

بررسی اثر فرایند فشار بالا بر خصوصیات امولسیون کنندگی پروتئین آب پنیر تغلیظ شده

اسماعیل عطای صالحی^{1*}، امین قهرمانی فر¹، مسعود نجف نجفی²، محمد رضا عابدی قنبرآباد³

1- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قوچان، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، قوچان، ایران

2- گروه علوم و صنایع غذایی، موسسه آموزش عالی علمی - کاربردی وزارت جهاد کشاورزی، مشهد، ایران

3- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قوچان، گروه شیمی کاربردی، قوچان، ایران

تاریخ پذیرش: 1392/10/13

تاریخ دریافت: 1391/11/1

چکیده

در این تحقیق اثر فشار بالا (20، 50، 80، 110 MPa) بر خصوصیات امولسیون های لیمونین تثبیت شده با غلظت های مختلف (10، 15 و 20 درصد وزنی/وزنی) پروتئین آب پنیر تغلیظ شده مورد بررسی قرار گرفت. خصوصیات امولسیون ها نظیر اندازه ذرات، شاخص بس پاشیدگی و مشخصات رئولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر مبنای نتایج، با افزایش غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده، اندازه ذرات و شاخص بس پاشیدگی امولسیون ها به طور کاملاً معنی دار افزایش یافت. همچنین با افزایش فشار اندازه ذرات امولسیون ها و شاخص بس پاشیدگی کاهش یافت. مشخصه های رئولوژیکی امولسیون ها از طریق برازش مدل هرشل - بالکلی بر داده های تنش برشی - نرخ برش محاسبه شدند. نتایج نشان داد امولسیون ها در همه غلظت ها و فشار های همگن سازی رفتار غلیظ شونده با برش دارند.

واژه های کلیدی: فشار بالا، پروتئین آب پنیر تغلیظ شده، اندازه ذرات امولسیون، شاخص بس پاشیدگی

1- مقدمه

از هموزنایزر های فشار بالا به طور گسترده در صنایع دارویی، شیمیایی و مخصوصا صنایع غذایی جهت همگن سازی و ترکیب مواد استفاده می شود. یکی از پیشرفت های اخیر در زمینه طراحی هموزنایزر ها، تولید هموزنایزرهایی با میزان فشار بسیار بالا می باشد. افزایش میزان فشار در هموزنایزر ها باعث کوچکتر شدن اندازه ذرات امولسیون و افزایش پایداری آن ها از طریق کاهش سرعت تجمع و به هم چسبیدن ذرات می شود، علاوه بر کاهش متوسط اندازه ذرات امولسیون، با افزایش میزان فشار می توان خوشه های به هم چسبیده گلبول های چربی را تکه تکه نمود. در حالی که میزان انرژی اعمال شده به ذرات چربی در فشارهای پایین ممکن است قادر به خرد کردن آنها نباشد. انتظار می رود هموزنایزاسیون با استفاده از فشار بالا باعث افزایش فعالیت سطحی مولکول های همگن شده گردد (8).

علاوه بر تغییر قابل ملاحظه در پراکندگی ذرات روغن، همگن سازی دو مایع غیر قابل امتزاج باعث نوآرایی قابل توجه در سطح بین فاز روغن و آب می گردد (23). به طور عمده دو گروه از مولکول ها جذب سطح مشترک مولکول های آب و روغن می شوند، که این دو گروه شامل درشت مولکول های آمفی فیلیک (معمولا پروتئین ها) و امولسیون کننده هایی با وزن مولکولی کم (لکتین ها، مونوگلیسرید ها، توین ها، اسپین ها و غیره) می باشند (4). پروتئین ها و امولسیون کننده های با وزن مولکولی پایین به تولید و پایداری امولسیون ها کمک می کنند. پروتئین ها دو نقش مهم را ایفا می کنند از یک سو باعث کاهش کشش سطحی بین قطرات تازه تشکیل شده در طول فرایند هموزنایزاسیون می شوند و از طرف دیگر با تشکیل لایه ای در اطراف مولکول های دیسپرس شده باعث کاهش سرعت به هم چسبیدن آن ها می شوند (23). در صنایع غذایی معمولا از پروتئین ها جهت تولید و ایجاد پایداری در امولسیون ها استفاده می شود (8).

شرایط اعمال شده طی فرایند هموزنایزاسیون نظیر اعمال فشار بالا، تنش برشی و دما می تواند منجر به تغییر ویژگی های امولسیون کنندگی پروتئین ها گردد. در حال حاضر مشخص گردیده که ساختار پروتئین ها نسبت به فرایند فشار بالا حساس می باشد در واقع پروتئین ها مولکول های کروی هستند که اعمال فشار بالا باعث تغییر در ساختمان سوم و چهارم آن ها می شود. همچنین

مشخص گردیده فشار بالا تا حدودی بر ساختمان دوم پروتئین ها نیز موثر است. علاوه بر این افزایش درجه حرارت در طی هموزنایزاسیون فشار بالا باعث تجمع و به هم چسبیدن ذرات می شود (6). دومی و همکاران (7) مشاهده کردند اعمال فشار بالا باعث تجمع پروتئین های بتالاکتالبومین شده و خصوصیات رئولوژیکی امولسیون ها تغییر می یابد گلازکا و همکاران (10) نیز مشاهده کردند اعمال فشار بالاتر از 800 mp بر گلبول های پروتئینی بتالاکتالبومین منجر به کاهش ظرفیت امولسیون کنندگی و کاهش پایداری امولسیون ها گردید. بررسی های صورت گرفته توسط دسروماکس و مارکند (5) نشان داد اعمال فشار بالا بر ساختار پروتئین ها اثر کرده (موجب دناتوراسیون آن ها می شود) و موجب تغییر در خصوصیات امولسیون کنندگی آن ها گردید. نتایج چندانی در رابطه با تاثیر فشار بالا بر خصوصیات امولسیون کنندگی پروتئین ها در حین فرایند هموزنایزاسیون وجود ندارد بنابر این می توان گفت تحقیقات آزمایشگاهی صورت گرفته بر تاثیر فرایند فشار بالا بر امولسیون ها این دیدگاه را تایید می کند که چون تشکیل جفت یون ها یا باند های هیدروفوبیک با تغییر قابل ملاحظه در حجم همراه است فشار بالا تاثیر مخرب بر برهم کنش های هیدروفوبیک و الکترواستاتیک دارد (8). هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر فشار بالا بر خصوصیات امولسیون های تثبیت شده با پروتئین آب پنیر تغلیظ نظیر اندازه ذرات امولسیون، شاخص بس پاشیدگی و خصوصیات رئولوژیکی امولسیون ها بود.

2- مواد و روش ها

2-1 مواد شیمیایی

پودر آب پنیر تغلیظ شده، د-لیمونن و Tween 80 (سوربیتال منو-9- اکتادکنونات) از شرکت سیگما - آلد ریچ آلمان خریداری گردید برای تهیه کلیه محلولها از آب دیونیزه استفاده گردید.

2-2 روش ها

2-2-1- تهیه سوسپانسیون های کلوئیدی

نسبت های وزنی مناسبی از پروتئین آب پنیر تغلیظ شده به آب دیونیزه اضافه شدند و سپس با استفاده از یک همزن مغناطیسی به مدت یک ساعت مخلوط گردیدند تا محلول های 10، 15 و 20

مقدار مناسبی از امولسیون در استوانه خارجی ریخته شده، سپس در محل مورد نظر و در تماس با استوانه داخلی قرار می گرفت. پس از رسیدن به دمای 25°C توسط سیرکولاتور، استوانه داخلی تحت یک دامنه مشخص و برنامه ریزی شده از سرعت برشی در مقیاس لگاریتمی که از $14/2$ تا 1210 افزایش می یافت، قرار می گرفت. پارامترهای رئولوژیکی از طریق برآش مدل هرشل بالکلی (رابطه 2) بر داده های آزمون (تنش برشی-سرعت برش) محاسبه شد.

$$t = K\dot{\gamma}^n + t_0 \quad (2)$$

در این روابط τ ، تنش برشی (Pa)، $\dot{\gamma}$ ، سرعت برشی (S^{-1})، n شاخص رفتار جریان (بدون بعد)، K ضریب قوام ($\text{mpa}\cdot\text{s}^n$) و t_0 تنش تسلیم (Pa) است (12).

2-3- تجزیه آماری

برای تعیین پارامترهای رئولوژیکی از نرم افزار Slidewrite استفاده شد. برای انجام محاسبات از نرم افزار Excel استفاده گردید. به منظور تجزیه واریانس نتایج، نرم افزار Minitab مورد استفاده قرار گرفت. میانگین تکرارها توسط نرم افزار MSTATC در قالب آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح آماری 5% مورد مقایسه قرار گرفتند.

3- نتایج و بحث

3-1- تأثیر غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده بر قطر

متوسط ذرات و شاخص بس پاشیدگی امولسیون

نتایج تجزیه واریانس تغییرات اندازه قطرات در پاسخ به فاکتورهای مورد بررسی نشان داد که تأثیر غلظت ماده دیواره بر قطر متوسط قطرات کاملاً معنی دار می باشد ($P < 0/05$) به طوری که با افزایش غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده در تمامی فشارهای همگن سازی، اندازه ذرات امولسیون بزرگتر گردید (جدول 1).

این افزایش در اندازه قطرات می تواند مربوط به تشدید برهم کنش بین پلیمرهای جذب شده در سطح مشترک آب - روغن با یکدیگر یا با مولکول هایی باشد که به طور آزادانه در فاز پیوسته پراکنده اند. تحت این شرایط احتمال انجام برهم کنش های

درصد (وزنی/وزنی) تهیه شود. پس از آن سوسپانسیون های کلوئیدی مذکور به مدت 24 ساعت در یخچال نگهداری شدند تا آگیری به طور کامل انجام پذیرد (3).

2-2-2- تهیه امولسیون

امولسیون روغن در آب حاوی 5 درصد وزنی د-لیمونن در 100 گرم پروتئین آب پنیر تغلیظ شده (WPC) و 0/1 درصد Tween 80 بدین صورت تهیه گردیدند که ابتدا تمامی اجزاء با استفاده از یک همزن مغناطیسی به مدت 15 دقیقه مخلوط شدند. سپس امولسیون اولیه با استفاده از همگن ساز فشار بالا مدل h12 (شرکت HST، ساخت آلمان) در فشارهای 20، 50، 80 و 110 مگاپاسکال در یک مرحله و در دمای اتاق هموژن گردیدند.

2-2-3- اندازه گیری اندازه ذرات امولسیون و شاخص بس

پاشیدگی

متوسط قطر و توزیع اندازه امولسیون به کمک دستگاه انکسار نورلیزر (مدل Nano-Zeta sizer، شرکت Malvern، ساخت انگلستان) مورد اندازه گیری قرار گرفت قطر متوسط ذرات که با نماد $d_{3,4}$ (قطر حجم به طول) نمایش داده می شود با استفاده از معادله (1) محاسبه گردید.

$$D_{43} = \frac{\sum z_i d_i^4}{\sum z_i d_i^3} \quad (1)$$

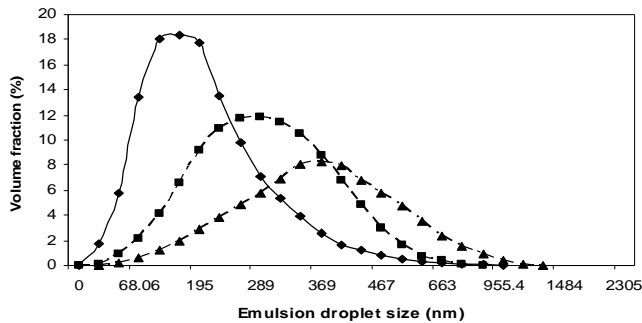
در معادله مذکور، z_i تعداد ذرات با قطر d_i می باشد. شاخص بس پاشیدگی با توجه به منحنی توزیع اندازه ذرات توسط نرم افزار دستگاه محاسبه گردید. تمامی اندازه گیری ها در دمای اتاق (25°C) و ظرف مدت 2 ساعت بعد از تهیه امولسیون و با 2 تکرار انجام شد (15).

2-2-4- اندازه گیری ویسکوزیته ظاهری و رفتار جریان

امولسیون

اندازه گیری ویسکوزیته ظاهری امولسیون ها بلافاصله پس از تهیه آن ها با استفاده از ویسکومتر چرخشی بوهلین (مدل ویسکو، 88 ساخت بریتانیا) مجهز به یک سیرکولاتور حرارتی (جولابو، مدل F12-MC، ساخت آلمان) انجام گرفت. برای تمامی نمونه ها از هندسه نوع استوانه های هم مرکز¹ و پروب C30 استفاده گردید. جهت اندازه گیری پارامترهای رئولوژیکی، ابتدا

¹ Bub & Cup



شکل 1- تأثیر غلظت پروتئین آب پنیر (◆10، ■15، ▲20) بر توزیع اندازه ذرات امولسیون همگن شده در فشار 110 مگاپاسکال

3-2- تأثیر فشار هموژنیزاسیون بر اندازه ذرات امولسیون و شاخص بس پاشیدگی

نتایج مربوط به تأثیر تغییر میزان فشار هموژنیزاسیون بر اندازه ذرات و شاخص بس پاشیدگی امولسیون ها در جدول 1 آورده شده است همانطور که ملاحظه می گردد افزایش فشار هموژنیزاسیون از 20 تا 110 مگاپاسکال اثر قابل ملاحظه ای بر اندازه قطرات امولسیون داشت شکل 2 تأثیر افزایش فشار هموژنیزاسیون بر منحنی توزیع اندازه ذرات امولسیون های تهیه شده با غلظت 20 درصد پروتئین آب پنیر تغلیظ شده را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود با افزایش میزان فشار هموژنیزاسیون، منحنی به سمت چپ جا به جا می شود که نشان دهنده کوچکتر شدن اندازه ذرات می باشد. کوچکترین اندازه قطرات در غلظت های مختلف پروتئین آب پنیر تغلیظ شده مربوط به نمونه های تهیه شده در فشار هموژنیزاسیون 110 مگاپاسکال بود. به عنوان مثال، ذرات امولسیون حاوی 10% پروتئین آب پنیر تغلیظ شده که در فشار 20 مگاپاسکال همگن شده بود؛ دارای اندازه متوسط 260 نانومتر بودند، در حالی که با افزایش فشار هموژنیزاسیون به 110 مگاپاسکال، این اندازه به 216/9 نانومتر کاهش یافت. در هموژنایزرهای فشار بالا مخلوط آب و روغن تحت تأثیر جریان مغشوش و نیروی برشی شدید قرار می گیرد گفته می شود جریان مغشوش مکانیسم غالب می باشد (23) جریان مغشوش موجب خرد شدن فاز پراکنده می شود (8).

قطره - قطره و تشکیل شبکه از طریق ایجاد پل عرضی¹ یا تشکیل خوشه² تشدید می شود. در نتیجه این فرایندها رشد قابل ملاحظه ای در اندازه ذرات مشاهده می گردد (جدول 1). نتایج حاصل با نتایج وانگ و همکاران (24) مبنی بر این که با افزایش غلظت پروتئین تغلیظ شده از 0/5 به 1/25 درصد اندازه ذرات امولسیون به طور معنی دار افزایش یافته است؛ مطابقت دارد. در تحقیق دیگری که توسط سون و گناسکارا (21) به منظور بررسی اثر غلظت پروتئین آب پنیر بر اندازه ذرات امولسیون صورت گرفت، مشخص شد که با افزایش غلظت پروتئین آب پنیر اندازه ذرات امولسیون بزرگتر می گردد. طاهریان و همکاران (22) نیز گزارش کردند که با زیاد شدن غلظت فاز پیوسته در امولسیون روغن در آب، اندازه ذرات امولسیون افزایش می یابد. نتایج گزارش شده در مورد شاخص بس پاشیدگی³ در جدول 1 نشان می دهد که با افزایش غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده (در فشار هموژنیزاسیون مشابه)، شاخص بس پاشیدگی به طور معنی داری افزایش می یابد ($P < 0/05$). این امر احتمالاً به دلیل تأثیرات ناشی از فعل و انفعالات مربوط به برهم کنش پلیمر - پلیمر در اندازه ذرات می باشد. علاوه بر این، اثر نیروهای ویسکوز نیز در این خصوص قابل ملاحظه است. معمولاً با زیاد شدن ویسکوزیته فاز پیوسته، حداقل نیروی برشی لازم برای شکستن ذرات افزایش می یابد. در این شرایط انرژی که در داخل پیش مخلوط امولسیونی پخش می شود معمولاً به اندازه ای نیست که بتواند سبب از هم گسیختگی کامل قطرات گردد، در نتیجه تعداد قطرات درشت تر و نیز دامنه توزیع اندازه آن ها افزایش می یابد. این یافته ها با نتایج گزارش شده توسط کوچکی و همکاران (16)، بهرند و شوبرت (2) مطابقت دارد. این پژوهشگران دریافته اند که افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته منجر به بزرگ شدن اندازه قطرات و تغییر شکل منحنی توزیع اندازه ذرات می گردد. شکل 1 تأثیر غلظت فاز پیوسته بر منحنی توزیع اندازه ذرات امولسیون های تهیه شده با غلظت های مختلف پروتئین آب پنیر تغلیظ شده در فشار 110 مگاپاسکال را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود با افزایش غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده، منحنی به سمت راست جا به جا می شود که نشان دهنده بزرگتر شدن اندازه ذرات می باشد.

¹ Bridging network

² Cluster formation

³ Polydispersity index (PDI)

جدول 1- تأثیر غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده و فشار هموژنیزاسیون بر قطر متوسط قطرات و شاخص بس پاشیدگی امولسیون ها

شاخص بس پاشیدگی	قطر ذرات (نانومتر)	فشار هموژنیزاسیون (مگاپاسکال)	غلظت (%)
0/240 ± 0/007	260 ± 0/1	20	10
0/215 ± 0/002	228/1 ± 0/4	50	
0/195 ± 0/005	221/4 ± 0/4	80	
0/158 ± 0/003	216/9 ± 0/2	110	
0/242 ± 0/005	272/2 ± 0/1	20	
0/239 ± 0/001	251/8 ± 0/3	50	15
0/200 ± 0/007	234/9 ± 0/2	80	
0/173 ± 0/006	218/8 ± 0/3	110	
0/284 ± 0/002	285/5 ± 0/1	20	20
0/249 ± 0/004	251/1 ± 0/4	50	
0/228 ± 0/002	249/4 ± 0/2	80	
0/177 ± 0/003	220/8 ± 0/3	110	

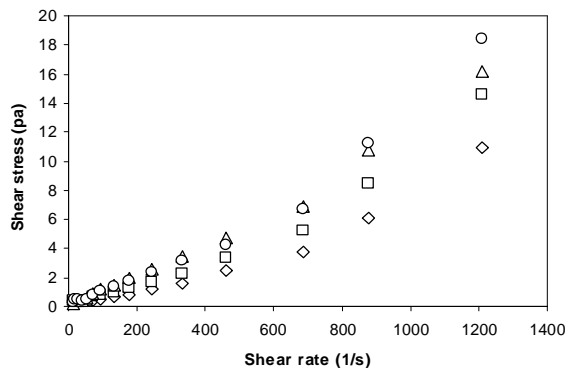
(میکروفلودیزاسیون)¹ موجب کاهش قطر متوسط ذرات امولسیون می گردد.

تأثیر فشار هموژنیزاسیون بر شاخص بس پاشیدگی امولسیون ها در جدول 1 نشان داده شده است. همانگونه که در این جدول مشاهده می شود، افزایش فشار هموژنیزاسیون در کلیه غلظت های پروتئین آب پنیر تغلیظ شده اثر معنی داری بر شاخص بس پاشیدگی نمونه ها داشت ($P < 0/05$)، به طوری که، با افزایش فشار هموژنیزاسیون مقدار شاخص بس پاشیدگی نمونه ها کاهش یافت. در این بررسی شاخص بس پاشیدگی ذرات امولسیون ها در دامنه 0/158 تا 0/249 قرار داشت. کوچکترین شاخص بس پاشیدگی در غلظت های مختلف پروتئین آب پنیر تغلیظ شده مربوط به نمونه هایی بود که در فشار 110 مگاپاسکال هموژن گردیده بودند. بیشترین شاخص بس پاشیدگی نیز مربوط به نمونه هایی با فشار هموژنیزاسیون 20 مگاپاسکال بود. علت کاهش شاخص بس پاشیدگی ذرات امولسیون با افزایش فشار هموژنیزاسیون به این دلیل می باشد که افزایش فشار هموژنیزاسیون باعث کوچک شدن اندازه ذرات و افزایش ظرفیت اتصال آب به قسمت های هیدروفیل اسیدهای آمینه پروتئین های آب پنیر تغلیظ شده و موجب افزایش یکنواختی کل

از طرفی افزایش فشار هموژنیزاسیون باعث افزایش انرژی اعمال شده (توسط هموژنایزر) به امولسیون می شود. و چون مقادیر کافی از امولسیون کننده (پروتئین آب پنیر تغلیظ شده) در محیط امولسیون برای پوشش دادن سطح ذرات جدید حاصل از خرد شدن ذرات بزرگتر امولسیون وجود دارد، بنابراین افزایش فشار هموژنیزاسیون از 20 به 110 مگاپاسکال باعث کوچکتر شدن اندازه ذرات می شود. بونیا و همکاران (3) تأثیر فرایند فشار بالا را بر امولسیون های تثبیت شده با ایزوله پروتئین آب پنیر مورد بررسی قرار دادند و مشاهده نمودند با افزایش میزان فشار هموژنیزاسیون اندازه ذرات امولسیون ها به طور معنادار کاهش یافت. طی بررسی مشابهی که توسط فلوری و همکاران (8) بر روی ویژگی های امولسیون های تثبیت شده با پروتئین آب پنیر تغلیظ شده صورت گرفت مشخص شد با افزایش فشار از 20 تا 350 مگا پاسکال اندازه ذرات امولسیون کوچکتر. رومرو و همکاران (20) و مک کلمنتس (18) گزارش کردند اندازه ذرات امولسیون با افزایش زمان و شدت انرژی برشی اعمال شده توسط هموژنایزر در طول فرایند هموژنیزاسیون و در صورتی که امولسیون کننده به مقدار کافی وجود داشته باشد، کاهش می یابد. یافته های جعفری و همکاران (14، 13) نیز حاکی از آن است که افزایش انرژی اعمال شده در طول فرایند هموژنیزاسیون

¹ Microfluidisation

تسلیم نمونه ها هم به ترتیب در محدوده 0/003 - 0/03 Pa.s و 0/32 - 0/64 Pa قرار داشتند.



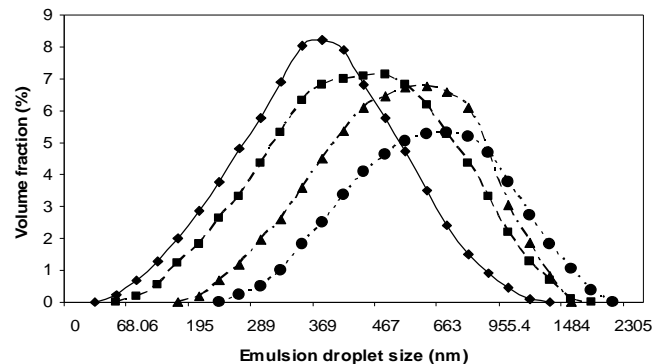
شکل 3 نمودار سرعت برشی - تنش برشی امولسیون ها در فشار های مختلف هموژنیزاسیون (20، 50، 80، و 110) و غلظت 10% پروتئین آب پنیر تغلیظ شده

3-3-1- تأثیر غلظت و فشار هموژنیزاسیون بر ویژگی های رئولوژیکی امولسیون

همانطور که در جدول 2 مشاهده می شود افزایش غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده در تمامی موارد باعث کاهش شاخص رفتار جریان و افزایش ضریب قوام و تنش تسلیم نمونه ها شده است. در واقع با افزایش ضریب قوام و سفت تر شدن نمونه ها مقدار تنش تسلیم اولیه برای جریان یافتن نمونه ها افزایش پیدا کرد.

در رابطه با تأثیر فشار هموژنیزاسیون بر ویژگی های رئولوژیکی امولسیون می توان گفت پروتئین های آب پنیر مولکول هایی کروی شکل با توزیع نسبتاً یکنواخت از زنجیره قطبی (هیدروفوب)، غیر قطبی (خنثی) و اسید های آمینه باردار یا بدون بار می باشند. در طول فرایند هموژنیزاسیون گلبول های پروتئینی می شکنند و تولید مقادیر زیادی از پروتئین ها و پپتیدهای کوچکتر را می کنند مهمترین تغییر در ساختمان سوم پروتئین ها اتفاق می افتد. این قبیل تغییرات می تواند موجب تغییرات معنادار در ویژگی های رئولوژیکی سیستم ها گردد (12). بررسی جدول 2 نشان می دهد با افزایش فشار هموژنیزاسیون روند مشخصی در تغییر ضریب قوام و شاخص رفتار جریان مشاهده نمی شود. اما افزایش فشار هموژنیزاسیون باعث افزایش مقدار تنش تسلیم شده است.

سیستم می شود (9). از طرفی با توجه به این که شاخص بس پاشیدگی معیاری از میزان یکنواختی ذرات امولسیون می باشد بنابراین افزایش فشار هموژنیزاسیون از طریق کاهش اندازه ذرات امولسیون باعث بهبود ویژگی های امولسیون (19) و موجب کاهش شاخص بس پاشیدگی ذرات امولسیون می شود.



شکل 2- تأثیر فشار هموژنیزاسیون (20، 50، 80، و 110) بر توزیع اندازه ذرات امولسیون همگن شده در غلظت 20% پروتئین آب پنیر تغلیظ شده (w/w)

3-3-3- خصوصیات رئولوژیکی امولسیون

شکل 3 نمودار سرعت برشی - تنش برشی را در غلظت 10% پروتئین آب پنیر تغلیظ شده و فشار های مختلف نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود رابطه بین تنش برشی و سرعت برشی غیرخطی است که بیانگر غیرنیوتنی بودن رفتار امولسیون است. همچنین ملاحظه می گردد با افزایش سرعت برشی میزان تنش برشی افزایش پیدا می کند. لذا پیش بینی می شود که سیال مورد بحث دارای خواص سیالات دایلاتانت (سفت شونده با برش) باشد.

جهت بررسی رفتار رئولوژیکی امولسیون ها از مدل هرشل بالکلی استفاده شد. مقادیر مربوط به ضریب قوام و شاخص رفتار جریان نمونه های امولسیون از برازش مدل هرشل بالکلی در جدول 2 آورده شده است. ضریب قوام K^1 و شاخص رفتار جریان n^2 نمونه ها به ترتیب در محدوده $0/031 \text{ mPa.s}^n$ و $0/97_1/75$ قرار داشت. ویسکوزیته ظاهری و تنش

¹ Consistency coefficient

² Flow behavior index

3-3-2- تأثیر غلظت و فشار هموزنی‌زاسیون امولسیون بر

ویسکوزیته ظاهری

ویسکوزیته ظاهری نمونه های امولسیون تثبیت شده با غلظت های مختلف پروتئین آب پنیر تغلیظ شده در دمای 25 درجه سانتیگراد و سرعت برش 1210 در جدول 2 آورده شده است. همانطور که ملاحظه می گردد افزایش غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده موجب افزایش ویسکوزیته ظاهری امولسیون ها شده است. بیشترین مقدار ویسکوزیته ظاهری مربوط به نمونه با غلظت 20% و کمترین مقدار ویسکوزیته نیز مربوط به نمونه با غلظت 10% می باشد. در رابطه با افزایش ویسکوزیته امولسیون با افزایش غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده می توان گفت افزایش غلظت پروتئین آب پنیر تغلیظ شده موجب افزایش تعداد نقاط فعال یا به عبارت دیگر بخش هیدروفیل اسید های آمینه می شود، بنابراین ظرفیت اتصال آب نیز افزایش می یابد که نتیجه این تغییرات افزایش ویسکوزیته امولسیون می باشد.

همچنین با افزایش فشار هموزنی‌زاسیون از 20 به 110 مگاپاسکال، ویسکوزیته امولسیون ها افزایش یافت. کمترین مقدار ویسکوزیته مربوط به نمونه هایی بود که در فشار 20 مگاپاسکال هموزن گردیده بودند و بیشترین مقدار ویسکوزیته نیز مربوط به امولسیون هایی بود که در فشار 110 دقیقه هموزن شده بودند. افزایش ویسکوزیته امولسیون با افزایش فشار هموزنی‌زاسیون به این دلیل

است که اعمال فرایند هموزنی‌زاسیون باعث تکه تکه شدن مولکول پروتئین شده و ظرفیت اتصال آب با مولکولهای پروتئینی افزایش می یابد (12 و 11). در بررسی مشابهی هرش و لیلانز (12) گزارش کردند اعمال فرایند هموزنی‌زاسیون باعث افزایش ظرفیت اتصال آب به ذرات امولسیون های تثبیت شده با پروتئین آب پنیر تغلیظ شده WPC-60 و پروتئین آب پنیر تغلیظ شده WPC-80 شده و موجب افزایش معنادار در ویسکوزیته امولسیون ها گردید. دلیل دیگر افزایش ویسکوزیته را می توان بر اساس قانون استوک¹ بیان کرد. طبق قانون استوک سرعت حرکت قطرات متناسب با مربع شعاع آنها می باشد. به عبارت دیگر با کوچکتر شدن اندازه ذرات امولسیون سرعت حرکت قطرات کاهش و ویسکوزیته امولسیون افزایش می یابد.

$$n_{Stokes} = -\frac{2gr^2(r_2 - r_1)}{9h_1}$$

در این رابطه r شعاع قطره، g شتاب گرانش، ρ_1 دانسیته فاز پراکنده، ρ_2 دانسیته فاز پیوسته و η ویسکوزیته برشی می باشد (1).

4- نتیجه گیری

نتایج بدست آمده نشان داد غلظت و فشار هموزنی‌زاسیون تأثیر قابل توجهی بر ویژگی های امولسیون های تثبیت شده با پروتئین

جدول 2- خصوصیات رئولوژیکی امولسیون های حاوی غلظت های مختلف پروتئین آب پنیر تغلیظ شده و فشار های هموزنی‌زاسیون مختلف

ویسکوزیته ظاهری (mPa.s)	R^2	τ_0 (Pa)	K (mPa.s ⁿ)	n	فشار هموزنی‌زاسیون (mPa)	غلظت (%)
3	0/9666	0/32	0/00004	1/62	20	10
3	0/9047	0/35	0/00005	1/60	50	
4	0/9639	0/42	0/00002	1/75	80	
6	0/9603	0/45	0/00004	1/71	110	
7	0/9855	0/33	0/0023	1/14	20	15
10	0/9964	0/39	0/0024	1/19	50	
11	0/9920	0/47	0/0026	1/20	80	
13	0/9977	0/53	0/0039	1/16	110	
23	0/9985	0/39	0/029	0/97	20	20
25	0/9972	0/41	0/023	1/01	50	
29	0/9985	0/57	0/031	0/99	80	
30	0/9985	0/64	0/030	1/00	110	

(ویسکوزیته ظاهری در سرعت برش 1210 S^{-1} محاسبه شده است)

¹ Stokes' law

8- Flourey, J., Desrumaux, A., Lardieres, J. (2000). Effect of high-pressure homogenization on droplet size distributions and rheological properties of model oil-in-water emulsions, *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 1, 127-134.

9- Franco, J. M., Raymundo, A., Sousa, I. and Gallegos, C. 1998. Influence of processing variables on the rheological and textural properties of lupin protein-stabilized emulsions. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 46, 3109-3115.

10- Galazka, V. B., Dickinson, E., & Ledward, D. A. 1996. Effect of high pressure on the emulsifying behaviour of b-lactoglobulin. *Food Hydrocolloids* 10, 213-219.

11- Herceg, Z., Hegedusic, V. and Rimac, S. 2000. Influence of hydrocolloid addition on the rheological properties of whey modelsolutions. *Acta Alimentaria*, 29: 89-103.

12- Herceg, Z. and Lelas, V. 2005. The influence of temperature and solid matter content on the viscosity of whey protein concentrates and skim milk powder before and after tribomechanical treatment. *Food Engineering*, 66, 433-438.

13- Jafari, S.M., Assadpoor, E., He, Y., Bhandari, B. 2008. Re-coalescence of emulsion droplets during high-energy emulsification. *Food Hydrocolloids* 22: 1191-1202.

14- Jafari, S.M., Assadpoor, E., Bhandari, B., He, Y. 2008. Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying. *Food Research International*, 41, 172-183.

15- Jafari, S.M., He, Y., Bhandari, B. 2007. Production of sub-micron emulsions by ultrasound and microfluidization technique. *Journal of Food Engineering*, 82, 478-488.

16- Koocheki, A., Kadkhodaei, 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 high intensity ultrasound. *Food Hydrocolloids*, 1-9.

17- McClements, D. J. 2004. *Food emulsions: principles, practice and techniques*. Boca Raton, Florida: CRC Press.

18- McClements, D. J. 2004. Protein - stabilized emulsions. *Current Opinion in Colloid and Interfaces Science*, 9, 305-313.

19- Phillips, G. O. and Williams, P. A. 1995. Interaction of hydrocolloids in food systems. In A. G. Gaonkar (Ed.), *Ingredient interactions* (pp. 131-169). New York: Marcel Dekker.

20- Romero, A., Cordobes, F., Puppo, M.C., Guerrero, A. and Bengoechea, C. 2008. Rheology and droplet size distribution of emulsions stabilized by crayfish flour. *Food Hydrocolloids*, 22: 1033-1043.

21- Sun, C., Gunasekaran, S. 2009. Effects of protein concentration and oil-phase volume fraction on the stability and rheology of menhaden oil-in-water

آب پنیر تغلیظ شده داشت. در این بررسی افزایش غلظت پروتئین آب پنیر موجب افزایش اندازه ذرات و ویسکوزیته امولسیون ها گردید در حالی که شاخص بش پاشیدگی نمونه ها کاهش یافت. علاوه بر این با افزایش فشار هموژنیزاسیون اندازه ذرات و شاخص بش پاشیدگی امولسیون ها به طور معنادار کاهش یافت. اما ویسکوزیته ظاهری امولسیون ها افزایش یافت بررسی خصوصیات رئولوژیکی امولسیون ها نیز نشان داد امولسیون ها رفتار غلیظ شونده با برش دارند.

5- سپاس گذاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان به خاطر تامین هزینه های انجام این طرح نهایت تشکر و قدردانی را معمول می دارم.

6- منابع

1- Aken, G.A.V. 2004. Coalescence mechanisms in protein stabilized emulsions. In *Food Emulsions*, edited by Friberg, Larsson and Sjoblom, pp. 299-326. New York: Marcel Dekker.

2- Behrend, O., Ax, K. and Schubert, H. 2000. Influence of continuous phase viscosity on emulsification by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 7, 77-85.

3- Bouaouina, H., Desrumaux, A., Loisel, C., Legrand, J. 2006. Functional properties of whey protein as affected by dynamic high pressure treatment. *International Dairy Journal*, 16, 285-284.

4- Burgaud, I., Dickinson, E., & Nelson, P. V. (1990). An improved high-pressure homogenizer for making fine emulsions on a small scale. *International Journal of Food Science and Technology* 25, 39-46.

5- Desrumaux, A., and Marcand, J. (2002). Formation of sunflower oil emulsions stabilized by whey proteins with high-pressure homogenization (up to 350 MPa): Effect of pressure on emulsion characteristics. *International Journal of Food Science and Technology*, 37, 263-269.

6- Dumay, E. M., Kalichevsky, M. & Cheftel, J. C. 1994. High pressure unfolding and aggregation of b-lactoglobulin and the baroprotective effects of sucrose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 42, 1861-1868.

7- Dumay, E., Lambert, C., Funtenberger, S., & Cheftel, J. C. 1996. Effects of high pressure on the physico-chemical characteristics of dairy creams and model oil/water emulsions. *Lebensm.-Wiss. U. Technol.* 29, 606-625.

- emulsions stabilized by whey protein isolate with xanthan gum. *Food Hydrocolloids*, 23, 165–174.
- 22- Taherian, A.R., Fustier, P., 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.
- 23- Walstra, P. 1983. Formation of emulsions. In: P. Becher, *Encyclopedia of emulsion technology*, chap. 2, 1. New York: Marcel Dekker.
- 24- Wang, B., Li, D., Wang, L.J., Adhikari, B., Shi, J. 2010. Ability of flaxseed and soybean protein concentrates to stabilize oil-in-water emulsions. *Journal of Food Engineering*, 100, 417–426.