

بررسی برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی صمغ آلوچه

رومینا محبی*^۱، رضا فرهمندفر^۲، رضا اسماعیل زاده کناری^۳، جعفر محمدزاده میلانی^۳،
جمشید فرمانی^۲

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- ۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- ۳- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

نویسنده مسئول*! : rominamohebi93@gmail.com

چکیده

تاکنون مطالعه‌ای بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی صمغ درخت آلوچه صورت نگرفته است. بنابراین در این پژوهش هدف ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی صمغ درخت آلوچه است. آزمون‌های FTIR، پتانسیل زتا، خصوصیات رئولوژیکی بررسی شد. آنالیز ساختاری توسط آزمون FTIR نشان داد که زنجیره اصلی تشکیل‌دهنده صمغ آلوچه از واحدهای آرابینوگالاکتان تشکیل شده است. پتانسیل زتای محلول صمغ در گستره pH ۲-۱۰، مقادیر منفی را نشان داد. نتایج ارزیابی ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ آلوچه، خصوصیات رقیق‌شوندگی آن با افزایش تنش برشی نشان داد. آزمون بررسی خصوصیات رئولوژیکی نشان داد که محلول صمغ رفتار ویسکوزتری نسبت به تمایل واضح به تشکیل ژل دارد ($G' > G''$).

کلمات کلیدی: آلوچه، صمغ، خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی

مقدمه و هدف

هیدروکلوئیدها مجموعه‌ای از بیوپلیمرهای با وزن مولکولی بالا هستند به عنوان قوام دهنده، ژل کننده، امولسیفایر، پایدارکننده و جایگزین چربی در فرمولاسیون محصولات غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند (رضوی ۲۰۱۹). علاوه بر صنایع غذایی، هیدروکلوئیدهای محلول در آب کاربردهای بسیاری در کشاورزی، شیمی، داروسازی، تولید لوازم آرایشی، نساجی و صنعت چسب دارند.

هیدروکلوئیدها نقش مهمی بر اصلاح رئولوژی مواد غذایی سیستم‌های غذایی دارند. رئولوژی سیستم‌های غذایی شامل دو ویژگی پایه و اساسی مواد غذایی از جمله رفتار جریان (گرانروی) و ویژگی‌های مکانیکی جامدات (بافت) می‌باشد. اصلاح بافت و یا ویسکوزیته‌ی سیستم‌های غذایی به اصلاح ویژگی‌های حسی آنها کمک می‌کند. بنابراین، هیدروکلوئیدها، به عنوان افزودنی‌های غذایی مهم برای اهداف ویژه مورد استفاده قرار می‌گیرند (براون و روزن، ۲۰۱۰؛ ویلیام و فیلیپس، ۲۰۰۰). خواص رئولوژیکی دینامیکی را می‌توان همراه با خواص رئولوژیکی برشی پایا برای درک بیشتر ساختار نمونه استفاده کرد. آنالیز برش نوسانی با دامنه کم نوعی آزمایش رئولوژیکی دینامیکی است که در آن تنش و کرنش به طور هماهنگ با زمان در ناحیه ویسکوالاستیک خطی (LVR) تغییر می‌کند. گسترش پایگاه اطلاعات بر روی خواص ویسکوالاستیک محلول‌های صمغ‌ها/ دیسپرسیون برای تهیه کنندگان غذا جهت تنظیم پارامترهای فرآیند نظارت سازگاری و همچنین پیش بینی پایداری سیستم‌های مواد غذایی مایع و ویژگی‌های بافتی نهایی غذاهای فرمولاسیون شده بسیار مهم است. بنابراین، رئولوژی دینامیکی یکی از روش‌هایی است که به طور گسترده برای ارزیابی رفتار ویسکوالاستیک محلول‌های پلی‌ساکاریدی/ دیسپرسیون ژل استفاده می‌شود. خواص ویسکوالاستیک صمغ‌های مختلف مانند زانتان، گوار، پکتین صمغ دانه ریحان و صمغ کنیرا توسط سایر محققان گزارش شده است. به دلیل تفاوت در ساختار صمغ و شرایط بیرونی در سیستم غذایی مایع، رفتار رئولوژیکی از یک محلول صمغ به محلول دیگر کاملاً متفاوت است (حصاری نژاد و همکاران، ۲۰۱۴).

صمغ‌ها گروه بزرگی از پلی‌ساکاریدها با وزن مولکولی بالا، که آب دوست یا آبگریز هستند. به وسیله توانایی‌شان در تولید محصولاتی با ویسکوزیته بالا در غلظت‌های پایین مشخص می‌شوند (رعنا و همکاران، ۲۰۱۱). نقش‌های متفاوتی از قبیل غلیظ کنندگی، پایدار کنندگی، ژل دهندگی و اصلاح کنندگی بافت را در غذاها ایفا می‌کنند. هیدروکلوئیدهای با منشأ گیاهی نسبت به جانوری دارای مقبولیت بیشتری در میان عموم مردم هستند (رزوم خواه و همکاران، ۲۰۱۶). گونه‌های متفاوت Prunus از خانواده گل سرخیان می‌باشند که در اثر پدیده‌ای به نام گاموسیس، صمغ از تنه و شاخه‌های درختان این خانواده تراوش می‌شود. پدیده‌ی گاموسیس در اثر عواملی از جمله تنش کم‌آبی، آسیب‌های مکانیکی و بیماری درخت اتفاق می‌افتد. این صمغ‌ها به طور عمده از آرابینوز و گالاکتوز تشکیل شده است (مالسا و تلونگی و همکاران، ۲۰۱۴).

آلو یکی از متنوع‌ترین میوه‌های موجود در بین هسته داران می‌باشد که در محدوده وسیعی از شرایط آب و هوایی و جغرافیایی رشد می‌کند. آلوچه با نام‌های علمی Prunus cerasifera و cherry plum از نظر گیاه‌شناسی متعلق به خانواده گل سرخیان است (صالحی و همکاران، ۲۰۲۰). صمغ درخت آلوچه یک مایع ویسکوز با شفافیت بالا یا با رنگ زرد روشن است. اخیراً گزارش شده است که صمغ درختی به عنوان انکپسوله کردن و امولسیفایر در صنایع غذایی و به عنوان جایگزینی بالقوه برای جایگزینی صمغ عربی در بسیاری از زمینه‌ها استفاده می‌شود (شی و همکاران، ۲۰۱۹).

مطالعات متعددی در زمینه انواع ویژگی‌های فیریکوشیمیایی و رئولوژیکی صمغ‌های به دست آمده از منابع مختلف انجام شده است. صمغ‌های مترشحه از تنه‌ی درختان کمتر مورد بررسی علمی قرار گرفته است. بررسی منابع مختلف نشان می‌دهد که تاکنون

¹ Prunus Cerasifera tree gum (PG)

مطالعه‌ای در زمینه‌ی بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی صمغ درخت آلوچه از صمغ‌های بومی ایران صورت نگرفته‌است. بنابراین هدف اصلی این پژوهش مطالعه برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی صمغ درخت آلوچه است.

تئوری و پیشینه تحقیق

حصاری نژاد و همکاران (۲۰۱۴) خواص رئولوژیکی دینامیکی صمغ قدومه شهری^۲ در ناحیه ویسکوالاستیک خطی به عنوان تابعی از غلظت (۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ وزنی/حجمی) و دما (۸۵-۵ درجه سانتیگراد) و میزان گرمایش و سرمایش (دقیقه/درجه سانتیگراد ۱۰ و ۱/۵) بررسی شدند. به وضوح مشاهده شد که پراکندگی صمغ ویسکوالاستیک در دمای معین را نشان می‌دهد. در همه‌ی غلظت‌ها و دماها مدول ذخیره (G') همیشه بیشتر از مدول افت (G'') بود. طیف‌های مکانیکی صمغ قدومه شهری به عنوان ژل ضعیف براساس روبش فرکانس (η^*) و نتایج $\tan \delta$ طبقه بندی شدند. علاوه بر این، مشخص شد که تغییرات G' و G'' به غلظت، دما و نرخ گرمایش و سرمایش بستگی دارد. در دمای ۵ درجه سانتیگراد مدول ذخیره سازی با افزایش غلظت صمغ افزایش می‌یابد. نتایج مشابهی برای دمای ۸۵ درجه سانتیگراد به جز نمونه حاوی ۲/۵٪ صمغ قدومه شهری مشاهده شد. محلول‌های صمغ در دمای ۸۵ درجه سانتیگراد مدول ذخیره سازی بیشتری در مقایسه با دمای ۵ درجه سانتیگراد داشت. اثر دما بر صمغ قدومه شهری در طول گرمایش و سرمایش بررسی شد. در غلظت‌های بالاتر صمغ (۳-۲/۵٪) با افزایش دما از ۵۰ به ۸۵ درجه سانتیگراد مدول ذخیره سازی شروع به افزایش کرد. درحالیکه، برای غلظت‌های پایین صمغ قدومه شهر، افزایش دما تأثیر قابل توجهی بر مدول ذخیره سازی نداشت. مدول ذخیره سازی ۳٪ صمغ قدومه شهری به شدت با سرمایش نمونه‌ها از ۸۵ به ۵ درجه سانتیگراد افزایش یافت.

فتحی و همکاران (۲۰۱۶) خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی صمغ آلبالو^۳ مورد بررسی قرار دادند. طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) حضور گروه‌های کربوکسیل، هیدروکسیل و متیل و پیوندهای گلیکوزیدی را نشان داد. اندازه گیری برش حالت پایا به عنوان تابعی از غلظت (۴ و ۶ و ۸) نشان داد که محلول‌های صمغ آلبالو غیرنیوتنی سودوپلاستیک یا نرم شونده با برش دارند. آزمایش‌های برشی نوسانی نشان داد که در تمام غلظت‌های آزمایش شده (۴ و ۶ و ۸) مدول افت (G'') نسبت به دماها مدول ذخیره (G') بیشتر است. که نشان می‌دهد که محلول‌ها رفتار ویسکوزیته بیشتری از تمایل واضح به تشکیل ژل را نشان می‌دهد.

رضایی و همکاران (۲۰۱۶) ترکیبات هر دو بخش محلول و نامحلول صمغ ترشحات از تنه و شاخه‌های صمغ درخت بادام شیرین^۴ مورد بررسی قرار دادند. طیف FTIR، تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های عملکردی کل صمغ و بخش‌های آن نشان نداد. علاوه بر این، تنها شدت پیوند OH و باند آمیدی در بخش نامحلول بیشتر از بخش محلول و کل صمغ بود.

² *Lepidium perfoliatum* (LPSG)

³ *prunus cerasus* gum

⁴ (*Amygdalus communis* L.)

سئو و همکاران (۲۰۱۸) خواص فیزیکیوشیمیایی، مولکولی، رئولوژیکی بخش محلول صمغ دانه‌ای مرو^۵ مورد بررسی قرار دادند صمغ دانه‌ای مرو عمدتاً شامل گالاکتورونیک اسید و زایلوز است. تجزیه و تحلیل FTIR و NMR حضور پلی ساکاریدهای پکتیکی را در محلول صمغ دانه‌ای مرو تایید کردند. علاوه بر این، وزن مولکولی محلول صمغ دانه‌ای مرو نسبت به استاندارد پکتین بیشتر بود. در مقایسه با محلول‌های استاندارد پکتین، محلول‌های محلول صمغ دانه‌ای مرو رفتار شل شونده با برش و مقادیر بالاتر ویسکوزیته ظاهری، شاخص قوام را در اندازه‌گیری‌های برش ثابت نشان دادند. با توجه به نتایج آزمون روبش فرکانس مدول‌های دینامیکی (G' و G'') برای محلول‌های محلول صمغ دانه‌ای مرو با افزایش فرکانس و غلظت افزایش یافت. با توجه به نتایج آزمون روبش فرکانس و دما، مدول دینامیکی محلول‌های محلول صمغ دانه‌ای مرو بیشتر از محلول‌های استاندارد پکتین بود.

شی و همکاران (۲۰۱۹) بیان داشتند که، کوپلیمر پیوندی متخلخل با پایداری حرارتی و ظرفیت تورم خوب از پلی ساکارید صمغ محلول در آب آلوچه و آکریل آمید (AM) ایجاد شده است. ترکیبات مونوساکارید و ساختار صمغ درخت آلوچه توسط یک سیستم کروماتوگرافی تبادل آنیونی با کارایی بالا (HPAEC) شناسایی شد و ¹H-NMR و ¹³C-NMR و کوپلیمر PG-AM بدست آمده به ترتیب توسط طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، آنالیز ترموگراویمتری (TGA) و گرمایش روبشی (DSC) مشخص شد. نتایج نشان داد که پلی ساکارید محلول در آب به دست آمده از صمغ درخت آلوچه عمدتاً از ال-آرابینوز (۳۹/۷۸٪) و دی گالاکتوز (۴۰/۵۹٪) با مقدار کمی زایلوز، مانوز و اسیدهای اورونیک است.

مواد و روش‌ها

تهیه مواد اولیه

در این پژوهش صمغ ترش‌چی از تنه درخت درخت آلوچه واقع در مرکز آموزش فنی و حرفه‌ای تخصصی کشاورزی و شیلات زیبادشت کرج در فصل زمستان تهیه شد. در ادامه، به جهت خالص‌سازی آزمایشات از اتانول استفاده شد.

خالص‌سازی صمغ آلوچه

صمغ جدا شده از تنه درخت ابتدا در دمای ۵۰ درجه‌ی سلسیوس خشک شد و سپس با استفاده از یک آسیاب آزمایشگاهی پودر شد. پودر حاصل از الک با مش ۴۰ گذرانده شد. در مرحله بعد محلول صمغ و آب مقطر (۲٪ وزنی/حجمی) و به مدت یک شب در یخچال قرار گرفت تا هیدراتاسیون به صورت کامل صورت گیرد. محلول حاصل در ۴۰۰۰g و به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. به سوپرناتانت حاصل شده اتانول ۹۶ درجه اضافه شد (یک برابر حجم اولیه) و به مدت ۲ ساعت در یخچال قرار گرفت. در نهایت مخلوط

⁵soluble-sage seed gum

مورد نظر مجدا در 400g و به مدت 15 دقیقه سانتریفیوژ شد و بخش رسوب یافته در آن 50 درجه ی سلسیوس و به مدت 24 ساعت خشک شد (قرقانی و همکاران، 2021).

طیف – بینی فرسرخ تبدیل فوریه (FT-IR)

اندازه گیری FT-IR با استفاده از دستگاه (اسپکترومتر FT-IR، مدل IFS-48، ساخت کشور آلمان، (کمپانی Brucker) در محدوده طول موج $4000-400\text{ cm}^{-1}$ انجام شد (فتحی و همکاران، 2016).

آزمایش پتانسیل زتا

با استفاده از دستگاه (زتا سائزر، شرکت مالورن، انگلستان) در دمای 25 درجه و در pH 2، 4، 6، 8، 10 انجام شدند. برای انجام آزمون زتا محلول های 0/1 درصد صمغ از محلول درست شدند و به مدت 24 ساعت روی استیرر هم زده شد (حصاری نژاد و همکاران، 2015).

خصوصیات رئولوژیکی صمغ آلوچه

آزمون های رئولوژی

برای انجام آزمون های رئولوژی از دستگاه رئومتر چرخشی (مدل Physica MCR-301، ساخت شرکت Anton Paar، اتریش)، دارای سیرکولاتور حرارتی جهت کنترل دما و از پروب صفحه موازی استفاده شد. برای تنظیم دما سیستم peltier plate با حساسیت ± 0.1 مجهز به سیرکولاتور آب (Viscotherm VT2) استفاده شد. آنالیز داده ها با استفاده از نرم افزار متلب (R2014b (8,4,0,150421) انجام شد. محلول صمغ درست شده و روی استیرر به مدت 2 ساعت هم زده شده و به مدت 24 ساعت در دمای اتاق نگه داری شدند. سپس به مدت 24 ساعت در یخچال در دمای 4 درجه سانتی گراد قرار داده شدند (حصاری نژاد و همکاران، 2014).

آزمون های دینامیک نوسانی

آزمون روبش کرنش در محدوده کرنش 0/01 تا 10٪، دما 24 درجه سانتیگراد برای تعیین ناحیه ویسکوالاستیک خطی انجام شد (حصاری نژاد و همکاران، 2014).

آزمون رویش فرکانس در کرنش ثابت (۱ پاسکال) در محدوده فرکانس (۰/۰۱ تا ۱۰۰ هرتز) و در دمای ثابت ۲۴ درجه سانتیگراد برای ارزیابی ویژگی‌های ویسکوالاستیک انجام خواهد شد (حصاری نژاد و همکاران، ۲۰۱۴).

اندازه گیری ویسکوزیته ظاهری

جهت اندازه گیری ویسکوزیته ظاهری از ویسکومتر قابل برنامه ریزی ویسکومتر بروکفیلد امریکا مدل DV3TLV در دمای ۲۵±۲ درجه سانتیگراد با استفاده از اسپیندل SC4-18 استفاده شد برای آزمون حدود محلول ۱٪ صمغ درون مخزن انتقال یافت و تجزیه و تحلیل در محدوده سرعت برشی $1-70 \text{ S}^{-1}$ انجام شد. رفتار محلول با مدل قانون توان برازش داده شد:

$$\eta = KY^n \quad (1)$$

که به ترتیب η ، γ ، k و n ویسکوزیته ظاهری (mPa.s)، ضریب قوام (mPa.s^n)، سرعت برشی (s^{-1}) و شاخص رفتار جریان است (قرقانی و همکاران، ۲۰۲۱).

تجزیه و تحلیل آماری

نتایج آزمایشات براساس طرح آماری (one-way) و با استفاده از تجزیه و تحلیل واریانس مورد مقایسه قرار گرفت. داده‌ها به صورت انحراف استاندارد \pm میانگین بیان شده و اختلاف میان میانگین با استفاده از آزمون توکی در سطح اطمینان ۵٪ با استفاده از نرم افزار Minitab نسخه ۱۸ مقایسه شد. تمامی آزمایشات در سه تکرار انجام شد.

نتایج و بحث

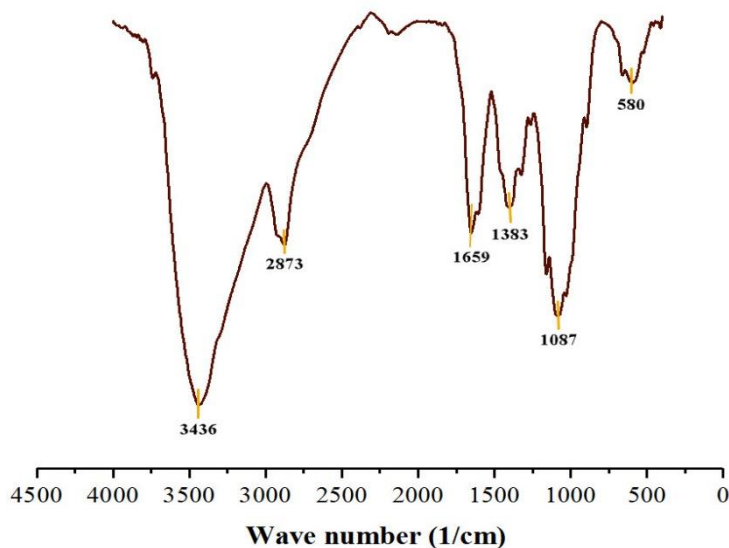
طیف‌سنجی تبدیل فوریه (FTIR)

به منظور بررسی تعیین ساختار تشکیل دهنده پلیمرها از آنالیز FTIR استفاده می‌شود. طیف FTIR نمونه‌ی صمغ درخت آلوچه در شکل ۱ آورده شده‌است. با توجه به شکل، تعدادی پیک در طول موج‌های ۳۴۳۶، ۲۸۷۳، ۱۶۵۹، ۱۳۸۳، و 1087 cm^{-1} مشاهده می‌شود که به ترتیب مربوط به ارتعاشات کششی گروه‌های هیدروکسیل (OH)، کشش کربن-هیدروژن (C-H)، ارتعاشات کششی نامتقارن

⁶ Fourier-transform infrared spectroscopy

و متقارن گروه‌های کربوکسیل، و ارتعاشات کششی پیوند میانی پیوندهای گلیکوزیدی کربن-اکسیژن (C-O) می‌باشد (دائمی و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج بدست آمده مطابق با نتایج حاصل از آنالیز FTIR صمغ درخت آلوچه در مطالعات پیشین توسط شی و همکاران (۲۰۱۹) می‌باشد.

با توجه به نتایج به دست آمده و مطابقت دادن آن با نتایج به دست آمده از مطالعات پیشین، می‌توان نتیجه گرفت که صمغ درخت آلوچه تشکیل شده از گروه‌های عاملی -OH، کربوکسیلات (COO⁻) به فرم اسیدی یا استری و پیوندهای گلیکوزیدی C-O-C میان مونومرهای سازنده‌ی آن (زنجیره آرابینوگالاکتان) می‌باشد (شی و همکاران، ۲۰۱۹).



شکل ۱- طیف FTIR صمغ درخت آلوچه

پتانسیل زتا

پتانسیل زتا یک خاصیت فیزیکی است که توسط هر ذره‌ای در سطح سوسپانسیون‌ها، ماکرومولکول یا ماده نشان داده می‌شود که می‌توان از این پارامتر برای بهینه‌سازی فرمولاسیون سوسپانسیون‌ها، امولسیون‌ها و محلول‌های پروتئینی، پیش‌بینی برهمکنش با سطوح و بهینه‌سازی تشکیل فیلم‌ها و پوشش‌ها استفاده کرد (کلوستون و پارتری، ۲۰۱۱). مقادیر عددی پتانسیل زتا از عوامل مؤثر بر پایداری امولسیون‌ها و محلول‌های کلوییدی می‌باشد. به طوری افزایش مقدار عددی این پارامتر (مثبت یا منفی) سبب

⁷ Arabinogalactan

⁸ Zeta potential

افزایش پایداری محلول می‌شود، در حالی که در امولسیون‌ها و محلول‌های کلوییدی با پتانسیل زتای پایین تمایل به پدیده‌های تجمع^۹ و الحاق قطرات و در نتیجه جدا شدن فاز بیشتر است. بنابراین، می‌توان گفت که در سیستم‌های کلوییدی و امولسیون‌های با پتانسیل زتای بالا، برآیند نیروهای دافعه بین ذرات بیشتر از جاذبه است و در نهایت تجمع و بهم چسبیدن ذرات در این سیستم‌ها کمتر بوده و در نهایت پایداری سیستم افزایش می‌یابد (مک کلمنت، ۲۰۰۴).

نتایج پتانسیل زتای محلول صمغ آلوچه در pHهای مختلف در جدول ۱ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود پتانسیل زتای محلول در تمامی pHها منفی می‌باشد. منفی بودن مقادیر عددی پتانسیل زتای صمغ آلوچه احتمالاً ناشی از حضور گروه‌های کربوکسیل (COOH) موجود در ساختار صمغ می‌باشد (قرقانی و همکاران، ۲۰۲۱). همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش pH و قلیایی شدن محیط واکنش، مقادیر عددی این پارامتر به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است ($p < 0/05$)، که این تغییرات پتانسیل زتا در برابر افزایش pH ناشی از دیونیزه شدن گروه‌های کربوکسیل (تبدیل COOH به COO⁻) موجود در ساختار صمغ آلوچه و در نتیجه افزایش میزان بار منفی ناشی از تشکیل یون‌های کربوکسیلات (COO⁻) می‌باشد (باربوسا و همکاران، ۲۰۱۹).

همانطور که بیان شد، عامل اصلی منفی بودن بار صمغ، وجود گروه‌های با بار منفی نظیر کربوکسیل در ساختار صمغ می‌باشد. نتایج آنالیز ساختاری گونه‌های صمغ هم‌خانواده با صمغ آلوچه نظیر صمغ زردآلو (فتحی و همکاران، ۲۰۱۵)، صمغ گیلاس ترش (فتحی و همکاران، ۲۰۱۶)، صمغ زرد (خالصی و همکاران، ۲۰۱۲) و صمغ بادام (مفهودهی و همکاران، ۲۰۱۲) نشان‌دهنده حضور گروه‌های کربوکسیل در ساختار صمغ است. بنابراین قابل تصور است که پتانسیل زتای این صمغ‌ها منفی می‌باشد.

جدول ۱- پتانسیل زتای محلول صمغ آلوچه در pHهای مختلف

pH	۲	۴	۶	۸	۱۰
پتانسیل زتا (mV)	-۱/۹۴ ± ۰/۵۷ ^A	-۲/۷۵ ± ۰/۶۵ ^B	-۱۷/۷۴ ± ۰/۵۵ ^C	-۱۹/۷۷ ± ۰/۵۱ ^D	-۲۶/۱۵ ± ۰/۴۷ ^E

⁹ Flocculation

¹ Coalescence

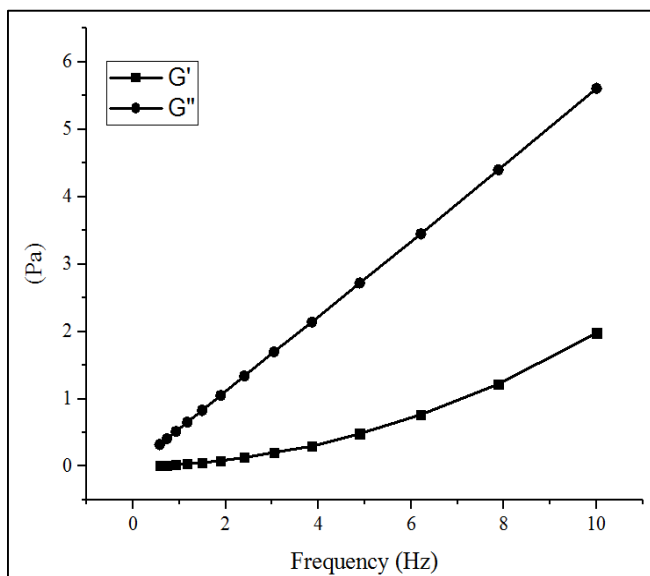
خصوصیات رئولوژیکی صمغ آلوچه

آنالیز جاروب فرکانس^۱ در کرنش ثابت، که در ناحیه ویسکو الاستیک خطی بود، انجام شد. عموماً هدف از انجام این آزمون شناسایی و طبقه‌بندی محلول‌ها می‌باشد. به‌طور کلی چهار طبقه‌بندی در رابطه با انواع محلول‌ها وجود دارد که عبارتند از: محلول‌های رقیق، محلول‌های غلیظ، ژل ضعیف و ژل قوی (استف، ۱۹۹۶).

در آزمون جاروب فرکانس عموماً دو پارامتر مدول ذخیره^۲ (G') و مدول اتلاف^۳ (G'') مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مدول ذخیره تعیین‌کننده خصوصیات جامد بودن ترکیباتی نظیر پلیمر می‌باشد. به‌عنوان مثال، هنگامی که مدول ذخیره دارای مقادیر عددی بالایی باشد، پلیمر جامدتر و شکستن آن دشوارتر می‌شود. در صنعت غذا از این پارامتر عمدتاً به‌منظور تعیین خواص ژل شدن هیدروکلوئیدها استفاده می‌شود. عکس این توضیحات در رابطه با مدول اتلاف صادق می‌باشد. در حالتی که مدول اتلاف دارای مقادیر بیشتر از مدول ذخیره باشد، پلیمر بیش از حد مایع است و بیشتر خصوصیات ویسکو الاستیک نشان می‌دهد (کیمیل و آزاد، ۲۰۲۱).

طیف مکانیکی صمغ آلوچه به‌عنوان تابعی از غلظت صمغ در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد در شکل ۲ نشان داده شده‌است. در محدوده فرکانس آزمایش شده، مدول اتلاف دارای مقادیر بیشتری نسبت به مدول ذخیره می‌باشد، به این معنی که محلول صمغ آلوچه با وجود نشان دادن خواص ژلی، ویژگی‌های ویسکو الاستیک معمولی را نشان می‌دهد و محلول صمغ آلوچه رفتار ویسکوزتری نسبت به تمایل واضح به تشکیل ژل داشت. علاوه بر این مطابق منحنی، می‌توان عنوان کرد که شیب منحنی مدول اتلاف بیشتر از مدول ذخیره بوده و با افزایش فرکانس خصوصیات ویسکو الاستیکی بیشتر در صمغ آلوچه نمود پیدا می‌کند. این رفتار با رفتارهای رئولوژیکی گزارش شده برای برخی پلی‌ساکاریدهای نوع آرابینوگالاکتان مطابقت دارد. به‌عنوان مثال، صمغ عربی در غلظت ۶٪ وزنی-حجمی در هنگام استراحت و عدم کرنش، رفتار مایع داشت، که ممکن است به‌دلیل تجمع پروتئین‌های آرابینوگالاکتان باشد (سانچز و همکاران، ۲۰۰۲). طیف مکانیکی سایر صمغ‌های آرابینوگالاکتان مانند صمغ کهور و صمغ آفاقیا رفتار مایع ماندنی را حتی در آماده‌سازی‌های بسیار غلیظ نشان دادند (مونوز و همکاران، ۲۰۰۷). از سوی دیگر، برخی صمغ‌های ترش‌حی از گروه آرابینوگالاکتان وجود دارد که در مقایسه با محلول صمغ آلوچه، رفتار کاملاً متفاوتی دارند. به‌عنوان مثال، صمغ کارایا در غلظت‌های بیشتر از ۲٪ (وزنی-حجمی) رفتاری ژل‌مانند دارد (دبریتو و همکاران، ۲۰۰۵). نتایج مشابهی توسط حصاری‌نژاد و همکاران (۲۰۱۴)، یو و همکاران (۲۰۰۵)، و فتحی و همکاران (۲۰۱۶) که به‌ترتیب به ارزیابی صمغ‌های دانه قدومه شیرازی، گالاکتومانان-نشاسته برنج، و گیلاس ترش پرداخته بودند، ثبت شد.

¹ Frequency sweep	1
¹ Storage modulus	2
¹ Loss modulus	3



شکل ۲- خصوصیات رئولوژیکی (مدول ذخیره و اتلاف) صمغ آلوچه

ویسکوزیته ظاهری

نتایج ویسکوزیته ظاهری و پارامترهای رئولوژیکی صمغ آلوچه در شکل ۳ و جدول ۲ آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود، با افزایش تنش برشی، ویسکوزیته محلول صمغ کاهش می یابد که نشان دهنده رفتار شبه پلاستیک (رقیق شونده با برش)^۱ محلول صمغ آلوچه است. این رفتار برای محلول های پلی ساکارید به دلیل ساختار پلیمری و وزن مولکولی بالا قابل انتظار است (همکاران، ۲۰۰۳). با افزایش تنش برشی، زنجیره های مولکول های پلیمری که به طور تصادفی قرار گرفته اند، در جهت جریان هم تراز شده و برهمکنش کمتری با زنجیره های پلیمری مجاور ایجاد می کنند، در نتیجه محلول هایی با ویسکوزیته کمتر تولید می کنند (کوچکی و همکاران، ۲۰۱۳؛ نهدی، ۲۰۱۱).

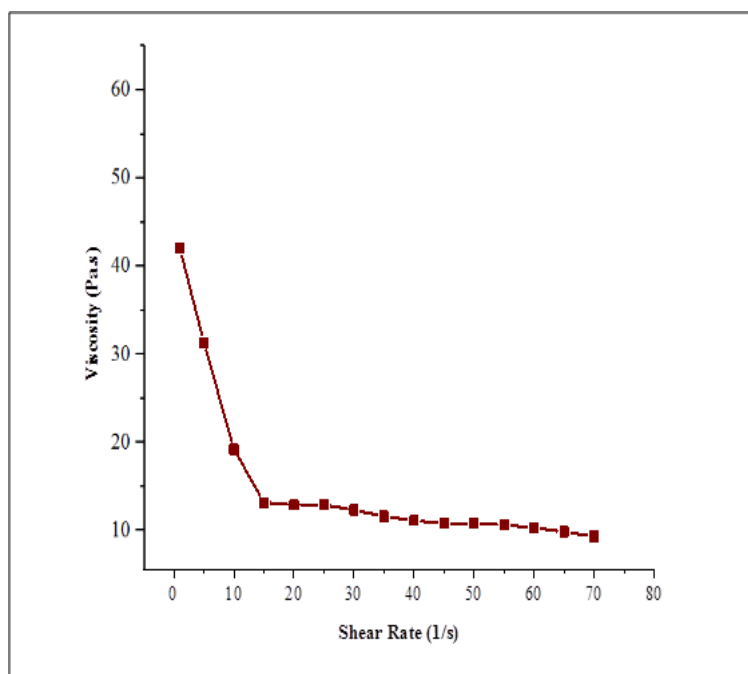
علاوه بر این، مقادیر ضریب قوام^۵ (k) و شاخص رفتار جریان^۶ (n) مربوط به منحنی ویسکوزیته در برابر تنش برشی با برآزش داده های پروفایل تنش برشی بر اساس مدل قانون توان^۷ تعیین شد. با توجه به جدول، مقادیر شاخص رفتار جریان کمتر از ۱ بوده که این نشان دهنده رفتار سودوپلاستیک و غیر نیوتنی صمغ آلوچه می باشد. طبق گفته ماسکان و گوگوش (۲۰۰۰)، سیالات با

¹ Shear thinning	4
¹ Consistency coefficient	5
¹ Flow behaviour indexes	6
¹ Power law	7

رفتار رقیق‌شونده با برش برای پمپاژ آسان مناسب هستند. از این رو، محلول صمغ آلوچه را می‌توان به عنوان یک سیال مناسب برای تمام فرآیندهای نیازمند به پمپاژ سیال معرفی کرد. شایان ذکر است که نتایج مشابهی در پژوهش‌های صورت گرفته توسط فتحی و همکاران (۲۰۱۵) و فتحی و همکاران (۲۰۱۶) که به ترتیب به بررسی صمغ‌های زردآلو و گیلاس ترش پرداخته بودند، به دست آمد.

جدول ۲- پارامترهای رئولوژیکی محلول صمغ آلوچه

K	n	R ²
۴۰/۴۳ ± ۰/۱	۰/۵۸ ± ۰/۰۳	۰/۸۹



شکل ۳- منحنی ویسکوزیته صمغ آلوچه

نتیجه گیری

در این پژوهش، خصوصیات فیزیکوشیمیایی، ساختاری و رئولوژیکی صمغ درخت آلوچه برای اولین بار مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آنالیز ساختاری توسط آزمون FTIR نشان داد که زنجیره اصلی تشکیل‌دهنده صمغ آلوچه از واحدهای آرابینوگالاکتان

تشکیل شده است. نتایج آزمون پتانسیل زتا در گستره pHهای ۲-۱۰، مقادیر منفی را نشان داد، و با افزایش pH مقادیر عددی این پارامتر افزایش یافت. همچنین نتایج ارزیابی ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ، خصوصیات رقیق شوندگی (رفتار سودوپلاستیک) آن با افزایش تنش برشی نشان داد. علاوه بر این، نتایج آزمون بررسی خصوصیات رئولوژیکی محلول صمغ حاکی از آن بود که مدول اتلاف دارای مقادیر بیشتری نسبت به مدول ذخیره داشت، به این معنی که محلول صمغ آلوچه در عوض بروز خواص ژلی، ویژگیهای ویسکوالاستیک معمولی را نشان داده و رفتار ویسکوزتری نسبت به تمایل واضح به تشکیل ژل داشت. در واقع با در نظر گرفتن خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی و بومی بودن صمغ آلوچه، پیشنهاد می شود تا کاربردهای بالقوه آن در فرآورده های مختلف غذایی مورد بررسی قرار بگیرد.

منابع

1. Barbosa JA, Abdelsadig MS, Conway BR, Merchant HA. Using zeta potential to study the ionisation behaviour of polymers employed in modified-release dosage forms and estimating their pKa. *International journal of pharmaceutics: X*. 2019 Dec 1;1:100024.
2. Braun DD, Rosen MR. *Rheology modifiers handbook: practical use and application*. Elsevier; 2013 Oct 22.
3. Clogston JD, Patri AK. Zeta potential measurement. In *Characterization of nanoparticles intended for drug delivery 2011* (pp. 63-70). Humana Press.
4. Daemi H, Barikani M. Synthesis and characterization of calcium alginate nanoparticles, sodium homopolymannuronate salt and its calcium nanoparticles. *Scientia Iranica*. 2012 Dec 1;19(6):2023-8.
5. De Brito AC, Sierakowski MR, Reicher F, Feitosa JP, De Paula RC. Dynamic rheological study of *Sterculia striata* and karaya polysaccharides in aqueous solution. *Food Hydrocolloids*. 2005 Sep 1;19(5):861-7.
6. Fathi M, Mohebbi M, Koochehi A. Some physico-chemical properties of *Prunus armeniaca* L. gum exudates. *International journal of biological macromolecules*. 2016 Jan 1;82:744-50.
7. Fathi M, Mohebbi M, Koochehi A. Introducing *Prunus cerasus* gum exudates: Chemical structure, molecular weight, and rheological properties. *Food Hydrocolloids*. 2016 Dec 1;61:946-55.
8. Gharaghani M, Mousavi M, Khodaiyan F, Yarmand MS, Omar-Aziz M, Hosseini SS. Octenyl succinylation of kefiran: Preparation, characterization and functional properties. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021 Jan 1;166:1197-209.
9. Hesarinejad MA, Koochehi A, Razavi SM. Dynamic rheological properties of *Lepidium perfoliatum* seed gum: Effect of concentration, temperature and heating/cooling rate. *Food Hydrocolloids*. 2014 Mar 1;35:583-9.

10. Hesarinejad MA, Razavi SM, Koocheki A. *Alyssum homolocarpum* seed gum: Dilute solution and some physicochemical properties. *International journal of biological macromolecules*. 2015 Nov 1;81:418-26.
11. Khalesi H, Alizadeh M, Bari MR. *Physicochemical and functional properties of Zedo gum exudating from Amygdalus scoparia spach trees in the Miyan Jangal area of the Fars Province*. *Iranian Food Science & Technology Research Journal*. 2012;8(3).
12. Kimbell G, Azad MA. *3D printing: Bioinspired materials for drug delivery*. In *Bioinspired and Biomimetic Materials for Drug Delivery 2021 Jan 1* (pp. 295-318). Woodhead Publishing.
13. Koocheki A, Taherian AR, Bostan A. *Studies on the steady shear flow behavior and functional properties of Lepidium perfoliatum seed gum*. *Food Research International*. 2013 Jan 1;50(1):446-56.
14. Mahfoudhi N, Chouaibi M, Donsi F, Ferrari G, Hamdi S. *Chemical composition and functional properties of gum exudates from the trunk of the almond tree (Prunus dulcis)*. *Food Science and Technology International*. 2012 Jun;18(3):241-50.
15. Malsawmtluangi C, Thanzami K, Lahlmawia H, Selvan V, Palanisamy S, Kandasamy R, Pachauau L. *Physicochemical characteristics and antioxidant activity of Prunus cerasoides D. Don gum exudates*. *International journal of biological macromolecules*. 2014 Aug 1;69:192-9.
16. Maskan M, Göğüş F. *Effect of sugar on the rheological properties of sunflower oil–water emulsions*. *Journal of food engineering*. 2000 Feb 1;43(3):173-7.
17. McClements DJ. *Food emulsions: principles, practices, and techniques*. CRC press; 2004 Dec 16.
18. Munoz J, Rincon F, Alfaro MC, Zapata I, de la Fuente J, Beltrán O, de Pinto GL. *Rheological properties and surface tension of Acacia tortuosa gum exudate aqueous dispersions*. *Carbohydrate Polymers*. 2007 Sep 20;70(2):198-205.
19. Nehdi I. *Characteristics, chemical composition and utilisation of Albizia julibrissin seed oil*. *Industrial crops and products*. 2011 Jan 1;33(1):30-4.
20. Rana V, Rai P, Tiwary AK, Singh RS, Kennedy JF, Knill CJ. *Modified gums: Approaches and applications in drug delivery*. *Carbohydrate polymers*. 2011 Jan 30;83(3):1031-47.
21. Rao YM, Suresh AK, Suraishkumar GK. *Free radical aspects of Xanthomonas campestris cultivation with liquid phase oxygen supply strategy*. *Process Biochemistry*. 2003 Apr 30;38(9):1301-10.
22. Razmkhah S, Mohammadifar MA, Razavi SM, Ale MT. *Purification of cress seed (Lepidium sativum) gum: Physicochemical characterization and functional properties*. *Carbohydrate Polymers*. 2016 May 5;141:166-74.
23. Razavi SM, editor. *Emerging natural hydrocolloids: rheology and functions*. John Wiley & Sons; 2019 Apr 29.

24. Rezaei A, Nasirpour A, Tavanai H. Fractionation and some physicochemical properties of almond gum (*Amygdalus communis* L.) exudates. *Food Hydrocolloids*. 2016 Oct 1;60:461-9.
25. Salehi A, Ghiasi P, Torabi Mazrae Maleki A, Hemmat A. Investigation on physical and mechanical behavior of Cherry Plum fruit and analysis of its physical properties using ANN and regression models. *Journal of food science and technology (Iran)*. 2020 Apr 10;17(99):15-29.
26. Sanchez C, Renard D, Robert P, Schmitt C, Lefebvre J. Structure and rheological properties of acacia gum dispersions. *Food hydrocolloids*. 2002 May 1;16(3):257-67.
27. Seo SY, Kang YR, Lee YK, Lee JH, Chang YH. Physicochemical, molecular, emulsifying and rheological characterizations of sage (*Salvia splendens*) seed gum. *International journal of biological macromolecules*. 2018 Aug 1;115:1174-82.
28. Shi Z, Jia C, Wang D, Deng J, Xu G, Wu C, Dong M, Guo Z. Synthesis and characterization of porous tree gum grafted copolymer derived from *Prunus cerasifera* gum polysaccharide. *International journal of biological macromolecules*. 2019 Jul 15;133:964-70.
29. Steffe JF. *Rheological methods in food process engineering*. Freeman press; 1996.
30. Williams, P. A. and Phillips, G. O. Introduction to food hydrocolloids. In G. O. Phillips, & P. A. Williams (Eds.), *Handbook of hydrocolloids*. New York, NY: CRC Press (2000)., pp:1-19.
31. Yoo D, Kim C, Yoo B. Steady and dynamic shear rheology of rice starch-galactomannan mixtures. *Starch-Stärke*. 2005 Jul;57(7):310-8.

Evaluation of some physicochemical and rheological properties of cherry plum gum (*Prunus cerasifera*)

Romina Mohebbi^{1*}, Reza Farahmand Far², Reza Esmailzadeh Kenari³, Jafar Mohammadzadeh Milani³, Jamshid Farmani²

¹M.Sc.Student, Department of Food Science and Technology, Sari Agriculture Sciences and Natural University, Iran

²Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agriculture Sciences and Natural University, Iran

³Professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agriculture Sciences and Natural University, Iran

^{1*}Corresponding Author's E-mail: rominamohebi93@gmail.com

Abstract

So far, there has been no study on the physicochemical and rheological properties of cherry plum gum (*Prunus cerasifera*). Therefore, the aim of this research is to evaluate the physicochemical and rheological properties of *Prunus Cerasifera* tree gum. FTIR tests, zeta potential, rheological properties were investigated. Structural analysis by FTIR test showed that the main chain of cherry plum gum consists of arabinogalactan units. Zeta potential of gum solution showed negative values in the pH range of 2-10. The results of the evaluation of the apparent viscosity of the cherry plum gum solution showed its dilution characteristics with increasing shear stress. The rheological properties test showed that the gum solution has a viscous behavior with a clear tendency to form a gel ($G'' > G'$).

Key words: Cherry plum (*Prunus cerasifera*); gum ; physicochemical properties; rheological