوروم بر پایداری امولسیون گزارش شده است (Kooceki et al., 2008).

همچنین به نظر می رسد علت افزایش پایداری امولسیون با افزایش غلظت صمغ، مربوط به افزایش گرانیوی باشد. چرا که هیدروکلئیدها اصولاً مولکول های آبدوست هستند که با حضورشان از طریق افزایش فضای آبی پیوسته اطراف قطرات فاز پراکنده و تثبیت آن ها در شبکه ژل مانند با ایجاد ممانعت فضایی، سرعت خامه ای شدن را کاهش و در نتیجه پایداری امولسیون را افزایش می دهند (Huang et al., 2001). در واقع این ترکیبات با تغییر رفتار رئولوژیکی در نواحی بین قطرات روغن، سرعت جداسازی فاز را کنترل می کنند (Dickinson, 2008).

بر این اساس، احتمالاً دلیل اصلی پایداری امولسیون های تهیه شده در این بررسی، افزایش گرانیوی می باشد که نتایج حاصل از اندازه گیری گرانیوی ظاهری بیانگر این موضوع می باشد (جدول 3). همانطور که مشاهده می شود با افزایش غلظت صمغ فارسی، گرانیوی ظاهری و اندیس قوام افزایش و اندیس جریان کاهش یافتند. نمودار جریان امولسیون نیز (شکل 5) همین موضوع را تأیید کرد. در ضمن، به نظر می رسد که رفتار جریان این امولسیون ها از قانون توان تبعیت می کند که در رابطه ریاضی مورد

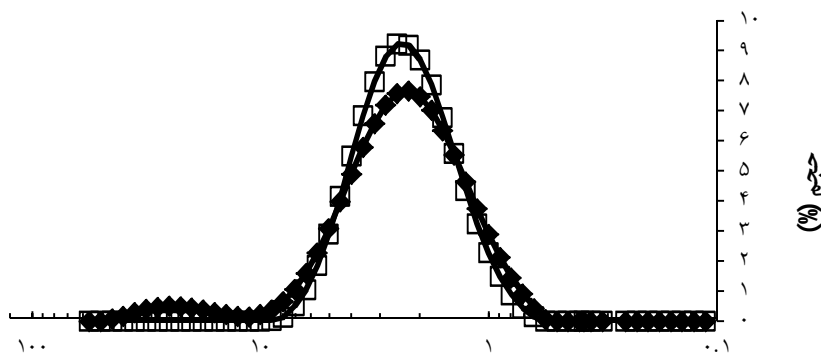
جدول 3- تاثیر مقادیر مختلف فاز محلول صمغ فارسی و پ هاش بر شاخص های رئولوژیکی امولسیون در سرعت برشی ثابت (32/5 بر ثانیه)

ترکیب امولسیون	گرانروی (mPa.s)	شاخص رفتار جریان	اندیس قوام (mPa.s ⁿ)
A	65/15 ± 0/212	1/611	0/00648
B	69/4 ± 0/565	1/56	0/00996
C	75/05 ± 0/707	1/521	0/01049
D	207/5 ± 0/707	1/266	0/0705

* نمونه امولسیون حاوی 0/5 درصد صمغ، پ هاش (A) 3/5 (B) 6 (C) 8 (D) 1 درصد صمغ، پ هاش 6

می باشد، در این ارتباط گزارش شده که در دانسیته انرژی ثابت استفاده از پایدار کننده تخریب قطرات را بهبود می بخشد (Behrend et al., 2000). نکته دیگر این که با افزایش غلظت صمغ از 0/5 به 0/75 درصد، فاکتور $d[3,2]$ که نشان دهنده اندازه کوچک قطرات است با تفاوت ناچیزی، افزایش یافته که به نظر می رسد در غلظت های بالاتر صمغ (بیش از 0/75 درصد) این تفاوت قابل توجه تر باشد. دلیل این تفاوت احتمالا تاثیر گرانروی بالای محیط بر کارایی فرآیند فراصوت می باشد. در واقع افزایش این عامل، موجب کاهش قابل توجهی در تشکیل تعداد زیادتر حباب های فعال طی فرآیند پدیده حفرگی شده، از این رو منجر به هدر رفتن انرژی در محیط و کاهش فروپاشی حباب های موثر بر کاهش اندازه قطرات روغن می شود و این دلیل روشنی بر عدم استفاده از غلظت های بالاتر صمغ برای پایدارسازی امولسیون می باشد (Koochaki et al., 2009).

دلایل دیگری که می تواند بر پایداری امولسیون با افزایش غلظت صمغ موثر باشد، اندازه کوچک و یکنواخت تر قطرات روغن می باشد. در این ارتباط نتایج حاصل از توزیع اندازه قطرات نشان داد که پیک پراکندگی قطرات امولسیون (2/244 میکرومتر) با افزایش غلظت صمغ از 0/5 به 0/75 درصد، از 7/67 به 9/19 درصد افزایش پیدا می کند (شکل 1) که نشان دهنده توزیع مناسب قطرات روغن در امولسیون می باشد. همچنین میزان عدد span (نشان دهنده دیسپرسیته قطرات) با افزایش غلظت صمغ کاهش نشان داد. به علاوه با افزایش غلظت صمغ از 0/5 به 0/75٪ اندازه قطرات کوچک (1/25 - 0/477 میکرومتر) افزایش در حالی که اندازه قطرات بزرگ (7/1096 - 4/77 میکرومتر) کاهش پیدا کرد به طوری که داده های $d(0.5)$ و $d(0.9)$ بیانگر این موضوع می باشند (جدول 3). به نظر می رسد علت حضور قطرات کوچک و یکنواخت تر در غلظت بالاتر صمغ، تاثیر گرانروی فاز پیوسته در تخریب موثرتر قطرات روغن



اندازه قطرات (میکرومتر)

شکل 1- تاثیر مقادیر مختلف صمغ فارسی (◆ 0/5 و □ 0/75 درصد) بر توزیع اندازه قطرات امولسیون (10 درصد روغن، پ هاش 6/6، تهیه شده با فراصوت به مدت 2 دقیقه، دما 30 درجه سانتی گراد، شدت 70 درصد)

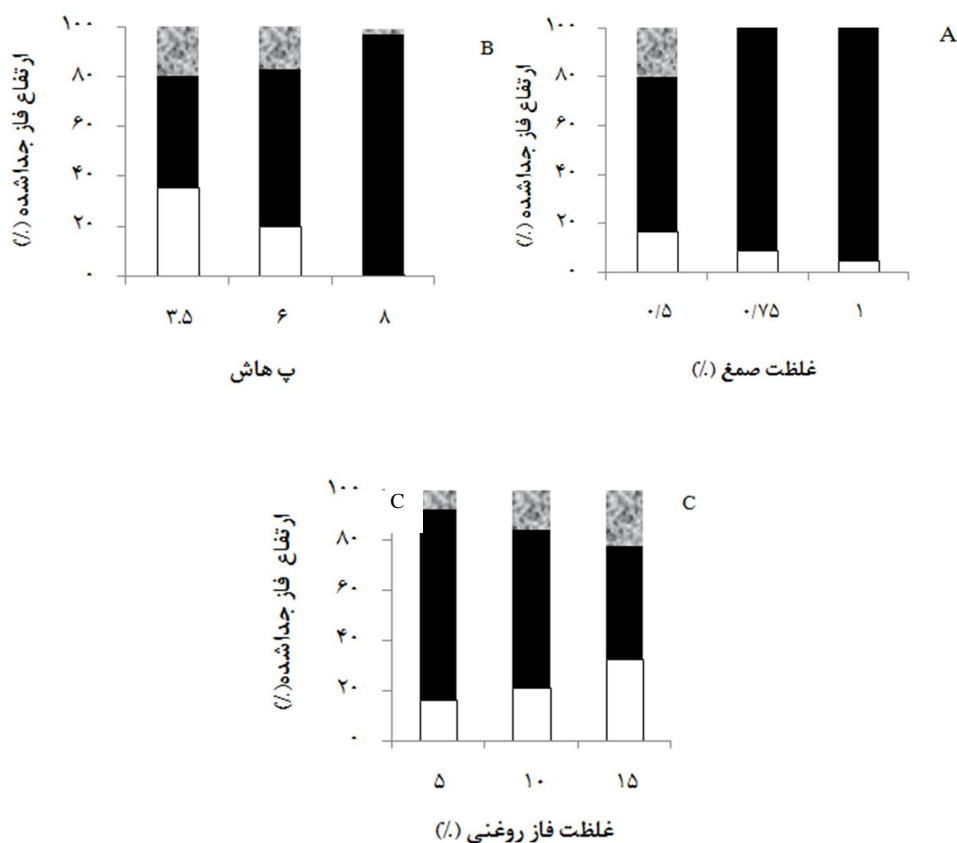
دادن مقدار زیادی از قطرات کوچک از بین می رود در حالی که در غلظت های پایین، صمغ موجود به دلیل عدم تشکیل شبکه های فوق الذکر سطوح بیشتری از قطرات را پوشش می دهد (بهشتی، 1388).

در ضمن، مساحت سطح مخصوص قطرات نیز با افزایش غلظت صمغ افزایش پیدا کرد (جدول 4) زیرا در غلظت های بالاتر صمغ به علت اتصال بیوپلیمرها با یکدیگر و تشکیل شبکه های بزرگ، توانایی پوشش

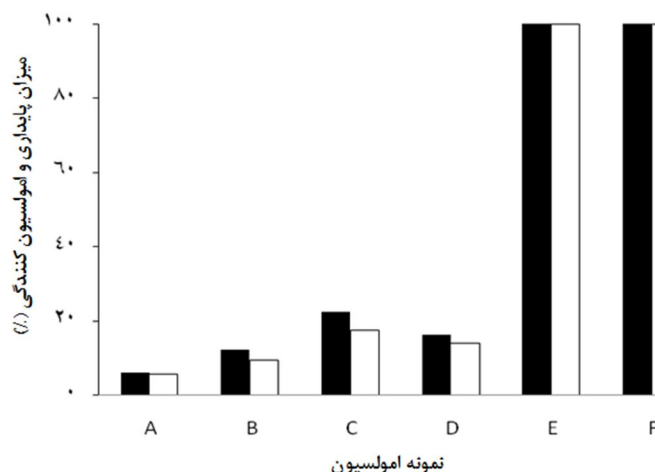
جدول 4- تاثیر غلظت صمغ فارسی و پ هاش روی برخی شاخص های توزیع اندازه قطرات امولسیون تهیه شده با فراصوت (شدت 70٪، دما 30 درجه سانتی گراد، زمان 2 دقیقه)

d(0.5)	d (0.9)	d[4,3]	d [3,2]	Span	* ترکیب امولسیون
2/230	5/111	3/355	1/948	1/811	A
2/217	4/053	2/452	1/965	1/129	B
2/896	6/349	3/399	2/300	1/782	C
1/968	5/118	2/702	1/665	2/193	D

* نمونه امولسیون حاوی 0/5 درصد صمغ، پ هاش (A) 3/5 (B) 6 (C) 8 (D)



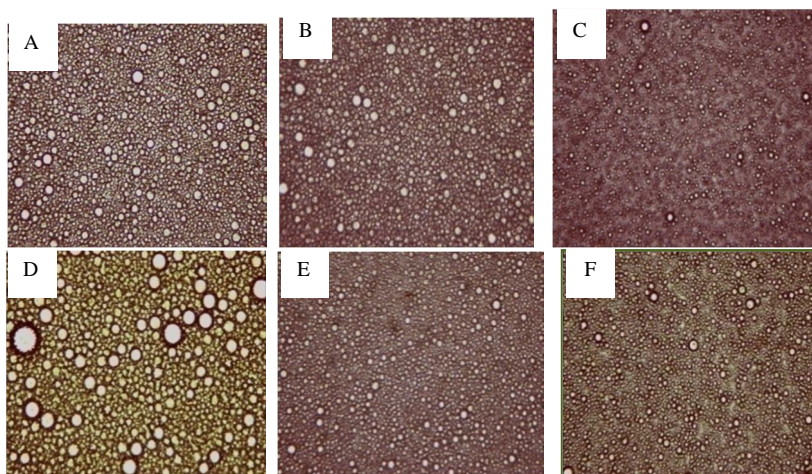
شکل 2- تاثیر الف) غلظت صمغ (پ هاش 6/6، 10٪ روغن)، ب) میزان روغن (0/5٪ صمغ، پ هاش 6/6)، ج) پ هاش (0/5٪ صمغ، 10٪ روغن) بر میزان جداسازی فازی □ فاز سرمی، ■ فاز امولسیون، ▨ فاز روغنی امولسیون تهیه شده با فراصوت (شدت 70٪، دمای 30 درجه سانتی گراد، زمان 2 دقیقه) بعد از 20 روز نگهداری در دمای یخچال



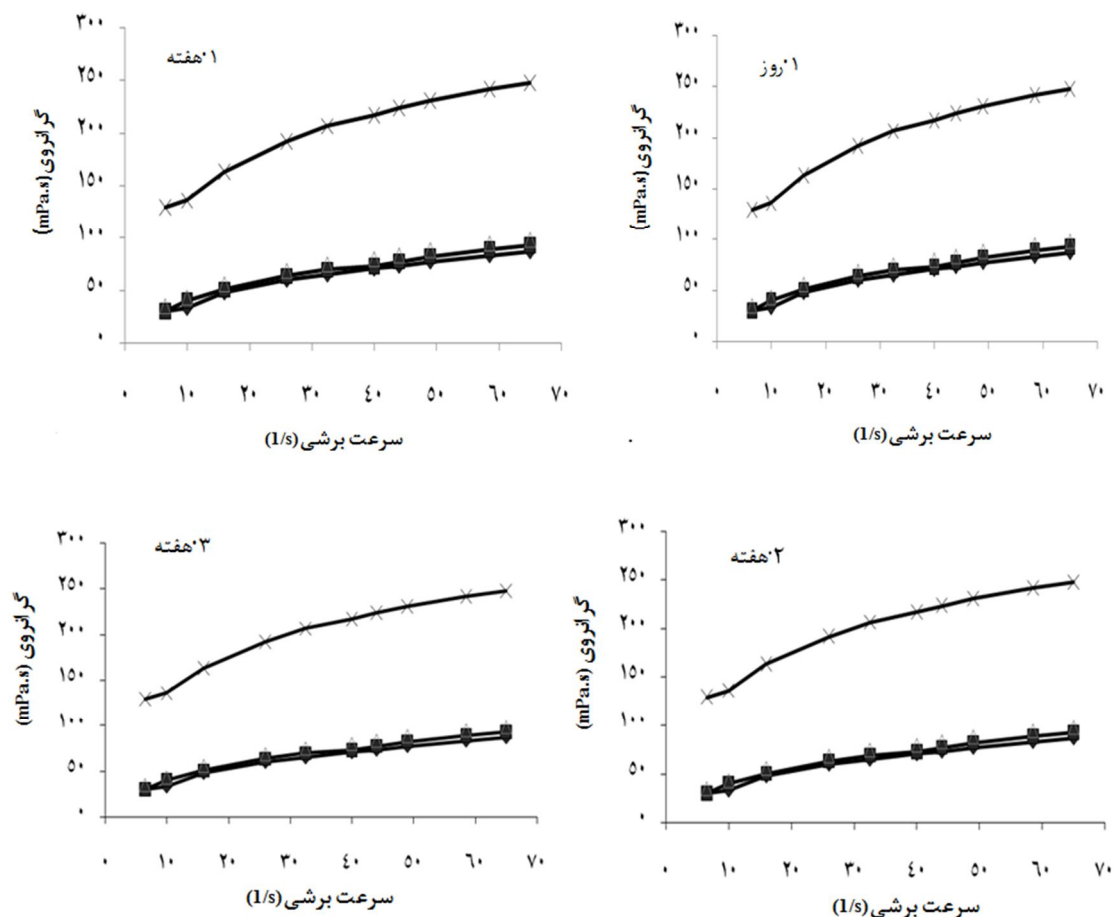
شکل 3- میزان امولسیون کنندگی (□ EC) و پایداری حرارتی (■ ES) امولسیون های حاوی مقادیر مختلف صمغ فارسی (A) 5/0% (B) 75/0% (C) 1% (پ هاش 6، روغن 10/%) (پ هاش های مختلف (D) 3/5، E) 8 (صمغ فارسی 1 درصد، روغن 10/%) و (F) 20/ (صمغ فارسی 1 درصد، پ هاش 8) تهیه شده با فراصوت (شدت 70/، دمای 30 درجه سانتی گراد، زمان 2 دقیقه)

جلوگیری از وقوع پدیده تجمع در مدت زمان طولانی- تر، موثرتر بود. از سوی دیگر، در میان غلظت های مختلف صمغ، گرانروی امولسیون با غلظت پایین تر صمغ بعد از 2 و 3 هفته افزایش یافت (شکل 5) که نشان دهنده وجود قطرات فلوکه شده امولسیون می- باشد به این دلیل که قطرات فلوکه شده نسبت به قطرات فلوکه نشده (به طور جدا) به علت فاز آبی به تله افتاده گرانروی بالاتری را نشان می دهد (Koocheki et al., 2009)، در حالی که در غلظت بالاتر صمغ تفاوت چندانی در میزان گرانروی ظاهری مشاهده نشد.

در ارتباط با اثر غلظت صمغ بعد از 24 ساعت روی ریزساختار امولسیون ها، تفاوت چندانی در اندازه قطرات مشاهده نشد (شکل 4 A و B) اما با توجه به نتایج اندازه قطرات، به نظر می رسد قطرات ریز و یکنواخت بیشتری در امولسیون با غلظت 75/0% مشاهده می شود. همچنین پس از 15 روز، نمونه حاوی 5/0% صمغ دارای قطرات روغن بزرگ تری بود که نشان دهنده وقوع پدیده تجمع و بهم آمیختگی بود، در حالی که در نمونه حاوی 75/0% صمغ، قطرات بزرگی مشاهده نشد که بیانگر دلایل اشاره شده می- باشد (شکل 7). بنابراین، تاثیر غلظت بالاتر صمغ در



شکل 4- تصاویر میکروسکوپی امولسیون های حاوی مقادیر مختلف صمغ (A) 5/0% (B) 75/0%، روغن، پ هاش 6، تاثیر مقادیر مختلف روغن (C) 5% (D) 15/، 10% صمغ، پ هاش 6، تاثیر پ هاش (E) 8 (F) 3/5، 10% صمغ، 10% روغن، (شرایط فرایند: شدت 70/، 30 درجه سانتی گراد، 2 دقیقه) بعد از 24 ساعت نگهداری در یخچال (بزرگنمایی 40)



شکل 5- اثر پ هاش (◆، 3/5؛ ■، 6؛ △، 8) در حضور غلظت 0/5 درصد صمغ و 10 درصد روغن) و غلظت صمغ (X 0/75) در پ هاش 6 و 10 درصد روغن) و زمان نگهداری (1 روز تا 3 هفته) بر رفتار جریان امولسیون های تهیه شده با فراصوت (شدت 70٪، دمای 30 درجه سانتی گراد، زمان 2 دقیقه)

در (Sun et al., 2007). به نظر می رسد عامل مهم در افزایش سرعت جداسازی فاز در غلظت 15٪، اندازه بزرگ قطرات روغن باشد، به طوری که نتایج حاصل از ریزساختار نشانگر این موضوع می باشد (شکل 4 D). در این ارتباط اشاره شده که در فرآیند امولسیفیکاسیون با سیستم فراصوت، افزایش گرانیوزی فاز پراکنده از طریق اشکال در تخریب و شکستن قطرات روغن موجب افزایش اندازه قطرات می شود (Jafari et al., 2008). از این رو بر اساس قانون استوکس قطرات بزرگ سریع تر از قطرات کوچک به سمت بالا حرکت کرده و فرآیند خامه ای شدن با سرعت بالاتری اتفاق می افتد (Dickinson, 2003). از طرفی در غلظت های بالای فاز روغنی، احتمالاً میزان صمغ برای جدا نگه داشتن قطرات روغن کافی نبوده از این رو نمی تواند قطرات روغن را به طور جداگانه

در ارتباط با تاثیر میزان روغن بر پایداری امولسیون همان طور که در جدول 2 (ردیف 5، 1، 4، 5) نشان داده شد، با افزایش حجم فاز روغنی از 5 به 15٪، پایداری امولسیون کاهش یافت به طوری که در غلظت 15٪، فرآیند خامه ای شدن با سرعت بیشتری صورت گرفت که نشان دهنده غالب بودن تاثیر حجم فاز روغنی بر فرآیند خامه ای شدن امولسیون می- باشد (Sun et al., 2009). به عبارت دیگر، پایداری سیستم با کاهش میزان فاز روغنی بهبود یافته است. اما بعد از گذشت زمان، در هر سه نمونه با غلظت های مختلف روغن، جداسازی فاز به علت تاثیر فلوکولاسیون تخلیه ای در غلظت کم صمغ مشاهده شد (شکل 2 ب) بدین گونه که در غلظت پایین صمغ با تشکیل شبکه ضعیفی تحت تاثیر نیروی وزن خود نشست کرده و منجر به جداسازی فاز سرمی می شود

یافته و افزایش دافعه (بین بارهای منفی) نسبت به برهمکنش جاذب موجب کاهش تجمع و فلوکولاسیون قطرات امولسیون می شود. اما همان طور که مشاهده شد امولسیون با پ هاش 3/5 دارای کمترین پایداری بود، به گونه ای که بعد از 20 روز علاوه بر فاز خامه ای، فاز سرمی زیادی مشاهده شد (شکل 2 C) اما در امولسیون با پ هاش 8، پس از 7 و بخصوص 20 روز جداسازی فاز قابل توجه نبود. احتمالاً دلیل ناپایداری این امولسیون را می توان به کاهش بار منفی از طریق خنثی شدن گروه های کربوکسیل در ساختار صمغ نسبت داد (Chanamai & McClement, 2002). چرا که PK_a اکثر پلی ساکاریدها در محدود اسیدی بوده، از این رو در این محدوده از پ هاش، مولکول های پلی ساکارید دارای بار خالص کم می باشند. از طرف دیگر بر اساس نتایج حاصل از اندازه گیری ویژگی رئولوژیکی، گرانیوی ظاهری نمونه امولسیون با پ هاش 3/5 بعد از 2 و 3 هفته نگهداری کاهش یافت که خود عامل دیگری در افزایش سرعت خامه ای شدن به شمار می رود. از طرفی با توجه به نتایج حاصل از توزیع اندازه قطرات امولسیون با پ هاش 8، پیک پراکندگی قطرات با اندازه 2 میکرومتر، 6/78٪ بود در حالی که برای نمونه امولسیون با پ هاش 3/5، پیک توزیع قطرات با اندازه 3/557 میکرومتر، 6/5 درصد بود (شکل 6)، و این بدان معنی است که امولسیون با پ هاش 8 دارای اندازه قطرات کوچک بیشتری بود و با کاهش پ هاش تعداد قطرات بزرگ افزایش یافت به گونه ای که دو فاکتور $d(0.1)$ و $d(0.5)$ تایید کننده این تفسیر می باشند. از طرفی کاهش دو فاکتور d_{32} و d_{43} با افزایش پ هاش امولسیون و اختلاف کم بین این دو فاکتور نشانگر علت ذکر شده و وجود تعداد قطرات ریز بیشتر می باشد. همچنین مطابق نتایج دیگر داده های این آزمایش ناحیه سطح مخصوص در امولسیون از پ هاش 3/5 به 8، افزایش یافت. همچنین در تایید این موضوع می توان به نتایج حاصل از تصاویر ریزساختار اشاره کرد. این طور به نظر می رسد که قطرات روغن در امولسیون با پ هاش 3/5، به صورت غیر مترکم و با فاصله بیشتری از هم قرار گرفته که احتمالاً نشانگر تاثیر پ هاش بر تغییر ساختار و رفتار صمغ در سیستم می باشد، اما

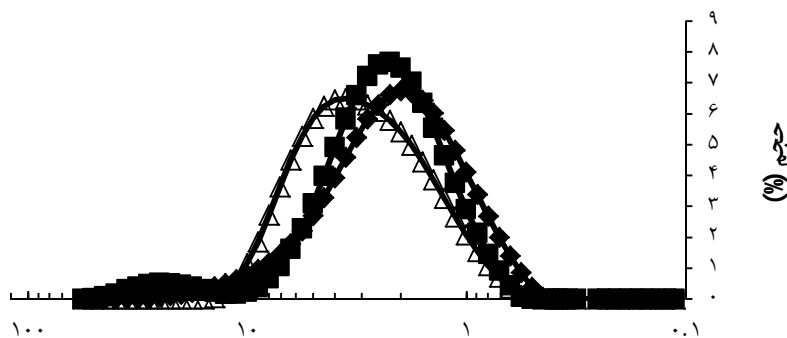
نگه دارد (Sun et al., 2009). بنابراین طی مدت زمان کوتاهی فازها جدا می شوند. در توجیه این مسئله می توان گفت که اگر فاصله بین قطرات کمتر از دو برابر شعاع قطرات امولسیون باشد نیروی جاذب به حد ماکزیمم رسیده (McClement, 2004) که به دنبال آن بهم پیوستگی قطرات اتفاق می افتد. تفسیر دیگر در این ارتباط احتمالاً زیاد بودن نیروی جاذب بین قطرات در غلظت بالاتر روغن می باشد به گونه ای که این امر موجب افزایش تعداد برخورد بین قطرات و نزدیک شدن آنها به هم شده (Sun et al., 2009)، در نتیجه همان طور که اشاره شد به علت افزایش سرعت بالا آمدن قطرات بزرگ، به جداسازی فاز خامه ای منجر می شود. همچنین مطابق نتایج ریزساختاری، کوچکترین اندازه قطرات مربوط به امولسیون با 5٪ روغن بوده که خود موثر بر کاهش سرعت خامه ای شدن می باشد. همچنین با توجه به نتایج پایداری امولسیون بعد از 20 روز به نظر می رسد تاثیر غلظت صمغ بر پایداری امولسیون بسیار موثر می باشد به طوری که نمونه امولسیون حتی در 5 درصد فاز روغنی هم دارای پایداری پایینی بوده و به نظر می رسد این همان غلظت بحرانی در پدیده تجمع سازی تخلیه ای می باشد.

جدول 2 (موارد 1، 11، 12)، تاثیر پ هاش های مختلف بر پایداری امولسیون را نشان می دهد. همانگونه که ملاحظه می شود با افزایش پ هاش امولسیون از 3/5 به 8، پایداری امولسیون به طور قابل توجهی افزایش پیدا کرد، بدین گونه که درجه بالاتری از پایداری خامه ای شدن برای امولسیون با پ هاش 8 در زمان های مختلف، بخصوص در روز 20 ام که اغلب نمونه ها دارای پایداری پایینی بودند مشاهده شد. در توجیه این تغییرات براساس نتایج حاصل از اندازه گیری پتانسیل زتا و با توجه به باردار بودن فاز محلول صمغ فارسی (محمدی، 1388)، به نظر می رسد احتمالاً دلیل اصلی پایداری در پ هاش قلیایی، دافعه الکترواستاتیک زیاد ایجاد شده در سیستم باشد. با احتمال این که صمغ فارسی در ساختار خود دارای گروه های کربوکسیل بوده و با تغییر پ هاش، به دلیل دپروتونه شدن برخی از این گروه ها در مولکول های صمغ (تبدیل $COOH$ به COO^-)، بار منفی افزایش

کنندگی و پایداری 100٪ بود، یعنی در پ هاش 8، حتی در حضور 20٪ روغن هم امولسیون حتی بعد از اعمال فرآیند حرارتی تحت تاثیر نیروی سانتریفیوژی جداسازی فازی مشاهده نشد. بنابراین با توجه به آنچه گفته شد علاوه بر عامل گرانیروی بالای امولسیون، احتمالاً نیروی دافعه الکترواستاتیک قوی در پایداری امولسیون ها بسیار موثر بوده است.

در امولسیون با پ هاش 8، تعداد قطرات با اندازه ریز بیشتری مشاهده شده است (شکل E4, F).

در تایید این یافته ها و با توجه به تاثیر پ هاش های مختلف بر پایداری حرارتی امولسیون می توان به تاثیر زیاد این عامل اشاره کرد. مطابق نتایج، نمونه امولسیون حاوی 1٪ صمغ با پ هاش 8 در هر دو غلظت 10 و 20٪ فاز روغنی دارای توانایی امولسیون

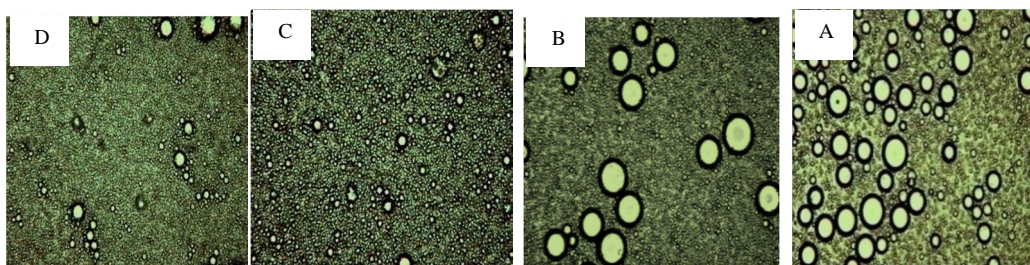


اندازه قطرات (میکرومتر)

شکل 6- تاثیر پ هاش های مختلف (Δ 3/5، ■ 6، ♦ 8) بر توزیع اندازه قطرات امولسیون حاوی 0/5٪ صمغ فارسی، 10٪ روغن تهیه شده با فراصوت (شدت 70٪؛ دمای 30 درجه سانتی گراد، زمان 2 دقیقه)

آمیختگی قطرات کوچک نسبت داد که بروز این تغییرات منجر به افزایش سرعت جداسازی فاز هم می شود. به طوری که در بررسی تاثیر زمان نگهداری بر گرانیروی ظاهری، افزایش گرانیروی پس از 2 و 3 هفته در نمونه با پ هاش 3/5، بیانگر این موضوع می باشد (شکل 5).

در ضمن پس از 15 روز نگهداری در شرایط یخچالی، امولسیون با پ هاش 3/5 دارای تعداد قطرات بزرگ بیشتری بود در حالی که با افزایش پ هاش (6 و 8) تعداد آن ها کاهش یافت به گونه ای که در پ هاش 8 قطرات بزرگ مشاهده نشد (شکل 7). اصولاً تشکیل قطرات بزرگ تر را می توان به بهم



شکل 7- تصاویر ریزساختاری امولسیون حاوی 0/5٪ صمغ، 10٪ روغن با پ هاش (A 3/5 B 6 و C 8 D) حاوی 0/75 صمغ، 10٪ روغن، پ هاش 6، بعد از 15 روز نگهداری در دمای یخچال (بزرگنمایی 40)

محلول شیر از طریق اندازه گیری ارتفاع خط جدا شده لایه سرمی، تعیین شد. جدول 5 (ردیف 13 تا 19)،

شاخص خامه ای شدن نمونه های امولسیون حاوی صمغ در حضور تغلیظ شده پروتئین های

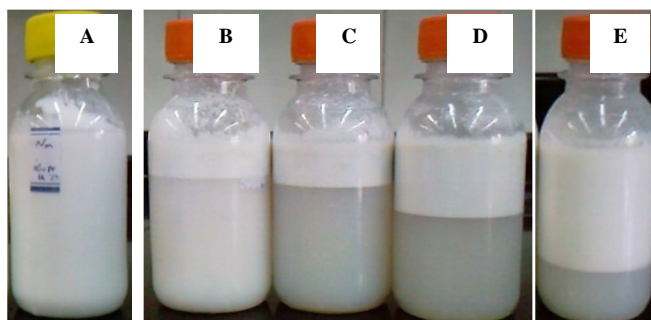
(ناسازگاری ترمودینامیکی و فلوکولاسیون تخلیه ای) بر ناپایداری سازی امولسیون می باشد (Reiffers- Magnani et al., 2000; Guzey et al., 2004; Ye et al., 2006; Ercelebi and Ibanoglu., 2007; Khalloufi et al., 2008). همچنین، نتایج حاصل از توزیع اندازه قطرات امولسیون نیز موید این موضوع است به طوری که پراکندگی اندازه قطرات در نمونه با درصد صمغ دارای یک پیک بوده اما در غلظت های 0/25-1٪ به صورت دو پیک مشاهده شد که نشان دهنده اندازه قطرات بزرگ است که در تسریع جداسازی فاز امولسیون تاثیرگذار می باشد. همچنین پیک پراکندگی نمونه ها با اندازه 2/24 میکرومتر، در غلظت 0 تا 1٪، از 6/25 به 4/09٪ کاهش یافت.

نتایج مربوط به بررسی حضور این پروتئین را بر شاخص خامه ای شدن در پ هاش 6/5 نشان داده است. مطابق یافته های بررسی حاضر، نمونه امولسیون حاوی پروتئین ولی فاقد صمغ حتی پس از 20 روز نگهداری هم پایدار بود، اما همانگونه که مشاهده می شود در امولسیون حاوی صمغ و پروتئین در حضور همه غلظت های صمغ (0/25-1٪) جداسازی فازی در مدت زمان کوتاهی اتفاق افتاد. با ذکر این نکته که در همه امولسیون ها، فاز سرمی جدا شده کدر اما در غلظت های بالاتر صمغ، فاز سرمی نسبتاً شفاف بود (شکل 8). در ضمن، فرآیند جداسازی فاز در غلظت های پایین تر با سرعت بیشتری صورت گرفت که این نتایج بیانگر تاثیر همزمان چندین مکانسیم

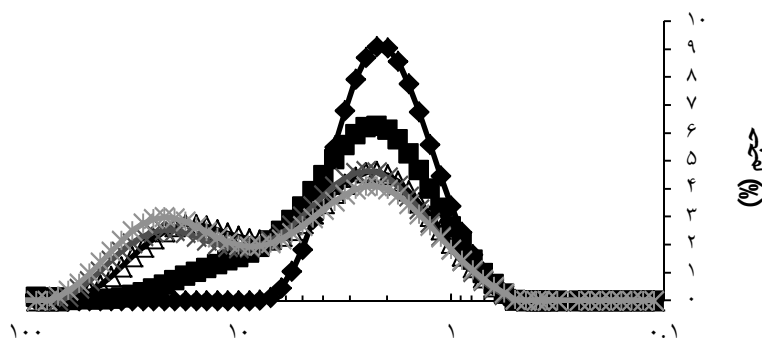
جدول 5- تأثیر زمان نگهداری و فرمولاسیون (غلظت صمغ فارسی، پ هاش، حضور پروتئین، و شرایط تهیه امولسیون) روی پایداری امولسیون ها (درصد جداسازی فاز)

پایداری امولسیون (%)		ترکیب امولسیون*
روز		
2	7	8
0	0	9
7	35	10
6/2	31/5	11
5	27	12
2/9	20/2	13
50	62	14
50	60	

* ترکیب امولسیون ها در جدول شماره 1 توضیح داده شده است.



شکل 8- تأثیر غلظت صمغ فارسی (A صفر، B 0/25، C 0/5، D 0/75 و E 1 درصد بر خامه ای شدن امولسیون (حاوی 1٪ پروتئین سرمی، 10٪ روغن، پ هاش 6/6) تهیه شده با فرایند فراصوت (شدت 70٪، دمای 30 درجه سانتی گراد، زمان 2 دقیقه) بعد از 7 روز نگهداری در یخچال



اندازه قطرات (میکرومتر)

شکل 9- تاثیر غلظت صمغ فارسی (صفر تا 1 درصد) بر توزیع اندازه قطرات (* 0/، × 0/25، ▽ 0/5، ■ 0/75، ♦ 1/ امولسیون حاوی 1/ پروتئین سرمی، 10/ روغن، پ هاش 6/6) تهیه شده با فرایند فراصوت (شدت 70٪، دمای 30 درجه سانتی گراد، زمان 2 دقیقه) بعد از 24 ساعت نگهداری در یخچال

فاز در نمونه های امولسیون در غلظت های بالاتر صمغ با سرعت کمتری صورت گرفت و به نظر می رسد اثر گرانروی بالای فاز پیوسته در حضور مولکول های صمغ در فاز آبی علت این تغییر باشد (Laneuville et al., 2000; Chanamai and McClements., 2002; Sciarini et al., 2008) و این طور می توان تفسیر کرد که در اثر پدیده فلوکولاسیون تخلیه ای بیش از حد و به دلیل ساختار شبکه ای ایجاد شده، گرانروی بالایی در فاز پیوسته ایجاد می شود که با در بر گرفتن قطرات روغن فرآیند جداسازی فاز به تاخیر می افتد (Sun et al., 2007) اما به نظر می رسد این غلظت از صمغ برای به تاخیر انداختن فرایند خامه ای شدن کافی نبود و به همین دلیل جداسازی فاز اتفاق افتاد.

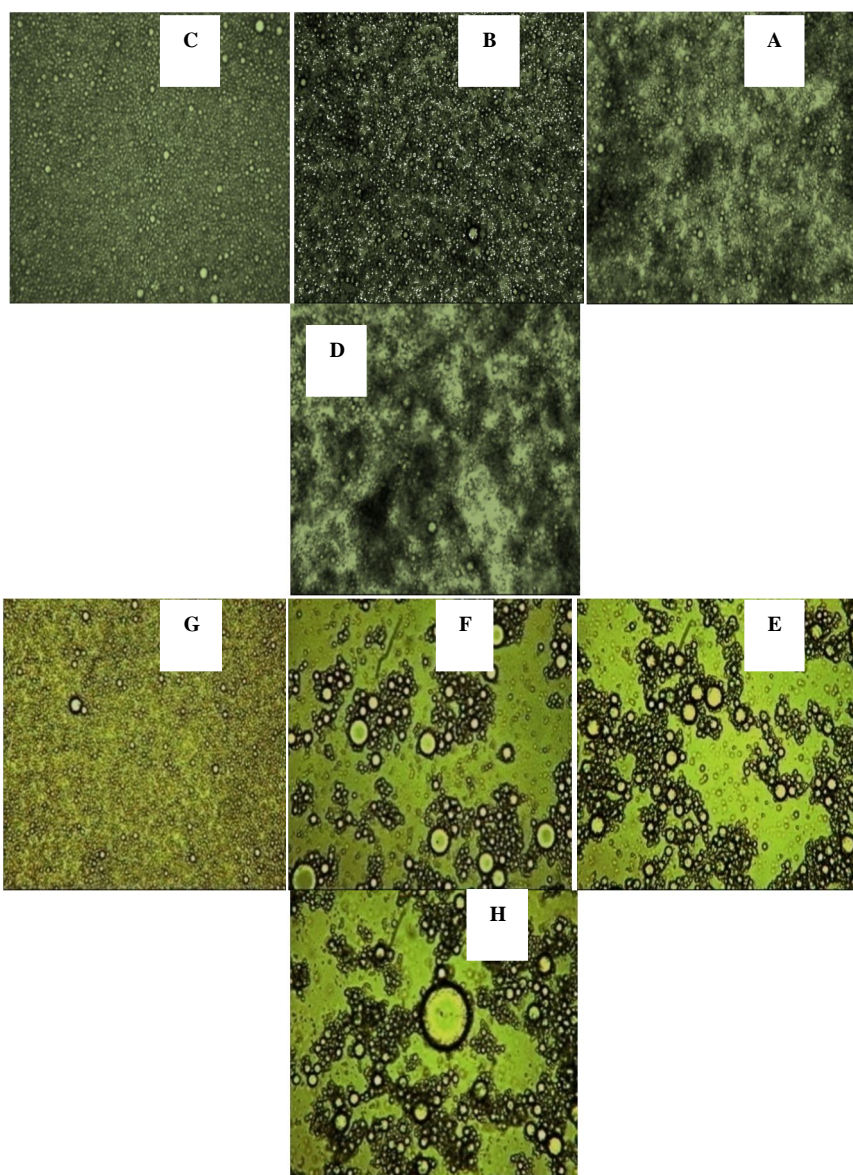
در رابطه با بررسی اندازه قطرات، تغییر مشاهده شده نشاندهنده این واقعیت می باشد که حضور همزمان صمغ و پروتئین در امولسیون منجر به تشکیل دو پیک شد که بیانگر حضور برخی قطرات بزرگ می باشد که احتمالاً در اثر پدیده فلوکولاسیون به وجود آمدند. به گونه ای که مطابق نتایج قبل و نتایج دو فاکتور d_{32} و d_{43} در این امولسیون ها در مقایسه با امولسیون حاوی صمغ یا پروتئین تنها، جداسازی فاز با سرعت بیشتری مشاهده شد (شکل 9). یعنی در حضور پروتئین و با افزایش غلظت صمغ هر دو فاکتور افزایش یافت.

برخلاف نتایج ارائه شده در این بررسی، در بررسی اثر صمغ باردار در حضور پروتئین در سیستم امولسیونی نشان دادند (Khaloufi et al., 2008b) که

همانطور که در مطالب قبل گفته شد، علت ناپایداری امولسیون حاوی صمغ در عدم حضور پروتئین، پدیده فلوکولاسیون می باشد، از این رو می توان گفت این پدیده نقش اساسی در جداسازی فاز در حضور صمغ فارسی دارد. به طور کل حضور بیوپلیمرهای غیر جاذب در فاز پیوسته، نیروی جاذب بین قطرات را به علت اثرات اسمزی و خروج مولکول های بیوپلیمر از ناحیه بین قطرات، افزایش و پایداری امولسیون را کاهش می دهد. علاوه بر آن با توجه به نتایج سایر محققین می توان علت دیگر این ناپایداری را ناسازگاری بین دو بیوپلیمر دانست و اینگونه می توان تفسیر کرد که در این سیستم و در پ هاش محدوده خنثی، هر دو بیوپلیمر (صمغ و پروتئین) دارای بار منفی بوده از این رو احتمالاً به دلیل عدم برهمکنش با یکدیگر با توجه با این که بیشتر مولکول های پروتئین به دلیل داشتن ویژگی فعال سطحی، جذب سطوح قطرات روغن در سطح مشترک شده (پروتئین های کلوئیدی) (Reiffers-Magnani et al., 2000) از طرف دیگر مولکول های آبدوست صمغ وارد فاز آبی شده در نتیجه منجر به جداسازی دو فاز خامه ای و سرمی می شود. در این ارتباط، نتایج مشابهی توسط خالوفی (2008) و سان (2007) که به ترتیب تاثیر صمغ آبیونی حاصل از گیاه بزرک و صمغ زانتان را بر پایداری امولسیونی حاوی ایزوله پروتئین آب پنیر بررسی کردند، مشاهده شد. آن ها تغییرات رفتاری مشابهی را مشاهده کردند. در ضمن، فرآیند جداسازی

چسبیده و غیر یکنواختی مشاهده شد در حالی که در غلظت صفر درصد صمغ، قطرات ریز و یکنواخت بودند. در ضمن، با افزایش غلظت صمغ نقاط تیره رنگی مشاهده شد که احتمالاً نشان دهنده حضور مولکول های بیشتر صمغ در فاز آبی می باشد. بعلاوه پس از گذشت 15 روز، حضور قطرات فلوکه شده و تجمع یافته با افزایش غلظت صمغ بیشتر شد در حالی که بدون حضور صمغ، قطرات فلوکه مشاهده نشد (شکل 10).

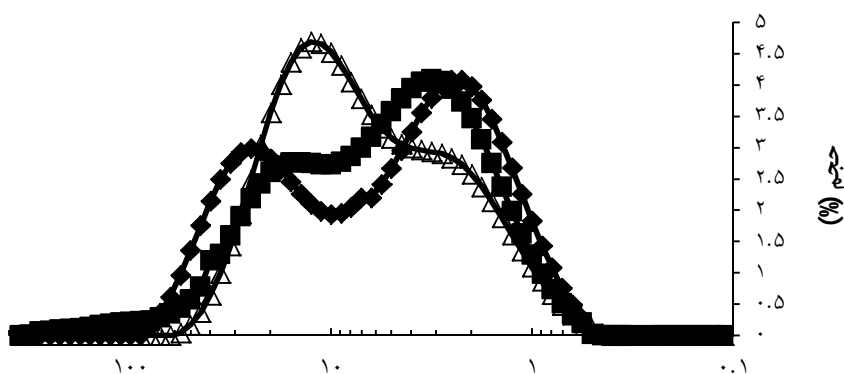
با افزایش غلظت صمغ، فاکتور d_{43} برخلاف تغییر چندانی نداشت در حالی که در این بررسی روند افزایش d_{43} با افزایش صمغ غلظت کاملاً مشهود بود که این امر نشان دهنده وقوع پدیده فلوکولاسیون می باشد به طوری که بزرگ تر بودن اندازه پیک دوم (محدوده اندازه قطرات بزرگ) در غلظت های بالاتر صمغ نیز بیانگر این موضوع می باشد. همچنین در تایید این موضوع با اشاره به نتایج ریزساختار نمونه ها می توان گفت که با افزایش غلظت صمغ، قطرات بهم



شکل 10- تصاویر ریزساختاری امولسیون های حاوی غلظت های مختلف صمغ فارسی (A صفر، B 0/5، C 0/75، D 1 درصد و E, F, H به ترتیب همان نمونه ها بعد از 15 روز نگهداری در دمای یخچال (حاوی 1٪ پروتئین سرمی، 10٪ روغن، پ هاش 6/6، تهیه شده با فرایند فراصوت (شدت 70٪، دمای 30 درجه سانتی گراد، زمان 2 دقیقه)، بزرگنمایی 40

می رسد دلیل این ناپایداری، تشکیل تجمع و کمپلکس قوی تر بین دو بیوپلیمر باشد به طوری که نتایج حاصل از ریز ساختار هم بیانگر این تغییرات است. همچنین نتایج توزیع اندازه قطرات نشان داده که پیک پراکندگی قطرات دارای اندازه 12/7 میکرومتر در نمونه با پ هاش 3/5 بوده و این پیک برای نمونه با پ هاش 5، 3/17 میکرومتر بود که باز هم بیانگر این موضوع است (شکل 11).

نتایج حاصل از تاثیر پ هاش های مختلف بر شاخص خامه ای شدن نمونه های امولسیون حاوی صمغ و پروتئین در جدول 4 (ردیف 14، 18، 19) نشان داده شده است. همانگونه که اشاره شد جداسازی فاز در نمونه های مختلف در پ هاش 6/6 اتفاق افتاد، اما سرعت این جداسازی در غلظت ثابت صمغ در پ هاش 5 و 3/5 با سرعت بالاتری رخ داد. البته در پ هاش 5 این جداسازی سریع تر بود. به نظر



اندازه قطرات (میکرومتر)

شکل 11- تاثیر پ هاش (3/5 ▽ 5 ■ 6/6 ◆) بر توزیع اندازه قطرات (ب) امولسیون (حاوی 0/5% صمغ، 1% پروتئین، 10% روغن) تهیه شده با فرایند فراصوت (شدت 70٪، دمای 30 درجه سانتی گراد، زمان 2 دقیقه)

امولسیون تهیه شده با صمغ فارسی بهترین پایداری را در غلظت های بالای صمغ به دلیل افزایش گرانیروی فاز پیوسته و محدود کردن حرکت قطرات روغن در امولسیون، طی نگهداری نشان داد اما در غلظت های پایین صمغ، به دلیل تاثیر حضور و غلظت صمغ در ایجاد فلوکولاسیون تخلیه ای حتی در حجم های پایین فاز روغنی (5 درصد)، در مدت زمان کمتری جداسازی و ناپایداری فازها مشاهده شد. بنابراین، غلظت صمغ فارسی در فاز آبی قادر به کنترل فلوکولاسیون قطرات امولسیون بود. از سوی دیگر، در غلظت بالاتر صمغ، اندازه و توزیع قطرات بهبود یافت که تا حدی موثر بر پایداری امولسیون بود. همچنین، تاثیر نیروهای دافعه الکترواستاتیک (بار منفی) بر پایداری امولسیون با پ هاش 8 بسیار قابل توجه بود به گونه ای که این نمونه دارای پایداری حرارتی بسیار بالایی در غلظت 1 درصد صمغ بود. از طرف دیگر، بیشتر بودن تعداد قطرات کوچک هم بر پایداری

در تفسیر این موضوع شاید بتوان گفت که در پ هاش اسیدی (3/5)، پروتئین ها دارای بار مثبت بوده و مولکول های صمغ دارای بار منفی می باشند و احتمالاً تشکیل کمپلکس بین بارهای مخالف (مثبت و منفی) منجر به تجمع قطرات روغن و در نهایت جداسازی فاز می شود. همچنین در پ هاش 5، بارهای روی مولکول های پروتئین نسبتاً خنثی بوده اما هنوز برخی نقاط روی مولکول پروتئین دارای بار مثبت می باشد از این رو احتمالاً با مولکول های صمغ (دارای بار منفی) پل هایی را تشکیل داده که منجر به تجمع قطرات و بزرگ تر شدن آن ها و در نتیجه افزایش سرعت خامه ای شدن می شود (Khalloufi, 2010; Perrechil and Cunha., 2008a; et al.). در کل در همه امولسیون ها جداسازی فاز مشاهده شد.

نتیجه گیری

بار منفی (در هر دو بیوپلیمر)، با مولکول های پروتئین برهمکنش نداد و جداسازی فازی اتفاق افتاد. به عبارت دیگر، در حضور پروتئین پدیدۀ فلوکولاسیون تخلیه ای با سرعت بیشتری صورت گرفت. در ضمن، تمامی امولسیون ها در حضور صمغ دارای رفتار دایلاتانت بودند یعنی با افزایش نیروی برشی گرانروی افزایش یافت.

امولسیون بسیار موثر بود. به طوری که براساس نتایج گرانروی ظاهری و ریزساختاری، حتی پس از گذشت 20 روز نیز فلوک های بزرگ مشاهده نشد. در رابطه با امولسیون حاوی صمغ و پروتئین (پ هاش محدوده 7) نیز پایداری به طور قابل توجهی در حضور هر دو بیوپلیمر کاهش یافت به طوری که مولکول های صمغ جذب نشده بر سطح قطرات روغن، احتمالاً به دلیل

منابع

- 1- عباسی، س و رحیمی، س. 1387. معرفی یک نوع صمغ گیاهی بومی ناشناخته: صمغ زدو. ماهنامه صنعت آرد و غذا. 4 (13): 29-42.
- 2- محمدی، س. 1388. بررسی کارایی و سازوکار برخی صمغ های بومی در پایدار سازی مخلوط شیر-آب پرتقال. پایانامه کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی. صفحات 69-79، 139-149.
- 3- محمدی، س.، عباسی، س و حمیدی، ز. 1389. تاثیر برخی هیدروکلوئیدها بر پایداری فیزیکی، ویژگی رئولوژیکی و حسی مخلوط شیر-آب پرتقال. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران 4: 1-12.
- 4- عباسی، س.، محمدی، س. و رحیمی، س. 1390. جایگزینی بخشی از ژلاتین با صمغ فارسی و استفاده از کندر برای تولید پاستیل فراسودمند. مجله مهندسی بیوسیستم، 42: 1-131.
- 5- بهشتی، پ. 1388. انکپسوله کردن مایع در مایع د-لیمون. پایانامه کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده کشاورزی، صفحات 50-63.
- 6- Behrend, O., Ax, K. & Schubert, H. 2000. Influence of continuous phase viscosity on emulsification by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 7: 77–85.
- 7- Benichou, A., Acerin, A., Lutz, R. & Gati N. 2007. Formation and characterization of Amphiphilic conjugates whey protein isolate/xanthan to improve surface activity. *Food Hydrocolloids*, 21: 379–391.
- 8- Chanamai, R. & McClements, D. J. 2002. Comparison of gum Arabic, modified starch and whey protein isolate and emulsifiers: Influence of pH, CaCl₂ and temperature. *Journal of Food Science*, 67: 120–125.
- 9- Chanamai, R. & McClements, D. J. 2002. Depletion flocculation of beverage emulsions by gum Arabic and modified starch. *Journal of Food Science*, 66: 457–463
- 10- Dalgleish, D. G. 2006. Food emulsions: their structures and structure-forming properties. *Food Hydrocolloids*, 20: 415–422.
- 11- Damodaran, S. 2005. Protein stabilization of emulsions and foams. *Journal of Food Science*, 70: 54–66.
- 12- De Kruif, C. G. & Tuinier, R. 1999. Whey protein aggregates and their interaction with exopolysaccharides. *International Journal of Food Science and Technology*, 34: 487–492.
- 13- Dickinson, E. 1992. An introduction to food colloids, Oxford, UK: University Press chapter 1.
- 14- Dickinson, E. 2008. Hydrocolloids as emulsifiers and emulsions. *Food Hydrocolloids*, 23: 1473–1482.
- 15- Dickinson, E. 2003. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*, 17, 25–39.
- 16- Ercelebi, E. A. & Ibanoglu, E. 2007. Influence of hydrocolloids on phase separation and emulsion properties of whey protein isolate. *Journal of Food Engineering*, 80: 454–459.

- 17- Huang X., Kakoda Y. & Gui, W. 2001. Hydrocolloid in emulsions particle size distribution and interfacial activity. *Food Hydrocolloids*, 15: 533–542.
- 18- Guzey, D., Kim, H. J. & McClement, D. J. 2004. Factors influencing the production of O/w emulsions stabilized by β -lactoglobulin-pectin membranes. *Food Hydrocolloids*, 18: 967–975
- 19- Gu, Y. S., Decker, E. A. & McClements, D. J. 2005. Influence of pH and Carrageenan type of on properties of β -lactoglobulin stabilized oil-in-water emulsion. *Food Hydrocolloids*, 19: 83–91.
- 20- Ibanoglu, E. 2002. Rheological behavior of whey protein stabilized emulsions in the presence of gum Arabic. *Journal of food engineering*, 52: 273–277.
- 21- Jafari, S. M., Assadpoor, E., He, Y. & Bhandari, B. 2008. Re-coalescence of emulsion droplets during high- energy emulsification. *Food Hydrocolloids*, 22: 1191–1202.
- 22- Jafari, S. M., He, Y. & Bhandari, B., 2007. Production of sub-micron emulsions by ultrasound and microfluidization techniques. *Journal of food engineering* 82: 478– 488.
- 23- Khalloufi, S., Corredig, M., Goff, H. D. & Alexander, M. 2008a. Flaxseed gums and their adsorption on whey protein-stabilized oil- in- water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 23: 611–618.
- 24- Khalloufi, S., Alexander, M., Goff, H. D. & Corredig, M. 2008b. Physicochemical properties of whey protein isolates stabilized oil-in-water emulsion when mixed with Flaxseed gums at neutral pH. *Food Hydrocolloids*, 23: 611–618.
- 25- Koocheki, A., Kadkhodae, R., Mortazavi S. A., Shahidi, F. & Taherian, A. R. 2009. Influence of Alyssum homolocarpum seed gum on the stability and flow properties of O/W emulsion prepared by intensity ultrasound. *Food Hydrocolloids*, 1–9.
- 26- Koocheki, A., Mortazavi, S. A., Shahidi, F., & Taherian, A. R. 2009. Rheological properties of mucilage extracted from Alyssum homolocarpum seed as a new source of thickening agent. *Journal of Food Engineering*, 91: 490–496.
- 27- Laneuvill, S. Paquin, I., & Turgeon, S. L. 2000. Effect of preparation conditions on the characteristics of whey protein xanthan gum complexes. *Food Hydrocolloids* 14: 305–413.
- 28- McClements, D. J. 2004. *Food Emulsions Principles, Properties and Techniques*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- 29- Mitschka, P. 1982. Simple conversion of Brookfield R.V.T. readings into viscosity functions. *Rheological Acta*, 21: 207–209.
- 30- Nor Hayati, I., Bin Che man, Y., Ping Tan, C., & Nor Aini, I. 2009. Droplet characterization and stability of soybean oil/ palm kernel Olein O/W emulsion with the presence of selected polysaccharids. *Food Hydrocolloids*, 23: 233–243.
- 31- Pongsawatananit, R., Harnsilawat, T., & McClements, D. J. 2006. Influence of alginate, pH and ultrasound treatment on Palm oil-in-water emulsions stabilized by β -lactoglobulin. *Colloids and Surfaces. A: Physicochemical Engineering Aspects*, 287: 59– 67.
- 32- Perrechil, F.A & Cunha, R. L. 2010. oil-in-water emulsions stabilized by sodium caseinate: influence of pH, high-pressure homogenization and locust bean gum addition. *Journal of Engineering*, 97: 441–448.
- 33- Reiffers-Magnani, C., Cuq, J. L & Watzke, H. J. 2000. Depletion flocculation and thermodynamic incompatibility in whey protein stabilized o/w emulsions. *Food Hydrocolloids*. 14: 521–530.
- 34- Tolstoguzov, V. B. 1991. Functional properties of food proteins and role of protein – polysaccharide interaction. *Food Hydrocolloids*, 4: 429–468.
- 35- Sciarini, L. S., Malsonado, F., Ribotta, P. D., Peter, G. T. & Leon, A. E. 2008. Chemical compositions and functional properties of Gleditsia tricanthos gum. *Food Hydrocolloids*, 23: 306–313.
- 36- Schmit, C., Sanchez, S., Thomas, F. & Hardy, J. 1999. Complex coacervation between β -lactoglobulin and acacia gum in aqueous medium. *Food Hydrocolloids*, 13: 483–496.
- 37- Sun, C., Gunasekaran, S. & Richards, M. P. 2007. Effect of xanthan gum on physicochemical properties of whey protein isolate stabilized oil-in-water emulsion. *Food Hydrocolloids*, 21: 555–564.

- 38- Sun, C. & Gunasegaram, 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.
- 39- Ye, A. & Singh, H. 2006. Heat stabilizing of oil- in - water emulsions formed with interacts orhydrolyzed whey proteins: influence of polysaccharides. *Food Hydrocolloids*, 20: 269–276.

Effect of Persian gum concentration, oil content, whey protein concentrate, and pH on the stability of emulsions prepared by ultrasonic homogenizer

F.Yousefi¹, S. Abbasi^{2*}, H.R. Ezzatpanah³

1- MSc Student, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Science and Technology Branch, Tehran

2- Associate professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University

* Corresponding author (sabbasifood@modares.ac.ir)

3-Associate professor, Department of Food Science & Technology, Islamic Azad University, Science and Technology Branch, Tehran

Abstract

In this study, the effect of Persian gum (PG) concentration (0.25-1%), oil-phase volume (5-15%), the presence of whey protein concentrate (WPC) 1%, pH (3.5–8), and storage time (up to 20 days) on the stability, rheological properties, particle size distribution, as well as microstructure of emulsions prepared by ultrasound homogenizer was investigated. According to findings, PG was able to stabilize the emulsions particularly at higher concentrations likely via viscosity increasing but not due to its effect on lowering the interfacial tension. In addition, at higher pH (8) values, the stability of emulsions increased, whereas at pH 3.5, the rate of phase separation increased. Moreover, at pH 7 the stability of emulsions containing WPC was significant, while the phase separation observed at the presence of Persian gum (0.5–1%), probably due to depletion flocculation and thermodynamic incompatibility. Moreover, at pH 3.5 and 5, the creaming occurred with high rate likely because of the bridging occurred between protein coated droplets and gum and protein–gum coated ones. It can be concluded that firstly, the higher levels of gum lowered droplet coalescence and secondly, soluble part of PG as an adsorbing polymer was not able to bind to WPC coated droplets at neutral pH.

Keywords: Depletion Flocculation, Emulsion, Persian Gum, Thermodynamic Incompatibility