

## تأثیر میزان صمغ دانه مرو و ایزوله پروتئین سویا در پایداری امولسیون روغن در آب

احسان اکبری<sup>۱\*</sup>، محمد قربانی<sup>۲</sup>، علیرضا صادقی ماهونک<sup>۲</sup>، مهران اعلمی<sup>۲</sup>، مهدی کاشانی نژاد<sup>۲</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، شیمی مواد غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
۲. دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: 94/10/29، تاریخ پذیرش: 94/12/12)

### چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر صمغ دانه مرو و ایزوله پروتئین سویا بر خصوصیات امولسیون روغن در آب می‌باشد. بدین منظور، اثرات متقابل صمغ دانه مرو و ایزوله پروتئین سویا در یک سیستم مدل ساده امولسیون روغن در آب، شامل غلظت‌های مختلف صمغ دانه مرو از 0، 0/25، 0/5 و 0/75 درصد و ایزوله پروتئین سویا در غلظت‌های مختلف 0، 0/5 و 1 درصد با مقدار ثابت 20 درصد روغن، مورد بررسی قرار گرفت. پایداری امولسیون، اندازه قطرات، خامه‌ای شدن، ویسکوزیته و خاصیت امولسیون‌کنندگی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش غلظت صمغ و پروتئین پایداری امولسیون و خاصیت امولسیون‌کنندگی مورد افزایش می‌یابد که بین غلظت‌های 0/5 و 0/75 درصد از صمغ اختلاف معنی‌داری ( $p > 0/05$ ) مشاهده نشد. خصوصیت رفتار جریانی امولسیون‌های تشکیل شده با توجه به ضریب همبستگی ( $R^2$ ) مشخص شد که مدل هرشل-بالکلی می‌تواند تغییرات تنش برشی-سرعت برشی را پیش‌بینی کند. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش غلظت صمغ دانه مرو و ایزوله پروتئین سویا به‌طور معنی‌داری ( $p < 0/50$ ) اندازه قطرات کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: امولسیون روغن در آب، اندازه قطرات، ایزوله پروتئین سویا، صمغ دانه مرو، هرشل-بالکلی.

## 1- مقدمه

سیستم‌های غذایی، هضم راحت، هزینه پایین و ارزش تغذیه‌ای بالا گسترش یافته است. در ایالات متحده با افزایش توجه مصرف‌کنندگان به غذاهای سلامت بخش و تایید اثرات پروتئین سویا در کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی توسط سازمان غذا و دارو، استفاده از محصولات پروتئینی سویا افزایش یافته است [4]. ایزوله پروتئین سویا خالص‌ترین شکل پروتئین محصولات سویا است و به‌ویژه زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که میزان پروتئین بالا و ویژگی‌های عملکردی ویژه مورد نیاز است [5].

مرو (*Salvia macrosiphon Boiss*) گیاهی از خانواده نعنائیان (*Labiata*) است و در مناطق گرم و نیمه گرم می‌روید. گونه سالویا شامل بیش از 700 گونه است که حدود 200 گونه آن در ایران رشد می‌کنند. گیاهان متعلق به این گونه در سراسر دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرند. تخم مرو دانه‌ای است به اندازه شاهدانه و هم‌رنگ با آن، سه وجهی با ظاهر براق که یک وجه آن بزرگ‌تر است. دارای رگه‌هایی به رنگ قهوه‌ای است که از قسمت پایین منشعب شده و سرتاسر دانه را گرفته است. دانه مرو حاوی مقدار بالایی هیدروکلوئید است که به محض قرار گرفتن در آب، لایه ضخیمی در اطراف دانه تشکیل می‌شود. به علت دارا بودن موسیلاژ فراوان به‌عنوان لینت‌بخش در برطرف کردن خارش‌های گلو و سرفه در فرمول چهارتخم استفاده سنتی دارد [6]. تاکنون مطالعه‌ای بر روی اثر مخلوط صمغ دانه مرو و ایزوله پروتئین سویا بر پایداری امولسیون انجام نشده است. بنابراین، هدف از این تحقیق بررسی تاثیر مخلوط صمغ دانه مرو و ایزوله پروتئین سویا بر ویژگی‌های فیزیکی و پایداری امولسیون روغن سویا در آب می‌باشد.

## 2- مواد و روش‌ها

## 2-1- استخراج صمغ

صمغ دانه مرو با استفاده از روش ارائه‌شده توسط بستان و همکاران (2010) استخراج گردید. دانه‌های مرو از عطاری مشهد-ایران خریداری گردید و مواد زائد و ناخالصی‌ها از دانه جدا شد. به‌منظور استخراج صمغ، دانه‌ها در آب با دمای 25 درجه سانتی‌گراد،  $pH = 7$  و نسبت وزنی آب به دانه 51 به 1 قرار گرفتند. پس از مدت 20 دقیقه صمغ خارج‌شده از دانه با

امولسیون یک سامانه ناهمگن می‌باشد که از دو مایع غیرقابل امتزاج که یکی از آن‌ها به‌صورت قطرات ریز در مایع دیگر پراکنده‌شده، تشکیل گردیده است [1]. دو فاز امتزاج‌ناپذیر را به‌طور معمول آب و روغن تشکیل می‌دهد. بر اساس ماهیت فاز پراکنده امولسیون‌ها به دو نوع تقسیم‌بندی می‌شوند: امولسیون روغن در آب (O/W) که در آن فاز روغن به‌صورت ذرات ریز در فاز آبی پراکنده‌شده است و امولسیون آب در روغن (W/O) که شامل قطرات پراکنده فاز آبی در فاز روغن می‌باشد. برای تشکیل امولسیون به آب، روغن، امولسیفایر و انرژی نیاز است. در این بین، حضور امولسیفایر از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در هنگام انتخاب امولسیفایر برای تولید امولسیون‌های مختلف، این نکته را باید در نظر گرفت که هدف فقط تولید امولسیون نبوده و پایداری آن در طولانی‌مدت نیز مدنظر است. پروتئین‌ها به دلیل خصوصیات امولسیون‌کنندگی و قابلیت ایجاد کف و صمغ‌ها به دلیل قابلیت نگه‌داری آب بالا و ایجاد گرانشی در امولسیون‌ها حائز اهمیت هستند [2].

صمغ‌ها، بسپارهای آب‌دوست با وزن مولکولی بالا و مجموعه‌ای از پلی‌ساکاریدها و برخی پروتئین‌ها هستند که با حل یا پخش شدن در آب، گرانشی را افزایش می‌دهند. امروزه از این ترکیبات در صنایع مختلف به‌منظور تغلیظ، تشکیل ژل، تشکیل فیلم، تثبیت کف، امولسیون و دیسپرسیون، ممانعت از تشکیل کریستال‌های یخ و شکر و هم‌چنین رهایش کنترل‌شده طعم‌ها به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. اگرچه بسته به نوع و کاربرد هیدروکلوئیدها، این ترکیبات اغلب در غلظت کم‌تر از 1 درصد به‌کار می‌روند، اما اثر چشمگیری بر خواص بافتی و حسی مواد غذایی دارند [3].

به‌تازگی تقاضا برای هیدروکلوئیدهای دارای خواص عملکردی ویژه افزایش یافته است. بنابراین یافتن منابع جدید صمغ‌ها با خواص مناسب جهت استفاده در صنعت اهمیت ویژه‌ای دارند. موسیلاژهای دانه‌ای و پلی‌ساکاریدهای گیاهی به‌دلیل در دسترس بودن و قیمت مناسب در فرمولاسیون‌های غذایی استفاده فراوانی دارند [3].

پروتئین سویا از مهم‌ترین منابع پروتئین تجاری است که استفاده از آن به‌دلیل ویژگی‌های عملکردی مطلوب در

استفاده از آب میوه گیر جداسازی و جهت جداسازی ناخالصی‌ها از سانتریفیوژ با سرعت 800 دور در دقیقه به مدت 10 دقیقه

## 2-5- اندازه‌گیری خاصیت امولسیون‌کنندگی

برای اندازه‌گیری خاصیت امولسیون‌کنندگی، پس از آماده‌سازی امولسیون 10 میلی‌لیتر از آن سانتریفیوژ (1200g به مدت 10 دقیقه) گردید. سپس بر اساس حجم فازهای جداشده، شاخص خاصیت امولسیون‌کنندگی با استفاده از رابطه (2) اندازه‌گیری شد [11].

$$ES = \frac{V_f}{V_i} \quad (2)$$

$V_f$ : حجم بعد از سانتریفیوژ و  $V_i$ : حجم اولیه امولسیون

## 2-5- اندیس پایداری امولسیون

اندیس پایداری امولسیون (ESI) با استفاده از کدورت‌سنجی مورد ارزیابی قرار گرفت. 1 میلی‌لیتر از امولسیون با 10 میلی‌لیتر SDS 0/01٪ رقیق‌سازی و مقدار جذب آن با اسپکتوفتومتر در طول موج 500 نانومتر خوانده شد. سپس امولسیون در دمای 25 درجه سانتی‌گراد به مدت 10 دقیقه نگهداری و دوباره میزان جذب آن یادداشت شد. با استفاده از رابطه (3) میزان اندیس پایداری امولسیون محاسبه گردید [10].

$$ESI = \frac{A_0}{A_0 - A_{10}} \times 10 \text{ (min)} \quad (3)$$

در رابطه بالا  $A_0$  و  $A_{10}$  به ترتیب جذب خوانده‌شده در زمان صفر و 10 دقیقه می‌باشد.

## 2-6- شاخص خامه‌ای شدن

پس از تهیه نمونه‌های امولسیون، 10 میلی‌لیتر از امولسیون در لوله فالکون‌های 15 میلی‌لیتری ریخته شد و پس از بستن درب آن‌ها، به مدت 21 روز در دمای 4 درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شد. میزان این شاخص با استفاده از رابطه (4) اندازه‌گیری شد [12].

$$\text{خامه‌ای شدن} = \frac{\text{ارتفاع لایه خامه‌ای}}{\text{ارتفاع کل امولسیون}} \quad (4)$$

استفاده از آب میوه گیر جداسازی و جهت جداسازی ناخالصی‌ها از سانتریفیوژ با سرعت 800 دور در دقیقه به مدت 10 دقیقه استفاده گردید. پس از آن توسط آن در دمای 50 درجه سانتی‌گراد خشک و صمغ حاصل با آسیاب برقی آسیاب و مخلوط آسیاب شده از الک آزمایشگاهی 50 عبور داده شد تا دانه‌های درشت‌تر آن جدا گردد. پودر حاصله تا زمان آزمایش درون کیسه‌های پلاستیکی زیپی در فریزر نگهداری شد [7].

## 2-2- آماده‌سازی فاز پیوسته امولسیون

برای تهیه فاز آبی، مقادیر مختلفی از ایزوله پروتئین سویا (0، 0/25، 0/5 و 1 گرم) و صمغ دانه مرو (0، 0/25، 0/5 و 0/75 گرم) به‌طور جداگانه توزین گردیدند و سپس توسط آب مقطر در بشرهای 100 میلی‌لیتری به وزن 40 گرم رسانده شدند و برای حل شدن، توسط همزن مغناطیسی، در دمای آزمایشگاه، به مدت 5 دقیقه مخلوط شدند. به جهت افزایش خاصیت امولسیفایری، ایزوله پروتئین سویا حل شده در آب مقطر به مدت 30 دقیقه و در دمای 90 درجه سانتی‌گراد در بن ماری قرار داده شد [8].

## 2-3- آماده‌سازی امولسیون

برای تهیه 100 گرم امولسیون، از غلظت‌های ایزوله پروتئین سویا و صمغ دانه مرو ذکر شده در قسمت قبل، استفاده و به مدت 3 دقیقه با هم مخلوط گردیدند. در هنگام مخلوط شدن آن‌ها، روغن آفتابگردان (20 W/V) به‌صورت قطره قطره اضافه و سپس برای تکمیل هموژن شدن از هموژنایزر با سرعت 15000 دور در دقیقه به مدت 3 دقیقه استفاده شد [9].

## 2-4- اندازه‌گیری اندازه قطرات امولسیون

برای اندازه‌گیری اندازه ذرات امولسیون، یک قطره از امولسیون با 10 میلی‌لیتر SDS 0/01٪ (وزنی/حجمی) رقیق‌سازی و سپس با استفاده از دوربین دیجیتال از نمونه‌ها توسط میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی 400 عکس‌برداری گردید. برای آنالیز عکس تهیه شده از نرم‌افزار Image J استفاده و برای محاسبه اندازه قطرات از رابطه (1) استفاده شد [10].

$$D_{32} = \sum \frac{n_i d_i^3}{n_i d_i^2} (\mu m) \quad (1)$$

## 2-7- تعیین ویسکوزیته ظاهری و رفتار جریان‌ی امولسیون

ویسکوزیته ظاهری و رفتار جریان‌ی با استفاده از ویسکومتر چرخشی بروکفیلد (LV-DVII آمریکا) توسط اسپندل S04 اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب که 100 میلی‌لیتر از امولسیون را داخل بشر ریخته و اسپندل را داخل آن غوطه‌ور و میزان گرانروی ظاهری و گشتاور ثبت شد و سپس بر اساس داده‌های به‌دست آمده و به کمک فرمول‌ها و روابط خاص رابطه بین تنش برشی-سرعت برشی محاسبه شد و برای مقایسه بین ویسکوزیته نمونه‌ها از ویسکوزیته ظاهری با سرعت برشی 60 دور در دقیقه استفاده گردید. برای تعیین نوع رفتار جریان‌ی امولسیون سرعت برشی و تنش برشی با معادله‌های قانون توان<sup>1</sup> و هرشل بالکلی<sup>2</sup> با استفاده از نرم‌افزار Curve Expert تطبیق داده شد [10].

## 2-8- تجزیه و تحلیل آماری

نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار spss14 بر پایه طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل مورد آزمون آماری قرار گرفتند. تمامی آزمون‌ها با سه تکرار انجام گرفت. میانگین، با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال 95 درصد ( $p < 0/05$ ) مورد مقایسه قرار گرفت. برای برازش منحنی‌ها و ترسیم نمودارها از نرم‌افزارهای Curve Expert 1.3 و Microsoft Excel 2010 استفاده شد.

## 3- نتایج و بحث

### 3-1- اندیس پایداری امولسیون

شکل (1) نشان‌دهنده تغییرات اندیس پایداری امولسیون تثبیت‌شده با غلظت‌های مختلف ایزوله پروتئین سویا در مقابل غلظت‌های مختلف صمغ می‌باشد. همان‌طور که منحنی نشان می‌دهد، با افزایش غلظت از صفر تا 0/75 درصد میزان اندیس پایداری افزایش یافته است، که می‌توان علت این واقعیت را به افزایش میزان ویسکوزیته در اثر افزایش میزان غلظت صمغ و کاهش تحرک قطرات روغن و همچنین افزایش میزان خاصیت امولسیفایری امولسیون در اثر افزایش میزان ایزوله پروتئین سویا دانست. [13]. بر این اساس امولسیون حاوی 1%

ایزوله پروتئین سویا و 0/75 درصد صمغ دانه مرو، بیش‌ترین پایداری را نشان داد. همچنین مطالعات نشان می‌دهد افزودن پلی‌ساکارید سبب افزایش خاصیت فعالیت سطحی پروتئین شده و در نتیجه پایداری امولسیون افزایش می‌یابد [14]. در تحقیقی که محمد زاده و همکاران (2013) بر روی صمغ دانه مرو و پروتئین آب‌پنیر داشتند، به نتیجه مشابهی رسیدند که در حضور 3٪ از صمغ دانه مرو، با افزایش مقدار پروتئین آب‌پنیر اندیس پایداری امولسیون نیز افزایش یافت [10].

### 3-2- اندازه قطرات

طبق شکل (2) در تمامی غلظت‌های پروتئین با افزایش میزان غلظت صمغ اندازه قطرات کاهش می‌یابد که تاثیر هر یک از غلظت‌های صمغ معنی‌دار ( $p < 0/05$ ) است، ولی تاثیر غلظت‌های 1 و 0/5 درصد پروتئین معنی‌دار ( $p > 0/05$ ) نمی‌باشد. محمد زاده و همکاران (2013) در تحقیقی به بررسی پایداری امولسیون D-لیمونین در آب پایدار شده توسط پروتئین آب‌پنیر و صمغ دانه مرو پرداختند. آن‌ها نیز به این نتیجه رسیدند که افزایش صمغ و پروتئین سبب کاهش اندازه قطرات می‌گردد [10]. کاهش اندازه قطرات در غلظت‌های بالاتر صمغ را می‌توان به افزایش تمایل مولکول‌های پروتئین برای تجمع نسبت داد. این امر باعث می‌شود که قطرات روغن که در طی هموژن کردن امولسیون، به قطرات ریز تقسیم شده‌اند، تحت پوشش قرار گیرند و از اتصال دوباره آن‌ها جلوگیری گردد. از طرف دیگر با افزایش غلظت صمغ، ویسکوزیته امولسیون افزایش می‌یابد که این امر نیز سبب کاهش اندازه قطرات امولسیون می‌گردد. افزایش ویسکوزیته تحرک قطرات امولسیون را کاهش می‌دهد و از طرفی زمان کافی پروتئین برای جذب سطحی بین روغن و آب را افزایش می‌دهد. اگزو و همکاران (2012)، بیان کردند که افزایش نسبت پکتین در مخلوط ایزوله پروتئین سویا-پکتین چغندر، باعث افزایش اندازه ذرات امولسیون حاصل از آن شده و دلیل آن را به حضور پکتین جذب نشده در سطح ذرات روغن نسبت دادند که باعث تجمع نقصانی شده و اندازه ذرات را افزایش می‌دهد [15]. علی‌پور و همکاران (1394) گزارش کردند که با افزایش نسبت پروتئین به صمغ قهوه شیرازی در مخلوط لیوفیلیزه صمغ-پروتئین، اندازه ذرات امولسیون

1. Power Law

2. Herschel - Bulkley

پایداری در طی نگهداری، مقاومت به رویه بستن، خصوصیات ظاهری، گرانبوی، ویژگی‌های حسی و ارگانولپتیکی و غیره تاثیر بسیاری دارد [17].

غلظت و ماهیت صمغ موجود در فاز پیوسته و همچنین جزء حجمی فاز پراکنده از جمله عوامل مؤثر بر پایداری سامانه‌های امولسیونی هستند. با افزایش جزء تراکمی قطرات روغن تا یک حد مشخص، برخورد قطرات و به دنبال آن، تجمع آن‌ها در کنار یکدیگر تشدید می‌شود. به‌طور معمول پلی‌ساکاریدهای گیاهی به‌عنوان پایدارکننده‌های امولسیونی نوع روغن در آب شناخته می‌شوند. این زیست‌بسیارها از طریق یک مکانیسم غیرجاذب و با کاهش حرکت قطرات روغن به پایداری امولسیون کمک می‌کنند [18].

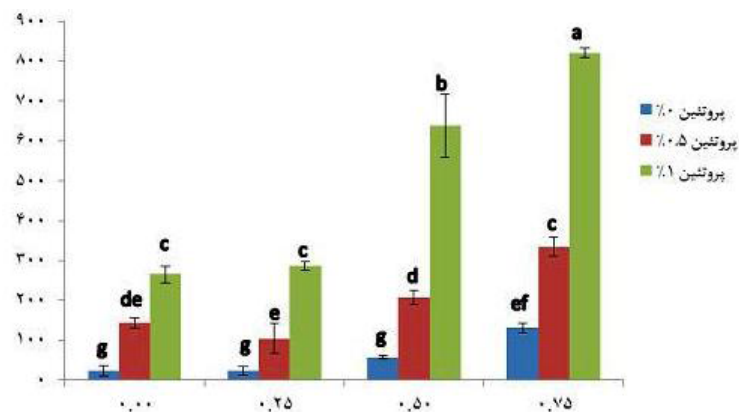
### 3-3- خاصیت امولسیون‌کنندگی

به‌طور معمول، برای تسریع در سرعت اتصال ذرات چربی در امولسیون‌ها از سانتریفیوژ استفاده می‌شود؛ زیرا این روش

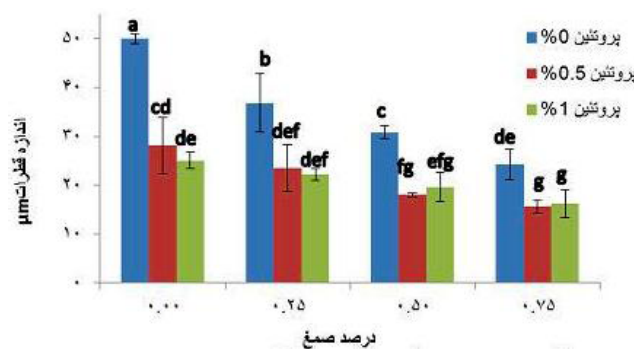
کاهش می‌یابد. دلیل این امر حضور بیش‌تر پروتئین است که با داشتن فعالیت سطحی بالا، باعث کاهش اندازه ذرات امولسیون می‌گردد که با نتایج ما مشابهت داشت [16].

جدول تجزیه واریانس آزمون اندازه قطرات نشان داد که اثرات متقابل صمغ و پروتئین معنی‌دار است ( $p < 0/05$ ). جدول (1) نشان‌دهنده مقایسه میانگین اندازه قطرات است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، در تهیه امولسیون با غلظت 0/5 درصد از صمغ و 0/5 درصد از پروتئین، اختلاف معنی‌داری با امولسیون تهیه‌شده با غلظت 0/75 درصد از صمغ و 0/5 و 1 درصد از پروتئین، وجود ندارد ( $p < 0/05$ ).

پایداری امولسیون به عوامل مختلفی بستگی دارد که می‌توان مهم‌ترین این عوامل را تجمع و به هم آمیختگی ذرات دانست. طبق قانون استوکس سرعت حرکت قطرات با مربع شعاع آن رابطه مستقیم دارد. در نتیجه از طریق کاهش اندازه قطرات می‌توان پایداری امولسیون را افزایش داد. اندازه ذرات و توزیع آن‌ها بر بسیاری از خواص امولسیون مانند جدایی فاز،



شکل (1) تاثیر صمغ و پروتئین بر میزان پایداری امولسیون



شکل (2) تاثیر صمغ و پروتئین بر میزان قطرات

**3-4- ویسکوزیته ظاهری و رفتار جریان‌ی آمولسیون** طبق شکل (4) میزان پایداری فیزیکی آمولسیون با افزایش غلظت صمغ افزایش می‌یابد که در غلظت 0/75 درصد از صمغ و 1 درصد از پروتئین در شرایط 1200 g سانتیفریوژ میزان پایداری 100 درصد بوده و هیچ‌گونه جدا شدن فازها صورت نگرفته است. افزایش غلظت پروتئین از غلظت 0 به 0/5 درصد به‌طور معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) سبب افزایش پایداری آمولسیون گردیده، ولی افزایش غلظت از 0/5 به 1 تغییر معنی‌داری در پایداری آمولسیون نداشت است. همان‌طور که جدول (2) نشان می‌دهد، اثر ترکیب صمغ و پروتئین همانند اثر استفاده از صمغ در غلظت‌های بالاتر است. آمولسیون تهیه‌شده با استفاده از 0/5 درصد صمغ و 0/5 درصد پروتئین اختلاف معنی‌داری با آمولسیون‌های تهیه‌شده با استفاده از 0/75 درصد صمغ نداشت ( $p < 0/05$ ).

رفتار جریان‌ی آمولسیون تهیه‌شده در غلظت‌های مختلف در شکل (5) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است با افزودن صمغ دانه مرو به‌طور معنی‌داری ویسکوزیته ظاهری در تمام غلظت‌ها افزایش یافت ( $p < 0/05$ ). هم‌چنین در اثر افزایش غلظت پروتئین، ویسکوزیته ظاهری نیز به‌طور معنی‌داری زیاد شد ( $p < 0/05$ ). بررسی رفتار جریان آمولسیون‌ها در پیش‌بینی پایداری و روند تغییرات فیزیکی و مکانیکی سامانه‌های کلوئیدی نقش مهمی دارد. فاکتورهایی که بر رفتار جریان آمولسیون تاثیر دارند شامل رفتار جریان فاز پیوسته، گرانروی و تعداد ذرات، توزیع اندازه ذرات آمولسیون و برهمکنش بین آن‌ها می‌باشد.

افزایش سرعت برشی در تمام نمونه‌ها باعث کاهش ویسکوزیته ظاهری آمولسیون می‌گردد. تغییرات گرانروی ظاهری در نقاط

**جدول (1)** مقایسه میانگین‌های اندازه قطرات (m $\mu$ .) آمولسیون تهیه‌شده با غلظت‌های مختلف صمغ و پروتئین

| صمغ 0 درصد                    | صمغ 0/25 درصد                 | صمغ 0/5 درصد                  | صمغ 0/75 درصد                 | پروتئین 0 درصد   |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|
| 50 $\pm$ 1 <sup>a</sup>       | 36/77 $\pm$ 5/9 <sup>a</sup>  | 30/78 $\pm$ 1/3 <sup>a</sup>  | 24/28 $\pm$ 3/05 <sup>a</sup> | پروتئین 0 درصد   |
| 28/08 $\pm$ 5/79 <sup>b</sup> | 23/44 $\pm$ 4/79 <sup>b</sup> | 18/02 $\pm$ 0/45 <sup>b</sup> | 15/58 $\pm$ 1/37 <sup>b</sup> | پروتئین 0/5 درصد |
| 25 $\pm$ 1/66 <sup>b</sup>    | 22/22 $\pm$ 1/21 <sup>b</sup> | 19/63 $\pm$ 2/95 <sup>b</sup> | 16/17 $\pm$ 2/86 <sup>b</sup> | پروتئین 1 درصد   |

حروف یکسان در هر ستون نشان دهنده عدم معنی‌دار است ( $p > 0/05$ ).

**جدول (2)** مقایسه میانگین خاصیت آمولسیون‌کنندگی (درصد) آمولسیون تهیه‌شده با غلظت‌های مختلف صمغ و پروتئین

| صمغ 0 درصد                    | صمغ 0/25 درصد                | صمغ 0/5 درصد                  | صمغ 0/75 درصد            | پروتئین 0 درصد   |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|
| 0 <sup>b</sup>                | 25 $\pm$ 4 <sup>b</sup>      | 36/66 $\pm$ 2/3 <sup>b</sup>  | 100 $\pm$ 0 <sup>a</sup> | پروتئین 0 درصد   |
| 26/66 $\pm$ 4/7 <sup>a</sup>  | 63/33 $\pm$ 6/2 <sup>a</sup> | 98/33 $\pm$ 2/35 <sup>a</sup> | 100 $\pm$ 0 <sup>a</sup> | پروتئین 0/5 درصد |
| 31/66 $\pm$ 4/71 <sup>a</sup> | 65 $\pm$ 4/08 <sup>a</sup>   | 98/33 $\pm$ 2/35 <sup>a</sup> | 100 $\pm$ 0 <sup>a</sup> | پروتئین 1 درصد   |

حروف یکسان در هر ستون نشان دهنده عدم معنی‌دار است ( $p > 0/05$ ).



**شکل (3)** تصویر میکروسکوپی از آمولسیون

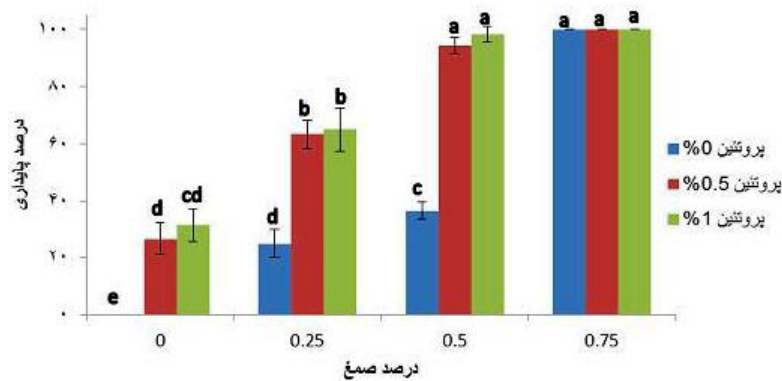
هرشل-بالکلی می‌تواند تغییرات تنش برشی-سرعت برشی را پیش‌بینی کند. این مدل بیان می‌کند که امولسیون جریان پیدا نمی‌کند تا زمانی که تنش برشی بیش از مقدار بحرانی گردد. این مدل نیز برای امولسیون‌های دیگر که با پروتئین-پلی ساکارید تثبیت شده‌اند نیز گزارش شده است [20]. ابنوگلو (2012) اظهار داشت که امولسیون پایدار شده توسط ایزوله پروتئین آب پنیر دارای رفتار رقیق شونده با برش در حضور 0 تا 15% وزنی از صمغ عربی هستند که با نتایج ما تشابه داشت [21].

### 3-5- خامه‌ای شدن

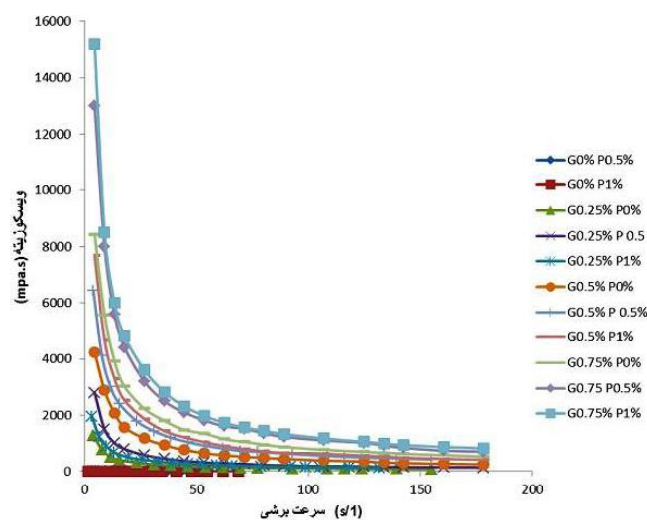
در امولسیون‌های تثبیت‌شده با مخلوط صمغ و پروتئین در غلظت‌های بالای 0/5 درصد از صمغ و تمام غلظت‌های پروتئین پس از 3 هفته نگهداری در دمای 4 درجه سانتی‌گراد،

ابتدایی و کم‌تر از 100 (معکوس ثابته) شدیدتر است؛ به دلیل آن‌که از بین رفتن پیوندهای بین مولکولی بیش‌تر است، تغییرات گرانیوی نسبت به افزایش سرعت برشی افزایش می‌یابد. با افزایش سرعت برشی در مراحل اولیه، اجزای تشکیل‌دهنده امولسیون بیش‌تر در جهت جریان قرار گرفته و مقاومت کم‌تری نشان می‌دهند و گرانیوی سریع‌تر کاهش می‌یابد. در سرعت‌های بالاتر اجزای تشکیل‌دهنده به حالت اولیه باقی‌مانده و تغییرات کم‌تری در ویسکوزیته ظاهری مشاهده می‌گردد [19].

تطبيق سرعت برشی و تنش برشی امولسیون‌های تهیه‌شده، با مدل‌های قانون توان و هرشل بالکلی و تعیین شاخص جریان سیال و ضریب قوام هر یک از مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Curve Expert تعیین و در جدول (3) نشان داده شده است. با توجه به ضرایب همبستگی ( $R^2$ ) مشخص شد که مدل



شکل (4) میزان پایداری امولسیون



شکل (5) تغییرات ویسکوزیته در مقابل سرعت برشی

#### 4- نتیجه‌گیری

برای مطالعه تاثیر صمغ دانه مرو و ایزوله پروتئین سویا از یک سیستم مدل ساده امولسیون روغن در آب حاوی 20 درصد روغن استفاده شد. نتایج حاصل از آزمون‌های صورت گرفته بر روی امولسیون‌های تهیه‌شده نشان داد که با افزایش میزان صمغ پایداری امولسیون، ویسکوزیته و خاصیت امولسیون‌کنندگی افزایش و اندازه قطرات کاهش می‌یابد که بین غلظت‌های 0/25 و 0/5 درصد اختلاف معنی‌دار بود ( $p > 0/05$ ). صمغ دانه مرو به دلیل ایجاد ویسکوزیته بالا و افزایش گرانیوی فاز پیوسته و کاهش حرکت قطرات روغن توانایی لازم برای پایدار سازی امولسیون روغن در آب تثبیت شده با ایزوله پروتئین سویا را دارد با این حال راندمان پایدارسازی به شدت به عوامل مختلفی از جمله غلظت صمغ و غلظت پروتئین وابسته است. با افزایش میزان پروتئین نیز پایداری امولسیون، ویسکوزیته و خاصیت امولسیون‌کنندگی افزایش می‌یابد و اندازه قطرات کاهش می‌یابد.

هیچ‌گونه رویه بستن و جدا شدن فاز مشاهده نشد. یکی از دلایل این امر افزایش ویسکوزیته امولسیون و احتمال تشکیل شبکه سه‌بعدی به علت حضور صمغ دانه می‌باشد [22]. با توجه به قانون استوکس، سرعت رویه بستن با گرانیوی رابطه عکس داشته و با افزایش ویسکوزیته سرعت رویه بستن کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل (6) نشان داده شده است، در نمونه با غلظت صفر درصد از صمغ، با افزایش میزان پروتئین میزان خامه تشکیل شده کاهش یافت. در غلظت 0/25 درصد از صمغ دانه مرو با افزایش میزان پروتئین، میزان سرم جدا شده افزایش می‌یابد به طوری که در عدم حضور پروتئین سرمی جدا نشده است. در پژوهش صورت گرفته توسط علی پور و همکاران (1394)، امولسیون‌های تثبیت شده با صمغ قدومه شیرازی و پروتئین آب‌پنیر هیچ‌گونه رویه بستن و سرم جدا شده‌ای گزارش نشد [16].

جدول (3) شاخص‌های رفتار جریانی امولسیون‌های تهیه‌شده

| مدل توان |      |                |                | مدل هرشل بالکی |       |                |          |
|----------|------|----------------|----------------|----------------|-------|----------------|----------|
| n        | k    | R <sup>2</sup> | K <sub>0</sub> | n              | k     | R <sup>2</sup> | تیمار    |
| 0/21     | 13,7 | 0/98           | 16/3           | 0/048          | 35/2  | 0/993          | G.75 P1  |
| 0/21     | 7,2  | 0/97           | 8/18           | 0/442          | 1/44  | 0/98           | G.5 P1   |
| 0/27     | 1/8  | 0/990          | 1/7            | 0/44           | 0/62  | 0/996          | G25 P1   |
| 0/707    | 0/67 | 0/997          | 0/585          | 0/78           | 0/47  | 0/9983         | G0 P1    |
| 0/19     | 13   | 0/974          | 11/6           | 0/35           | 4/08  | 0/99           | G.75 P.5 |
| 0/25     | 6/32 | 0/996          | 1/39           | 0/28           | 5/25  | 0/996          | G.5 P.5  |
| 0/21     | 2/36 | 0/944          | 3/51           | 0/7            | 1     | 0/99           | G.25 P.5 |
| 0/84     | 0/3  | 0/998          | 0/02           | 0/84           | 0/3   | 0/999          | G0 P.5   |
| 0/3      | 0/97 | 0/95           | 1/66           | 0/73           | 0/075 | 0/99           | G.25 P0  |
| 0/201    | 4/73 | 0/98           | 1/36           | 0/085          | 17    | 0/98           | G.5 P0   |
| 0/23     | 8/21 | 0/99           | 4/43           | 0/36           | 4/88  | 0/99           | G.75 P0  |
| 0/99     | 1/03 | 0/999          | 0/45           | 0/97           | 1/12  | 0/999          | G0 P0    |

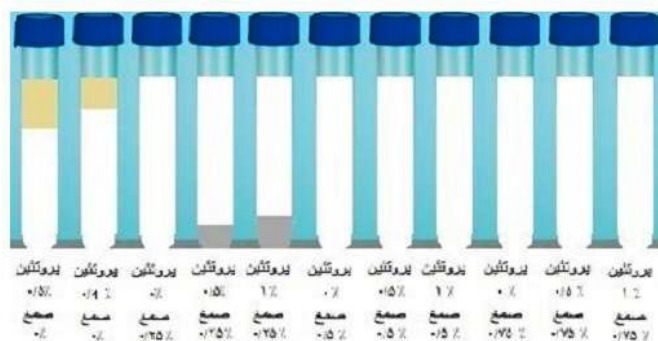
در جدول بالا به ترتیب حروف G و P نشان دهنده‌ی غلظت صمغ و پروتئین می‌باشد

جدول (4) مقایسه میانگین حاصل از آزمون ویسکوزیته امولسیون (پاسکال . ثانیه)

| صمغ 0 درصد             | صمغ 0/25 درصد           | صمغ 0/5 درصد             | صمغ 0/75 درصد            |
|------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1/44±0/49 <sup>a</sup> | 23/8±5/2 <sup>a</sup>   | 66±1 <sup>c</sup>        | 141/85±6/85 <sup>c</sup> |
| 6/42±1/82 <sup>a</sup> | 27/5±4/5 <sup>a</sup>   | 92/85±9/85 <sup>b</sup>  | 164/7±10 <sup>b</sup>    |
| 9/57±1/66 <sup>a</sup> | 35/45±5/15 <sup>a</sup> | 105/75±1/45 <sup>a</sup> | 204/5±7/2 <sup>a</sup>   |

حروف یکسان در هر ستون نشان دهنده عدم معنی‌دار است ( $p > 0/05$ ).





شکل (6) خامه تشکیل شده در نمونه‌های حاوی 1 و 0/5 درصد پروتئین با صفر درصد صمغ و سرم تشکیل شده در نمونه‌های حاوی 1 و 0/5 درصد پروتئین با 0/25 درصد صمغ

## منابع

- Optimization of hydrocolloid extraction from wild sage seed (*Salvia macrosiphon*) using response surface. *Int. J. Food Prop.* 13(6), 1380-1392.
- [8] Gan, C. Y., Cheng, L. H., and Easa, A. M. (2008). Evaluation of microbial transglutaminase and ribose cross-linked soy protein isolate-based microcapsules containing fish oil, *IFSET.* 9(4), 563-569.
- [9] حسینی، و.س.؛ نجف نجفی، م.؛ محمدی ثانی، ع. و کوچکی، آ. (1392). بررسی اثر صمغ دانه بالنگو شیرازی و پروتئین آب پنیر بر پایداری امولسیون روغن در آب، نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، 2(2)، 120-109.
- [10] Mohammadzadeh, H., Koocheki, A., Kadkhodae, R., & Razavi, S. (2013). Physical and flow properties of d-limonene-in-water emulsions stabilized with whey protein concentrate and wild sage (*Salvia macrosiphon*) seed gum, *FOOD RES INT.* 53(1), 312-318.
- [11] Mishra, S. Mann, B. & Joshi, V. K. (2001). Functional improvement of whey protein concentrate on interaction with pectin, *Food Hydrocolloids*, 15(1), 9-15.
- [12] یوسفی، ف.؛ عباسی، س. و عزت پناه، ح. (1391). تأثیر میزان صمغ فارسی، روغن، پروتئین و pH بر پایداری امولسیون تهیه شده با فراصوت. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع
- [1] Khalloufi, S., Alexander, M., Goff, H.D., Corredig, M. (2008). Physicochemical properties of whey protein isolate stabilized oil-in-water emulsions when mixed with flaxseed gum at neutral pH, *Food Res. Int.* 41(10), 964-972.
- [2] Dickinson, E. (2003). Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*, 17(1), 25-39.
- [3] Phillips, G. O. & Williams, P. A. (2000). Handbook of hydrocolloids, Cambridge: Woodhead Publishing, pp 1-22.
- [4] Alibhai, Z., Mondor, M., Moresoli, C., Ippersiel, D. & Lamarche, F. (2006). Production of soy protein concentrates/isolate: traditional and membrane technologies. *Desalination* 191, 351-358
- [5] Singh, P., Kumar, R., Sabapathy, S. N. & Bawa, S. (2008). Functional and edible uses of soy protein products, *Comprehensive Reviews in CRFSFS.* 7(1), 14-28.
- [6] بستان، آ.؛ محبی، م.؛ حداد خداپرست، م.؛ وریدی، م. و ملائکه نیکوئی، ب. (1392). بررسی ساختار اسید چرب و خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن دانه مرو، نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران. 9(3)، 279-283.
- [7] Bostan, A., Razavi, S. M., & Farhoosh, R. (2010).

457-466.

[21] İbanoglu, E. (2002). Rheological behaviour of whey protein stabilized emulsions in the presence of gum arabic. *IJFE*. 52(3), 273-277.

[22] Huang, X., Kakuda, Y., & Cui, W. (2001). Hydrocolloids in emulsions: particle size distribution and interfacial activity. *Food Hydrocolloids*, 15(4), 533-542.

غذایی، 1(3)، 199-218

[13] Cui, S. W. (2001). Cereal non-starch polysaccharides II: pentosans/ arabinoxylans. Polysaccharide gums from agricultural products. Processing structures and functionality, 1st edn. Technomic Publishing, Pennsylvania. 33-39.

[14] Tolstoguzov, V. B. (1997). Protein-polysaccharide interactions. In S. Damodaran, & A Paraf (Eds.), Food proteins and their applications (pp. 171-198). New York Marcel Dekker.

[15] Xu, D., Wang, X., Jiang, J., Yuan, F., & Gao, Y. (2012). Impact of whey protein – Beet pectin conjugation on the physicochemical stability of  $\beta$ -carotene emulsions. *Food Hydrocolloids*. 28(2), 258-26

[16] علی پور، آ.؛ کوچکی، آ.؛ کدخدایی، ر. و وریدی، م. (1394). بررسی اثر مخلوط صمغ قدومه شیرازی-پروتئین آب‌پنیر تغلیظ شده بر پایداری امولسیون روغن ذرت در آب، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، 48(12)، 163-174

[17] Jurado, E., Bravo, V., Camacho, F., Vicaria, J.-M. & Fern´andez-Arteaga, A. (2007). Estimation of the distribution of droplet size, interfacial area and volume in emulsions. *Colloid Surface A.*, 295, 91- 98.

[18] Dickinson, E., & Stainsby, G. (1988). Emulsion stability. In E. Dickinson & G. Stainsby (Eds.), Advances in food emulsions and foams. London: *Elsevier Applied Science*. 344-385.

[19] 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. *IJFE*. 97(4), 441-448.

[20] Soleimanpour, M., Koocheki, A. & Kadkhodae, R. (2013). Influence of main emulsion components on the physical properties of corn oil in water emulsion: Effect of oil volume fraction, whey protein concentrate and *Lepidium perfoliatum* seed gum, *IJAFR*. 50(1),