



## مطالعه برهم‌کنش صمغ دانه ریحان و پروتئین‌های آب پنیری در محیط آبی

\* وحیده سرابی اقدم<sup>۱</sup>، سیدهاشم حسینی‌پرور<sup>۲</sup>، علی معتمدزادگان<sup>۲</sup> و لارا-ماتیا مرینو<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

<sup>۲</sup> استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

<sup>۳</sup> دانشیار گروه تکنولوژی مواد غذایی، انستیتو غذا، تغذیه و سلامت انسان، دانشگاه مَسِی، نیوزیلند

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۵/۶

### چکیده

پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها به‌طور کلی بر پایداری، ساختار، خواص رئولوژیکی و حسی بسیاری از سیستم‌های غذایی تأثیر می‌گذارند. در این پژوهش، برهم‌کنش غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان و ایزوله پروتئین آب پنیر به‌لحاظ رفتار فازی و رئولوژیکی مورد مطالعه قرار گرفته است. سیستم‌های مخلوط با صمغ دانه ریحان ۰-۰/۳ درصد (وزنی-وزنی) و درصد ایزوله پروتئین آب پنیری ۱-۵ درصد (وزنی-وزنی) تهیه شدند. بررسی رفتار فازی مخلوط‌ها نشان داد که فاز غنی از پلی‌ساکارید به صورت فاز کدر در ته ظرف تجمع می‌یابد. در سیستم‌های مخلوط دو پدیده ژلاسیون و جدایی فازی به‌طور هم‌زمان اتفاق افتاد که سرعت جدایی فازی با افزایش غلظت صمغ به‌طور معنی‌داری کاهش یافته و در غلظت‌های بالای صمغ، ژلاسیون مانع از جدایی فازی شد. رفتار رئولوژیکی جریانی مخلوط‌ها اندازه‌گیری شده و ویسکوزیته ظاهری در نرخ برشی ۵۰ و ۱۰۰ بر ثانیه گزارش شد. علاوه بر این، آزمون‌های نوسانی روبش-فرکانس انجام شده و نتایج در ۱ و ۱۰ هرتز گزارش شد. نتایج نشان دادند که ورود مقدار کمی صمغ دانه ریحان به محیط دیسپرسیون‌های آبی ایزوله پروتئین آب پنیر رفتار سیستم را از نیوتنی به رقیق‌شونده با برش تغییر می‌دهد. بهترین مدل‌های رئولوژیکی برازش داده شده بر داده‌های رفتار جریانی مخلوط‌ها مدل‌های اسوالد و هرشل‌بالکلی بودند. آزمون‌های نوسانی کاهش میزان زاویه فازی و حضور ژل ضعیف در محیط را اثبات کردند. از نقطه‌نظر کاربردی،

\* مسئول مکاتبه: [s.h.hosseini@sanru.ac.ir](mailto:s.h.hosseini@sanru.ac.ir)

از این نتایج می‌توان برای ایجاد شرایط بهینه در بافت و پایداری فرمولاسیون‌های جدید در سیستم‌های غذایی واقعی مثل دسرهای لبنی و همچنین در صنایع دارویی استفاده کرد.

**واژه‌های کلیدی:** دیسپرسیون، صمغ دانه ریحان، پروتئین آب پنیر، رئولوژی، رفتار فازی

### مقدمه

پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها بیوپلیمرهایی هستند که به دلیل خواص تغذیه‌ای و تکنولوژیکی معمولاً به محصولات غذایی افزوده می‌شوند و به‌طور عمده هم‌زمان در غذاهای مختلف حضور دارند. برهم‌کنش<sup>۱</sup> بین بیوپلیمرها اثر مستقیمی روی خواص ماکروسکوپی محصولات غذایی مثل قابلیت جریان، پایداری، بافت و احساس دهانی دارد. اهمیت مطالعه برهم‌کنش بین پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها به این دلیل که آنها می‌توانند بسته به عوامل داخلی و خارجی مثل ساختار، غلظت، جرم مولکولی، بار الکتریکی، pH و قدرت یونی بیوپلیمرها و محیط پیرامون‌شان ساختارهای متنوعی را ایجاد کنند (چاکیر و فوجدینگ، ۲۰۱۱؛ ارسلی و ایبانغلو، ۲۰۰۷؛ گاه و همکاران، ۲۰۰۹؛ جارا و همکاران، ۲۰۱۰؛ کونتوگیورکاس و همکاران، ۲۰۰۹؛ حمار و همکاران، ۲۰۰۱؛ تولستوگوزوف، ۲۰۰۳؛ تورگنون، ۲۰۰۳). امتزاج‌ناپذیری<sup>۲</sup> بین پلیمرهای غیرمشابه پدیده‌ای شناخته شده است که می‌تواند به دلیل ناسازگاری ترمودینامیکی<sup>۳</sup> یا تهی‌سازی تجمعی<sup>۴</sup> باشد و معمولاً منجر به جدایی فازی می‌شود (تولستوگوزوف، ۲۰۰۳). با این وجود، تعدادی از فرایندها می‌توانند در پدیده جدایی فازی اختلال ایجاد کنند. در این سیستم‌ها، حداقل یکی از اجزاء تشکیل‌دهنده و مانع از جدایی فازی میکروسکوپی و ماکروسکوپی می‌شود (لازاریدو و بیلیدریس، ۲۰۰۹).

پروتئین‌های آب پنیر به دلیل داشتن ارزش تغذیه‌ای و خواص تکنولوژیکی مثل خواص ژلاسیون، قوام‌دهنده، ایجادکننده کف، ظرفیت نگهداری آب، امولسیفایری عالی شناخته شده‌اند. بنابراین، در بسیاری از فرمولاسیون‌های غذایی مثل پخت نان، محصولات نانی، لبنی و گوشتی به عنوان ترکیبات عمل‌گرا استفاده می‌شوند (کایوت و لورینت، ۱۹۹۷؛ کونتوگیورکاس و همکاران، ۲۰۰۹؛ لیزاراگا و همکاران، ۲۰۰۶؛ تورگنون و بیولا، ۲۰۰۱). برهم‌کنش بین صمغ‌ها و دیگر اجزاء غذایی می‌تواند

- 1- Interaction
- 2- Immiscibility
- 3- Thermodynamic incompatibility
- 4- Depletion flocculation

خواص کاربردی صمغ را تغییر دهد و خواص بافتی و رئولوژیکی منحصر به فردی را ایجاد کنند (لای و لی، ۲۰۰۴؛ ویلیامز و فیلیپس، ۲۰۰۰).

پلی ساکارید استخراج شده از دانه ریحان شامل دو بخش اصلی از گلوکومانان (۴۳٪) با اتصال‌های عرضی (۴→۱) گزیلان (۲۴/۲۹ درصد) و دارای بخش کوچکی گلوکان (۲/۳۱ درصد) می‌باشد. همچنین حضور آرابینوگالاکتان بسیار منشعب علاوه بر گلوکومانان و گزیلان گزارش شده است (آزوما و ساکاموتو، ۲۰۰۳). خواص رئولوژیکی صمغ دانه ریحان<sup>۱</sup> در مقایسه با صمغ‌های زانتان، گوار و کونجاک و همچنین برهم‌کنش صمغ دانه ریحان با گالاکتومانان‌هایی نظیر صمغ‌های گوار و لوکاست بین پیش از این توسط حسینی‌پرور و همکاران گزارش شده است (حسینی‌پرور و همکاران، ۲۰۱۰ و ۲۰۰۹). آزمون‌های نوسانی با مطالعه رفتار ویسکوالاستیک و ژلاسیون صمغ دانه ریحان نشان دادند که این صمغ قادر به ایجاد یک ژل ضعیف در محیط می‌باشد و موجب افزایش تنش تسلیم می‌شود و یک ژل برگشت‌پذیر با حرارت ایجاد می‌کند (رافع و رضوی، ۲۰۱۲).

مطالعه‌های زیادی روی خواص رئولوژیکی دیسپرسیون‌های هیدروکلوئیدی حاوی پروتئین آب پنیر و صمغ‌ها انجام گرفته است (بیولا و همکاران، ۲۰۰۱، حمار و همکاران ۲۰۰۱؛ کونتوگیورکاس و همکاران، ۲۰۰۹؛ پرز و همکاران، ۲۰۰۶؛ تایوودوم و گاف، ۲۰۰۳). اما گزارشی مبنی بر مطالعه دیسپرسیون‌های حاوی صمغ دانه ریحان و ایزوله پروتئین آب پنیر<sup>۲</sup> در شرایط خنثی موجود نمی‌باشد. هدف از این مطالعه، بررسی برهم‌کنش صمغ دانه ریحان و پروتئین‌های ایزوله آب پنیر به لحاظ رفتار فازی<sup>۳</sup> و رئولوژیکی به‌عنوان تابعی از غلظت پروتئین-پلی ساکارید بود.

### مواد و روش‌ها

دانه ریحان از فروشگاه‌های در مشهد و ایزوله پروتئین آب پنیر از شرکت فونترا (نیوزیلند) تهیه شد. همچنین کلیه مواد شیمیایی شامل سدیم آزید، اسید سولفوریک ۹۶ درصد، سدیم کلراید، فنل، پتاسیم سدیم تارتارات، سولفات مس، یدید پتاسیم و سدیم هیدروکسید از شرکت مرک آلمان تهیه گردید.

- 
- 1- Basil Seed Gum (BSG)
  - 2- Whey Protein Isolate (WPI)
  - 3- Phase behavior

برای استخراج صمغ، ابتدا دانه‌های ریحان به دقت تمیز شده و همه اجرام خارجی از آن جدا گردید. استخراج صمغ از دانه ریحان بر اساس روش بهینه رضوی و همکاران (۲۰۰۹) انجام گرفت. سپس صمغ تهیه شده منجمد شده و توسط خشک‌کن انجمادی آپرون<sup>۱</sup> خشک شدند. سپس صمغ‌های خشک شده پودر شده و در بسته‌های پلاستیکی نفوذناپذیر به هوا و رطوبت نگهداری شدند (رضوی و همکاران، ۲۰۰۹).

برای تهیه محلول‌ها، از آب دیونیزه (در pH خنثی و قدرت یونی ۰/۰۵ مولار نمک سدیم کلراید) حاوی ۰/۰۲ درصد وزنی سدیم آزاید (به‌عنوان یک ماده آنتی‌باکتریال) استفاده شد. محلول اصلی ۱۰ درصد وزنی ایزوله پروتئین آب پنیر با حل کردن هم‌زمان پودر در آب دیونیزه با شرایط ذکر شده با هم‌زن مکانیکی با سرعت ۳۰۰-۵۰۰ دور بر دقیقه در دمای اتاق تهیه شد و به مدت دو ساعت در حال هم‌زدن باقی ماند. برای تهیه محلول اصلی صمغ با غلظت ۱ درصد وزنی، پودر صمغ در آب دیونیزه با شرایط ذکر شده در حال هم‌زدن با هم‌زن مکانیکی با سرعت ۱۲۰۰ دور بر دقیقه حل شد. سپس محلول‌های اصلی به منظور هیدراته شدن کامل به مدت یک شب در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. این محلول‌های اصلی برای تهیه مخلوط‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. سیستم‌های مخلوط پروتئین و پلی‌ساکارید با وزن‌های معینی از محلول‌های اصلی و آب دیونیزه تهیه شده و به مدت ۱۵ دقیقه برای هم‌گن شدن کامل هم‌زده شدند.

در بررسی رفتار فازی، برای تشخیص ناحیه‌ای که در آن هر دو بیوپلیمر به‌طور هم‌زمان محلول باشند، غلظت‌های بسیار پائین صمغ تهیه شدند. مخلوط‌هایی با درصدهای وزنی مختلف از پروتئین (۱-۵ درصد وزنی) و صمغ (۰/۳-۰/۰۰۵ درصد وزنی) تهیه شده و روز بعد مخلوط‌ها با دور ۱۵۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ شدند. برای تشخیص این‌که هر فاز غنی از کدام بیوپلیمر است، آزمون‌های شیمیایی فنل-سولفوریک اسید (دویس و همکاران، ۱۹۵۶) و بیورت (لاین، ۱۹۵۷) به ترتیب برای تعیین پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها انجام شد.

برای اندازه‌گیری‌های رئولوژیکی، در بررسی رفتار جریان مخلوط‌های مختلف با درصد پروتئین ۱ و ۳ درصد (وزنی-وزنی) و غلظت‌های صمغ متغیر ۰، ۰/۰۰۵، ۰/۰۱، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۳ درصد (وزنی-وزنی) تهیه شدند. آزمون‌های رئولوژیکی توسط یک دستگاه رئومتر مدل MCR 301 (ساخت شرکت

آنتون پار<sup>۱</sup> و مجهز به هندسه استوانه هم‌محور دوگانه<sup>۲</sup> با ارتفاع ۴۰ میلی‌متر و قطر به‌ترتیب از خارج به داخل ۲۳/۸۲، ۲۴/۶۶ و ۲۷/۵۹ میلی‌متر در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. جهت جلوگیری از تبخیر نمونه‌ها در حین اندازه‌گیری، سطح نمونه با روغن معدنی پوشانده شد. رفتار جریانی پس از ۵ دقیقه استراحت به‌صورت دو مرحله‌ای رفت ۱۰۰۰s-۱-۰/۰۰۱ و برگشت ۱۰۰۰-۰/۰۰۱s<sup>-۱</sup> انجام گرفت و نمودارها توسط نرم‌افزار Rheoplus نسخه ۳/۴ ثبت شدند و ویسکوزیته ظاهری<sup>۳</sup> در ۵۰s<sup>-۱</sup> و ۱۰۰ گزارش شد. برای انجام آزمون‌های نوسانی، محدوده ویسکوالاستیک خطی از آزمون روبش-کرنش<sup>۴</sup> به‌دست آمد و آزمون‌های روبش-فرکانس<sup>۵</sup> برای ارزیابی سیستم‌های مخلوط در فرکانس ۰/۱ تا ۱۰ هرتز انجام گرفت و مقادیر پارامترهای رئولوژیکی دینامیکی در فرکانس ۱ و ۱۰ هرتز گزارش شد. مدل‌های رئولوژیکی مختلفی برای برازش با نمودارهای جریانی مرحله برگشت استفاده شد. برای به‌دست آوردن بهترین مدل برازش شده برای رفتار جریانی نمونه‌ها، R<sup>2</sup> حاصل از نرم‌افزار رئوپلاس که بالاترین مقدار مطلوب است و همچنین خطای استاندارد<sup>۶</sup> از فرمول زیر محاسبه شد که بهترین مدل کمترین SE را دارد:

$$SE = \frac{STDEV}{\sqrt{N}}$$

که STDEV<sup>۷</sup>، انحراف استاندارد مدل برازش شده با نرم‌افزار رئوپلاس است و N تعداد نقاط برازش شده از نمودار رفتار جریانی است (جدول ۱). بیشترین تطبیق با مدل قانون توان و هرشل‌بالکلی بود.

$$\sigma = k\dot{\gamma}^n \quad \text{مدل قانون توان (اسوالد)}$$

که  $\sigma$  تنش برشی (Pa)،  $\dot{\gamma}$  نرخ برشی (s<sup>-۱</sup>) که متناسب با یکدیگر هستند و  $k$  اندیس قوام (Pa.s<sup>n</sup>) و  $n$  اندیس رفتار جریانی می‌باشد.

$$\sigma = \sigma_{\beta} + k\dot{\gamma}^n \quad \text{و مدل هرشل‌بالکلی}$$

که  $\sigma_{\beta}$  تنش تسلیم (Pa) می‌باشد.

- 
- 1- Anton Paar Physica Rheometer (Physica, MCR 301, Anton Paar GmbH, Germany)
  - 2- Double gap concentric cylinder
  - 3- Apparent viscosity
  - 4- Strain sweep
  - 5- Frequency sweep
  - 6- Standard Error (SE)
  - 7- Standard Deviation

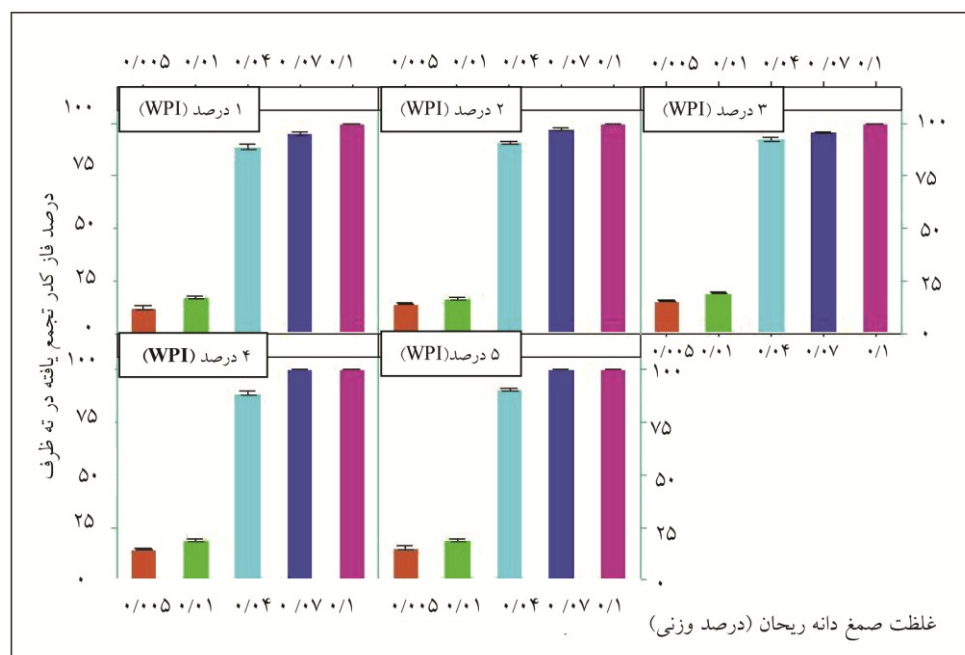
کلیه آزمون‌ها در سه تکرار انجام شده و نتایج به صورت میانگین  $\pm$  انحراف معیار گزارش شد. آنالیز آماری با نرم افزار مینی‌تب ویرایش ۱۶ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی و در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. برای ترسیم گراف‌ها نیز از نرم‌افزار مینی‌تب ویرایش ۱۶ استفاده شد.

### نتایج و بحث

بررسی‌های رفتار فازی نشان داد که در تمامی مخلوط‌ها در غلظت صمغ پائین‌تر از ۰/۱ درصد وزنی-وزنی جدایی فازی دیده می‌شود. فاز بالایی شفاف و فاز پائینی کدر بود که این کدورت نشان‌دهنده تجمع زنجیره‌های پلی‌ساکاریدی بود (شکل ۱). این در حالی بود که با تکان دادن آرام این سیستم‌ها دوباره هم‌گن می‌شدند که این پدیده نشان‌دهنده اجتماع ضعیف ماکرومولکول‌ها بود. در غلظتهای بالاتر از ۰/۱ درصد وزنی-وزنی صمغ ( $\geq 0/1$ ) تمامی مخلوط‌ها پس از یک روز پایدار بودند و در اثر سانتیفریژ نیز دوفازی نشدند. جدایی فازی زمانی که هر دو بیوپلیمر دارای بارالکتریکی یکسان باشند- هم پروتئین و هم پلی‌ساکارید دارای بار منفی یکسان در pH خنثی هستند-می‌تواند به دلیل پدیده ناسازگاری ترمودینامیکی، هنگامی که آنتالپی مخلوط از تفاضل آنتروپی بیشتر می‌شود اتفاق افتد. ناسازگاری ترمودینامیکی به pH و قدرت یونی وابسته است و در این صورت دو ماکرومولکول به دو فاز مختلف تفکیک شده و هرکدام از فازها با یکی از بیوپلیمرها غنی می‌شود (گاه و همکاران، ۲۰۰۹). اگرچه ناسازگاری ترمودینامیکی در سیستم‌های مخلوط پلیمرها شایع است، تعدادی از این سیستم‌ها در یک مقیاس زمانی محدود شده به علت حضور موانع انرژی سینتیک به تعادل ترمودینامیکی نمی‌رسند. زمانی که انرژی سینتیک بیشتر از انرژی حرارتی سیستم است، مولکول‌ها در یک وضعیت ناپایدار به دام می‌افتند (مک کلمنت، ۲۰۰۵). نمونه‌هایی از موانع انرژی سینتیک شامل تشکیل یک شبکه زلی داخل یک سیستم ناسازگار یا یک فاز پیوسته بسیار ویسکوز می‌باشد که به آهستگی فرایند تفکیک فازی انجام می‌شود. انتخاب نوع فاز برای تشکیل ژل و جزء استفاده شده برای ترغیب ژلاسیون بستگی به نوع پلیمر استفاده شده در سیستم دارد (نورتون و فریث، ۲۰۰۱).

پلی‌ساکارید دانه ریحان از نوع آنیونی می‌باشد (آنجانپالو و گودا، ۱۹۷۹) و زمانی که در مجاورت ایزوله پروتئین آب پنیر قرار می‌گیرد، انتظار می‌رود دافعه الکترواستاتیکی باعث تجمع بیوپلیمرهای

یکسان شود (تورگنون و همکاران، ۲۰۰۳). ریزساختار سیستم‌هایی که جدایی فازی نشان می‌دهند می‌تواند به‌عنوان یک امولسیون آب در آب باشد که در آن قطراتی از آب حاوی مقدار بالایی از پروتئین در فاز پیوسته‌ای با غلظت بالای پلی‌ساکارید به حالت پراکنده درآمده است و یا بالعکس (گالول و همکاران، ۲۰۱۰). ژلاسیون یک ترکیب یا اجزاء بیشتر در سیستم ناسازگار ترمودینامیکی موجب رقابت بین جدایی فازی و ژلاسیون می‌شود (نیسر و همکاران، ۱۹۹۸). در مخلوط هیدروکلوئیدها، اگر یکی از دو هیدروکلوئید توانایی تشکیل ژل را داشته باشد آنگاه تشکیل ژل و جدا شدن فازی هر دو به صورت هم‌زمان اتفاق می‌افتد و موجب ایجاد ذراتی با شکل و اندازه خاص شده و خواص فیزیکی محصول نهایی تحت تأثیر سرعت نسبی تشکیل ژل و جدا شدن فازی قرار خواهد گرفت (تورگنون و همکاران، ۲۰۰۳؛ ویلیامز و فیلیپس، ۲۰۰۰).



شکل ۱- میزان فاز کدر پس از یک شب قرار گرفتن در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در غلظت‌های مختلف پروتئین (درصد وزنی-وزنی) و پلی‌ساکارید (درصد وزنی-وزنی).

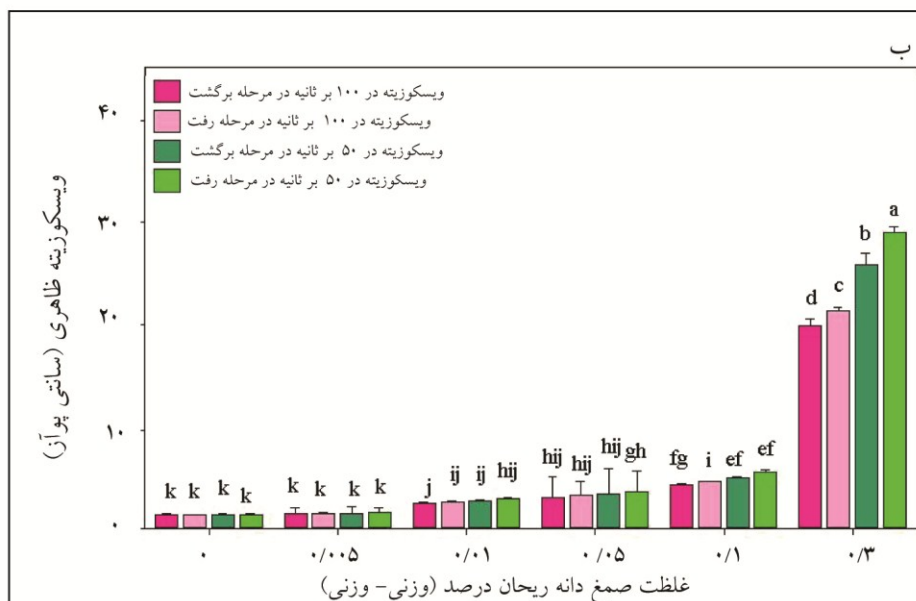
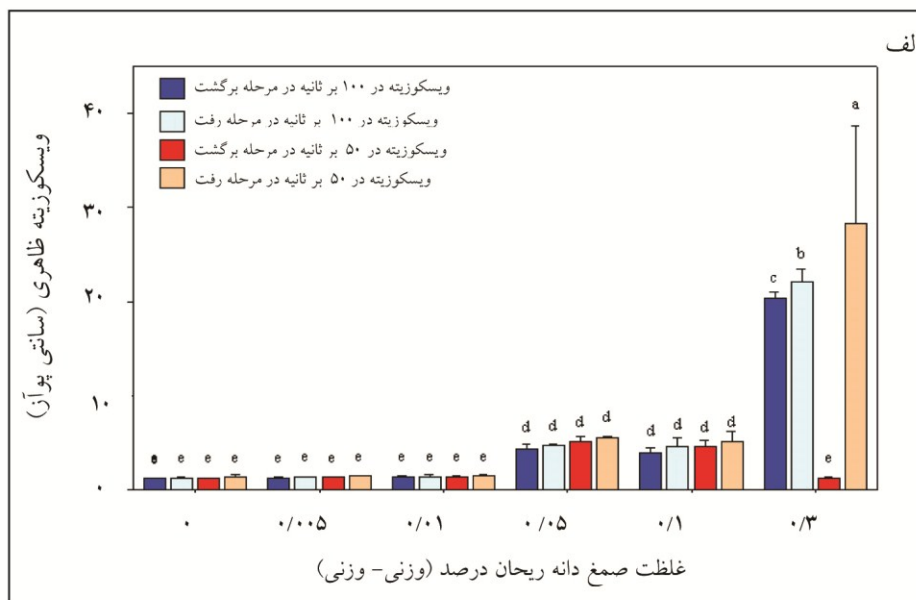
با افزایش غلظت صمغ دانه ریحان که خاصیت تشکیل ژل ضعیفی دارد، ارتفاع بخش غنی از پلی‌ساکارید (فاز کدر) افزایش می‌یابد (شکل ۱)، ولی افزایش غلظت ایزوله پروتئین آب پنیر اثر چندانی روی میزان جدایی فازی ندارد (آنجانالیو و گورا، ۱۹۷۹؛ گاه و همکاران، ۲۰۰۹). آنالیز شیمیایی که بر روی فازهای جدا شده انجام گرفت، نشان داد که پلی‌ساکارید در فاز پائین تجمع یافته است ولی میزان پروتئین در فاز پائین و بالا تغییر معنی‌داری را نشان نمی‌دهد (شکل ۱). این نشان می‌دهد که سرعت به هم پیوستن<sup>۱</sup> زنجیره‌های پلی‌ساکاریدی بیشتر از سرعت جدایی فازی است که در نهایت اجتماع زنجیره‌های پلی‌ساکاریدی در پدیده جدایی فازی اختلال ایجاد کرده، مانع از جدایی فازی ماکروسکوپی می‌شود. مطالعاتی در مورد ارتباط بین جدایی فازی و پدیده ژلاسیون وجود دارد (بوریت و همکاران، ۱۹۹۹؛ کاساپیس، ۲۰۰۸؛ لورن و هرمانسون، ۲۰۰۰). در این سیستم‌ها حداقل یکی از هیدروکلوئیدها ژل تشکیل می‌دهند و جدایی فازی با مشاهده‌های ماکروسکوپی یا میکروسکوپی تعیین می‌شود. افزایش ویسکوزیته یا ژلاسیون سیستم روی کینتیک جدایی فازی از طریق محدود کردن سیالیت ترکیبات اثر می‌گذارد، بنابراین منجر به ایجاد شرایط غیرتعادلی شده و از نظر کینتیک اجزا را محبوس می‌کند. این پدیده که از جدایی فازی ماکروسکوپی ممانعت می‌کند به عنوان جدایی فاز "ممانعت شده"<sup>۲</sup> شناخته شده است (لازاریدو و بیلادریس، ۲۰۰۹). به نظر می‌رسد پدیده جدایی فازی در مخلوط‌های مورد بررسی در این پژوهش موجب اجتماع بین مولکولی<sup>۳</sup> زنجیره‌های پلی‌ساکاریدی و در نتیجه تشکیل شبکه ژل می‌شود. افزودن یک هیدروکلوئید به یک محلول پلیمری تشکیل‌دهنده ژل غلظت بحرانی تشکیل ژل را کاهش می‌دهد و سرعت ژلاسیون را در نتیجه امتزاج ناپذیری افزایش می‌دهد (حمار و همکاران، ۲۰۰۲؛ تولستوگوزوف، ۲۰۰۳). نتایج حاصل از مطالعه ارسلی و ایبانوگلو بر روی رفتار فازی هیدروکلوئیدهای یونی و خنثی (پکتین، صمغ گوار و یوتاکاراگینان) نشان داد که پکتین و صمغ گوار باعث جدایی فازی ماکروسکوپی می‌شوند که هرکدام از فازها از یک بیوپلیمر غنی شده و یکی از بیوپلیمرها غلظت بسیار پائینی حضور دارد ولی در مورد یوتاکاراگینان که از نظر ترمودینامیکی ناسازگار با ایزوله پروتئین آب پنیر می‌باشد، جدایی فازی ماکروسکوپی مشاهده نمی‌شود و یک فاز هم‌گن دیده می‌شود که به خاصیت تشکیل ژل یوتاکاراگینان نسبت داده می‌شود (ارسلی و ایبانوگلو، ۲۰۰۷). همچنین گزارشی مبنی بر عدم جدایی فازی در اثر پدیده ژلاسیون پلی‌ساکارید

- 
- 1- Aggregation
  - 2- Arrested phase separation
  - 3- Intermolecular



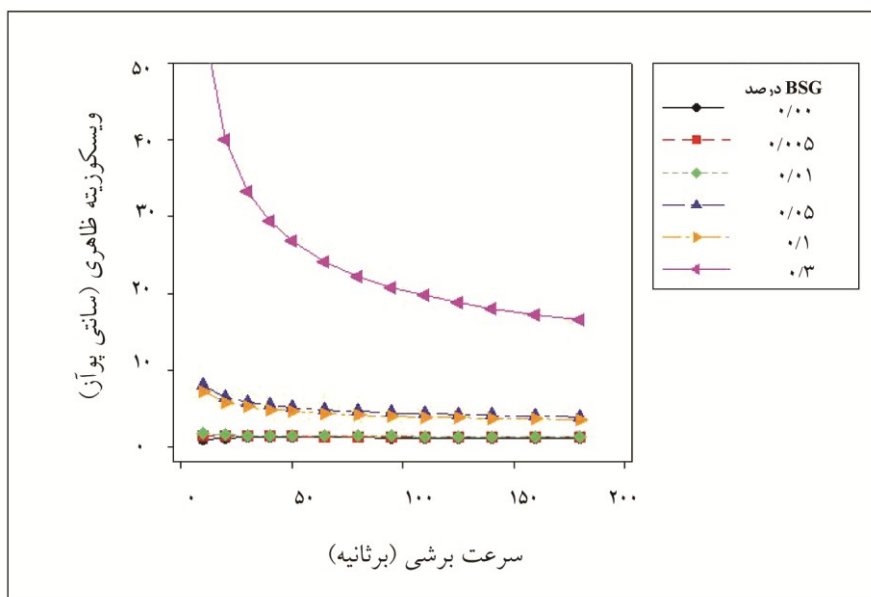
سیستم‌های مخلوط پروتئین‌های شیر و کاپاکاراگینان توسط حمار و همکاران منتشر شده است (حمار و همکاران، ۲۰۰۲).

رفتار جریان‌ی کلیه نمونه‌ها در تمام اندازه‌گیری‌ها قابلیت تکرارپذیری داشتند. اندازه‌گیری‌های رئولوژیکی که روی محلول‌های آبی ۱ و ۳ درصد پروتئین (بدون صمغ) در pH خنثی و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفته بودند، نشان دادند که در محدوده سرعت برشی  $1000-20 s^{-1}$  ویسکوزیته ثابت باقی‌مانده و رفتار مایع نیوتنی را نشان می‌دهد و مقادیر آن به ترتیب برابر  $1/1$  و  $1/3$  سانتی‌پواز (cP) بود (شکل ۲، ۳ و ۴). ویسکوزیته ظاهری مشاهده شده برای محلول‌های تکی ایزوله پروتئین آب پنیر در این پژوهش تقریباً مطابق با مقادیر گزارش شده توسط بنی‌چو و همکاران (۲۰۰۷) می‌باشد که مقادیر  $1/2$  تا  $1/5$  را به ترتیب برای ۴ و ۸ درصد وزنی گزارش کرده‌اند و رفتار دیسپرسیون‌های ۴ و ۸ درصد وزنی-وزنی ایزوله پروتئین آب پنیر تکی نیوتنی بوده و با افزودن صمغ زانتان به محیط رفتار رقیق‌شونده با برش به سیستم القا می‌شود. افزودن بالاتر از  $0/1$  درصد زانتان موجب تغییر رفتار به سودوپلاستیک می‌شود و در  $0/1$  درصد رفتار هنوز نیوتنی می‌باشد (بنی‌چو و همکاران، ۲۰۰۷). در مقابل با افزودن صمغ دانه ریحان (بیشتر از  $0/1$  درصد وزنی-وزنی) به دیسپرسیون‌های ایزوله پروتئین آب پنیر رفتار از نیوتنی به سود و پلاستیک با پدیده رقیق‌شوندگی با برش تغییر پیدا کرد. همچنین حساسیت ویسکوزیته ظاهری به نرخ برشی نیز با افزایش غلظت صمغ شدیدتر شد. شکل ۲ نشان می‌دهد که ویسکوزیته ظاهری برای  $0/3$  درصد صمغ از نرخ برشی  $50 s^{-1}$  تا  $100$  به میزان معنی‌داری کاهش یافته است. کاهش گرانروی ظاهری با افزایش نرخ برش می‌تواند به دلیل شکست واحدهای ساختاری و جدا شدن زنجیره‌های پلیمری که درگیر شده‌اند و در نهایت به هم‌جهت شدن زنجیره‌های پلی‌ساکاریدی سازنده سیستم مورد آزمایش با جهت برش نسبت داده می‌شود و بنابراین ویسکوزیته سیستم کاهش می‌یابد. بیشتر غذاهایی که غیرنیوتنی هستند رفتار رقیق‌شوندگی با برش را نشان می‌دهند که شامل بسیاری از سس‌های سالادها و برخی نوشیدنی‌های میوه‌ها می‌باشند (لوپزداسیلوا و راتو، ۲۰۰۷؛ راتو، ۲۰۰۷). بهترین مدل برازش شده با غلظت‌های پائین مدل قانون توان بود که اندیس جریان بسیار نزدیک به ۱ داشتند که نشان‌دهنده رفتار نیوتنی است و در غلظت‌های بالا مدل هرشل‌بالکلی بود که اندیس جریان با افزایش غلظت کاهش یافته و اندیس قوام کاهش می‌یابد. همچنین نمونه‌ها تنش تسلیم نشان دادند (جدول ۱ و شکل ۳ و ۴). با افزایش غلظت صمغ ویسکوزیته مخلوط‌ها در سرعت برشی ثابت به‌طور معنی‌داری به‌خصوص در  $0/3$  درصد صمغ افزایش یافت (شکل ۲).

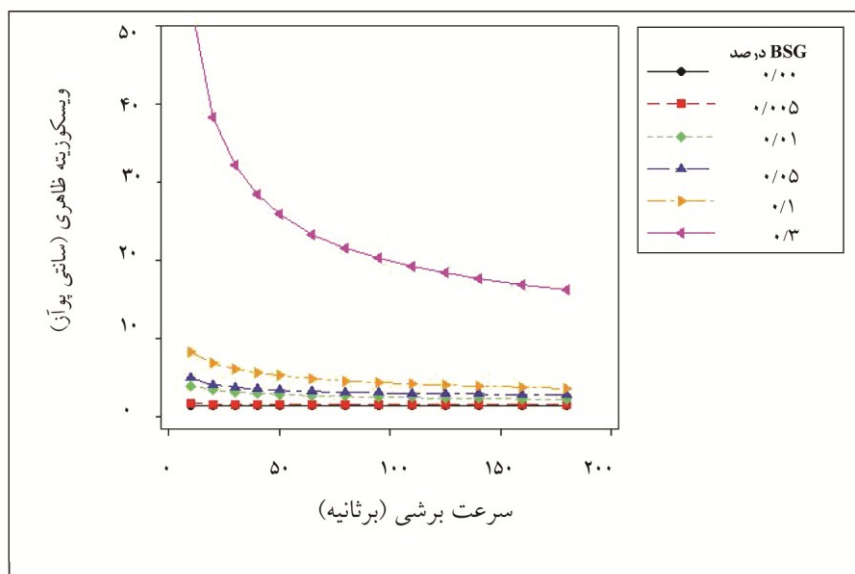


شکل ۲- مقایسه مقادیر ویسکوزیته ظاهری محلول الف) ۱ درصد و ب) ۳ درصد وزنی ایزوله پروتئین آب پنیر و مخلوط آن‌ها با غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان در دو سرعت برشی ۵۰ و ۱۰۰ بر ثانیه در دو مرحله رفت و برگشت سرعت برشی. \*حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تغییر معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد از آزمون توکی است.

در غلظت‌های پائین صمغ دانه ریحان (۰/۰۵-۰/۰۰۵ درصد وزنی) که سیستم‌های دوفازی داریم، برای اندازه‌گیری‌های رئولوژیکی سیستم‌های دوفازی یکنواخت شدند. بنابراین، شبکه ضعیف پلی‌ساکاریدی که در ته ظرف تجمع یافته است، با تکان‌دادن از بین رفته و در فاز پیوسته سیستم (فاز پروتئینی) پراکنده می‌شدند. ولی سیستم‌هایی که دارای یک فاز هم‌گن بودند (غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۳ درصد صمغ) به نظر می‌رسد فاز پیوسته درون یک شبکه ژلی پلی‌ساکاریدی محبوس شده و این شبکه موجب ایجاد ساختار و رفتار خاص این مخلوط‌ها شده است (لوپزداسیلوا و راثو، ۲۰۰۷). با توجه به یافته‌های رفتار فازی می‌توان این رفتار را به تجمع رشته‌های پلی‌ساکاریدی و درگیری زنجیره‌ها و در نتیجه تغییر فاز پیوسته از محلول پروتئین آب پنیر به ژل ضعیف صمغ دانه ریحان نسبت داد. با بررسی رفتار جریانی و رفتار فازی در نمونه حاوی ۰/۱ درصد صمغ مشاهده شد که رفتار داده‌ها بین داده‌های مخلوط‌های ۰/۰۵ و ۰/۳ درصد صمغ می‌باشند. یعنی رفتار جریانی مخلوط حاوی ۰/۱ درصد صمغ مشابه ۰/۰۵ درصد بوده و مقادیر ویسکوزیته تغییر معنی‌داری با ۰/۰۵ درصد ندارد و همچنین رفتار فازی ۰/۱ درصد مشابه ۰/۳ درصد می‌باشد (جدول ۱ و شکل ۲، ۳ و ۴). با توجه به این نتیجه می‌توان گفت که در ۰/۱ درصد از صمغ دانه ریحان با این‌که زنجیره‌های پلی‌ساکاریدی به هم پیوسته‌اند ولی تعداد برهم‌کنش‌ها برای ایجاد یک شبکه در کل سیستم کافی نمی‌باشد و به‌طور هم‌زمان دو فاز پیوسته پروتئین و پلی‌ساکارید در محیط حضور دارد که هرکدام خواص خود را نشان می‌دهند. ژلاسیون به‌طور اساسی به تشکیل ساختار شبکه توده‌ای سه بعدی اطلاق می‌شود. ژل ممکن است در سطح ماکروسکوپی هم‌وزن و یکنواخت باشد، ولی در سطح میکروسکوپی ناهمگن است. با این وجود، خصوصیات رئولوژیکی این ژل‌ها بستگی به غلظت، ماهیت و آرایش هر یک از فازها در سیستم دارد. چنانچه عامل ژل‌کننده در فاز پیوسته باشد، قدرت ژل بیشتر از زمانی است که عامل ژل‌کننده در فاز پراکنده است که در این صورت شبکه از بین می‌رود (نیسر و همکاران، ۱۹۹۸).



شکل ۳- ویسکوزیته مخلوط‌های ایزوله پروتئین آب پنیر ۱ درصد وزنی با درصدهای وزنی مختلف صمغ دانه ریحان.



شکل ۴- ویسکوزیته مخلوط‌های ایزوله پروتئین آب پنیر ۳ درصد وزنی با درصدهای وزنی مختلف صمغ دانه ریحان.

## وحیده سرابی اقدام و همکاران

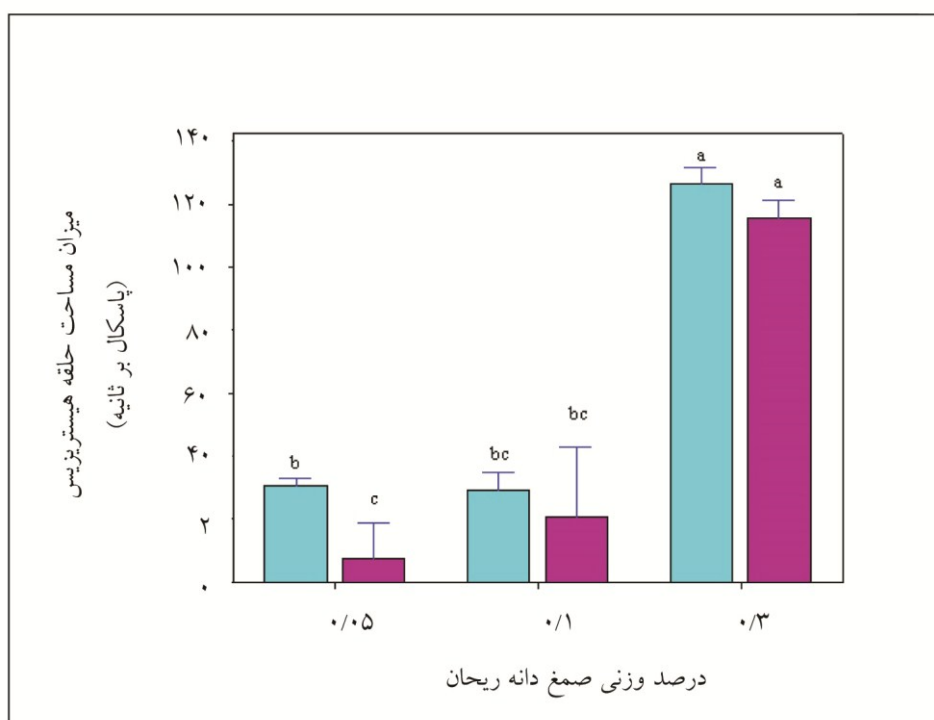
بررسی رفتار جریانی مخلوطها در دو مرحله افزایش و کاهش سرعت برشی نشان داد که ویسکوزیته سیستمهای مخلوط در سرعت برشی ثابت کاهش می‌یابد. گفته می‌شود غذاهایی که رفتار رقیق‌شوندگی با برش وابسته به زمان از خود نشان می‌دهند دارای رفتار جریانی تیکسوتروپی هستند. نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان داد که با افزایش غلظت صمغ نیز میزان تیکسوتروپی افزایش می‌یابد (شکل ۲ و ۵).

جدول ۱- پارامترهای بهترین مدل برازش یافته بر داده‌های رفتار جریان سیستم‌های آبی مخلوط ایزوله پروتئین آب پنیر و صمغ دانه ریحان.

بهترین مدل برازش یافته	پارامترهای مدل					BSG (درصدوزنی)	WPI (درصدوزنی)
	SE	R <sup>2</sup>	تنش تسلیم (Pa)	k (Pa.s <sup>n</sup> )	n (-)		
اسوالد	۰/۰۰۲	۰/۹۹	-	۰/۰۰۰±۰/۰۰۰ <sup>d</sup>	۱/۰۱۵±۰/۰۶ <sup>a</sup>	۰	۱
اسوالد	۰/۰۰۰	۰/۹۹	-	۰/۰۰۱±۰/۰۰۰ <sup>d</sup>	۰/۹۴۱±۰/۰۱۶ <sup>ab</sup>	۰/۰۰۵	۱
اسوالد	۰/۰۰۰	۰/۹۹	-	۰/۰۰۱±۰/۰۰۰ <sup>d</sup>	۰/۹۳۷±۰/۰۰۴ <sup>ab</sup>	۰/۰۱	۱
هرشل بالکلی	۰/۰۰۰	۰/۹۹	۰/۰۱۱±۰/۰۰۳ <sup>bc</sup>	۰/۰۱۰±۰/۰۰۰ <sup>c</sup>	۰/۸۰۴±۰/۰۰۲ <sup>c</sup>	۰/۰۵	۱
هرشل بالکلی	۰/۰۰۰	۰/۹۹	۰/۰۱۳±۰/۰۰۰ <sup>bc</sup>	۰/۰۰۸±۰/۰۰۰ <sup>cd</sup>	۰/۸۱۹±۰/۰۰۴ <sup>c</sup>	۰/۱	۱
هرشل بالکلی	۰/۰۰۲	۰/۹۹	۰/۱۲۳±۰/۰۰۴ <sup>a</sup>	۰/۰۹۵±۰/۰۰۱ <sup>a</sup>	۰/۶۵۱±۰/۰۰۰ <sup>d</sup>	۰/۳	۱
اسوالد	۰/۰۰۱	۰/۹۹	-	۰/۰۰۰±۰/۰۰۰ <sup>d</sup>	۰/۹۸۰±۰/۰۱۴ <sup>a</sup>	۰	۳
اسوالد	۰/۰۰۲	۰/۹۹	-	۰/۰۰۱±۰/۰۰۰ <sup>d</sup>	۰/۹۶۰±۰/۰۲۷ <sup>a</sup>	۰/۰۰۵	۳
هرشل بالکلی	۰/۰۰۰	۰/۹۹	۰/۰۰۵±۰/۰۰۱ <sup>c</sup>	۰/۰۰۴±۰/۰۰۰ <sup>cd</sup>	۰/۸۷۴±۰/۰۰۰ <sup>bc</sup>	۰/۰۱	۳
هرشل بالکلی	۰/۰۰۰	۰/۹۹	۰/۰۰۹±۰/۰۰۱ <sup>bc</sup>	۰/۰۰۵±۰/۰۰۱ <sup>cd</sup>	۰/۸۶۹±۰/۰۱۵ <sup>bc</sup>	۰/۰۵	۳
هرشل بالکلی	۰/۰۰۰	۰/۹۹	۰/۰۱۶±۰/۰۰۰ <sup>b</sup>	۰/۰۰۹±۰/۰۰۰ <sup>cd</sup>	۰/۸۲۱±۰/۰۰۵ <sup>c</sup>	۰/۱	۳
هرشل بالکلی	۰/۰۰۰	۰/۹۹	۰/۱۱۵±۰/۰۰۰ <sup>a</sup>	۰/۰۸۷±۰/۰۰۷ <sup>b</sup>	۰/۶۶۰±۰/۰۰۲ <sup>d</sup>	۰/۳	۳

حسینی پرور و همکاران گزارش کردند که صمغ دانه ریحان رفتار رقیق‌شوندگی با برش را در تمام غلظت‌ها و دماها نشان می‌دهد. محلول صمغ دانه ریحان در غلظت‌های خیلی کم (۰/۳ درصد) قادر به ایجاد محلول‌های ویسکوز با ویسکوزیته صفر بالا بوده و در دماهای بالا این رفتار را حفظ می‌کند (حسینی پرور و همکاران، ۲۰۱۰). علاوه بر این، در بررسی رفتار جریانی صمغ دانه ریحان همراه با صمغ دانه خرنوب و گوار، مخلوط کردن صمغ‌ها با صمغ دانه ریحان موجب افزایش ویسکوزیته

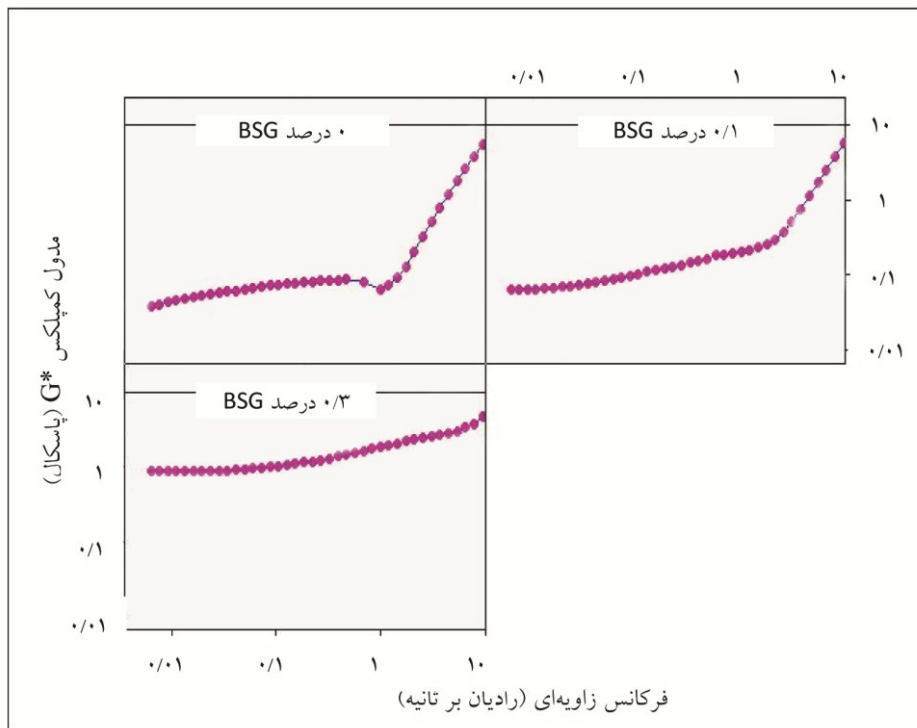
برشی صفر مخلوط‌ها می‌شود و اثر سینرژیستی نشان دادند. افزایش نسبت صمغ دانه ریحان در مخلوط صمغ‌ها موجب خرابی ساختار و تشدید وابستگی به زمان (رفتار تیکسوتروپی) شد (حسینی‌پور و همکاران، ۲۰۰۹). این نتایج بیان می‌کنند که با ورود صمغ دانه ریحان به محیط رفتار جریان‌ی مشابه رفتار صمغ می‌شود. در این مطالعه، رفتار تیکسوتروپی برای غلظت ۰/۳ درصد صمغ بالاترین میزان است که نشان‌دهنده این است که فاز پراکنده بسیار ضعیف است.



شکل ۵- میزان مساحت حلقه هیستریزیس برای غلظت‌های مختلف صمغ و ایزوله پروتئین آب پنیر.

\*حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار با سطح اطمینان ۹۵ درصد از آزمون توکی می‌باشد.

با بررسی رفتار ویسکوالاستیک سیستم‌های مخلوط، نمودار مدول کمپلکس دیسپرسیون‌های ایزوله پروتئین آب پنیر بدون حضور صمغ دانه ریحان و همراه با آن در شکل ۶ آمده است. با کاهش فرکانس مدول کمپلکس کاهش می‌یابد. ولی نمونه حاوی صفر درصد صمغ با شیب بیشتری نسبت به نمونه‌های حاوی صمغ کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۶- اثر غلظت صمغ دانه ریحان بر روی مدول کمپلکس سیستم‌های مخلوط صمغ دانه ریحان و ایزوله پروتئین آب پنیر<sup>۳</sup> درصد وزنی.

در جدول ۲ پارامترهای ویسکوزیته کمپلکس، مدول الاستیک (ذخیره) و مدول ویسکوز (افت) در فرکانس‌های ۱ و ۱۰ هرتز آمده است. مدول الاستیک در فرکانس بالا برای نمونه‌هایی که کمتر از ۰/۳ درصد صمغ داشته‌اند حذف شده است و فقط نمونه‌ها رفتار ویسکوز نشان می‌دهند. در فرکانس‌های پائین مقدار  $G' > G''$  است که نشان‌دهنده حضور ساختار ژل‌مانند<sup>۱</sup> در سیستم است. یعنی  $G'$  و  $G''$  هر دو وابستگی به فرکانس را نشان می‌دهند ولی میزان وابستگی  $G''$  بالاتر است که در نهایت موجب می‌شود رفتار ویسکوز در فرکانس‌های بالا دیده شود. فرکانس‌های بالا پس از نقطه تقاطع  $G'$  و  $G''$  موجب افزایش جزء ویسکوز و کاهش جزء الاستیک در ماده می‌شود و در غلظت ۰/۳ درصد صمغ در فرکانس ۱۰ هرتز رفتار مایع ویسکوالاستیک از خود نشان داد. سایر نمونه‌ها که با توجه به نتایج رفتار

1- Gel-like structure

فازی دارای فاز پیوسته پروتئین می‌باشند رفتار ویسکوز از خود نشان دادند. افزایش میزان  $G''$  به بالاتر از  $G'$  نشان‌دهنده حضور ژل ضعیف در محیط می‌باشد که شبکه‌ای ایجاد شده و فاز پروتئینی را در برگرفته است. رافع و همکاران خاصیت کاربردی ژلاسیون صمغ دانه ریحان را بررسی کرده‌اند و نتایج آن‌ها نشان داد که صمغ دانه ریحان در محیط آبی ژل ایجاد می‌کنند که خواص ژل ضعیف را نشان می‌دهد (رافع و رضوی، ۲۰۱۲).

جدول ۲- اثر افزایش غلظت بر داده‌های حاصل از آزمون روبش فرکانس در مخلوط‌های حاوی ایزوله پروتئین آب پنیر ۱ درصد وزنی.

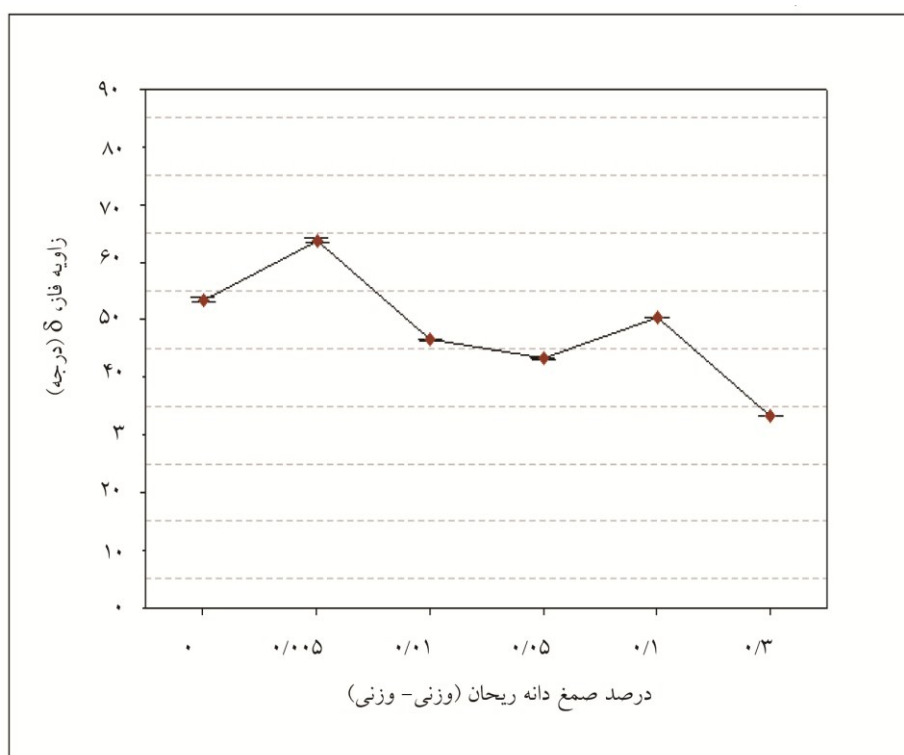
$\eta^*$ (Pa.s)		$G''$ (Pa)		$G'$ (Pa)		BSG
۱۰ Hz	۱ Hz	۱۰ Hz	۱ Hz	۱۰ Hz	۱ Hz	(%w/w)
۰/۰۳۸±۰/۰۰۲ <sup>b</sup>	۰/۰۴۴±۰/۰۰۴ <sup>b</sup>	۲/۴۱۰±۰/۰۶۰ <sup>b</sup>	۰/۰۵۲±۰/۰۰۷ <sup>c</sup>	-	۰/۰۵۸±۰/۰۲۱ <sup>b</sup>	۰
۰/۰۳۶±۰/۰۰۰۴ <sup>b</sup>	۰/۰۰۶±۰/۰۰۰۳ <sup>b</sup>	۲/۲۹۵±۰/۰۰۴ <sup>b</sup>	۰/۰۳۷±۰/۰۰۱۲ <sup>c</sup>	-	۰/۰۲۴±۰/۰۲۱ <sup>b</sup>	۰/۰۰۵
۰/۰۳۴±۰/۰۰۰۵ <sup>b</sup>	۰/۰۰۷±۰/۰۰۰۰ <sup>b</sup>	۲/۱۵۶±۰/۰۳۵ <sup>b</sup>	۰/۰۳۵±۰/۰۰۰۲ <sup>c</sup>	-	۰/۰۳۳±۰/۰۰۰۴ <sup>b</sup>	۰/۰۱
۰/۰۳۶±۰/۰۰۰۲ <sup>b</sup>	۰/۰۱۶±۰/۰۰۰۰ <sup>b</sup>	۲/۳۰۴±۰/۰۱۳ <sup>b</sup>	۰/۰۷۱±۰/۰۰۰۲ <sup>c</sup>	-	۰/۰۷۶±۰/۰۰۰۲ <sup>b</sup>	۰/۰۵
۰/۰۳۶±۰/۰۰۰۰ <sup>b</sup>	۰/۰۲۹±۰/۰۰۰۲ <sup>b</sup>	۲/۳۶۰±۰/۰۱۱ <sup>b</sup>	۰/۱۴۰±۰/۰۰۱۴ <sup>b</sup>	-	۰/۱۱۷±۰/۰۰۱۲ <sup>b</sup>	۰/۱
۰/۰۵۱±۰/۰۰۰۰ <sup>a</sup>	۰/۲۵۲±۰/۰۰۰۴ <sup>a</sup>	۳/۲۳۱±۰/۰۰۶ <sup>a</sup>	۰/۸۷۲±۰/۰۰۱۶ <sup>a</sup>	۰/۵±۰/۰۰۵۵	۱/۳۲۵±۰/۰۰۴۷ <sup>a</sup>	۰/۳

\*حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار با سطح اطمینان ۹۵ درصد از آزمون توکی می‌باشد.

شکل ۷ نشان می‌دهد که با افزودن غلظت صمغ، زاویه فازی کاهش می‌یابد. زاویه فاز در حالتی که  $90^\circ$  و  $0^\circ$  باشد به ترتیب رفتار ویسکوز کامل و جامد کامل را نشان می‌دهد و در صورتی که بین دو عدد باشد رفتار ویسکوالاستیک را نشان می‌دهد. کمترین مقدار مربوط به  $0/3$  درصد صمغ می‌باشد که نشان می‌دهد سیستم ساختاریافته است و بیشترین پایداری را ایجاد می‌کند. فرکانس‌های بالا نشان‌دهنده وضعیت ماده غذایی طی تکان‌های شدیدی است که به‌طور مثال در هنگام حمل و نقل به ماده وارد می‌شود و پایدار ماندن مواد در این شرایط نیز اهمیت بالایی دارد. با افزایش فرکانس این پارامتر افزایش می‌یابد که علت آن را می‌توان این‌گونه توضیح داد که هنگامی که فرکانس‌های پائین به ماده اعمال می‌شود، ماده زمان کافی برای بازسازی پیوندهای شکسته شده را در چرخه فرکانس دارد، ولی هنگامی که فرکانس‌های بالا اعمال می‌شود ماده فرصت بازسازی پیوندهای شکسته را نداشته و هنگامی که پیوندها شکسته می‌شوند جزء ویسکوز افزایش‌یافته و ماده رفتار مایع ویسکوالاستیک را



نشان می‌دهد (اورت و مک‌لئود، ۲۰۰۵). همچنین زمانی که فرکانس‌های پائین اعمال می‌شود حرکت براونی ذرات بر فرکانس اعمال شده در چرخه فرکانس غلبه دارند و دید درستی از برهم‌کنش ذرات ارائه نمی‌دهد ولی در فرکانس‌های بالا اثر حرکت براونی کمتر شده و پارامترهای آزمون نوسانی تصور درستی از برهم‌کنش ذرات ایجاد می‌کنند (زوانزیگ و مانن، ۱۹۶۵).



شکل ۷- اثر غلظت صمغ دانه ریحان روی زاویه فازی ( $\tan\delta$ ) در فرکانس ۱ هرتز سیستم‌های آبی بیوپلیمری ایزوله پروتئین آب پنیر در ۲۰ درجه سانتی‌گراد و شرایط خنثی. زاویه فاز از  $\text{Arctan}(G''/G')$  تعیین می‌شود، که  $G'$  مدول ذخیره،  $G''$  مدول افت و  $\tan(\delta)=G''/G'$  می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

شناخت و درک دقیق برهم‌کنش بیوپلیمرها و خواص عملکردی آنها برای به‌کار بردن در فرایندهای مختلف غذایی و فرمولاسیون غذاها الزامی است. در این تحقیق نشان داده شد که غلظت

۰/۳ درصد (وزنی-وزنی) صمغ دانه ریحان و بالاتر خاصیت پایدارکنندگی را در سیستم‌های مخلوط ایزوله پروتئین آب پنیر و صمغ دانه ریحان ایجاد می‌کنند. ویسکوزیته مخلوط‌ها با افزایش غلظت صمغ افزایش می‌یابد که در غلظت‌هایی که پایداری دیده می‌شود به میزان حداکثر می‌رسد. رفتار جریان سیستم‌های ایزوله پروتئین آب پنیر در ترکیب با صمغ دانه ریحان از نیوتنی به رقیق‌شونده با برش تغییر پیدا می‌کند. این نتایج به دلیل خاصیت تشکیل ژل ضعیف صمغ دانه ریحان در کل سیستم و تغییر فاز از پروتئین در غلظت‌های پائین صمغ به پلی‌ساکارید در غلظت‌های بالای صمغ تغییر پیدا کند. همچنین، آزمون‌های نوسانی انجام گرفته نیز حضور ژل ضعیف در محیط را اثبات کردند. تغییر و اصلاح خواص رئولوژیکی و ساختاری سیستم‌های آبی پروتئین آب پنیر و صمغ دانه ریحان با تغییر نسبت‌های این دو بیوپلیمر امکان‌پذیر است و از نقطه‌نظر کاربردی برای فرایندهای غذایی و شرایط بهینه ایجاد بافت و پایداری و فرمولاسیون‌های جدید در سیستم‌های غذایی واقعی مثل دسرهای لبنی و همچنین در صنایع دارویی و آرایشی می‌توان استفاده کرد.

### سپاسگزاری

این پژوهش در آزمایشگاه مرکز رشد واحدهای فناوری طبرستان انجام گرفته است. نویسندگان مقاله بدین وسیله از مدیریت و کارشناسان این مرکز قدردانی می‌نمایند.

### منابع

- Anjaneyalu, Y.V., and Gowda, D.C. 1979. Structural studies of an acidic polysaccharide from *Ocimum basilicum* seeds. *Carbohydrate Research*, 75, 251-256.
- Azoma, J., and Sakamoto, M. 2003. Cellulosic hydrocolloid system present in seed of plants. *Trends in Glycoscience and Glycotechnology*, 15, 1-14.
- Beaulieu, M., Turgeon, S.L., Doublier, J.-L., and Beaulieu, M. 2001. Rheology, texture and microstructure of whey proteins/low methoxyl pectins mixed gels with added calcium. *International Dairy Journal*, 11, 961-967.
- Benichou, A., Aserin, A., Lutz, R., and Garti, N. 2007. Formation and characterization of amphiphilic conjugates of whey protein isolate (WPI)/xanthan to improve surface activity. *Food Hydrocolloids*, 21, 379-391.
- Bourriot, S., Garnier, C., and Doublier, J.L. 1999. Micellar-casein/k-carrageenan mixtures. I. Phase separation and ultrastructure. *Carbohydrate Polymers*, 40, 145-157.
- Çakır, E., and Foegeding, E.A. 2011. Combining protein micro-phase separation and protein-polysaccharide segregative phase separation to produce gel structures. *Food Hydrocolloids*, 25, 1538-1546.
- Cayot, P., and Lorient, D. 1997. Structure-function relationships of whey proteins. In Damodaran, S. and Paraf, A. (Eds.), *Food proteins and their applications*, (pp. 225-256.). New York: Marcel Dekker.

- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., and Smith, F. 1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28, 350-356.
- Ercelebi, E.A., and Ibanoglu, I. 2007. Influence of hydrocolloids on phase separation and emulsion properties of whey protein isolate. *Journal of Food Engineering*, 80, 454-459.
- Everett, D., and McLeod, R. 2005. Interactions of polysaccharide stabilisers with casein aggregates in stirred skim-milk yoghurt. *International Dairy Journal*, 15, 1175-1183.
- Gaaloul, S., Turgeon, S.L., and Corredig, M. 2010. Phase behavior of whey protein aggregates/ $\kappa$ -carrageenan mixtures: experiment and theory. *Food biophysics*, 5, 103-113.
- Goh, K.K.T., Sarkar, A., and Singh, H. 2009. Milk protein polysaccharide interactions. In Thompson, A. Boland, M. and Singh, H. (Eds.), *Milk Proteins From Expression to Food*, (pp. 347-376). New Zealand, Amsterdam: Massey University.
- Hemar, Y., Hall, C.E., Munro, P.A., and Singh, H. 2002. Small and large deformation rheology and microstructure of  $\kappa$ -carrageenan gels containing commercial milkprotein products. *International Dairy Journal*, 12, 371-381.
- Hemar, Y., Tamehana, M., Munro, P.A., and Singh, H. 2001. Viscosity, microstructure and phase behavior of queous mixtures of commercial milk protein products and xanthan gum. *Food Hydrocolloids*, 15, 565-574.
- Hosseini-Parvar, S.H., Matia-Merino, L., Goh, K.K.T., Razavi, S.M.A., and Mortazavi, S.A. 2010. Steady shear flow behavior of gum extracted from *Ocimum basilicum* L. seed: Effect of concentration and temperature. *Journal of Food Engineering*, 101, 236-243.
- 16.Hosseini-Parvar, S.H., Mortazavi, S.A., Razavi, S.M.A., Matia-Merino, L., and Motamedzadegan, A. 2009. Flow behavior of gum solutions extracted from *Ocimum basilicum* seeds mixed with Locust bean gum and Guar gum. *Electronic Journal of Food Preservation and Processing (EJFPP)*, 1(2), 69-84.
- Jara, F., Pérez, O.E., and Pilosof, A.M.R. 2010. Impact of phase separation of whey proteins/hydroxypropylmethylcellulose mixtures on gelation dynamics and gels properties. *Food Hydrocolloids*, 24, 641-651.
- Kasapis, S. 2008. Phase separation in biopolymer gels: a low- to high-solid exploration of structural morphology and functionality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(4), 341-359.
- Kontogiorgos, V., Tosh, S.M., and Wood, P.J. 2009. Phase behaviour of high molecular weight oat  $\beta$ -glucan/whey proteinisolate binary mixtures. *Food Hydrocolloids*, 23, 949-956.
- Lai, V.M.F., and Lii, C.-Y. 2004. Role of Saccharides in Texturization and Functional Properties of Foodstuffs. In P. Tomasik (Ed.), *Chemical and Functional Properties of Food Saccharides*. London, New York, Washington, D.C.: CRC Press LLC: Boca Raton.
- Layne, E. 1957. Spectrophotometric and turbidimetric methods for measuring proteins. In *Methods in enzymology*, 3, 1957: New York: Academic press, Ind.
- Lazaridou, A., and Biliaderis, C.G. 2009. Concurrent phase separation and gelation in mixed oat  $\beta$ -glucans/sodium caseinate and oat  $\beta$ -glucans/pullulan aqueous dispersions. *Food Hydrocolloids*, 23, 886-895.
- Lizarraga, M.S., De Piante Vicin, D., Gonza'leza, R., Rubiolob, A., and Santiago, L.G. 2006. Rheological behaviour of whey protein concentrate and  $\lambda$ -carrageenan aqueous mixtures. *Food Hydrocolloids*, 20, 740-748.

- Lopez da Silva, J.A., and Rao, M.A. 2007. Rheological behavior of food gels, in Rheology of fluid and semisolid foods: Principles and applications. In Rao, M.A. (Ed.), (pp. 339-401). New York: Springer Verlag.
- Loren, N., and Hermansson, A.M. 2000. Phase separation and gel formation in kinetically trapped gelatin/maltodextrin gels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 27, 249-262.
- McClements, D.J. 2005. Food emulsions in practice. In McClements, D. J. (Ed.), Food Emulsions: Principles, Practices and Techniques, (pp. 515-544). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Neiser, S., Draget, K.I., and Smidsrod, O. 1998. Gel formation in heat-treated bovine serum albumin-sodium alginate systems. *Food Hydrocolloids*, 12, 127-132.
- Norton, I.T., and Frith, W.J. 2001. Microstructure design in mixed biopolymer composites. *Food Hydrocolloids*, 15, 543-553.
- Perez, O.E., Wargona, V., and Pilosof, A.M.R. 2006. Gelation and structural characteristics of incompatible whey proteins/hydroxy propylmethylcellulose mixtures. *Food Hydrocolloids*, 20, 966-974.
- Rafe, A., and Razavi, S.M.A. 2012. Dynamic viscoelastic study on the gelation of basil seed gum. *International Journal of Food Science and Technology*.
- Rao, M.A. 2007. Flow and Functional Models for Rheological Properties of Fluid Foods. In Rao, M.A. (Ed.), Rheology of fluid and semisolid foods: Principles and applications. New York: Springer Verlag. 490p
- Razavi, S.M.A., Mortazavi, S.A., Matia-Merino, L., Hosseini-Parvar, S.H., Motamedzadegan, A., and Khanipour, E. 2009. Optimization study of gum extraction from Basil seeds (*Ocimum basilicum* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 1755-1762.
- Thaiudom, S., and Goff, H.D. 2003. Effect of k-carrageenan on milk protein polysaccharide mixtures. *International Dairy Journal*, 13, 763-771.
- Tolstoguzov, V.B. 2003. Some thermodynamic considerations in food formulation. *Food Hydrocolloids*, 17, 1-23.
- Turgeon, S.L., and Beaulieu, M. 2001. Improvement and modification of whey protein gel texture using polysaccharides. *Food Hydrocolloids*, 15, 583-591.
- Turgeon, S.L., Beaulieu, M., Schmitt,., and Sanchez, C. 2003. Protein-polysaccharide interactions: phase-ordering kinetics, thermodynamic and structural aspects. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 8, 401-414.
- Williams, P.A., and Phillips, G.O. 2000. Introduction to food hydrocolloids. In G. O. Phillips and P.A. Williams (Eds.), Handbook of hydrocolloids, (pp. 1-19). Cambridge, England: CRC.
- Zwanzig, R., and Mountain, R. 1965. High-frequency elastic moduli of simple fluids. *Journal of chemistry physics*, 43, 44-64..

## An investigation on the interactions between Basil seed gum and whey protein isolate in aqueous systems

\*V. Sarabi-Aghdam<sup>1</sup>, S.H. Hosseini-Parvar<sup>2</sup>, A. Motamedzadegan<sup>2</sup>  
and Lara Matia-Merino<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc student, Dept. of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, <sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, <sup>3</sup>Associate Prof., Dept. of Food Thechnology, IFNHH, Massey University, New Zealand

### Abstract

Proteins and polysaccharides generally affect the stability, structure, rheological properties and sensory attributes of many food systems. In this research, the phase behavior and rheology of systems containing different concentrations of Basil seed gum (BSG) and whey protein isolate (WPI) were investigated. The mixtures were prepared by 0-0.3% (w/w) of BSG and 1-5% (w/w) of WPI. Phase behavior investigation of the mixtures showed that polysaccharide-rich phase is located at lower phase as a turbid layer. The results showed that the single-phase systems observe only at high concentrations of BSG. In mixed systems, gelation and phase-separation occurred simultaneously so that phase separation rate decreased significantly with an increase in BSG concentration due to self-association of BSG polysaccharide chains. Flow behavior of the mixtures was determined and the apparent viscosity at shear rates of 50 and 100 s<sup>-1</sup> was reported. Furthermore, frequency sweep test was conducted and the results were reported at frequency of 1 and 10 Hz. The data showed that incorporation of little amount of BSG to WPI aqueous dispersions changed the behaviour of systems from newtonian to shear-thinning behavior. The best fitted models for flow behavior data for low and high BSG concentrations in the mixtures were Ostwald and Herschel-Bulkley, respectively. Oscillatory measurements showed a diminishing trend in phase angle and presence of weak gel in the mixtures by increasing BSG concentration. From a practical point of view, the results of this study could be applicable in creation of optimum texture and novel formulations in food systems like dairy desserts and pharmaceutical industry.

**Keywords:** Dispersion, Basil Seed Gum, Whey Protein Isolate, rheology, phase behavior

---

\*Corresponding author; s.h.hosseini-parvar@sanru.ac.ir

