



رفتار رئولوژیکی جریان مخلوط صمغ دانه ریحان با صمغ‌های گوار و لویبای لوکاست

*سیدهاشم حسینی‌پرور^۱، سیدعلی مرتضوی^۲، سیدمحمدعلی رضوی^۲

لارا ماتیا- مرینو^۳ و علی معتمدزادگان^۱

^۱گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه تکنولوژی غذایی، انستیتو غذا، تغذیه و سلامت انسان، دانشگاه مَسی، نیوزیلند

تاریخ دریافت: ۸۸/۵/۴؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۸/۳

چکیده

خصوصیات رئولوژیکی رفتار جریان محلول صمغ دانه ریحان به‌عنوان یکی از منابع جدید هیدروکلوئید غذایی در ترکیب با صمغ‌های گوار و لویبای لوکاست توسط یک رئومتر کنترل تنش در دامنه سرعت برشی ۱۰۰۰-۰/۰۱ بر ثانیه و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد مورد مطالعه قرار گرفت. مدل‌های رئولوژیکی مستقل از زمان کراس و کارو به‌خوبی با داده‌های منحنی جریان مخلوط صمغ‌های یادشده برازش داده شدند. شاخص رفتار جریان صمغ دانه ریحان کم‌ترین مقدار بوده و پس از آن به‌ترتیب صمغ‌های گوار و لویبای لوکاست قرار داشتند. مخلوط ۶۰-۴۰ صمغ‌های دانه ریحان- گوار رفتار رقیق‌شونده با برش قوی‌تری داشت در حالی که مخلوط ۲۰-۸۰ این صمغ‌ها کم‌ترین انحراف را نسبت به رفتار نیوتنی از خود نشان داد. مخلوط ۲۰-۸۰ صمغ‌های دانه ریحان- لویبای لوکاست دارای رفتار رقیق‌شونده با برش ضعیف‌تری در میان سایر مخلوط‌های این دو صمغ بود. صمغ دانه ریحان در غلظت‌های برابر دارای ویسکوزیته سرعت برشی صفر بسیار بیش‌تری نسبت به صمغ‌های گوار و لویبای لوکاست بود (حدود ۲۰۰ برابر صمغ گوار و ۱۴۰۰ برابر صمغ لویبای لوکاست)، از این‌رو مخلوط کردن صمغ دانه ریحان با صمغ‌های یادشده باعث افزایش ویسکوزیته سرعت برشی صفر شد. افزایش نسبت صمغ دانه ریحان در مخلوط‌های یادشده سبب تغییر میزان شکست ساختار مخلوط هیدروکلوئیدی و نیز تشدید رفتار وابسته به زمان شد. همچنین فرآیند حرارتی ۸۵ درجه سانتی‌گراد بر مخلوط صمغ‌های یاد شده در تغییر برخی پارامترهای رئولوژیکی آن‌ها مؤثر بود.

واژه‌های کلیدی: صمغ دانه ریحان، صمغ گوار، صمغ لویبای لوکاست، مخلوط هیدروکلوئیدها، رئولوژی

* مسئول مکاتبه: hosseiniparvar@yahoo.com

مقدمه

هیدروکلوئیدها یا صمغ‌ها بیوپلیمرهای هایدروفیل با وزن مولکولی بالا هستند که در صنایع غذایی برای کنترل و بهبود خصوصیات عملکردی فرآورده‌های غذایی به کار می‌روند. مهم‌ترین خصوصیات محلول هیدروکلوئیدها قوام دهندگی (ایجاد ویسکوزیته) و تشکیل ژل می‌باشد. علاوه بر این خصوصیات، هیدروکلوئیدها به منظور تثبیت امولسیون‌ها، جلوگیری از تشکیل مجدد کریستال‌های یخ و ایجاد ویژگی‌های حسّی مطلوب در محصولات غذایی به کار می‌روند. هیدروکلوئیدها از منابع مختلفی استخراج می‌شوند که یکی از این منابع دانه‌ها هستند (دیکینسون، ۲۰۰۳).

خصوصیات رئولوژیکی هیدروکلوئیدها به خصوص وقتی که برای بهبود بافت در فرمولاسیون مواد غذایی به کار می‌روند اهمیت دارند (کایاسیر و دوگان، ۲۰۰۶). برای اهداف طراحی و مدلینگ فرآیندهای غذایی بایستی خصوصیات رئولوژیکی مواد غذایی مایع به دقت مورد توجه قرار گیرند. محاسبات فرآیندهای حامل جریان سیال نظیر پمپ کردن، استخراج و فیلتراسیون نیازمند داشتن داده‌های رئولوژیکی می‌باشد (مارکوت و همکاران، ۲۰۰۱).

دانه ریحان حاوی مقادیر زیادی هیدروکلوئید با خواص رئولوژیکی جالب توجه است که آن را با سایر هیدروکلوئیدهای تجارتي مانند صمغ زانتان قابل مقایسه نموده است (حسینی‌پرور و همکاران، ۲۰۰۹a). این هیدروکلوئید حاوی یک ساختار هترو پلی‌ساکاریدی شامل گلوکومانان، زایلان و گلوکان است (تاراناتان و آنجانیا، ۱۹۷۴). رفتار جریان غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحان (۲-۰/۱ درصد) از نوع سدوپلاستیک بوده و از میان مدل‌های رئولوژیکی مستقل از زمان نظیر مدل قانون توان^۱، کسون^۲، هینز-کسون^۳ و میزراهی-برک^۴، مدل هرشل-بالکلی^۵ مناسب‌ترین مدل توصیف جریان می‌باشد. مقایسه رفتار جریان محلول یک درصد صمغ‌های دانه ریحان، زانتان، گوار و کونجاک نشان داد که ویسکوزیته صمغ دانه ریحان در سرعت‌های برشی خیلی کم بیش‌تر از صمغ‌های یادشده می‌باشد (حسینی‌پرور و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین صمغ دانه ریحان حتی در غلظت‌های خیلی کم دارای تنش تسلیم^۶ قابل توجهی است که این مقدار با صمغ زانتان قابل مقایسه است (حسینی‌پرور و همکاران، ۲۰۰۹c).

مخلوط هیدروکلوئیدها معمولاً به منظور ایجاد خصوصیات رئولوژیکی جدید یا بهبود این خواص در فرآورده‌های غذایی به کار رفته و سبب کاهش هزینه‌های تولید می‌شود. از جمله مثال‌های بسیار

- 1- Power Law
- 2- Casson
- 3- Heinz-Casson
- 4- Mizrahi-Berk
- 5- Herschel-Bulkely
- 6- Yield Stress

معمول ترکیب سینرژیستی هیدروکلوئیدها می‌توان به افزودن صمغ لوبیای لوکاست به کاپا کاراگینان به‌منظور تولید ژل‌های نرم‌تر و شفاف‌تر و نیز افزودن صمغ لوبیای لوکاست به صمغ زانتان برای تشدید تشکیل ژل اشاره نمود. پدیده سینرژی می‌تواند در نتیجه به‌هم پیوستن یا عدم به‌هم پیوستن^۱ مولکول‌های هیدروکلوئیدی مختلف باشد (ویلیامز و فیلیپس، ۲۰۰۰).

گالاکتومانان‌ها می‌توانند با تعدادی از پلی‌ساکاریدها نظیر زانتان، آگار و کاراگینان برهم‌کنش سینرژیستی که شامل افزایش ویسکوزیته و یا تشکیل ژل است نشان دهند (شوی، ۱۹۹۵). توانایی گالاکتومانان‌ها در برهم‌کنش سینرژیستی با سایر پلیمرها معمولاً به‌وسیله کاهش مقدار گالاکتوز آن‌ها و نیز الگوی توزیع گالاکتوز بر زنجیره اصلی بهبود می‌یابد (موریس، ۱۹۹۰؛ دی و همکاران، ۱۹۸۶). این نوع از رفتار سینرژیستی میان پلی‌ساکاریدها به لحاظ تجارتي دارای ارزش است زیرا این رفتارها سبب ایجاد بافت‌های جدید مانند ساختارهای ژلی دوفازی می‌شوند (موریس، ۱۹۸۹؛ موریس، ۱۹۹۰).

بررسی منابع نشان می‌دهد که هیچ گزارش منتشر شده‌ای درباره خواص رئولوژیکی مخلوط صمغ دانه ریحان با صمغ‌های گوار و لوبیای لوکاست وجود ندارد. با توجه به رفتار شبه ژل^۲ صمغ دانه ریحان حتی در غلظت‌های کم احتمال دستیابی به مخلوط هیدروکلوئیدی صمغ دانه ریحان با صمغ‌های گوار و لوبیای لوکاست با ویسکوزیته بالاتر وجود دارد. هدف این پژوهش تعیین رفتار رئولوژیکی مخلوط صمغ دانه ریحان با صمغ‌های گوار و لوبیای لوکاست به‌عنوان دو صمغ گالاکتومانانی بوده و بررسی امکان تولید مخلوط این صمغ‌ها برای استفاده در فرآورده‌های غذایی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

صمغ دانه ریحان (BSG)^۳ در شرایط بهینه تعیین شده توسط رضوی و همکاران (۲۰۰۹) استخراج شده (دمای ۶۸ درجه سانتی‌گراد، pH ۸ و نسبت آب به دانه ۶۵ به ۱) و جداسازی ناخالصی‌های موجود در صمغ استخراجی توسط فیلتراسیون (قطر منافذ ۲۰ میکرومتر) و سانتریفوژ (۱۰۰۰۰ rpm، ۳۰ دقیقه) انجام گرفته و توسط خشک‌کن انجمادی خشک گردید (حسینی‌پرور و همکاران، ۲۰۰۹). صمغ‌های گوار (GG)^۴ و لوبیای لوکاست (LBG)^۵ از کمپانی سیگما^۶ (آمریکا) تهیه شدند. محلول‌های ۰/۴، ۰/۸،

- 1- Association or Non-Association
- 2- Weak Gel Behavior
- 3- Basil Seed gum
- 4- Guar gum
- 5- Locast bean gum
- 6- Sigma Aldrich Co., St. Louis, MO, USA

۱، ۱/۲ و ۱/۶ درصد صمغ دانه ریحان، گوار و لوبیای لوکاست با حل نمودن آن‌ها در آب دیونیزه حاوی ۰/۰۲ درصد سدیم آزاید (به‌عنوان نگهدارنده) توسط یک هم‌زن سرعت بالا به مدت ۴۵ دقیقه تهیه شده و سپس به منظور هیدراته کردن کامل در ۲۰ درجه سانتی‌گراد در طول شب قرار داده شدند. با استفاده از محلول‌های فوق محلول یک درصد از مخلوط صمغ دانه ریحان- گوار و صمغ دانه ریحان- لوبیای لوکاست با نسبت‌های ۰-۱۰۰، ۲۰-۸۰، ۴۰-۶۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۲۰ و ۱۰۰-۰ تهیه شده و به مدت ۳۰ دقیقه با هم‌زن با سرعت بالا یکنوخت شده و سپس به این محلول‌ها یک ساعت استراحت داده شد. همه نمونه‌ها در دو تکرار تهیه شدند و همه اندازه‌گیری‌های رئولوژیکی پس از یک ساعت استراحت حداقل در دو تکرار صورت گرفتند. در مورد صمغ لوبیای لوکاست، با توجه به دستورالعمل کمپانی تأمین‌کننده به منظور هیدراته نمودن کامل محلول این صمغ در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه حرارت داده شد. به منظور تعیین اثر فرآیند حرارتی بر برهم‌کنش مخلوط صمغ‌های یادشده پس از تهیه محلول یک درصد از مخلوط صمغ‌ها آن‌ها را در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه حرارت داده و سپس آزمون‌های رئولوژیکی بر روی آن‌ها صورت گرفت.

آزمون‌های رئولوژیکی جریان پایا بر روی محلول‌های فوق با استفاده از یک رئومتر پارفیزیکا^۱ (آلمان) مجهز به هندسه مخروط و صفحه^۲ (به قطر ۴۰ میلی‌متر، زاویه ۴ درجه و اندازه گپ^۳ ۴۹ میکرومتر) انجام گرفت. نمونه محلول صمغ بر روی صفحه رئومتر در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد ریخته شد و پس از تنظیم گپ به منظور جلوگیری از تبخیر نمونه یک لایه نازک از روغن سیلیکون اطراف نمونه ریخته شد. لازم به ذکر است که پیش از انجام همه آزمون‌های رئولوژیکی ۱۰ دقیقه زمان استراحت و رسیدن به دمای تعادلی به نمونه‌ها داده شد.

رفتار جریان پایای محلول مخلوط صمغ‌های دانه ریحان- گوار و دانه ریحان- لوبیای لوکاست در دامنه سرعت برشی ۰/۰۱-۱۰۰۰ لیتر بر ثانیه و ۰/۰۱-۱۰۰۰ لیتر بر ثانیه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید. به منظور تعیین پارامترهای رفتار جریان محلول مخلوط صمغ‌های یاد شده و نیز مدلینگ رفتار رقیق‌شونده با برش^۴ از مدل‌های رئولوژیکی مستقل از زمان کارو^۵ (۱۹۷۲) و کراس^۶ (۱۹۶۵) استفاده شد (به ترتیب معادله‌های ۱، ۲):

1- Paar Physica Rheometer (Physica, MCR 301, Anton Paar GmbH, Germany)

2- Cone and Plate

3- Gap Size

4- Shear Thinning

5- Carreau

6- Cross

$$\eta = \eta_{\infty} + \frac{\eta_0 - \eta_{\infty}}{(1 + (\lambda \dot{\gamma})^2)^{(1-n)/2}} \quad (1)$$

$$\eta = \eta_{\infty} + \frac{\eta_0 - \eta_{\infty}}{(1 + (\lambda \dot{\gamma})^{1-n}} \quad (2)$$

که در این رابطه‌ها، η ، ویسکوزیته در سرعت برشی معین است (ثانیه . پاسکال)، η_0 ، ویسکوزیته سرعت برشی صفر، η_{∞} ، ویسکوزیته سرعت برشی بی‌نهایت، η ، شاخص رفتار جریان (بدون بُعد) و λ ، زمان استراحت ساختاری^۱ (ثانیه) می‌باشد.

به‌منظور ارزیابی رفتار تیکسوتروپی (کاهش ویسکوزیته در اثر برش) در مخلوط صمغ‌های فوق میزان مساحت حلقه هیسترسیس^۲ که مساحت بین داده‌های تنش برشی رو به بالا^۳ و رو به پایین^۴ در منحنی رفتار جریان است اندازه‌گیری و مقایسه گردید.

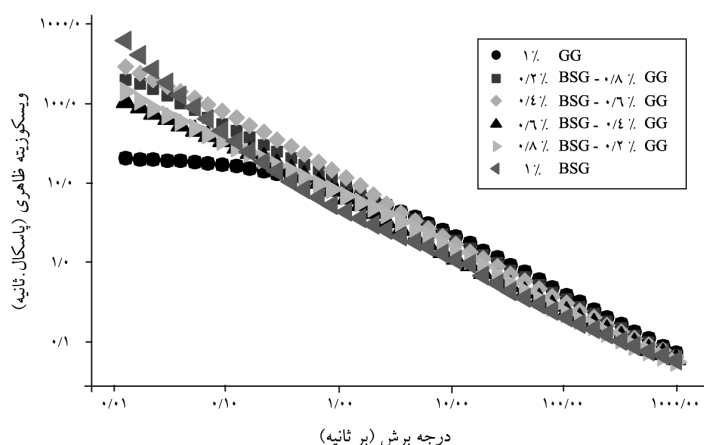
آنالیز داده‌های رفتار جریان و مدلینگ و نیز محاسبه مساحت حلقه هیسترسیس توسط نرم‌افزار رثوپلاس^۵ و ویرایش ۲/۸ انجام شد. آنالیز واریانس و نیز مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی^۶ و در سطح اطمینان ۹۵ درصد توسط نرم‌افزار مینی‌تب^۷ و ویرایش ۱۵ انجام شد. برای ترسیم گراف‌ها نیز از نرم‌افزارهای مینی‌تب و اکسل ۲۰۰۳ استفاده شد.

نتایج و بحث

برازش مدل‌های مستقل از زمان مختلف بر رفتار جریان صمغ دانه ریحان نشان داد که به‌دلیل عدم مشاهده فلات نیوتنی^۸ در رفتار جریان صمغ دانه ریحان در دو محدوده سرعت‌های برشی خیلی کم و خیلی زیاد مدل‌های کراس و کارو قابل استفاده نیستند. اما با توجه به مشاهده این رفتار در صمغ‌های گوار و لوییای لوکاست (شکل‌های ۱ و ۲) و نیز ایجاد تمایل به ایجاد فلات نیوتنی در مخلوط صمغ‌های گوار و لوییای لوکاست با صمغ دانه ریحان در این پژوهش مدل‌های کراس و کارو به‌خوبی با داده‌های آزمایشی برازش داده شدند. آلوز و همکاران (۲۰۰۱) و همچنین داسیلوا و همکاران (۱۹۹۲) مدل‌های کارو و کراس

-
- 1- Structural Relaxation Time
 - 2- Hysteresis Loop
 - 3- Upward
 - 4- Downward
 - 5- Rheoplus 2.8x, Anton Paar Germany GmbH
 - 6- Tukey's Test
 - 7- Minitab 15, Minitab Inc., USA
 - 8- Newtonian Plateau

را با موفقیت برای مطالعه رفتار جریان صمغ لوبیای لوکاست به تنهایی و در حالت مخلوط با پکتین و ژلاتین به کار بردند. همچنین اوبلونسک و همکاران (۲۰۰۳) مدل کراس را برای مطالعه رفتار جریان صمغ گوار به کار بردند. نتایج برازش داده‌های آزمایشی با مدل‌های کراس و کارو که در جدول ۱ ارایه شده است نشان داد که به‌استثنای محلول یک درصد صمغ دانه ریحان و نیز نسبت ۲۰-۸۰ مخلوط صمغ‌های دانه ریحان-لوبیای لوکاست که مدل کارو بهترین مدل انتخاب شده است رفتار جریان بقیه محلول‌ها را می‌توان با مدل کراس به خوبی برازش داد. مقادیر شاخص رفتار جریان (n) محلول‌های یک درصد صمغ‌های دانه ریحان، گوار و لوبیای لوکاست نشان داد که رفتار رقیق‌شونده با برش صمغ دانه ریحان قوی‌تر بوده و پس از آن به ترتیب صمغ‌های گوار و لوبیای لوکاست قرار دارند. داده‌های مخلوط صمغ‌های دانه ریحان-گوار در جدول ۱ نشان می‌دهد که نمونه حاوی ۴۰ درصد صمغ دانه ریحان دارای سدوپلاستیسته بیش‌تری بوده در حالی که نمونه حاوی ۲۰ درصد صمغ دانه ریحان نسبت به سایر نمونه‌ها کم‌ترین انحراف را نسبت به رفتار نیوتنی از خود نشان داده و بیش‌ترین مقدار شاخص رفتار جریان را دارد (شکل ۱).

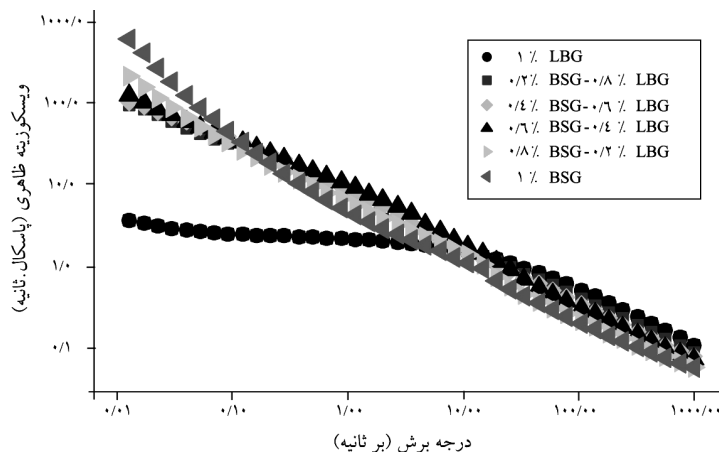


شکل ۱- منحنی رفتار جریان محلول یک درصد صمغ دانه ریحان و گوار و نیز مخلوط آن‌ها با نسبت‌های مختلف.

رفتار اخیر در نمونه مخلوط ۲۰-۸۰ صمغ‌های دانه ریحان-لوبیای لوکاست نیز دیده می‌شود به‌طوری‌که این نمونه دارای رفتار رقیق‌شونده با برش ضعیف‌تری در میان سایر مخلوط‌های صمغ‌های دانه ریحان-لوبیای لوکاست داراست. به‌استثنای نمونه اخیر، افزایش نسبت صمغ دانه ریحان در مخلوط صمغ‌های دانه ریحان-لوبیای لوکاست تغییر معنی‌داری در رفتار رقیق‌شونده با برش مخلوط ایجاد نمی‌کند (شکل ۲).

جدول ۱- پارامترهای بهترین مدل برازش یافته بر داده‌های رفتار جریان مخلوط صمغ‌های دانه ریحان- گوار و دانه ریحان- لوبیای لوکاست با نسبت‌های مختلف.

نمونه مخلوط	نسبت	پارامترهای مدل				R ²
		λ	n	η_1	η_{∞}	
صمغ دانه ریحان- گوار						
۱-۰	۱۰۰-۰	۱۳۸/۵ ± ۵/۵۰۰۱	۸۰۰/۰ ± ۱۵۰/۰	۸۵۱/۵۱ ± ۰.۳۸۷۵۶۳	۱۰۰/۰ ± ۵۶۰/۰	۰/۸۲۷
۲-۰	۷۰-۳۰	۵۷۷/۰۱ ± ۵۶۱/۵۰	۱۰۰/۰ ± ۷۸۸/۰	۳۸۲/۷۸ ± ۵۶۱/۶۵۱	۱۰۰/۰ ± ۱۰۰/۰	۰/۹۹۵
۳-۰	۴۰-۶۰	۲۷۹/۱ ± ۵۶۱/۷۸	۶۰۰/۰ ± ۷۷۸/۰	۱.۵۳/۷ ± ۵۶۰/۶۵۱	۱۰۰/۰ ± ۱۰۰/۰	۰/۹۷۶
۴-۰	۳۰-۷۰	۷۵/۳ ± ۵۶۱/۵۶	۳۸۰/۰ ± ۳۹۵/۰	۶.۵۰/۱۸ ± ۰.۹۰۶۱۶۱	۱۰۰/۰ ± ۱۰۰/۰	۰/۹۹۹
۵-۰	۲۰-۸۰	۳۵۲/۸ ± ۳۵۶/۸۱	۶۱۰/۰ ± ۷۳۰/۰	۱.۳/۵ ± ۵۷۸/۸۱	۱۰۰/۰ ± ۱۰۰/۰	۰/۹۹۸
۶-۰	۱۰-۹۰	۳۰۰/۰ ± ۵۶۱/۰	۲۰۰/۰ ± ۵۷۸/۰	۳۳/۰ ± ۵۷۸/۰	۱۰۰/۰ ± ۱۰۰/۰	۰/۹۹۹
صمغ دانه ریحان- لوبیای لوکاست						
۱-۰	۱۰۰-۰	۱۳۸/۵ ± ۵/۵۰۰۱	۸۰۰/۰ ± ۱۵۰/۰	۸۵۱/۵۱ ± ۰.۳۸۷۵۶۳	۱۰۰/۰ ± ۵۶۰/۰	۰/۸۲۷
۲-۰	۷۰-۳۰	۵۷۷/۰۱ ± ۵۶۱/۵۰	۱۰۰/۰ ± ۷۸۸/۰	۳۸۲/۷۸ ± ۵۶۱/۶۵۱	۱۰۰/۰ ± ۱۰۰/۰	۰/۹۹۵
۳-۰	۴۰-۶۰	۲۷۹/۱ ± ۵۶۱/۷۸	۶۰۰/۰ ± ۷۷۸/۰	۱.۵۳/۷ ± ۵۶۰/۶۵۱	۱۰۰/۰ ± ۱۰۰/۰	۰/۹۷۶
۴-۰	۳۰-۷۰	۷۵/۳ ± ۵۶۱/۵۶	۳۸۰/۰ ± ۳۹۵/۰	۶.۵۰/۱۸ ± ۰.۹۰۶۱۶۱	۱۰۰/۰ ± ۱۰۰/۰	۰/۹۹۹
۵-۰	۲۰-۸۰	۳۵۲/۸ ± ۳۵۶/۸۱	۶۱۰/۰ ± ۷۳۰/۰	۱.۳/۵ ± ۵۷۸/۸۱	۱۰۰/۰ ± ۱۰۰/۰	۰/۹۹۸
۶-۰	۱۰-۹۰	۳۰۰/۰ ± ۵۶۱/۰	۲۰۰/۰ ± ۵۷۸/۰	۳۳/۰ ± ۵۷۸/۰	۱۰۰/۰ ± ۱۰۰/۰	۰/۹۹۹



شکل ۲- منحنی رفتار جریان محلول یک درصد صمغ دانه ریحان و لوبیای لوکاست و نیز مخلوط آن‌ها با نسبت‌های مختلف.

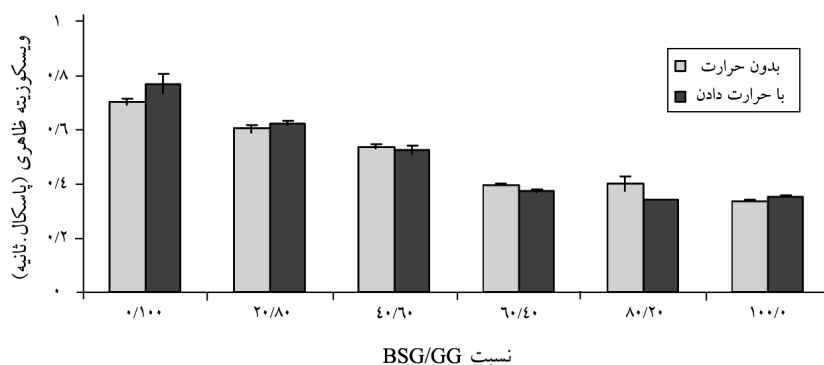
ویسکوزیته سرعت برشی صفر^۱ نشان‌دهنده توانایی محلول هیدروکلوئید در تعلیق^۲ ذرات در یک فرمولاسیون غذایی نظیر سس‌های سالاد و مایونز است (حسینی‌پور و همکاران، ۲۰۱۰). همان‌گونه که در جدول ۱ و نیز در شکل‌های ۱ و ۲ مشخص است، صمغ دانه ریحان در غلظت‌های برابر دارای ویسکوزیته سرعت برشی صفر بسیار بیشتری نسبت به صمغ‌های گوار و لوبیای لوکاست بود (حدود ۲۰۰ برابر صمغ گوار و ۱۴۰۰ برابر صمغ لوبیای لوکاست). از این‌رو مخلوط کردن صمغ دانه ریحان با صمغ‌های گوار و لوبیای لوکاست باعث افزایش ویسکوزیته سرعت برشی صفر شد. همان‌گونه که در جدول ۱ دیده می‌شود محلول ۴۰-۶۰ صمغ‌های دانه ریحان- گوار نسبت به محلول یک درصد صمغ گوار و سایر مخلوط‌های آن با صمغ دانه ریحان دارای ویسکوزیته سرعت برشی صفر بیشتری بوده (۶۸۲/۴۰۵ پاسکال.ثانیه) و نیز سدوپلاستیسیته بیشتری دارد (شاخص رفتار جریان کمتر).

همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود با افزایش درصد صمغ دانه ریحان در مخلوط صمغ‌های دانه ریحان- لوبیای لوکاست مقدار ویسکوزیته سرعت برشی صفر محلول افزایش می‌یابد. هر چند هیچ‌کدام از مخلوط‌های صمغ‌های دانه ریحان- گوار و دانه ریحان- لوبیای لوکاست قادر به ایجاد ویسکوزیته سرعت برشی صفر و نیز سدوپلاستیسیته برابر صمغ دانه ریحان نبودند. اما ویسکوزیته

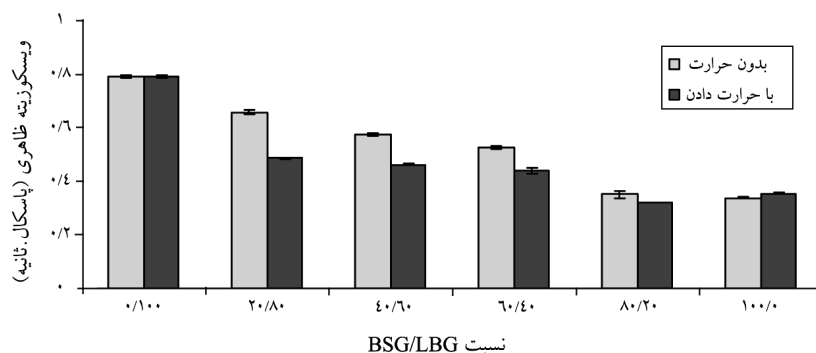
1- Zero Shear Viscosity (η_0)

2- Suspenoid Ability

سرعت برشی صفر مخلوط‌های ۲۰-۸۰ صمغ‌های دانه ریحان- گوار و دانه ریحان- لوبیای لوکاست نسبت به محلول یک درصد صمغ‌های گوار و لوبیای لوکاست به ترتیب ۶۰ تا ۱۰۰ برابر افزایش می‌یابد. این مسأله نشان می‌دهد که برای استفاده از گالاتومانان‌هایی نظیر صمغ‌های گوار و لوبیای لوکاست در برخی از فرمولاسیون‌های غذایی می‌توان از مخلوط صمغ‌های یادشده با صمغ دانه ریحان استفاده نمود. سدوپلاستیسته و ویسکوزیته سرعت برشی صفر محلول یک درصد صمغ لوبیای لوکاست در این پژوهش اندکی کمتر از مقادیر گزارش شده توسط سیتیکیجیوتین و همکاران (۲۰۰۵) بود.



شکل ۳- مقایسه مقادیر ویسکوزیته ظاهری محلول یک درصد صمغ‌های دانه ریحان و گوار و نیز مخلوط آن‌ها با نسبت‌های مختلف در سرعت برشی ۵۰ لیتر بر ثانیه در دو حالت با و بدون تیمار حرارتی.



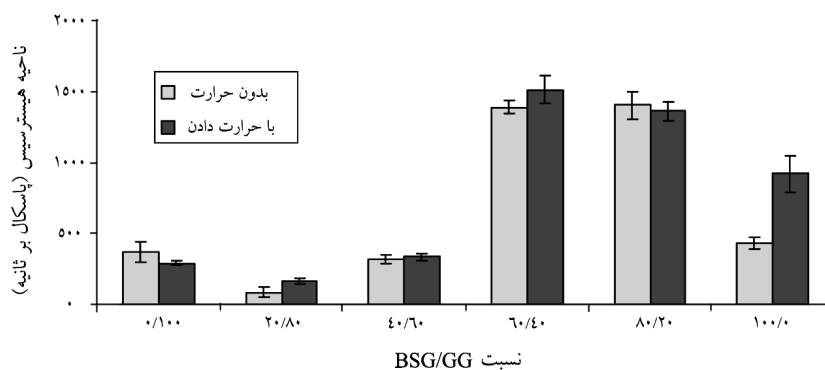
شکل ۴- مقایسه مقادیر ویسکوزیته ظاهری محلول یک درصد صمغ‌های دانه ریحان و لوبیای لوکاست و نیز مخلوط آن‌ها با نسبت‌های مختلف در سرعت برشی ۵۰ لیتر بر ثانیه در دو حالت با و بدون تیمار حرارتی.

اگرچه مقادیر ویسکوزیته سرعت برشی صفر صمغ دانه ریحان در غلظت برابر بیش تر از صمغ های گوار و لوبیای لوکاست بین بود، اما همان گونه که در شکل های ۳ و ۴ نشان داده شده ویسکوزیته ظاهری محلول یک درصد صمغ دانه ریحان در سرعت برشی ۵۰ لیتر بر ثانیه به طور معنی داری از صمغ های گوار و لوبیای لوکاست کمتر می باشد ($P < 0/05$). مخلوط کردن صمغ های گوار و لوبیای لوکاست با نسبت های مختلف صمغ دانه ریحان سبب افزایش ویسکوزیته ظاهری مخلوط حاصل گردید. اهمیت کاهش ویسکوزیته ظاهری در طراحی فرآیند به دلیل کاهش انرژی مصرفی برای پمپ کردن و هم زدن محلول ها می باشد. در شکل های ۳ و ۴ نشان داده شده که تیمار حرارتی ۸۵ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه ویسکوزیته ظاهری محلول یک درصد صمغ دانه ریحان را به طور معنی داری افزایش می دهد در حالی که این فرآیند حرارتی قادر به تغییر ویسکوزیته ظاهری صمغ های گوار و لوبیای لوکاست نیست ($P > 0/05$). اگرچه این فرآیند حرارتی در سطح احتمال ۵ درصد ویسکوزیته ظاهری مخلوط صمغ های دانه ریحان- لوبیای لوکاست را با همه نسبت ها به طور معنی داری کاهش می دهد اما این رفتار فقط در مخلوط ۶۰-۴۰ صمغ دانه ریحان- گوار مشاهده شد.

تعیین منحنی جریان مخلوط صمغ های دانه ریحان- گوار و دانه ریحان- لوبیای لوکاست در دو مرحله افزایش سرعت برشی از ۰/۰۱ تا ۱۰۰۰ لیتر بر ثانیه و کاهش سرعت برشی از ۱۰۰۰ تا ۰/۰۱ لیتر بر ثانیه نشان داد که ویسکوزیته مخلوط های یاد شده در سرعت برشی ثابت کاهش می یابد (پدیده تیکسوترپی). رضوی و کاراژیان در سال ۲۰۰۹ وجود حلقه هیستریسیس را در صمغ های ثعلب و دانه بالنگو گزارش نمودند. ویسکوزیته یک سیال تیکسوترپیک در طول زمان برش کاهش می یابد که این پدیده به دلیل شکست تصاعدی ساختار سیال بوده و نشان دهنده وجود رفتار وابسته به زمان در آن است (ابو- جدیل و محمد، ۲۰۰۴). در این پژوهش پدیده تیکسوترپی در محلول یک درصد مخلوط صمغ ها به خصوص در اثر اعمال تیمار حرارتی به وسیله مقایسه مساحت حلقه هیستریسیس مورد بررسی قرار گرفت (شکل های ۵ و ۶). نتایج آنالیز واریانس میانگین مساحت حلقه هیستریسیس در محلول یک درصد مخلوط صمغ های مختلف قبل از تیمار حرارتی نشان داد که نمونه ها در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری دارند. همان گونه که در شکل های ۵ و ۶ مشخص است مساحت حلقه هیستریسیس محلول یک درصد صمغ دانه ریحان با و بدون تیمار حرارتی به طور معنی داری بیش تر از صمغ های گوار و لوبیای لوکاست بود. همچنین تیمار حرارتی به طور معنی داری مساحت

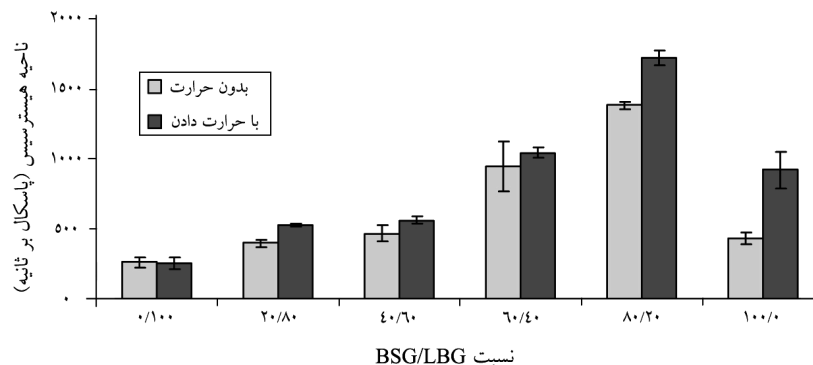
حلقه هیستریسیس محلول صمغ دانه ریحان را افزایش می‌داد در حالی که این پدیده در صمغ‌های گوار و لوبیای لوکاست مشاهده نشد. افزودن نسبت صمغ دانه ریحان در مخلوط از صفر تا ۴۰ درصد نه تنها سبب افزایش مساحت حلقه هیستریسیس نشد بلکه این مقدار را به‌طور معنی‌داری در نسبت ۲۰-۸۰ صمغ دانه ریحان-گوار کاهش داد. هر چند مخلوط‌های با نسبت ۴۰-۶۰ و ۸۰-۲۰ صمغ‌های دانه ریحان-گوار تا حد زیادی مساحت حلقه هیستریسیس را افزایش دادند (شکل ۵). این مسأله احتمالاً در اثر پدیده جداشدن فازی است^۱. ویلیامز و فیلیپس در سال ۲۰۰۰ بیان کردند که چنانچه دو هیدروکلوئید به هم نپیوندند در این صورت در غلظت‌های کم به‌نظر می‌رسد که به‌صورت یک فاز همگن تکی وجود دارند در حالی که آن‌ها در غلظت‌های بالاتر در طول زمان به‌صورت دو فاز مایع از هم جدا شده که هر یک از فازها مملو از یکی از هیدروکلوئیدها است. فرآیند جداشدن فازی مستلزم تشکیل امولسیون‌های آب در آب است که این امولسیون‌ها شامل قطرات حاوی یک هیدروکلوئید که در فاز پیوسته حاوی هیدروکلوئید دیگر معلق هستند می‌باشند. این که کدام هیدروکلوئید در فاز معلق یا در فاز پیوسته قرار می‌گیرد به غلظت‌های نسبی آن‌ها بستگی دارد (ویلیامز و فیلیپس، ۲۰۰۰).

لازم به ذکر است که تیمار حرارتی مساحت حلقه هیستریسیس هیچ‌کدام از مخلوط‌های صمغ‌های دانه ریحان-گوار را تغییر نداد.



شکل ۵- اثر فرآیند حرارتی بر مقادیر مساحت حلقه هیستریسیس محلول یک درصد صمغ‌های دانه ریحان و گوار و نیز مخلوط آن‌ها با نسبت‌های مختلف.

1- Phase Separation



شکل ۶- اثر فرآیند حرارتی بر مقادیر مساحت حلقه هیستامین محلول یک درصد صمغ‌های دانه ریحان و لوبیای لوکاست و نیز مخلوط آن‌ها با نسبت‌های مختلف.

افزایش نسبت صمغ دانه ریحان در مخلوط‌های صمغ‌های دانه ریحان- لوبیای لوکاست سبب افزایش میزان شکست ساختار مخلوط و نیز تشدید رفتار وابسته به زمان شد. این پدیده به‌خصوص در مخلوط‌های با نسبت‌های ۶۰-۴۰ و ۸۰-۲۰ صمغ‌های دانه ریحان- لوبیای لوکاست قابل مشاهده بود (شکل ۶).

نتایج این پژوهش نشان داد که خصوصیات رئولوژیکی رفتار جریان محلول یک درصد صمغ دانه ریحان در ترکیب با صمغ‌های گوار و لوبیای لوکاست را می‌توان با مدل‌های رئولوژیکی مستقل از زمان کراس و کارو به‌خوبی توصیف نمود. نتایج مدلینگ با مدل‌های یادشده نشان داد که شاخص رفتار جریان صمغ دانه ریحان به‌ترتیب بیشتر از صمغ‌های گوار و لوبیای لوکاست است که این نشان‌دهنده رفتار رقیق‌شونده با برش قوی‌تر در صمغ دانه ریحان است. همچنین افزودن صمغ دانه ریحان به محلول یک درصد صمغ‌های گوار و لوبیای لوکاست قادر به تغییر سدوپلاستیسیته مخلوط است که بسته به سدوپلاستیسیته موردنظر از نسبت‌های مختلف این مخلوط‌ها می‌توان استفاده نمود. صمغ دانه ریحان در غلظت‌های برابر دارای ویسکوزیته سرعت برشی صفر بسیار بیش‌تری نسبت به صمغ‌های گوار و لوبیای لوکاست بود، از این‌رو مخلوط کردن صمغ دانه ریحان با صمغ‌های گوار و لوبیای لوکاست باعث افزایش ویسکوزیته سرعت برشی صفر شده و امکان استفاده از مخلوط‌های یادشده در برخی فرمولاسیون‌های غذایی نظیر مایونز و سس‌های سالاد را فراهم می‌کند. افزایش نسبت

صمغ دانه ریحان در مخلوط‌های یادشده قادر به تغییر میزان شکست ساختار مخلوط هیدروکلوئیدی و نیز تغییر رفتار تیکسوتروپی مخلوط این صمغ‌ها می‌باشد.

منابع

- Alves, M.M., Garnier, C., Lefebvre, J. and Gonçalves, M.P. 2001. Microstructure and flow behaviour of liquid water-gelatin-locust bean gum systems. *Food Hydrocolloids*, 15: 117-125.
- Anjaneyalu, Y.V. and Tharanathan, R.N. 1972. Polysaccharides from the seed mucilage of *Ocimum basilicum* Linn. *Current Science*, 41: 214.
- Carreau, P.J. 1972. Rheological equations from molecular network theories. *Transactions of Society of Rheology*, 16: 99-127.
- Cross, M.M. 1965. Rheology of non-Newtonian fluids: A new flow equation for pseudo-plastic fluids, *Journal of Colloid Science*, 20: 417-437.
- Cui, W., Eskin, N.A.M., Biliaderis, C.G. and Mazzad, G. 1995. Synergistic interactions between yellow mustard polysaccharides and galactomannans. *Carbohydrate Polymers*, 21: 123-127.
- Da Silva, J.A.L., Gonçalves, M.P. and Rao, M.A. 1992. Rheological properties of high-methoxyl pectin and locust bean gum solutions in steady shear. *Journal of Food Science*, 57: 443-448.
- Dea, I.C.M., Clark, A.H. and Mc Cleary, B.V. 1986. Effect of galactose substitution patterns on the interaction properties of galactomannans. *Carbohydrate Research*, 147: 275-294.
- Dickinson, E. 2003. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems, *Food Hydrocolloids*, 17: 25-39.
- Hosseini-Parvar, S.H., Mortazavi, S.A., Razavi, S.M.A. and Matia-Merino, L. 2009a. A Novel High Zero Shear Viscosity Food Hydrocolloid from *Ocimum basilicum* L. seed, 4th International Dietary Fibre Conference 2009, July 1-3, Vienna, Austria.
- Hosseini-Parvar, S.H., Mortazavi, S.A., Razavi, S.M.A., Matia-Merino, L. and Goh, K.K.T. 2010. Steady shear flow behavior of gum extracted from basil seed (*Ocimum basilicum* L.): Effect of concentration and temperature, *Journal of Food Engineering*, 101, 236-243.
- Hosseini-Parvar, S.H., Mortazavi, S.A., Razavi, S.M.A., Matia-Merino, L., Goh, K.K.T. and Motamedzadegan, A. 2009c. A Novel Food stabilizer extracted from *Ocimum basilicum* L. seeds: a rheological study, NZIFST Conference 2009, June 23-25, Christchurch, New Zealand.
- Kayacier, A. and Dogan, M. 2006. Rheological properties of some gums-salep mixed solutions. *Journal of Food Engineering*, 72: 261-265.

- Marcotte, M., Taherian, A.R. and Ramaswamy, H.S. 2001. Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Research International*, 34: 695-704.
- Morris, E.R. 1989. Polysaccharide solution properties: origin, rheological characterization and implication for food systems. In: Millane, R.P., BeMiller, J.N., and Chandrasekaran, R. (Eds.), *Frontiers in carbohydrate research*, 1: Food applications. London: Elsevier Applied Science, Pp: 132-163.
- Morris, E.R. 1990. In *Food Gels*, Edited by Harris, P. Elsevier Applied Science, London, UK, Chapter 8, 291p.
- Oblonsek, M., Sostar-Turk, S. and Lapasin, R. 2003. Rheological studies of concentrated guar gum. *Rheologica Acta*, 42: 491-499.
- Razavi, S.M.A. and Karazhiyan, H. 2009. Flow properties and thixotropy of selected hydrocolloids: Experimental and modeling studies. *Food Hydrocolloids*, 23: 908-912.
- 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 Food Science and Technology*, 44: 1755-1762.
- Sittikijyothin, W., Torres, D. and Goncalves, M.P. 2005. Modelling the rheological behaviour of galactomannan aqueous solutions. *Carbohydrate Polymers*, 59: 339-350.
- Tharanathan, R.N. and Anjaneyalu, Y.V. 1974. Polysaccharides from the seed mucilage of *Ocimum basilicum* Linn. *Indian Journal of Chemistry*, 12: 1164-1165.
- Williams, P.A. and Phillips, G.O. 2000. Introduction to food hydrocolloids. In: *Handbook of Hydrocolloids*, Edited by Phillips, G.O., and Williams, P.A. Woodhead Publishing Limited: Cambridge, UK, Pp: 22-40.



Flow behavior of gum solutions extracted from *Ocimum basilicum* seeds mixed with Locust bean gum and Guar gum

*S.H. Hosseini-Parvar¹, S.A. Mortazavi², S.M.A. Razavi²,
L. Matia-Merino³ and A. Motamedzadegan¹

¹Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, ²Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

Flow behaviour of Basil seed gum (BSG) as a new source of food hydrocolloids in combinations with Locust bean gum (LBG) and Guar gum (GG) were studied using a controlled stress rheometer at 0.01-1000 (1/s) and 20°C. The time independent rheological models, Cross and Carreau, showed the best fitting results with flow behaviour data of all mixtures. Flow behaviour index (n) of BSG measured higher than GG and LBG, respectively. The 40-60 and 20-80 mixtures of BSG-GG had the highest and the lowest shear thinning behaviour, respectively. However, 20-80 mixture of BSG-LBG showed the lowest deviation from Newtonian behaviour among other mixtures of BSG-LBG. As BSG exhibited higher zero shear viscosity (η_0) than GG and LBG (around 200 and 1400 times of zero shear viscosity of GG and LBG, respectively), mixing BSG with GG and LBG led to increase zero shear viscosity of mixtures. Increasing the ratio of BSG in gum mixtures were caused structure breakdown and intensified time dependency (Thixotropy). In some mixtures, heat treatment at 85°C could change rheological parameters.

Keywords: Basil seed gum; Guar gum; Locust bean gum; Blending; Rheology

* Corresponding Author; Email: hosseiniparvar@yahoo.com

