

بررسی رفتار رئولوژیکی مخلوط صمغ کتیرا با صمغ های قدومه شیرازی، فارسی و خرنوب

فاطمه سادات مصطفوی^{۱*}، رسول کدخدایی^۲، بهاره عمادزاده^۳، آرش کوچکی^۴

- ۱- دانشجوی دکتری مهندسی علوم و صنایع غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی
 - ۲- دانشیار گروه نانو فناوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی
 - ۳- استادیار گروه نانو فناوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی
 - ۴- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
- (تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۱۷)

چکیده

یکی از جالب توجه ترین روش ها جهت حصول ویژگی های رئولوژیکی و بافتی جدید در مواد غذایی، به کارگیری مخلوط هیدروکلوئیدها در فرمولاسیون آن هاست. در این تحقیق، ویژگی های مخلوط صمغ کتیرا با صمغ های قدومه شیرازی، فارسی و خرنوب مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور ابتدا رفتار رئولوژیکی محلول ۰/۲٪ صمغ های کتیرا، فارسی، خرنوب و قدومه به طور جداگانه مورد آزمون قرار گرفت و سپس رفتار رئولوژیکی مخلوط صمغ کتیرا با صمغ های قدومه شیرازی، خرنوب و فارسی در نسبت های ۲۰:۸۰، ۴۰:۶۰، ۶۰:۴۰ و ۸۰:۲۰ در دامنه درجه برش 10^{-1} - ۱۶۵ - ۱/۳۲ ارزیابی شد. مدل های قانون توان و هرشل بالکلی جهت توصیف این رفتار ها مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصل نشان داد که تمامی نمونه ها رفتار سودوپلاستیک داشتند. ارزیابی محلول صمغ های جداگانه حاکی از وجود تنش تسلیم در رفتار جریان صمغ قدومه شیرازی بود و نتایج حاصل از برازش مدل قانون توان نشان داد که مقدار ضریب قوام صمغ کتیرا به طور قابل توجهی بیشتر از صمغ های خرنوب، فارسی و قدومه شیرازی بود. نتایج حاصل از بررسی گرانیروی ظاهری مخلوط صمغ ها نشان دهنده اثر سینرژیستی بین این گروه از صمغ ها بود و جایگزین کردن ۲۰٪ از صمغ کتیرا با خرنوب و قدومه شیرازی موجب افزایش قابل توجه گرانیروی این صمغ شد. بنابراین با توجه به قیمت بالای صمغ کتیرا نسبت به صمغ های مورد بررسی، می توان از این صمغ ها به عنوان منابع ارزان هیدروکلوئیدی جهت جایگزینی بخشی از صمغ کتیرا استفاده کرد.

کلید واژگان: صمغ خرنوب، رفتار رئولوژیکی، صمغ فارسی، صمغ قدومه شیرازی، صمغ کتیرا

۱- مقدمه

صمغ‌ها زیست‌بسپارهای با وزن ملکولی بالا هستند که از آن‌ها به طور گسترده به منظور افزایش قوام، تشکیل ژل، تثبیت امولسیون و کف، جلوگیری از رشد بلورهای یخ و در نهایت ایجاد ویژگی‌های حسی مطلوب در محصولات غذایی استفاده می‌شود [۱].

کتیرا یا تراگاکانت^۱، صمغی بی‌رنگ و بی‌مزه است که به صورت خود به خودی یا با ایجاد خراش از شاخه‌ها و تنه گیاه گونه *Gummifer Labillardiere* و سایر گونه‌های آن خارج می‌شود. ایران بزرگترین صادرکننده صمغ کتیرا در جهان است. تراگاکانت از نظر ساختار شیمیایی صمغی است هتروژن، با وزن مولکولی بالا و آنیونی که از دو بخش محلول (تراگاکانتین^۲) و نامحلول (باسورین^۳) در آب تشکیل شده است. ساختار شیمیایی صمغ کتیرا موجب ایجاد ویژگی‌های عملکردی ویژه‌ای در آن شده است. قابلیت ایجاد گرانیوی بالا در غلظت‌های کم، خاصیت امولسیفایری و مقاومت در برابر اسید و حرارت از جمله این ویژگی‌هاست که استفاده از آن را به عنوان پایدارکننده، امولسیفایر و قوام‌دهنده در فرمولاسیون مواد غذایی رایج کرده است. از جمله کاربردهای این صمغ در صنعت غذا می‌توان به استفاده از آن جهت بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی انواع سس سالاد، فیلینگ‌ها، کیک‌ها، نوشیدنی‌ها، ژله‌ها و دسرهای اشاره کرد [۲، ۳].

مطالعه خصوصیات رئولوژیکی صمغ‌ها، هنگامی که به منظور بهبود ویژگی‌های بافتی به کار می‌روند حائز اهمیت زیادی است. از طرف دیگر استفاده از ترکیب دو یا چند صمغ در فرمولاسیون فرآورده‌های غذایی از جمله روش‌هایی است که جهت دستیابی به ویژگی‌های رئولوژیکی جدید به کار گرفته می‌شود. این عمل علاوه بر ایجاد خصوصیات مورد نظر، معمولا موجب بهبود احساس دهانی و در نهایت دستیابی به ویژگی‌های مطلوب در محصول با هزینه کمتر می‌شود. استفاده از مخلوط صمغ دانه خرنوب و زانتان جهت بهبود ویژگی‌های ژل حاصل و یا استفاده از مخلوط صمغ گوار با صمغ‌های زانتان، آگار، کاراژینان و

نشاسته به منظور افزایش گرانیوی محصولات غذایی از نمونه‌های رایج مخلوط کردن هیدروکلوئیدها در صنعت غذا هستند [۴، ۱].

با توجه به تنوع منابع هیدروکلوئیدی تحقیقات گوناگونی با هدف مطالعه بررسی ویژگی‌های مخلوط آن‌ها انجام شده است که از این میان می‌توان به بررسی ویژگی‌های مخلوط صمغ دانه خرنوب و کاپاکاراژینان توسط مارتینز رومرو و همکاران (۲۰۱۲)، مخلوط صمغ ثعلب با گوار، زانتان و آلژینات توسط کایاسیر و همکاران (۲۰۰۶)، مخلوط کربوکسی متیل سلولز و هیدروکسی اتیل سلولز توسط ژنگ (۱۹۹۹)، مخلوط آگار و نشاسته توسط فان د و همکاران (۲۰۰۹)، مخلوط نوعی گلوکومانان و صمغ ژلان توسط شو و همکاران (۲۰۰۷)، مخلوط نوعی گلوکومانان و زانتان توسط هاردینگ و همکاران (۲۰۱۱)، مخلوط کربوکسی متیل سلولز و صمغ عربی توسط گارسیا-آبوئین و همکاران (۲۰۱۰) و مخلوط نشاسته و زانتان توسط آچایوتاکان و همکاران (۲۰۰۶) اشاره کرد [۵-۱۲].

در میان صمغ‌های بومی ایران نیز تحقیقات محدودی در این زمینه انجام شده است. به عنوان مثال محمدی مقدم و همکاران (۲۰۱۱) رفتار جریان مخلوط صمغ دانه بالنگو با زانتان، خرنوب و گوار و نیز حسینی پرور و همکاران (۱۳۸۸)، رفتار رئولوژیکی مخلوط صمغ دانه ریحان با صمغ‌های گوار و خرنوب را مورد بررسی قرار دادند [۱۴، ۱۳].

نتیجه بررسی‌های به عمل آمده نشان می‌دهد که هیچ گزارشی درباره رفتار رئولوژیکی مخلوط صمغ کتیرا با دیگر صمغ‌های بومی ایران مانند قدامه شیرازی، فارسی و خرنوب منتشر نشده است. بنابراین نظر به جایگاه ویژه ایران از نظر تولید کتیرا و نیز دارا بودن ویژگی‌های منحصر به فرد و کاربرد گسترده این صمغ در ترکیب محصولات غذایی و نیز با توجه به نقش و اهمیت بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی هیدروکلوئیدها، ضرورت بررسی خصوصیات رئولوژیکی این صمغ در ترکیب با سایر هیدروکلوئیدهای بومی مطرح می‌گردد. لذا هدف از این پژوهش بررسی رفتار جریان مخلوط آن با برخی از صمغ‌های بومی مانند قدامه شیرازی، فارسی و خرنوب است. منابع صمغ‌های نامبرده در مقیاس وسیع در ایران تولید و صادر می‌شوند و بدیهی است

1. Tragacanth
2. Tragacanthin
3. Bassorin

و جهت اختلاط کامل به مدت ۱۰ دقیقه در دمای اتاق روی همزن مغناطیسی قرار گرفت و در نهایت نسبت‌های مختلف از مخلوط صمغ‌ها با غلظت کل ۰/۲٪ تهیه شد.

۲-۳- آزمون رئولوژیکی

رفتار جریان محلول ۰/۲٪ محلول صمغ‌ها به صورت مجزا و نیز مخلوط با یکدیگر در نسبت‌های تهیه شده به وسیله گرانونویسنج چرخشی بروکفیلد (DV III ULTRA, Brookfield Engineering Laboratories, USA) در دامنه درجه برش s^{-1} ۱۶۵-۱/۳۲ به صورت رفت و برگشتی، در دمای ثابت ۲۵ درجه سانتیگراد و با استفاده از دوک SC4-18 با دو تکرار اندازه‌گیری شد.

جهت توصیف رفتار جریان نمونه‌ها مدل‌های قانون توان (معادله ۱) و هرشل بالکلی (معادله ۲) به کار برده شد.

$$\tau = k\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

$$\tau = \tau_0 + k\dot{\gamma}^n \quad (2)$$

در روابط فوق تنش برشی (بر حسب Pa.s)، درجه برش (بر حسب s^{-1})، k ضریب قوام (بر حسب $Pa.s^n$)، n شاخص رفتار جریان و تنش تسلیم می‌باشد. مدلسازی رفتار جریان با استفاده از نرم افزار مطلب نسخه R2011a و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار سیگماپلات نسخه ۱۱ انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- رفتار رئولوژیکی محلول صمغ‌ها به طور

مجزا

تغییرات تنش برشی در مقابل درجه برش محلول ۰/۲٪ صمغ‌های کنیرا، قدومه شیرازی، فارسی و خرنوب در شکل ۱ ارائه شده است. چنان که ملاحظه می‌شود می‌توان دریافت که با افزایش درجه برش، شیب منحنی‌ها کاهش می‌یابد که مویده رفتار رقیق‌شوندگی با برش محلول کلیه صمغ‌ها می‌باشد. با این حال روند تغییرات تنش برشی در درجات برش مختلف برای همه صمغ‌ها یکسان نیست. به عنوان مثال در درجات برش پایین (کمتر از s^{-1} ۳۰)، افزایش تنش برشی محلول صمغ کنیرا با آهنگ بیشتری

که افزایش زمینه‌های کاربرد آن‌ها، منافع اقتصادی بسیاری را برای کشور به همراه خواهد داشت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد اولیه

صمغ لوبیای خرنوب به روش داکیا و همکاران (۲۰۰۷) استخراج و سپس به روش لوپزداسیلوا و همکاران (۱۹۹۰) خالص‌سازی شد [۱۶، ۱۵]. استخراج و خالص‌سازی صمغ قدومه شیرازی نیز به روش کوچکی و همکاران (۲۰۱۰) در نسبت آب به دانه ۴۰:۱، دمای $36/3$ درجه سانتیگراد، $pH=4$ و زمان ۱ ساعت انجام شد [۱۷]. صمغ‌ها پس از استخراج به وسیله خشک‌کن انجمادی خشک شدند. صمغ‌های فارسی و کنیرای نواری نیز از فروشگاه‌های محلی خریداری و پس از آسیاب و الک شدن برای تهیه محلول‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

۲-۲- تهیه محلول صمغ‌ها

محلول ۰/۲٪ صمغ‌های کنیرا و قدومه شیرازی با حل کردن هر یک از آن‌ها به طور جداگانه در آب دیونیزه در دمای اتاق و قرار دادن آن‌ها به مدت ۲ ساعت بر روی همزن مغناطیسی تهیه و سپس جهت هیدراته شدن کامل به مدت یک شب در یخچال قرار داده شد. به منظور حل کردن صمغ خرنوب پودر این صمغ به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۸۵ درجه سانتیگراد و سپس ۲۴ ساعت در دمای اتاق روی همزن قرار گرفت. همچنین برای حل کردن صمغ فارسی پودر آن به مدت ۱ ساعت در دمای ۸۵ درجه سانتیگراد و سپس ۴۸ ساعت در دمای اتاق بر روی همزن قرار گرفت. سپس بخش نامحلول آن به وسیله سانتریفوژ Z36HK (Hermle - Germany) در ۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه جدا شد و بخش محلول آن جهت انجام آزمایشات مورد استفاده قرار گرفت. پس از حل شدن کامل صمغ‌ها در آب جهت ممانعت از رشد میکروبی از ۰/۰۲٪ سدیم آزاید استفاده شد.

پس از تهیه محلول اولیه هر یک از صمغ‌ها، نسبت‌های ۲۰:۸۰، ۴۰:۶۰، ۶۰:۴۰ و ۸۰:۲۰ مخلوط صمغ کنیرا با سایر صمغ‌ها با مخلوط کردن مقدار مشخصی از محلول آن‌ها با یکدیگر تهیه شد.

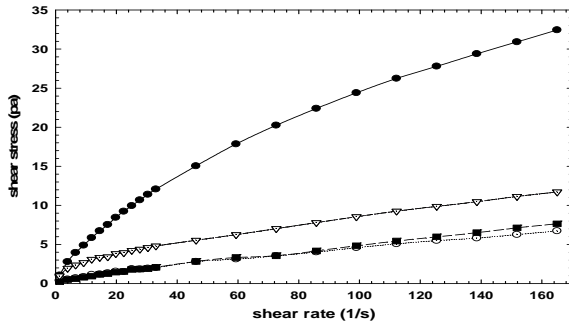


Fig 1 Flow behaviour diagrams of tragacanth (●), farsi (○), qodoumeh shirazi (△), and locust bean gum (■) solutions at 0.2% concentration

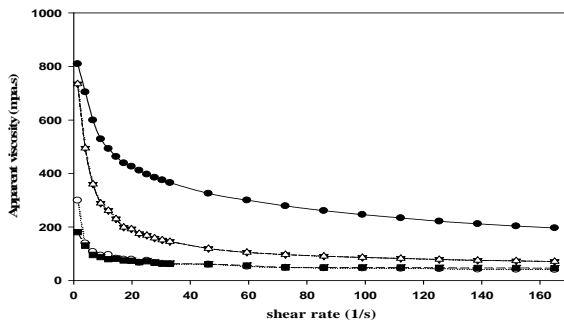


Fig 2 Apparent viscosities of tragacanth (●), farsi (○), qodoumeh shirazi (△) and locust bean gum (■) solutions as a function of shear rate at 0.2% concentration

با توجه به رفتار رقیق شونده‌ی مخلوط صمغ ها با درجه برش، مدل قانون توان برای برازش داده ها انتخاب گردید. نتایج حاصل از برازش این مدل بر داده های تنش برشی- سرعت برشی مخلوط صمغ ها در جدول ۱ نشان داده شده است. مقادیر R^2 بالا و $RMSE$ پایین نشان دهنده مناسب بودن این مدل برای توصیف رفتار رقیق شونده‌ی مخلوط صمغ های مورد بررسی است. چنان که در جدول ۱ ملاحظه می شود صمغ های کتیرا، قدومه شیرازی، فارسی و خرنوب به ترتیب بیشترین تا کمترین ضریب قوام را داشتند. این نتایج با مشاهدات قبلی که نشان دادند صمغ کتیرا و صمغ خرنوب به ترتیب بیشترین و کمترین گرانروی ظاهری را در دامنه درجه برشی مطالعه شده دارند به خوبی مطابقت دارد.

از سوی دیگر شاخص رفتار جریان در مورد مخلوط همه صمغ ها کمتر از ۱ بود. این امر مبین انحراف آن ها از رفتار نیوتنی و ماهیت شبه پلاستیک (رقیق شونده‌ی در اثر برش) آنها می باشد.

نسبت به محلول سایر صمغ افزایش یافت. از سوی دیگر در درجات برش بالا (بیشتر از 80 s^{-1})، روند تغییرات تنش برشی در مقابل درجه برش در منحنی مربوط به محلول صمغ های قدومه شیرازی، فارسی و خرنوب یکنواخت تر از محلول صمغ کتیرا بوده و تنش برشی تقریباً با شیب ثابتی افزایش پیدا کرده است. کوچکی و همکاران (۲۰۰۹)، هداراهو همکاران (۲۰۱۴)، بلاخی و همکاران (۲۰۱۰)، حسینی پرور و همکاران (۲۰۱۰) و نیز مارکوت و همکاران (۲۰۰۱) نظیر این رفتار را به ترتیب در مورد صمغ های قدومه شیرازی، خرنوب، کتیرا، ریحان و زانتان گزارش نمودند [۲۱-۱۸].

تغییرات گرانروی ظاهری محلول ۰/۲٪ صمغ های مورد بررسی در برابر درجه برش در شکل ۲ آورده شده است. همان گونه که مشاهده می شود گرانروی ظاهری کلیه نمونه ها با افزایش درجه برش کاهش نشان داد که موید رفتار شبه پلاستیک آن هاست. نتایج مربوط به محلول صمغ کتیرا حاکی از آن است که مقدار گرانروی این صمغ در درجه برش 4672 s^{-1} برابر $325/64 \text{ mpa.s}$ است. این مقدار تقریباً بیش از ۲ برابر گرانروی ظاهری محلول صمغ قدومه شیرازی و نیز بیش از ۵ برابر گرانروی ظاهری محلول صمغ های فارسی و خرنوب در درجه برشی مشابه است. محققین قابلیت صمغ کتیرا در ایجاد گرانروی بالا در مقایسه با سایر صمغ ها را ناشی از وزن ملکولی بالا و ساختار ملکولی کشیده آن دانسته اند [۲۲]. در تحقیقاتی که در گذشته انجام شده نیز نتایج مشابهی گزارش شده است. به عنوان مثال ویبینگ و همکاران (۲۰۰۰) گرانروی محلول ۱٪ صمغ کتیرا در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد را بسته به نوع و کیفیت آن از ۱۰۰ تا 100 mpa.s گزارش کردند [۲]. همچنین کینگ و همکاران (۱۹۹۳) گرانروی ظاهری محلول ۱٪ صمغ کتیرا را در درجه برش 54 s^{-1} بیشتر از صمغ خرنوب و نیز خالصی و همکاران (۱۳۹۱) گرانروی صمغ کتیرا را بیشتر از صمغ فارسی گزارش کردند [۲۴]. به طور کلی، کاهش گرانروی محلول هیدروکلوئیدها در اثر اعمال درجه برش به علت از هم گسیختگی برخی برهمکنش های بین ملکولی، تغییر شکل ملکول های انعطاف پذیر، هم راستا شدن ملکول های پلی ساکارید و برقراری آرایش منظم بین آنها در اثر اعمال برش است [۲۵].

RMSE برای مدل یاد شده به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۲۲ محاسبه شد که موید مناسب بودن آن برای توصیف تغییرات تنش برشی در برابر درجه برش محلول صمغ قدومه شیرازی است. مقادیر شاخص رفتار جریان (n) و ضریب قوام (k) برای محلول این صمغ به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۴۳ Pa.s بدست آمد. پیش از این وجود تنش تسلیم در مورد صمغ های قدومه شیرازی، ریحان، نشاسته و زانتان به ترتیب در تحقیقات حصاری نژاد (۱۳۹۱)، حسینی پرور و همکاران (۱۳۸۸)، آچاپوتاکان و همکاران (۲۰۰۶) و مارکوت و همکاران (۲۰۰۱) گزارش شده است [۱۲، ۲۰، ۲۱، ۲۶].

هر چه مقدار این شاخص کوچکتر باشد، رفتار ماده با حالت نیوتنی تفاوت بیشتری داشته و به حالت شبه پلاستیک نزدیک تر است [۲۵].

همچنین نتایج نشان می دهد که در مقایسه با صمغ کتیرا، صمغ قدومه شیرازی رقیق شونده گی بیشتر و صمغ های فارسی و خرنوب رقیق شونده گی کمتری داشتند. رقیق شونده گی بیشتر صمغ قدومه شیرازی نشان دهنده مقاومت کمتر محلول آن ها در برابر اعمال برش و سهولت جاری شدن آن است.

نتایج برازش مدل هرشل بالکلی بر داده های رفتار جریان حاکی از آن بود که در میان صمغ های مورد بررسی تنها محلول صمغ قدومه شیرازی تنش تسلیم ($0/88 \text{ Pa}$) نشان داد. ضریب تبیین و

Table 1 Power law model parameters fitted on the flow behaviour diagrams of 0.2% gum solutions

Gum type	$K \text{ (Pa.s}^n\text{)}$	n	RMSE	R^2
Tragacanth	1.30	0.63	0.39	0.99
Qodoumeh shirazi	0.77	0.52	0.16	0.99
Farsi	0.18	0.71	0.30	0.99
Locust bean gum	0.13	0.79	0.14	0.99

۳-۲- رفتار رئولوژیکی مخلوط صمغ ها

در شکل های ۴- الف، ۴- ب و ۴- ج، تغییرات گرانروی ظاهری محلول های حاصل از اختلاط نسبت های مختلف صمغ کتیرا با صمغ های قدومه شیرازی، فارسی و خرنوب در درجه برش های ۱۱/۸۸، ۴۶/۲ و 165 S^{-1} به تصویر کشیده شده است. همان گونه که مشاهده می شود، روند تغییرات گرانروی ظاهری نسبت های مختلف مخلوط هر کدام از صمغ ها در درجه برش های مختلف تقریباً یکسان است. به عنوان مثال در مخلوط صمغ های کتیرا و فارسی در تمامی درجه برش ها با جایگزین کردن ۲۰٪ از صمغ کتیرا با فارسی گرانروی ظاهری تغییر معنی داری پیدا نکرد، اما افزایش بیش از ۲۰٪ صمغ فارسی به کتیرا موجب کاهش گرانروی ظاهری محلول حاصل شد.

شکل های ۳- الف، ۳- ب و ۳- ج رفتار جریان مخلوط صمغ کتیرا را به ترتیب با صمغ های قدومه شیرازی، فارسی و خرنوب در نسبت های مختلف و در غلظت کل ۰/۲٪ را نشان می دهد. چنان که ملاحظه می شود، تمامی مخلوط ها مانند صمغ های مجزا رفتار شبه پلاستیک داشتند و گرانروی آنها با افزایش درجه برش کاهش یافت. نظیر این رفتار را محمدی مقدم و همکاران (۲۰۱۰) در مورد مخلوط صمغ دانه بالنگو با صمغ های خرنوب، زانتان و گوار، کایاسیرو همکاران (۲۰۰۶) در مورد مخلوط صمغ ثعلب با صمغ های گوار، زانتان و آلژیناتو ریاضی (۲۰۰۶) در مورد مخلوط زانتان و ثعلب گزارش نمودند [۱۳، ۱۶].

گرانروی هر صمغ به طور مجزا بیشتر شد که نشان دهنده اثر سینرژیستی بین این گروه از صمغ ها می باشد. اساسا هنگامی که دو پلی ساکارید در یک فاز آبی با هم مخلوط می شوند می توانند بر گرانروی یکدیگر اثر افزایشی یا کاهش (سینرژیستی یا آنتاگونیستی) داشته باشند.

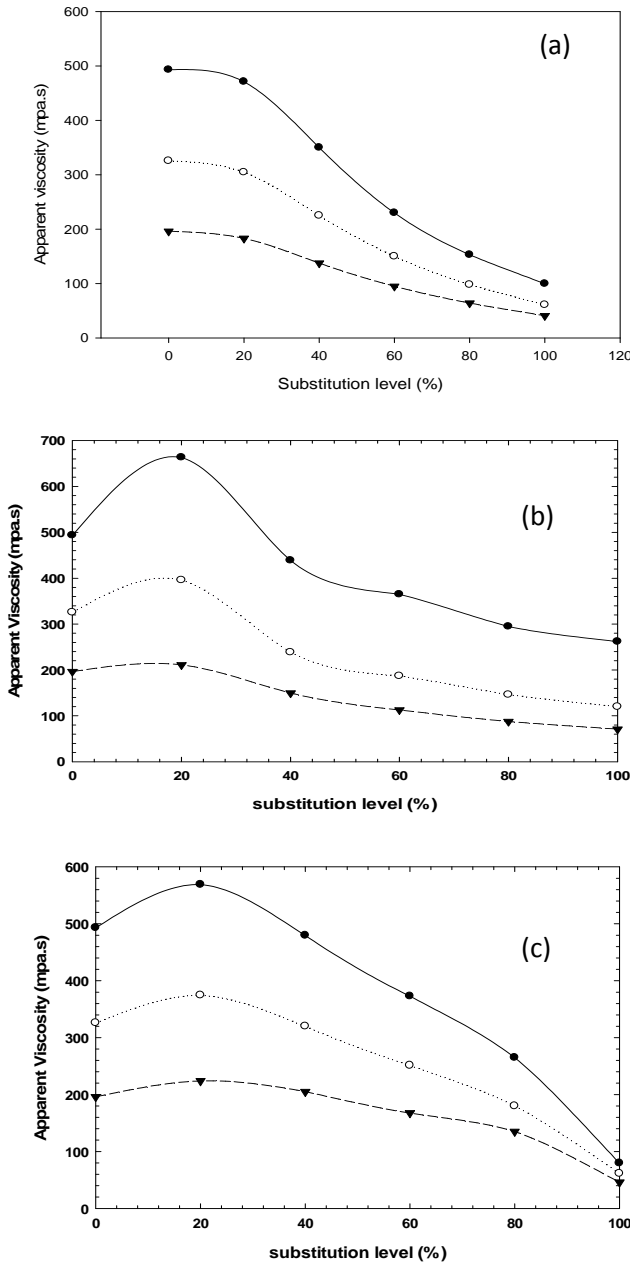


Fig 4 Apparent viscosities of tragacanth gum solutions substituted with farsii (a), qodoumeh shirazi (b) and locust bean gums (c) at shear rates of 20% (●), 40% (○) and 60% (▲)

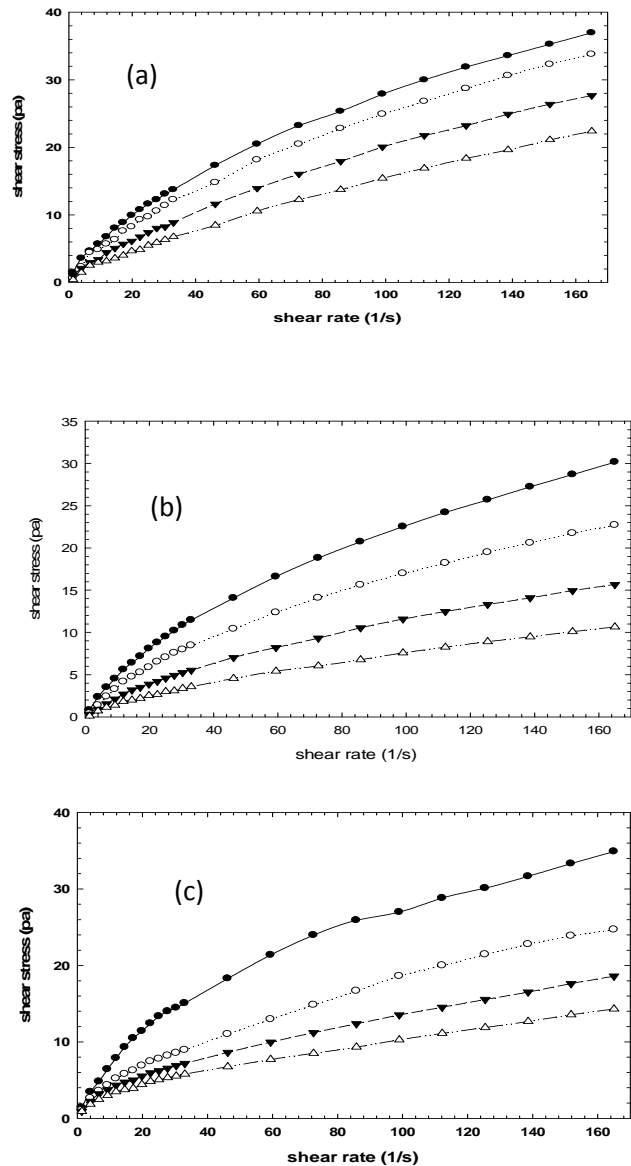


Fig 3 Flow behaviour diagrams of tragacanth gum solutions substituted with farsii (a), qodoumeh shirazi (b) and locust bean gums (c) at 20% (●), 40% (○) and 60% (▲) substitution levels

از سوی دیگر جایگزین کردن ۲۰٪ از صمغ کتیرا با خرنوب یا قدومه شیرازی موجب افزایش گرانروی ظاهری محلول شد. اما افزایش بیشتر نسبت این صمغ ها موجب کاهش گرانروی ظاهری محلول گردید. شایان ذکر است که در مورد مخلوط صمغ های کتیرا- فارسی دامنه تغییرات گرانروی ظاهری بین مقادیر گرانروی های ظاهری محلول های ۰/۲٪ کتیرا و فارسی به طور مجزا بوده است، ولی در مورد مخلوط های کتیرا- خرنوب و کتیرا- قدومه در نسبت ۲۰:۸۰ گرانروی ظاهری مخلوط از

(۲۰۱۱) نیز نتایج مشابهی را در مورد مخلوط صمغ دانه بالنگو و زانتان گزارش کردند [۱۳].

پارامترهای حاصل از برازش داده های تنش برشی در برابر سرعت برشی مخلوط هیدروکلوئیدها با مدل قانون توان و ضرایب تبیین آن ها در جدول ۲ آمده است. چنان که مشاهده می شود در دامنه سرعت برشی مورد مطالعه، این مدل با ضریب تبیین و RMSE بالا به خوبی رفتار جریان نمونه ها را توصیف می نماید.

تقریباً در تمامی نمونه ها در منحنی برگشت ضریب قوام کمتر و شاخص رفتار جریان بیشتر از منحنی رفت بود. این امر می تواند نشانه ای از تیکسوتروپ بودن رفتار جریان این سیالات باشد که به دلیل شکست مداوم برخی پیوندهای موجود بین زنجیره های هیدروکلوئیدی در اثر تنش اعمال شده رخ می دهد [۳۰]. در تحقیقات پیشین نیز چنین رفتاری در مورد صمغ قدومه شیرازی، قدومه شهری، ریحان، زانتان، بالنگو و ثعلب به ترتیب در پژوهش های کوچکی و همکاران (۲۰۰۹)، کوچکی و همکاران (۲۰۱۱)، حسینی پرور و همکاران (۲۰۱۰)، مارکوت و همکاران (۲۰۰۱) و رضوی و کاراژیان (۲۰۰۹) گزارش شده است [۳۲، ۳۱، ۲۱، ۱۸، ۱۴].

مقایسه ضریب قوام نسبت های مختلف مخلوط صمغ های کتیرا با فارسی، قدومه شیرازی و خرنوب نشان داد که بیشترین ضریب قوام در اثر جایگزین کردن ۲۰٪ از صمغ کتیرا با صمغ قدومه شیرازی به دست آمد (شکل ۵). ضریب قوام در نسبت های ۲۰:۸۰ مخلوط صمغ های کتیرا- خرنوب و کتیرا- قدومه به طور قابل توجهی از ضریب قوام هر یک از صمغ ها به طور جداگانه بیشتر بود که موید وجود سینرژیسم (هم افزایی) بین این دو صمغ در این نسبت می باشد.

اثر افزایش هنگامی مشاهده می شود که گرانروی مخلوط دو پلی ساکاریدها به دلیل ایجاد برهمکنش بین ملکولی آن ها بیشتر از مجموع گرانروی هر یک به تنهایی در غلظت مشابه باشد. مکانیسم این برهمکنش ها در مورد برخی هیدروکلوئیدها مورد بررسی و شناسایی قرار گرفته و در مورد بسیاری دیگر همچنان ناشناخته است [۲۸]. به عنوان مثال ژنگ و همکاران (۲۰۰۶) رابطه هم افزایی بین دو نوع صمغ گوار را در نسبت های مختلف گزارش کردند و علت آن را ایجاد برهمکنش های بین ملکولی دانستند [۷]. لیانگ و همکاران (۲۰۱۱) نیز به نتایج مشابهی را در مورد صمغ زانتان و نوعی گلوکومانان دست یافتند و آن را ناشی از برقراری برهمکنش های قوی بین دو هیدروکلوئید اعلام کردند [۲۹]. همچنین کایا سیر و همکاران (۲۰۰۶) مشاهده کردند که گرانروی صمغ گوار در حضور صمغ ثعلب افزایش یافت و مخلوط مذکور را به عنوان جایگزینی مناسب برای صمغ گوار جهت قوام دهی مواد غذایی معرفی کردند [۶]. مقایسه بین تغییرات گرانروی ظاهری در سه درجه برش تعیین شده مشخص کرد که در درجه برش های پایین در گرانروی ظاهری نسبت های مختلف صمغ تغییرات زیادی نشان داد. اما این تفاوت در درجه برش های بالا تا حد بسیاری کاهش یافت؛ به طوری که به عنوان مثال در نسبت های مختلف مخلوط صمغ های کتیرا و فارسی گرانروی ظاهری مخلوط در درجه برش 165S^{-1} تنها در محدوده $0.04-0.19\text{ Pa.s}$ متغیر بود. اهمیت کاهش گرانروی ظاهری در درجه برش های بالا به دلیل کاهش انرژی مصرفی برای پمپ کردن و هم زدن محلول ها می باشد [۱۴]. بنابراین در فرایندهایی با درجه برش حدود 165 S^{-1} می توان صمغ کتیرا را با هر نسبتی از صمغ فارسی جایگزین کرد بدون اینکه تغییری در گرانروی ظاهری مخلوط ایجاد شود. محمدی مقدم و همکاران

Table 2 Power law model parameters fitted on the flow behaviour diagrams of tragacanth gum solutions substituted with qodoumeh shirazi, farsi and locust bean gums at different levels

Gum type	Substitution level	Increasing shear rate				Decreasing shear rate			
		<i>n</i>	<i>K</i> (<i>pa.s</i>)	<i>R</i> ²	<i>RMSE</i>	<i>n</i>	<i>K</i> (<i>pa.s</i>)	<i>R</i> ²	<i>RMSE</i>
Qodoumeh shirazi	0	0.63	1.30	0.99	0.39	0.69	0.96	0.99	0.39
	20	0.54	2.25	0.99	0.78	0.64	1.37	0.99	0.19
	40	0.62	1.06	0.99	0.26	0.68	0.76	0.99	0.11
	60	0.57	0.99	0.99	0.20	0.68	0.59	0.99	0.09
	80	0.55	0.84	0.99	0.21	0.65	0.54	0.99	0.12
	100	0.52	0.77	0.99	0.30	0.57	0.62	0.99	0.12
farsi	0	0.63	1.30	0.99	0.39	0.69	0.96	0.99	0.39
	20	0.63	1.25	0.99	0.38	0.68	0.95	0.99	0.18
	40	0.64	0.88	0.99	0.34	0.72	0.58	0.99	0.06
	60	0.66	0.53	0.99	0.20	0.76	0.33	0.99	0.09
	80	0.69	0.32	0.99	0.11	0.78	0.21	0.99	0.14
	100	0.71	0.18	0.99	0.10	0.77	0.13	0.99	0.08
locust bean gum	0	0.63	1.30	0.99	0.39	0.69	0.96	0.99	0.39
	20	0.63	1.55	0.99	0.41	0.65	1.35	0.99	0.21
	40	0.66	1.18	0.99	0.42	0.71	0.92	0.99	0.16
	60	0.70	0.79	0.99	0.26	0.74	0.63	0.99	0.48
	80	0.74	0.50	0.99	0.20	0.80	0.36	0.99	0.15
	100	0.79	0.13	0.99	0.12	0.88	0.08	0.99	0.11

9

تغییرات شاخص رفتار جریان محلول های کلوییدی مورد بررسی در شکل ۶ نشان داده شده است. چنان که ملاحظه می شود، اضافه کردن صمغ خرنوب یا فارسی به کتیرا موجب افزایش شاخص رفتار جریان و جایگزین کردن صمغ قدومه شیرازی با کتیرا موجب کاهش این شاخص شده است. افزایش خاصیت رقیق شونده با برش صمغ کتیرا در اثر افزودن صمغ قدومه شیرازی به آن از جهات بسیاری مفید و حائز اهمیت است. تحقیقات پیشین نشان می دهد که محلول صمغ با خاصیت رقیق شونده با برش پایین در دهان احساس لزجی ایجاد می کند. لذا،

بنابراین به نظر می رسد در مواردی که هدف از افزودن صمغ به ماده غذایی افزایش قوام آن است، می توان با مخلوط کردن این دو صمغ در نسبت مشخص شده به قوام بالاتری دست یافت؛ این عمل موجب به کارگیری مقدار کمتری از صمغ در فرمولاسیون ماده غذایی شده و بنابراین صرفه جویی اقتصادی را به همراه خواهد داشت. در تحقیقاتی گذشته نیز نتایج مشابهی در مورد ترکیب صمغ های گوار و ثعلب [۶] و بتاگلوکان و زانتان [۳۳] گزارش شده است.

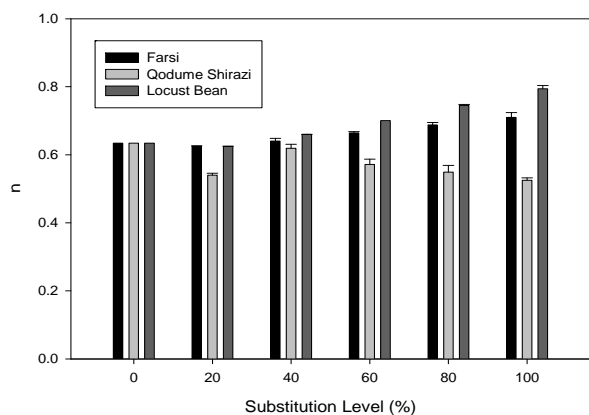


Fig 6 flow behaviour indices of tragacanth gum solutions substituted with qodoumeh shirazi, farsi and locust bean gums at different levels

اساساً وجود تنش تسلیم و رفتار شبه پلاستیک نشان دهنده قابلیت تعلیق کنندگی صمغ و توانایی آن در پیوند دادن ترکیبات موجود در ماده غذایی با یکدیگر است و از این رو برای هیدروکلوئیدهای مورد استفاده به عنوان پایدار کننده در فرمولاسیون برخی مواد غذایی نظیر سس مایونز و سس سالاد یک ویژگی مهم تلقی می شود و از دیدگاه فرایندی، مقدار تنش تسلیم مستقیماً میزان مواد باقی مانده در دیواره ظروف و لوله های انتقال مواد را کنترل می کند [۲۱، ۳۰]. قترا و همکاران (۲۰۰۹) نیز وجود تنش تسلیم را در نسبت ها مختلف مخلوط بتا گلوکان با زانتان، کاراگینان و آلژینات گزارش کردند [۳۳].

استفاده از هیدروکلوئیدهای با خاصیت رقیق شونده با برش بالا موجب ایجاد احساس دهانی مطلوب در ماده غذایی می شود. همچنین به کارگیری این ترکیبات موجب تسهیل بلع ماده غذایی و کاهش انرژی انتقال آن در خطوط تولید می گردد [۱۸]. نتایج تحقیقات طاهریان و همکاران (۲۰۰۷) نشان داده است که استفاده از هیدروکلوئیدهای با خاصیت رقیق شونده با برش بالا در ترکیب امولسیون های روغن در آب علاوه بر بهبود پایداری امولسیون، موجب سهولت جریان آن هنگام خروج از ظرف نیز می گردد [۳۴].

پارامترهای مدل هرشل بالکلی برازش شده بر داده های رفتار جریان مخلوط صمغ کتیرا و قدومه شیرازی در جدول ۳ آورده شده است. این نتایج نشان می دهد که تنها مخلوط صمغ های کتیرا- قدومه در نسبت های ۶۰:۴۰، ۴۰:۶۰، ۲۰:۸۰ و ۸۰:۲۰ دارای تنش تسلیم بود و مقدار آن با افزایش مقدار صمغ قدومه افزایش یافت.

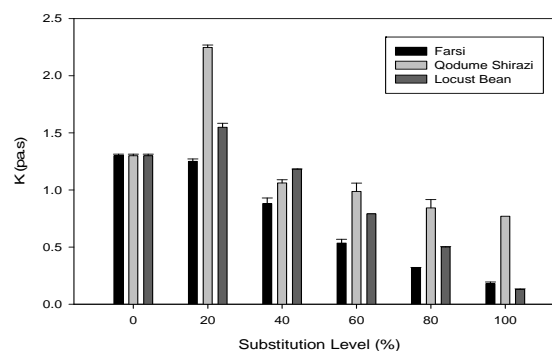


Fig 5 Consistency coefficients of tragacanth gum solutions substituted with qodoumeh shirazi, farsi and locust bean gums at different levels

Table 3 Herschel bulkley model parameters fitted on the flow behaviour diagrams of tragacanth gum solutions substituted with qodoumeh shirazi gum at different substitution levels

Substitution level	τ_0	n	k	R^2	RMSE
40	0.25	0.98	0.63	0.99	0.25
60	0.36	0.85	0.60	0.99	0.18
80	0.59	0.60	0.61	0.99	0.19
100	0.88	0.43	0.63	0.99	0.22

۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در غلظت ۰/۲٪ گرانروی صمغ های خرنوب، قدومه شیرازی و فارسی به طور قابل توجهی کمتر از صمغ کتیرا بود. اما با این وجود جایگزین کردن ۲۰٪ از صمغ کتیرا با صمغ های قدومه و خرنوب موجب افزایش قابل توجه ضریب قوام صمغ کتیرا گردید. استفاده از صمغ قدومه در این نسبت علاوه بر افزایش ضریب قوام، موجب افزایش رقیق شوندهگی کتیرا نیز شد که باعث احساس دهانی بهتر و سهولت پمپ کردن می شود. همچنین مشخص شد که در اثر جایگزین کردن ۲۰٪ از صمغ کتیرا با صمغ فارسی در گرانروی مخلوط حاصل تغییر محسوسی ایجاد نگردید. بنابراین با توجه به قیمت بالای صمغ کتیرا نسبت به صمغ های مورد بررسی، می توان از این صمغ ها به عنوان منابع ارزان هیدروکلوییدی جهت جایگزینی بخشی از صمغ کتیرا استفاده کرد. این جایگزینی در درجه برش های بالا تاثیر چندانی بر گرانروی ندارد و بنابراین به انرژی بیشتر جهت پمپ کردن آن ها نیاز نیست. در صورتی که هدف دستیابی به قوام بالاتر در محصول باشد در مقایسه این سه صمغ با یکدیگر، مخلوط صمغ کتیرا و قدومه شیرازی در نسبت ۸۰:۲۰ بالاترین قوام را ایجاد می نماید.

۵- منابع

- & Cox P., Blackwell publishing, oxford, pp: 69-70.
- [5] Martinez-Romero, D., Alburquerque, N., Valverde, J.M., Guillen, F., Castillo, S., Valero, D. & Serrano, M. 2006. Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by aloe vera treatment: A new edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 39:93-100.
- [6] Kayacier, A., & Dogan, M. 2006. Rheological properties of some gums-salep mixed solutions. *Journal of Food Engineering*, 72:261-265.
- [7] Zhang, L.M., & Zhou, J.F. 2006. Synergistic viscosity characteristics of aqueous mixed solutions of hydroxypropyl- and carboxymethylhydroxypropyl-substituted guar gums, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 279:34-39.
- [8] PhanThe, D., Debeaufort, F., Voilley, A., & Luu, D. 2009. A biopolymer interactions affect the functional properties of edible films based on agar, cassava starch and arabinoxylan blends, *Journal of Food Engineering*, 90:548-558.
- [9] Xu, X., Li, B., Kennedy, J.F., Xie, B.J. & Huang, M. 2007. Characterization of konjacglucomannan-gellan gum blend films and their suitability for release of nisin incorporated therein, *Carbohydrate Polymers*, 70:192-197.
- [10] Harding, S.E., Smith, I.H., Lawson, C.J., Gahler, R.J., & Wood, S. 2011. Studies on macromolecular interactions in ternary mixtures of konjacglucomannan, xanthan gum and sodium alginate, *Carbohydrate Polymers*, 83:329-338.
- [11] García-Abuín, A., Gómez-Díaz, D., Navaza, J.M., & Lourdes, C. 2010. Quintáns-Riveiro Viscosimetric behaviour of carboxymethyl cellulose - Arabic gum mixtures: A new step to modelling, *Carbohydrate Polymers*, 80:26-30.
- [12] Achayuthakan, P., Suphantharika, M., & Rao, M.A. 2006. Yield stress components of waxy corn starch-xanthan mixtures: Effect of xanthan concentration and different starches, *Carbohydrate Polymers*, 65:469-478.
- [13] Mohammadi Moghaddam, T., Razavi, S.M.A., & Emadzadeh, B. 2011. Rheological
- [1] Williams, P.A., & Phillips, G.O. 2000. Introduction to food hydrocolloids, in: *Handbook of hydrocolloids*, Phillips, G.O. and Williams, P.A., Woodhead Publishing, Cambridge, pp: 54-55.
- [2] Weiping, W., & Branwell, A. 2000. Tragacanth and karaya, in: *handbook of hydrocolloids*, Phillips, G.O. & Williams, P. A., Wood head publishing Ltd., Cambridge.
- [3] Balaghi, S., Mohammadifar, M.A., & Zargarán, A. 2010. Physicochemical and rheological characterization of gumtragacanth exudates from six species of Iranian astragalus, *Food Biophysics*, 5:59-71.
- [4] Foster, T., & Wolf, B. 2011. Hydrocolloid Gums - Their Role and Interactions in Foods. In: *Practical Food Rheology: An Interpretive Approach*. Iedn. Norton, I.T., Spyropoulos, F.

- function of concentration and temperature, Food Research International, 34:695-703.
- [22] Nussinovitch, A. 2000. Gums for coatings and adhesives, in: Handbook of hydrocolloids, Phillips, G.O. and Williams, P.A., Woodhead Publishing, Cambridge, pp: 54-55.
- [23] King, K., & Gray, R. 1993. The effect of gamma irradiation on guar gum, locust bean gum, gum tragacanth and gum karaya, Food Hydrocolloids, 6(6):559-569.
- [24] Khalesi, H., Alizadeh, M., & Zadbari, M.R. 2012. Physicochemical and functional properties of zedo gum (*amygdala scopariaspach*) from Fars state, Iranian Food Science and Technology Research Journal. 8(3): 317-326.
- [25] Sworn, G. 2007. Natural Thickeners, in: handbook of industrial water soluble polymers, Williams P. A., Blackwell Publishing, Oxford, pp: 22.
- [26] Hesarinejad, M. A., Evaluating viscoelastic properties of qodoumeshirazi and shahri seed gums, Msc Thesis, Ferdowsi University of Mashhad. pp: 86.
- [27] Riazi, A. 2006. A comparative study on the rheological properties of two commonly used salep in Iran with CMC, Xanthan and guar, MSc Thesis, Ferdowsi University of Mashhad. pp: 1.
- [28] Walter, R.H. Polysaccharide Dispersions Chemistry and Technology in Food, San Diego, California: Academic Press, 1998, page 101-104.
- [29] Liang, S., Li, B., Ding, Y., Xu, B.L., Chen, J., Zhu, B., Ma, M.H., Kennedy, J.F., & Knill, C.J. 2011. Comparative investigation of the molecular interactions in konjac gum/hydrocolloid blends: Concentration addition method (CAM) versus viscosity addition method (VAM), Carbohydrate Polymers, 83:1062-1067.
- [30] Barnes, H.A. 1997. Thixotropy- a review, Journal of Non Newtonian Fluid Mechanics, 70:1-33.
- [31] Koocheki, A, Taherian, A.R., & Bostan, A. 2011. Studies on the steady shear flow behavior and functional properties of *Lepidium perfoliatum* seed gum, Food Research International, in press.
- [32] Razavi, S.M.A., & Karazhiyan, H. 2009. Flow properties and thixotropy of selected interactions between *Lallemantiaroyleana* seed extract and selected food hydrocolloids, Journal of the Science of Food and Agriculture, 91:1083-1088.
- [14] Hosseini-Parvar, S.H., Mortazavi, S.A., Razavi, S.M.A., Matia-Merino, L., & Motamedzadegan, A. 2009. Flow behaviour of gum solutions extracted from *Ocimum basilicum* seeds mixed with Locust bean gum and Guar gum, Electronic Journal of Food Processing and Preservation., 1 (2): 69-84.
- [15] Dakia, P.A., Blecker, C., Robert, C., Wathelet, B. & Paquot, M. 2008. Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid or water dehulling pre-treatment, Food Hydrocolloids, 22:807-818.
- [16] Lopez da silva, J.A., & Goncalves, M.P. 1990. Studies on a purification method for locust bean gum by precipitation with isopropanol. Food Hydrocolloids, 4:277-87.
- [17] Koocheki, A., Mortazavi, S.A., Shahidi, F., Razavi, S.M.A., Kadkhodae, R., & Milani, J.M. 2010. Optimization of mucilage extraction from Qodume Shirazi seed (*Alyssum Homolocarpum*) using response surface methodology, Journal of Food Process Engineering, 33:861-882.
- [18] Koocheki, A., Mortazavi, S. A., Shahidi, F., Razavi, S. M. A., & Taherian, A. R. 2009. Rheological properties of mucilage extracted from *Alyssum homolocarpum* seed as a new source of thickening agent, Journal of Food Engineering, 91:490-496.
- [19] Haddarah, A., Bassal, A., Ismail, A., Gaiani, C., Ioannou, I., Charbonnel, C., Hamieh, T., & Ghoul, M. 2014. The structural characteristics and rheological properties of Lebaneselocust bean gum, Journal of Food Engineering, 120:204-214.
- [20] Hosseini-Parvar, S.H., Matia-Merino, L., Goh, K.K.T., Razavi, S.M.A., & 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.
- [21] Marcotte, M., Taherian Hoshahili, A.R., & Ramaswamy, H.S. 2001. Rheological properties of selected hydrocolloids as a

- [34] Taherian, A.R., Fustier, P., & Ramaswamy, H.S., 2007. Effects of added weighting agent and xanthan gum on stability and rheological properties of beverage cloud emulsions formulated using modified starch. *Journal of Food Process Engineering*, 30:204–224.
- hydrocolloids: Experimental and modeling studies, *Food Hydrocolloids*, 23:908–912.
- [33] Ghotra, B.S., Vasanthan, T., & Temelli, F. 2009. Rheological properties of aqueous blends of high purity barley β -glucan with high purity commercial food gums, *Food Chemistry*, 117:417–425.

Evaluating Rheological Behaviour of Tragacanth Gum Blend with Qodoumeshirazi, Farsi and Locust Bean Gums

Mostafavi, F. ^{1*}, Kadkhodai, R. ², Emadzadeh, F. ³, Koochaki, A. ⁴

1. PhD student, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad

2. Associate Professor, Research Institute of Food Science and Technology, Department of Food Nanotechnology

3. Assistant Professor, Research Institute of Food Science and Technology, Department of Food Nanotechnology

4. Associate professor, Food science and Technology Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(Received: 93/8/5 Accepted: 94/8/17)

One of the most interesting methods to develop novel rheological and textural properties in food formulation is the application of hydrocolloid blends. In this study, properties of tragacanth gum blends with qodoumeshirazi, farsi and locust bean gums were evaluated. By this purpose initially the rheological behavior of tragacanth, qodoumeshirazi, farsi and locust bean gums were evaluated individually at 0.2% total gum concentration. Further, the rheological behavior of tragacanth gum blend with the mentioned gums in ratios of 20:80, 40:60, 60:40 and 80:20 were investigated between 1.32 and 165 s⁻¹ shear rates. Power law and Herschel-Bulkley models were used to described their rheological behavior. These results showed that all solutions had pseudoplastic behavior. Among the individual gum solutions, qodoumeshirazi showed by itself yield stress. The consistency coefficient of tragacanth gum was considerably higher than other gums. The apparent viscosities of blend solutions of tragacanth- locust bean gums and tragacanth-farsi gums in the ratio of 20:80 were higher than individual gums, which revealed the existence of synergism between these groups of gums. Since, farsi, qodoumeshirazi and locust bean gums are cheaper than tragacanth gum; it is possible to have cheaper formulation by using them instead of tragacanth gum.

Keywords: Locust bean gum, Rheological behavior, Persian gum, Qodoumeshirazi seed gum, Tragacanth gum

* Corresponding Author E-Mail Address: fmostafavi2005@yahoo.com