



تأثیر غلظت و دما بر رئولوژی رفتار جریان و دینامیک نوسانی صمغ ترشخی خالص شده آلوچه

اکبر زارعین^۱، رضا فرهمندفر^{۲*}، جعفر محمدزاده میلانی^۲، حنا نه منیری^۳، زینب غضنفرزاده^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲- استاد تمام، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

* مسئول مکاتبات: گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۳- کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۴- پژوهشگر فوق دکتری، گروه علوم زیستی، دانشگاه صنعتی چالمرز، گونبرگ، سوئد

اطلاعات مقاله

چکیده

خانواده گل سرخیان (Rosaceae) شامل گونه‌های متعددی همچون هلو، زردآلو، آلو، گیلاس و بادام است که به دلیل تولید صمغ‌های طبیعی شناخته می‌شوند. گونه *Prunus cerasifera* (آلوچه یکی از تولیدکنندگان این صمغ‌ها بوده و صمغ آن مایع، شفاف، مخاط‌گونه و به رنگ زرد روشن است. در پژوهش حاضر، ویژگی‌های رئولوژیکی صمغ خام و خالص‌سازی‌شده آلوچه در غلظت‌های ۴، ۶ و ۸ درصد و در دماهای ۵ و ۸۵ درجه سانتی‌گراد بررسی شد. آزمون‌های رفتار جریان، روبش کرنش و روبش فرکانس برای ارزیابی رفتار مکانیکی صمغ انجام گرفت. همچنین طیف‌سنجی FTIR با هدف شناسایی گروه‌های عاملی و تعیین ساختار شیمیایی نمونه‌ها، پتانسیل زتا و ارزیابی رنگی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تمامی نمونه‌ها رفتار سودوپلاستیک (رقیق‌شونده با برش) دارند. از میان مدل‌های رئولوژیکی به‌کاررفته، مدل‌های هرشل-بالکلی، پاورلا و سیسکو بهترین برازش را داشته و دارای بالاترین ضریب تعیین (R^2) بودند. افزایش غلظت از ۴ به ۸ درصد موجب افزایش مدول‌های ذخیره و افت شد، در حالی که افزایش دما کاهش این مدول‌ها را به دنبال داشت. یافته‌های FTIR نیز وجود گروه‌های عاملی مرتبط با کربوهیدرات‌ها و ساختار اصلی صمغ آلوچه را در ناحیه اثرانگشتی تأیید کرد.

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۲

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۰۹/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۱

کلمات کلیدی:

صمغ،

رئولوژی،

FTIR.

پتانسیل زتا،

ارزیابی رنگی

DOI:10.48311/fsct.2026.116750.82879

* مسئول مکاتبات:

r.farahmandfar@sanru.ac.ir;

re1farahmand@gmail.com

۱- مقدمه

از منظر فنی و صنعتی، صمغ‌ها به عنوان پلی‌ساکاریدهای گیاهی یا میکروبی شناخته می‌شوند که می‌توانند به‌طور مؤثری در آب سرد و گرم حل شوند و محلول‌های ویسکوزی ایجاد کنند. صمغ‌های گیاهی معمولاً از پوست، شاخه‌ها و میوه‌های درختان به‌عنوان یک مکانیزم حفاظتی در برابر آسیب‌های مکانیکی و میکروبی ترشح می‌شوند. این صمغ‌های ترش‌ی یکی از قدیمی‌ترین و سنتی‌ترین عوامل غلیظ‌کننده و تثبیت‌کننده‌ای هستند که در صنعت غذا استفاده می‌شوند. با وجود رقابت از سوی صمغ‌های سنتزی و دیگر صمغ‌های طبیعی، بسیاری از این صمغ‌های ترش‌ی همچنان به دلیل ویژگی‌ها و کارکردهای منحصر به فردشان در مقادیر قابل توجهی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱].

تولید صمغ می‌تواند با ایجاد برش‌هایی در پوست درختان یا جدا کردن آن از درختان و درختچه‌ها افزایش یابد. صمغ‌های گیاهی کربوهیدرات‌های هیدروفیلیک با وزن مولکولی بالا هستند که معمولاً از واحدهای مونو ساکارید تشکیل شده‌اند که توسط پیوندهای گلیکوزیدی به یکدیگر متصل شده‌اند. این صمغ‌ها دارای ویژگی‌های متعددی از جمله غیرسمی بودن، عدم تحریک، هزینه پایین، پایداری، تجزیه‌پذیری زیستی، سازگاری زیستی و دوست‌دار محیط زیست هستند که آن‌ها را نسبت به پلیمرهای سنتزی و نیمه‌سنتزی ترجیح می‌دهد. صمغ‌های ترش‌ی برای دهه‌ها در زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند و با وجود ظهور صمغ‌های جایگزین با خواص مشابه، همچنان اهمیت خود را حفظ کرده‌اند [۱].

خانواده‌های مختلفی مانند *Leguminosae*، *Sterculiaceae*، *Anacardiaceae*، *Combretaceae*، *Meliaceae* و *Rutaceae* صمغ تولید می‌کنند. تولید مقادیر زیاد صمغ توسط درختان میوه هسته‌دار متعلق به خانواده *Rosaceae* است که توجه گیاه‌شناسان و باغداران را برای بیش از ۱۰۰ سال به خود جلب کرده است. گیاهان خانواده *Rosaceae* که بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند شامل گیلاس‌ها، آلوها، زردآلوه‌ها، هلوه‌ها و بادام‌ها هستند. بر اساس

حلالیت در آب، صمغ‌ها به سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند: صمغ‌های محلول، نامحلول یا نیمه‌حل. صمغ‌های نیمه‌حل ابتدا یک ژل متورم تشکیل می‌دهند و سپس با اضافه کردن آب بیشتر به محلول تبدیل می‌شوند. صمغ‌های خانواده *Rosaceae* معمولاً در روغن‌ها یا حلال‌های آلی (مانند هیدروکربن‌ها، اتر یا الکل‌ها) نامحلول هستند، در حالی که آن‌ها یا محلول در آب هستند یا آب را جذب می‌کنند (متورم شده یا در آب سرد پراکنده می‌شوند تا یک محلول یا ژل ویسکوز ایجاد کنند) [۲].

درخت آلوچه یکی از گونه‌های درخت *virescence* در هند است. صمغ درخت آلوچه یک مایع مخاطی با شفافیت بالا با رنگ زرد روشن است. گونه *Prunus* متعلق به خانواده *Rosaceae* است، صمغ ترش‌ی تولید می‌کند که به علت یک پدیده گاموز نامیده می‌شود. این صمغ ترش‌ی از شاخه‌های *Prunus* به خصوص از قسمت‌های آسیب دیده یا پاسخگوی عفونت به دست می‌آید. تراوشات صمغ عمدتاً از ترکیبات پلی‌ساکاریدی شامل آرابینوز و گالاکتوز در نسبت‌های مختلف تشکیل شده است [۳]. ساختار عمومی بیشتر این صمغ‌ها از آرابینو گالاکتان جایگزین تشکیل شده است. صمغ‌های *Prunus* در بعضی کشورها در ترکیب با صمغ‌های دیگر مانند صمغ عربی، گاتی و تراگانانت در هند به کار می‌رود. خصوصیات رئولوژیکی هیدروکلئوئیدها در محلول به عوامل زیادی از جمله غلظت ترکیب فعال، دما، درجه پراکندگی، انحلال، بار الکتریکی، عملیات حرارتی و مکانیکی قبلی، وجود یا عدم وجود سایر کلئوئیدهای لیوفیلی، و وجود الکتروولیت‌ها و غیر الکتروولیت‌ها بستگی دارد. در این مطالعه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی صمغ ترش‌ی خالص سازی شده آلوچه مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- استخراج صمغ آلوچه و خالص سازی

۱۶ و با فرمت jpg در فضای رنگی RGB تهیه شدند. تصاویر با نرم افزار Image J و برنامه (color-space-converter) از فضای رنگی RGB به Lab تبدیل گردید. مقادیر رنگی *L، شاخص سفیدی و روشنایی بین صفر تا ۱۰۰، و شاخص *a بین منفی ۱۲۰ تا مثبت ۱۲۰ است، که مقادیر مثبت برای رنگ های قرمز و مقادیر منفی برای رنگ های سبز است. پارامتر *b دارای مقادیر مثبت برای زردی و مقادیر منفی برای رنگ آبی است [۴].

کروما طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

در این معادله *a شاخص روشنایی، *b شاخص زردی و *a* شاخص قرمزی است.

BI طبق رابطه زیر محاسبه گردید (موهپاترا و همکاران، ۲۰۱۰):

$$BI = 100 \times \left(\frac{X - 0.31L}{0.17} \right)$$

که شاخص x در آن طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$X = \frac{(a^* + 1.75L)}{(5.645L + a^* - 3.012b^*)}$$

۲-۵- آزمون های رئولوژی

برای انجام آزمون های رئولوژی از دستگاه رئومتر چرخشی (مدل Physica MCR-301، ساخت شرکت Anton Paar، اتریش)، مجهز به سیرکولاتور حرارتی برای کنترل دما و استفاده از پروب صفحه موازی انجام گرفت. برای تنظیم دما سیستم peltier plate با حساسیت ± 0.1 مجهز به سیرکولاتور آب (Viscotherm VT2) به کار گرفته شد. برای آنالیز داده ها، نرم افزار مطلب (8.4.0.150421) R2014b مورد استفاده قرار گرفت. محلول های ۴، ۶ و ۸ درصد صمغ تهیه شده و روی استیرر به مدت ۲ ساعت همزده شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگه داری

صمغ ترشح شده از تنه درختان آلوچه (*Prunus cerasifera*) واقع در باغات شهرستان بابل جمع آوری شد. نمونه ها ابتدا در آون با دمای ۵۵°C به مدت ۲۴ ساعت خشک گردیدند. پس از خشک کردن، صمغ ها آسیاب شده و به صورت پودر یکنواخت درآمدند. برای استخراج، پودر صمغ در آب مقطر با غلظت ۱۰ درصد (w/v) حل شد و مخلوط حاصل به مدت ۲ ساعت روی مگنت استیرر هم زده شد. سپس محلول برای ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگه داری شد تا فرآیند هیدراسیون کامل گردد. سپس نمونه به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ rpm سانتریفوژ شد. فاز روئی (محلول حاوی صمغ حل شده) جمع (ولری) و برای خالص سازی، سه برابر حجم محلول، اتانول مطلق به آن افزوده شد تا فرآیند رسوب گذاری انجام گیرد. مخلوط به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق باقی ماند تا رسوب صمغ تشکیل شود. در نهایت، رسوب جدا شده و در آون با دمای ۴۵°C به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. پودر خشک حاصل، صمغ خالص شده آلوچه بود که برای آزمون های بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲- طیف-بینی فروسرخ تبدیل فوریه (FT-IR)

اندازه گیری FT-IR با استفاده از دستگاه (اسپکترومتر FT-IR رومیزی، مدل CARY 630، ساخت شرکت Agilent، آمریکا) در محدوده طول موج $4000-650 \text{ cm}^{-1}$ انجام خواهد شد.

۲-۳- آزمون زتا

پتانسیل زتا با استفاده از دستگاه (زتا سائزر، شرکت مالورن، انگلستان) در دمای ۲۵ درجه و pH ۷ انجام شد. برای انجام آزمون زتا محلول های ۰.۱ درصد صمغ خام و خالص شده تهیه گردید و به مدت ۲۴ ساعت روی استیرر هم زده شد.

۲-۴- آزمون رنگ سنجی

رنگ پودر صمغ ها با استفاده از یک دستگاه مجهز به دوربین دیجیتال انجام شد. برای این منظور نمونه ها در وسط دستگاه قرار گرفته و تصاویر با استفاده از دوربین دیجیتال با دقت

در این معادله K_s ، ضریب قوام (Pa s^n) و n_s شاخص رفتار جریان (بدون بعد) می‌باشد. تنش برشی (N/m^2) و $\dot{\gamma}$ سرعت برشی ($1/\text{s}$) است. η_{∞} ویسکوزیته پایین در سرعت برشی بالا (ویسکوزیته بینهایت برشی Pa s^n) است.

۲-۵-۲- آزمون های دینامیک نوسانی

آزمون رویش کرنش در محدوده کرنش (0.01 تا 1.000)/، فرکانس 1Hz ، دما 5°C و 85°C برای تعیین ناحیه ویسکوالاستیک خطی انجام شد. آزمون رویش فرکانس در کرنش ثابت (3% پاسکال) در محدوده فرکانس (0.1 تا 100 هرتز) و در دمای ثابت 5°C و 85°C برای ارزیابی ویژگی های ویسکوالاستیک مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۶- تجزیه و تحلیل آماری

تمامی آزمایش ها در سه تکرار صورت خواهد گرفت و تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار مینی تب انجام خواهد شد. برای بررسی نتایج از طرح کاملاً تصادفی استفاده خواهد شد. داده ها توسط آنالیز واریانس (ANOVA) در نرم افزار مطلب تحلیل خواهند شد و اختلاف بین میانگین ها به روش آزمون دانکن در سطح معنی داری 95% مورد مقایسه قرار خواهند گرفت

۳- نتایج و بحث

۳-۱- طیف- بینی فروسرخ تبدیل فوریه (FT-IR)

طیف FT-IR صمغ خالص سازی شده آلوچه (شکل ۱) وجود گروه های عاملی اصلی یک هیدروکلئید پلی ساکاریدی را تأیید می کند. ناحیه پهن ($3200-3600$) cm^{-1} پیک 3400 (cm^{-1}) در این ناحیه یک باند پهن و نسبتاً شدید مشاهده می شود که به ارتعاش کششی گروه های هیدروکسیل ($-\text{OH}$) مربوط است. این پیک معمولاً نشان دهنده وجود اتصالات هیدروژنی گسترده و ماهیت پلی ساکاریدی صمغ است. چنین بانندی در تمام صمغ های گیاهی (زدو، خرنوب و...) گزارش شده است. ناحیه ($1600-1650$) cm^{-1} پیک 1608 (cm^{-1}) مربوط به ارتعاش خمشی (OH bending) یا پیوندهای $\text{C}=\text{O}$ کربوکسیلات ها (به ویژه در پلی ساکاریدهای اسیدی) است. این موضوع نشان می دهد که صمغ آلوچه دارای مقدار قابل

گردید. سپس به مدت 24 ساعت در یخچال در دمای 4 درجه سانتی گراد قرار داده شد [5].

۲-۵-۱- آزمون رفتار جریانی

اندازه گیری رفتار جریانی در سرعت برشی 0.1 تا 300 بر ثانیه در دمای 5 و 85 درجه سانتی گراد انجام شد. مدل های قانون توان، کاسون، هرشل بالکلی و بینگهام و سیسکو با استفاده از نرم افزار مطلب برازش داده شدند.

۱- مدل پاورلا

$$\tau = k_p \dot{\gamma}^{n_p} \quad (1)$$

در این معادله K_p ضریب قوام (Pa s^n) و n_p شاخص رفتار جریان (بدون بعد) می باشد. K بزرگی ویسکوزیته سیال و n ویژگی رفتار سیال را نشان می دهد. τ تنش برشی (N/m^2) و $\dot{\gamma}$ سرعت برشی ($1/\text{s}$) است.

۲- مدل هرشل بالکلی

$$\text{Herschel-Bulkley's model: } \tau = K_H (\dot{\gamma})^{n_H} + \tau_{0H} \quad (2)$$

در این معادله K_H ، ضریب قوام (Pa s^n) و n_H شاخص رفتار جریان (بدون بعد) می باشد. K بزرگی ویسکوزیته سیال و n ویژگی رفتار سیال را نشان می دهد. τ_{0H} تنش تسلیم (Pa) برای مدل هرشل بالکلی است. τ تنش برشی (N/m^2) و $\dot{\gamma}$ سرعت برشی ($1/\text{s}$) است.

۳- مدل بینگهام

$$\text{Bingham: } \tau = \eta_B \dot{\gamma} + \tau_{0B} \quad (3)$$

در این معادله η_B ویسکوزیته بینگهام (Pa s) و τ_{0B} تنش تسلیم (Pa) مدل بینگهام است.

۴- مدل کاسون

$$\text{Casson model: } \tau^{0.5} = K_{0c}^{0.5} + k_c (\dot{\gamma})^{0.5} \quad (4)$$

در این معادله $\tau_{0c} = (k_{0c})^2$ نشان دهنده تنش تسلیم (Pa) و $\epsilon\eta = (k_c)^2$ ویسکوزیته کاسون (Pa s) نامیده می شود. τ تنش برشی (N/m^2) و $\dot{\gamma}$ سرعت برشی ($1/\text{s}$) است.

۵- مدل سیسکو

$$\text{Sisko: } \tau = \eta_{\infty} \dot{\gamma} + K_s \dot{\gamma}^{n_s} \quad (5)$$

گزارش شده در مطالعات مشابه است. طیف FT-IR نشان داد که صمغ آلوچه عمدتاً از پلی ساکاریدهای دارای گروه‌های هیدروکسیل، کربوکسیلات و پیوندهای C-O-C تشکیل شده است. وجود باندهای مشخص در ناحیه اثرانگشتی، ماهیت پلی ساکاریدی و مشابهت آن با سایر صمغ‌های گیاهی را تأیید می‌کند. نتایج ما مطابق با نتایج شی و همکاران (۲۰۱۹) بوده است [۶ و ۷].

توجهی گروه‌های اسیدی یا نمک‌های آن (مانند گالاکتورونیک اسید) است که در صمغ‌های خانواده Rosaceae شایع است. ناحیه اثرانگشتی کربوهیدرات‌ها (800-1200 cm^{-1}) مهم‌ترین بخش برای تشخیص پلی ساکاریدها است. که نشان‌دهنده پیوندهای C-O-C در ساختار حلقه‌های قندی ارتعاش کششی C-O در الکل‌ها و پلی‌ال‌ها و الگوهای خاص ساختار پلی ساکاریدی است. این ناحیه کاملاً مطابق با ساختار صمغ‌های پلی ساکاریدی

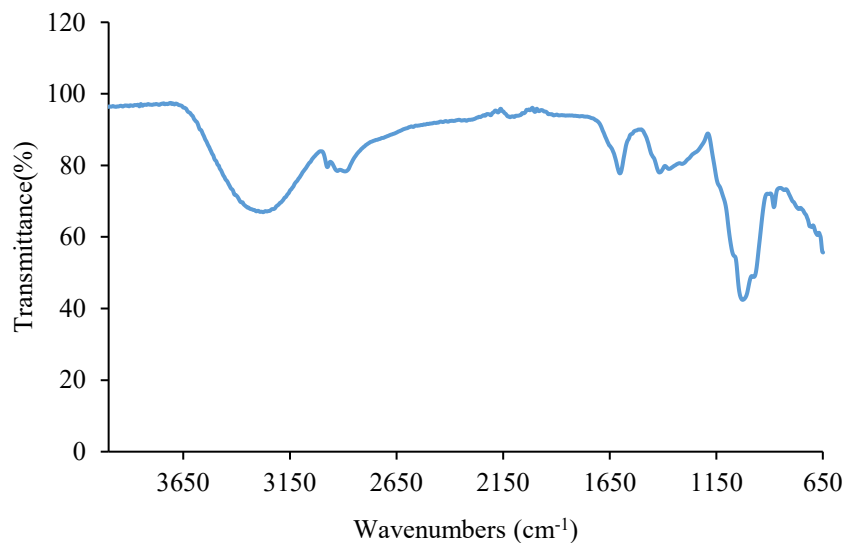


Figure 1- Fourier transform infrared spectroscopy of Alooche gum

مقدار پتانسیل زتا کمتر است، نیروی دافعه کافی برای جلوگیری از نزدیک شدن و تجمع ماکرومولکول‌ها وجود ندارد و سیستم در معرض ناپایداری قرار می‌گیرد. به طور معمول، مقادیر پتانسیل زتا بیشتر از +۳۰ mV یا کمتر از -۳۰ mV نشان‌دهنده پایداری مناسب سیستم‌های کلوئیدی هستند؛ در حالی که مقادیر بین -۳۰ تا +۳۰ mV ناحیه ناپایدار یا نیمه پایدار محسوب می‌شود. افزایش پتانسیل زتا در صمغ خالص‌سازی شده احتمالاً به دلیل حذف ناخالصی‌ها، کاهش بارهای خنثی‌کننده سطح و افزایش یکنواختی ساختار مولکولی است که در نهایت پایداری فیزیکی و پراکندگی سیستم را بهبود بخشیده است. [۹ و ۱۰]

۳-۲- پتانسیل زتا

پتانسیل زتا صمغ خام و خالص سازی شده آلوچه در جدول ۱ نشان داده شده است. صمغ خالص سازی شده آلوچه دارای مقدار پتانسیل زتای بالاتری نسبت به صمغ خام می‌باشد. پتانسیل زتا بازتاب پایداری محلول است. پتانسیل زتای بالاتر، نشان دهنده پایداری کلوئیدی بهتری است که به خاطر ممانعت دو طرفه بین لایه‌های دوتایی الکتریکی ماکرو مولکول‌ها است [۸]. زیرا بار سطحی بالاتر موجب افزایش دافعه الکترواستاتیکی میان ذرات و جلوگیری از تجمع، فلوکولاسیون یا رسوب گذاری می‌شود. در واقع، زمانی که

Table 1- Zeta potential of Alooche gum solutions

Sample	Zeta potential (mV)
Raw gum	-11.00±0.3 ^b
Purified gum	-14.80±0.5 ^a

نه. رنگ یکی از حساس ترین شاخص های اکسیداسیون صمغ است. با اکسیداسیون تیره شدن (L^* پایین) اتفاق می افتد. تخریب حرارتی باعث افزایش غیرطبیعی a^* (قرمزی) و (b^* زردی) می شود. اگر در نمونه بعد از حرارت یا ماندگاری، b^* زیاد شود احتمال قهوه ای شدن غیرآنزیمی بالا است. پارامترهای رنگی صمغ خام و خالص سازی شده الوجه در جدول ۲ نشان داده است. مقدار روشنی به دست آمده برای صمغ خام خالص سازی شده برابر با ۹۹.۵۳ بوده است که بیشتر از صمغ خام بوده است. مقادیر به دست آمده بیشتر از مقادیر به دست آمده توسط فتحی و همکاران (۲۰۱۶a) و فتحی و همکاران (۲۰۱۶b) برای صمغ های *Prunus cerasus* و *Prunus armeniaca* بوده است [۱۱]، [۱۲] و [۱۳]. همچنین میزان زردی با خالص سازی، کاهش یافته است. مقدار زردی برای صمغ خالص سازی شده برابر با ۱،۴۶ بوده است.

۳-۳- ارزیابی رنگ

برای کنترل کیفیت صمغ، آزمون رنگ سنجی (Colorimetry) یک ابزار بسیار مهم است، چون رنگ صمغ اطلاعات دقیقی درباره درجه خلوص، میزان اکسیداسیون، مقدار ناخالصی ها، شرایط برداشت و حتی فرآیند خشک کردن می دهد. صمغ خام معمولاً تیره تر است، به ویژه اگر شامل پوست و بقایای گیاهی، اکسیداسیون در اثر هوا، رسوبات و مواد قندی تجزیه شده باشد. اگر L^* روشنایی بالا باشد و a, b در محدوده استاندارد باشند صمغ خالص تر است. اگر L^* کاهش یابد صمغ احتمالاً ناخالص یا اکسید شده است. در فرآیند خالص سازی، انتظار می رود مقدار L^* افزایش یابد (روشن تر شدن) مقدار a^* و b^* به سمت مقادیر طبیعی صمغ نزدیک شود. با مقایسه نمونه خام و خالص شده می توان فهمید که فرآیند تصفیه موفق بوده یا

Table 2- Color parameters of raw and purified Alooche gum powders

Sample	L^*	a^*	b^*	BI
Raw gum	99.48±0.04 ^a	-0.04±0.02 ^b	1.50±0.55 ^a	1.46±0.54 ^a
Purified gum	99.53±0.19 ^a	0.04±0.02 ^a	1.46±0.14 ^a	1.47±0.14 ^a

مولکول های پلیمری در جهت جریان همسو می شوند، محلول هایی با ویسکوزیته کمتر تولید می کنند و باعث برهمکنش کمتر در زنجیره های پلیمری مجاور می شوند. در سرعت های برشی بالا، کاهش ویسکوزیته ممکن است با کاهش تعداد درهم تنیدگی های زنجیره ای همراه باشد [۱۴]. نتایج ما مطابق با نتایج فتحی و همکاران (۲۰۱۶a) بوده است که ویژگی های رئولوژیکی، ساختار شیمیایی و وزن مولکولی صمغ ترشخی خالص سازی شده گیلان را مورد بررسی قرار دادند [۱۱].

۳-۴- آنالیز رفتار جریان برشی پایا

در شکل ۲ تاثیر دمای ۵ °C و ۸۵ °C بر ویسکوزیته صمغ آلوچه در غلظت های ۴، ۶ و ۸ درصد نشان داده شده است. با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته صمغ آلوچه در حال کاهش است که نشان دهنده رفتار رقیق شونده با برش نمونه ها است. این رفتار برای محلول های پلی ساکاریدی به دلیل ساختار پلیمری و وزن مولکولی بالای آنها قابل پیش بینی است. با افزایش سرعت برشی، زنجیره های تصادفی

سانتی گراد (۰.۳۸) بوده است. نتایج ما مطابق با نتایج فتحی و همکاران (۲۰۱۶a) بوده است [۱۱]. با افزایش دما از ۵ درجه به ۸۵ درجه سانتی گراد، اندیس قوام کاهش یافته است در صورتی که اندیس جریان افزایش یافته است. کمترین مقدار اندیس قوام و بیشترین مقدار اندیس جریان قوام مربوط به نمونه دمای ۸۵ درجه سانتی گراد در غلظت ۴ درصد در مدل های پاورلا، هرشل بالکلی و سیسکو بوده است. نتایج ما مطابق با فتحی و همکاران (۲۰۱۶) یوده است [۱۲]. همچنین مارکوت و همکاران (۲۰۰۱) و کاراژیان و همکاران (۲۰۰۹) به نتایج مشابهی برای صمغ های زانتان، کاراگینان، پکتین، نشاسته و صمغ دانه شاهی دست یافتند [۱۵ و ۱۶].

طبق جدول های ۳، ۴ و ۷ مدل های پاورلا، هرشل بالکلی و سیسکو دارای R^2 بالاتری نسبت به سایر مدل ها بوده اند که نشان دهنده مناسب بودن این مدل های رئولوژیکی برای تحلیل ویژگی های رقیق شونده با برش صمغ الوجچه می باشد. همه نمونه ها دارای رفتار رقیق شونده با برش ($n < 1$) هستند. در مدل های پاورلا، هرشل بالکلی و سیسکو، افزایش غلظت باعث افزایش در اندیس قوام می شود. اما با افزایش غلظت رفتار سودوپلاستیک افزایش می یابد چون n کاهش می یابد. همانطور که در جدول ۳ مشخص است بیشترین اندیس قوام مربوط به غلظت ۸ درصد (34.65 Pa s^n) در دمای ۵ درجه سانتی گراد بوده است. همچنین کمترین اندیس جریان مربوط به غلظت ۸ درصد در دمای ۵ درجه

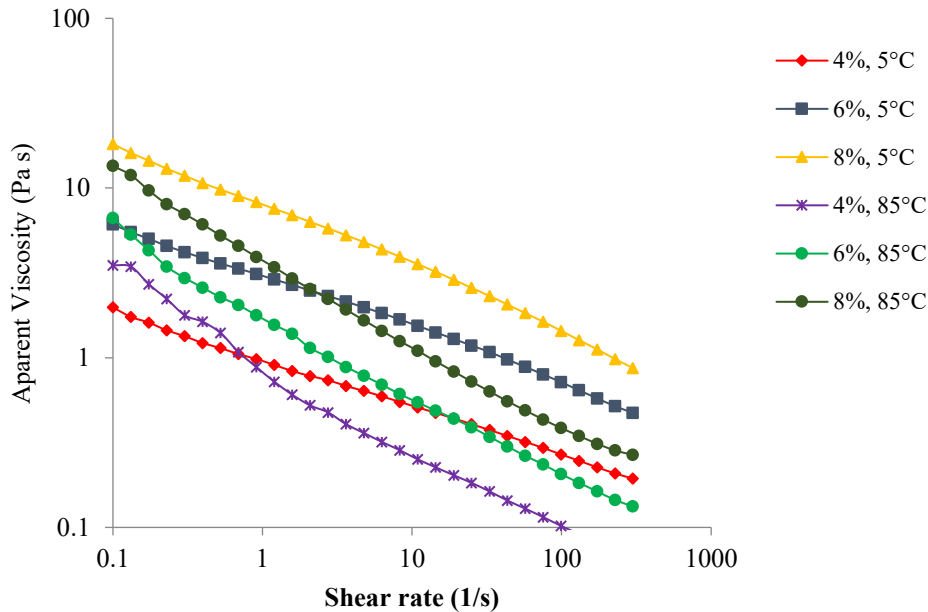


Figure 2- Effect of temperature on the viscosity of Alooeche gum at different concentrations

Table 3- Effect of temperature on the rheological parameters of Power law model of Alooeche gum at different concentrations

Concentration (%)	Temperature (°C)	Power Law model		
		$K_p(\text{Pa s}^n)$	n_p	R^2
4	5	3.13 ± 0.07^c	0.53 ± 0.00^b	1.00
6	5	12.60 ± 0.64^b	0.45 ± 0.01^c	1.00
8	5	34.65 ± 1.21^a	0.38 ± 0.00^d	1.00
4	85	0.74 ± 0.01^d	0.60 ± 0.01^a	1.00
6	85	2.38 ± 0.43^c	0.53 ± 0.04^b	1.00

8	85	2.68±0.19 ^c	0.62±0.02 ^a	1.00
---	----	------------------------	------------------------	------

Table 4- Effect of temperature on the rheological parameters of Herschel-Bulkley model of Alooche gum at different concentrations

Concentration (%)	Temperature (°C)	Herschel-Bulkley model			R ²
		k _H (Pa×s ⁿ)	n _H	τ _{0H} (Pa)	
4	5	2.99±0.04 ^c	0.54±0.00 ^b	0.30±0.07 ^{cd}	1.00
6	5	12.05±0.46 ^b	0.45±0.00 ^c	0.84±0.27 ^{bc}	1.00
8	5	37.27±1.49 ^a	0.37±0.00 ^d	3.37±0.18 ^a	1.00
4	85	0.64±0.07 ^d	0.62±0.03 ^a	0.26±0.22 ^{cd}	1.00
6	85	2.38±0.47 ^{cd}	0.53±0.04 ^b	0.09±0.20 ^d	1.00
8	85	2.32±0.26 ^{cd}	0.64±0.02 ^a	1.00±0.27 ^b	1.00

Table 5- Effect of temperature on the rheological parameters of Bingham model of Alooche gum at different concentrations

Concentration (%)	Temperature (°C)	Bingham model		
		τ _{0β} (Pa)	η _β	R ²
4	5	6.20±0.16 ^c	0.23±0.01 ^d	0.93
6	5	21.38±0.93 ^b	0.56±0.01 ^b	0.89
8	5	53.83±1.65 ^a	1.01±0.02 ^a	0.84
4	85	1.67±0.11 ^d	0.08±0.00 ^f	0.96
6	85	4.59±0.61 ^c	0.17±0.00 ^e	0.94
8	85	6.19±0.19 ^c	0.32±0.01 ^c	0.97

Table 6- Effect of temperature on the rheological parameters of Casson model of Alooche gum at different concentrations

Concentration (%)	Temperature (°C)	Casson model		
		τ _{0c} (Pa)	η _c	R ²
4	5	12.41±0.33 ^c	0.03±0.00 ^b	0.93
6	5	43.65±1.86 ^b	0.03±0.00 ^c	0.89
8	5	107.67±3.30 ^a	0.02±0.00 ^d	0.83
4	85	3.33±0.23 ^d	0.04±0.00 ^b	0.96
6	85	9.19±1.21 ^c	0.03±0.00 ^b	0.94
8	85	12.37±0.38 ^c	0.05±0.00 ^a	0.97

Table 7- Effect of temperature on the rheological parameters of Sisko model of Alooche gum at different concentrations

Concentration (%)	Temperature (°C)	Sisko model			R ²
		K _c (Pa×s ⁿ)	n _c	η _s	
4	5	3.20±0.10 ^c	0.52±0.00 ^a	0.01±0.00 ^b	1.00

6	5	12.73±0.70 ^b	0.44±0.01 ^{bc}	0.01±0.01 ^b	1.00
8	5	32.19±1.02 ^a	0.42±0.00 ^c	-0.21±0.02 ^c	1.00
4	85	0.89±0.13 ^{cd}	0.51±0.06 ^{ab}	0.02±0.02 ^b	1.00
6	85	2.20±0.21 ^d	0.56±0.01 ^a	-0.03±0.04 ^b	1.00
8	85	3.09±0.02 ^c	0.54±0.02 ^a	0.09±0.03 ^a	1.00

G' (۱۸،۱۸pa) و G'' (۱۵،۱۶ pa) مربوط به غلظت ۸ درصد در دمای ۵ درجه سانتی گراد است. اما با افزایش دما از ۵ به ۸۵ درجه سانتی گراد مدول ها کاهش یافتند. کمترین مقدار G' (۲،۳۴pa) و G'' (۰،۴۱ pa) مربوط به دمای ۸۵ درجه سانتی گراد در غلظت ۴ درصد است. نتایج ما مطابق با نتایج حصاری نژاد و همکاران (۲۰۱۴) بوده است [۱۷]. تانژانت افت ($\tan \delta = G''/G'$) یک مشخصه برای ارزیابی رفتار ویسکوالاستیک است. اگر کوچکتر از ۱ باشد، نشان دهنده رفتار الاستیک، در حالی که اگر بزرگتر از ۱ باشد، رفتار ویسکوز است. اگر تانژانت بزرگتر از ۰/۱ باشد، یعنی نمونه ها ژل واقعی نیستند و ساختار آن ها بین بیوپلی مر غلیظ و ژل واقعی است [۱۸]. به عبارت دیگر مطالعه سیستم پلی مر، محدوده عددی برای تانژانت معرفی می کند: برای محلول های رقیق، بسیار بالا؛ برای پلی مرهای آمورف (۰/۳-۰/۲)؛ و برای پلی مرهای کریستال شیشه ای و ژل ها (نزدیک ۰/۰۱) می باشد. مطابق جدول ۸، تانژانت بین (۰،۱۷-۰،۸۳) شده، که کمتر از ۱ و بیشتر از ۰/۱ است، و نشان دهنده حضور ساختار الاستیک در ژل بیوپلیمر ضعیف است.

۴-۴- روبش کرنش

با توجه به شکل ۳، ناحیه خطی ناحیه ای است که مدول ذخیره G' و افت G'' ثابت هستند. در حالی که ناحیه غیر خطی زمانی شروع می شود که مدول ها شروع به کاهش می کنند. در آزمون روبش کرنش، مدول ذخیره G' ثابت است تا زمانی که کرنش به نقطه بحرانی برسد و مدول ذخیره شروع به کاهش یافتن می کند. کرنش بحرانی تغییر شکل صمغ را نشان می دهد. محلول های صمغ قوی، ناحیه خطی بزرگتری نسبت به محلول های صمغ ضعیف دارند. به عبارت دیگر مدول ویسکوالاستیک در ناحیه گسترده تری از کرنش، به صورت خطی است. ناحیه خطی برای محلول های رقیق کمتر از محلول های غلیظ، و محلول غلیظ کمتر از ژل ها است. در حالی که ناحیه خطی برای ژل های کلوئیدی تا ۰/۱٪ و برای ژل های بیوپلی مر حقیقی تا ۱٪ یا بیشتر است [۱۷].

طبق جدول ۸، با افزایش غلظت از ۴ درصد به ۸ درصد، مدول ذخیره G' و افت G'' افزایش یافتند. بیشترین مقدار

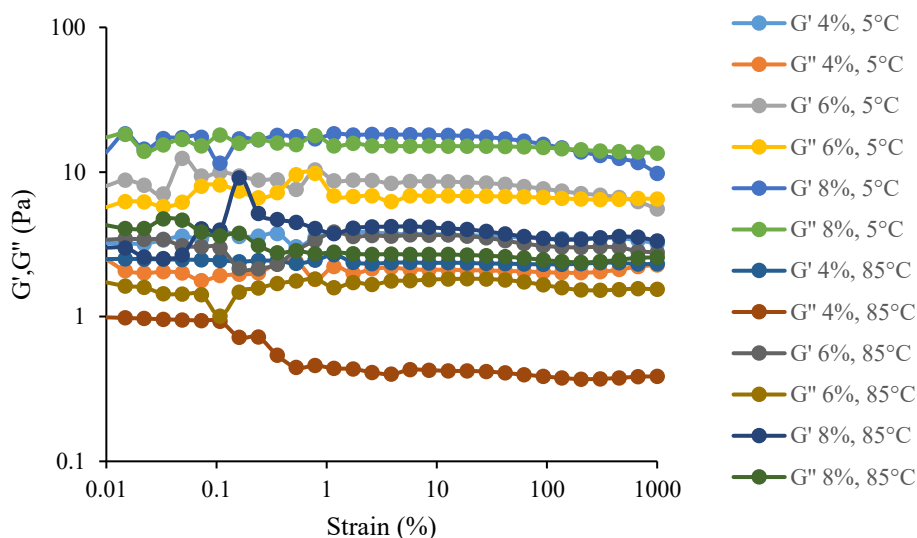


Figure 3- Storage (G') and loss (G'') modulus performance in Strain sweep test for the effect of different Alooche gum concentrations and temperatures

Table 8- Rheological parameters of Strain sweep test (frequency 1 HZ) at different plum gum concentrations and temperatures

Concentration (%)	Temperature (°C)	$\tan \delta$	$\tau_y(\text{pa})$	$G'_{LVE}(\text{pa})$	$G''_{LVE}(\text{pa})$	$\tau_y(\text{pa})$	$G_f(\text{pa})$	$\tau_f(\text{pa})$
4	5	0.57±0.00 ^d	0.13±0.01 ^c	3.80±0.17 ^c	12.15±0.09 ^{cd}	0.13±0.01 ^c	-	-
6	5	0.77±0.01 ^b	0.33±0.02 ^b	8.56±0.56 ^b	6.62±0.47 ^b	0.33±0.02 ^b	6.51±0.12 ^b	51.46±0.76 ^a
8	5	0.83±0.01 ^a	0.71±0.01 ^a	18.18±0.39 ^a	15.16±0.17 ^a	0.71±0.01 ^a	14.44±0.10 ^a	34.43±0.52 ^b
4	85	0.17±0.01 ^f	0.07±0.00 ^d	2.34±0.03 ^d	0.41±0.01 ^e	0.07±0.00 ^d	-	-
6	85	0.47±0.02 ^e	0.12±0.01 ^c	3.63±0.27 ^c	1.70±0.019 ^d	0.12±0.01 ^c	-	-
8	85	0.65±0.03 ^c	0.15±0.00 ^c	4.18±0.10 ^c	2.70±0.06 ^c	0.15±0.00 ^c	-	-

ما مطابق با ناجی طبسی و همکاران (۲۰۱۷) و حصاری نژاد و همکاران (۲۰۱۴) بوده است [۱۷].

بنابراین، صمغ ترشچی خالص سازی شده الوچه بیشتر شبیه یک جامد رفتار می‌کند؛ یعنی تغییر شکل‌ها اساساً الاستیک و قابل بازیابی خواهند بود. چنین رفتاری با رفتار موجود در سایر هیدروکلوئیدها مانند psyllium, rice starch, basil seed xanthan مطابقت خوبی دارد. با افزایش غلظت از ۴ درصد به ۸ درصد در دمای ۵ درجه سانتی گراد، مدول های G' و G'' در حال افزایش هستند. طبق یافته های حصاری نژاد و همکاران (۲۰۱۴) این به دلیل تشکیل ساختار پیچیده‌تر در غلظت‌های بالاتر است [۱۷]. به عبارت دیگر، در غلظت‌های پایین، مناطق بین مولکولی زیادی وجود دارند

۴-۵- رویش فرکانس

آزمون رویش فرکانس می‌تواند برای توصیف یا طبقه‌بندی دیسپرسیون‌ها مورد استفاده قرار گیرد. چهار طبقه‌بندی رایج و سنتی عبارتند از: محلول رقیق، سیستم‌های شبکه‌ای درهم‌تنیده (یا محلول غلیظ)، ژل ضعیف و ژل قوی [۱۷]. در شکل ۴ تغییرات مدول های G' و G'' در غلظت های ۴ و ۶ و ۸ درصد و دمای های ۵ و ۸۵ درجه سانتی گراد را در آزمون رویش فرکانس نشان می‌دهد. با افزایش فرکانس، مدول های G' و G'' در حال افزایش هستند. در فرکانس داده شده، مدول G' همواره بزرگتر از G'' بوده است. نتایج

psyllium گزارش شده است. طبق جدول ۹، با افزایش دما از ۵ به ۸۵ درجه سانتی گراد مقدار G' و G'' کاهش یافته اند، در حالی که در هر دو دما مقدار G' همواره بیشتر از G'' بوده است. مطابق جدول ۹، تانژانت بین (۰.۳۲-۰.۸۹) شده، که کمتر از ۱ و بیشتر از ۰/۱ است، و نشان دهنده حضور ساختار الاستیک در ژل بیوپلیمر ضعیف است.

که نمی‌توانند در اتصالات متقاطع غیر کووالانسی شرکت کنند. در حالی که در غلظت‌های بالاتر، حداکثر تعداد نواحی اتصال تشکیل می‌شود. از سوی دیگر، با افزایش غلظت، G' بیشتر از G'' می‌شود که نشان‌دهنده تمایل آشکار به تشکیل شبکه‌های ماکرومولکولی است. این نوع رفتار توسط محققان دیگر نیز برای ژل‌های gellan، k-carrageenan/LBG و

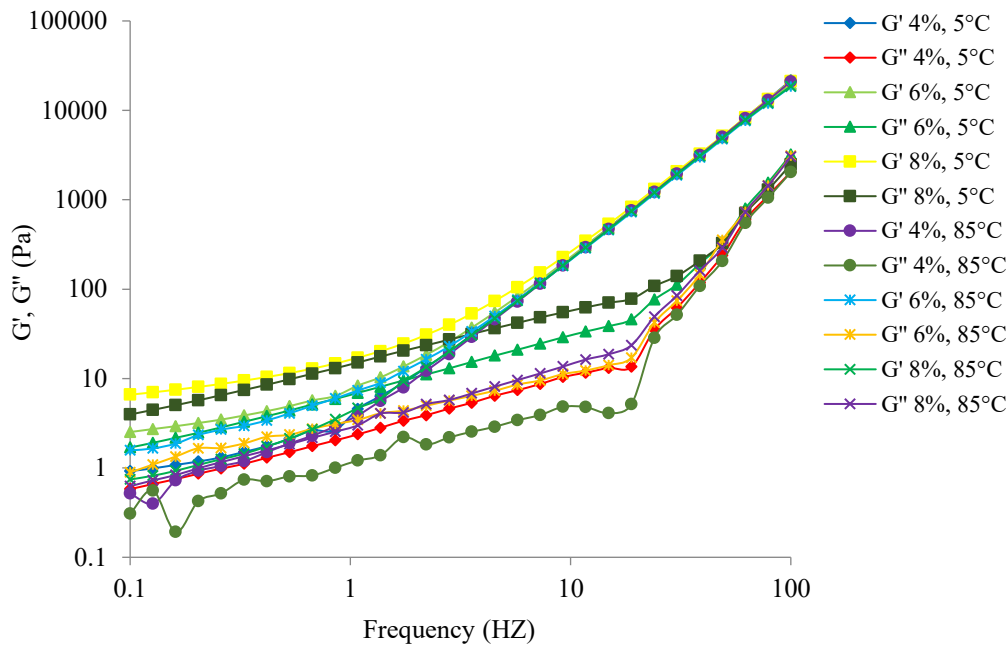


Figure 4- Storage (G') and loss (G'') modulus performance in Frequency sweep test for the effect of different Alooche gum concentrations and temperatures

Table 9- Rheological parameters of Frequency sweep test (frequency 1 HZ) at different plum gum concentrations and temperatures

Concentration (%)	Temperature (°C)	G'_{LVE} (pa)	G''_{LVE} (pa)	$\tan\delta$	η^* (Pa s)	Slope of η^*
4	5	3.84±0.38 ^c	2.3±0.04 ^c	0.60±0.05 ^b	0.71±0.06 ^{de}	-0.49±0.09 ^{bc}
6	5	7.61±0.48 ^b	6.57±0.24 ^b	0.86±0.02 ^a	1.6±0.08 ^b	-0.51±0.02 ^{bc}
8	5	16.25±0.35 ^a	14.35±0.15 ^a	0.89±0.01 ^a	3.45±0.06 ^a	-0.56±0.00 ^c
4	85	3.52±0.34 ^c	1.15±0.24 ^f	0.32±0.04 ^d	0.59±0.06 ^c	-0.24±0.06 ^a
6	85	6.85±0.48 ^b	3.33±0.16 ^c	0.49±0.01 ^c	1.21±0.08 ^c	-0.38±0.06 ^{ab}
8	85	4.24±0.31 ^c	2.84±0.12 ^d	0.67±0.02 ^b	0.81±0.05 ^d	-0.30±0.03 ^a

رئولوژیکی صمغ ترشچی خالص سازی شده آلوچه در غلظت های ۴ و ۶ و ۸ درصد در دماهای ۵ و ۸۵ درجه سانتی گراد مورد بررسی قرار گرفت. همه نمونه دارای رفتار رقیق شونده با برش بوده اند. مدل های پاورلا، هرشل بالکللی و

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش ویژگی های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی صمغ ترشچی خام و خالص سازی شده درخت آلوچه مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج به دست آمده، ویژگی های

تأمین مالی

نویسنده اعلام می‌کند که هیچ بودجه‌ای دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام فعالیت‌ها توسط نویسنده انجام شده است.

منافع رقابتی

نویسنده تأیید می‌کند که هیچ گونه تضاد منافع مالی یا منافع رقابتی در این مطالعه ندارد.

۵- منابع

[1] Rastabi, J. A., & Nasirpour, A. (2017). Comparison of some physicochemical and functional properties of Farsi gum and other Rosaceae plant gum exudates. *Journal of Science and Engineering Elites*, 2(1), 110-118.

[2] Bouaziz, F., Koubaa, M., Ghorbel, R. E., & Chaabouni, S. E. (2016). Recent advances in Rosaceae gum exudates: From synthesis to food and non-food applications. *International Journal of biological macromolecules*, 86, 535-545.

[3] Malsawmtluangi, C., Thanzami, K., Lahlhnmawia, H., Selvan, V., Palanisamy, S., Kandasamy, R., & Pachuau, L. (2014). Physicochemical characteristics and antioxidant activity of *Prunus cerasoides* D. Don gum exudates. *International Journal of Biological Macromolecules*, 69, 192-199.

[4] Esmaceli-Kaliji, H., Farahmandfar, R., Motamedzadegan, A., & Asnaashari, M. (2025). Comparison of the physicochemical, rheological and functional properties of chicken feet gelatin extracted by acidic and microwave methods and commercial bovine gelatin. *Food Science & Nutrition*, 13(7), e70651.

[5] Farahmandfar, R., & Naji-Tabasi, S. (2020). Influence of different salts on rheological and functional properties of basil (*Ocimum bacilicum* L.) seed gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 149, 101-107.

[6] Shi, Z., Jia, C., Wang, D., Deng, J., Xu, G., Wu, C., ... & Guo, Z. (2019). Synthesis and characterization of porous tree gum grafted copolymer derived from *Prunus cerasifera* gum polysaccharide. *International journal of biological macromolecules*, 133, 964-970.

سیسکو بهترین مدل‌ها برای بررسی ویژگی سودوپلاستیک صمغ آلوجه بوده‌اند. افزایش غلظت از ۴ به ۸ درصد باعث افزایش اندیس قوام (kp) شده است. در حالی که با افزایش دما از ۵ به ۸۵ درجه سانتی‌گراد این اندیس کاهش یافته است. در آزمون روبش کرنش، با افزایش غلظت از ۴ به ۸ درصد مدول ذخیره G' و افت G'' افزایش یافتند. در حالی که افزایش دما باعث کاهش مدول‌ها شد. در آزمون روبش فرکانس، مقدار G' همواره بیشتر از G'' بوده است. با افزایش غلظت G' و G'' افزایش یافتند در حالی که افزایش دما باعث کاهش آن‌ها شده است. در ارزیابی رنگی، صمغ خالص سازی شده دارای روشنایی بیشتر و زردی کمتری بوده است.

[7] Narwal, J., Yadav, R. B., & Yadav, B. S. (2024). Physicochemical, rheological and structural properties of selected cultivars of wheat (*T. aestivum*). *European Food Research and Technology*, 250(7), 2025-2038.

[۸] Serrano-Lotina, A., Portela, R., Baeza, P., Alcolea-Rodríguez, V., Villarroel, M., & Ávila, P. J. C. T. (2023). Zeta potential as a tool for functional materials development. *Catalysis Today*, 423, 113862.

[۹] Nepovinnykh, N. V., & Petrova, O. N. (2025). Food hydrocolloids: Classification, functional properties and applications. *Food systems*, 8(1), 66-72.

[۱۰] Clogston, J. D., & Patri, A. K. (2010). Zeta potential measurement. In *Characterization of nanoparticles intended for drug delivery* (pp. 63-70). Totowa, NJ: Humana press.

[۱۱] Fathi, M., Mohebbi, M., & Koocheki, A. (2016a). Introducing *Prunus cerasus* gum exudates: Chemical structure, molecular weight, and rheological properties. *Food Hydrocolloids*, 61, 946-955.

[۱۲] Fathi, M., Mohebbi, M., & Koocheki, A. (2016b). Some physico-chemical properties of *Prunus armeniaca* L. gum exudates. *International journal of biological macromolecules*, 82, 744-750.

[۱۳] Boruczowska, H., Boruczowski, T., Bronkowska, M., Prajzner, M., & Rytel, E. (2025). Comparison of Colour Measurement Methods in the Food Industry. *Processes*, 13(5), 1268.

- [۱۴] Koocheki, A., Taherian, A. R., & Bostan, A. (2013). Studies on the steady shear flow behavior and functional properties of *Lepidium perfoliatum* seed gum. *Food Research International*, 50(1), 446-456.
- [15] Marcotte, M., Hoshahili, A. R. T., & Ramaswamy, H. S. (2001). Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Research International*, 34(8), 695-703.
- [16] Karazhiyan, H., Razavi, S. M., Phillips, G. O., Fang, Y., Al-Assaf, S., Nishinari, K., & Farhoosh, R. (2009). Rheological properties of *Lepidium sativum* seed extract as a function of concentration, temperature and time. *Food hydrocolloids*, 23(8), 2062-2068.
- [17] Hesarinejad, M. A., Koocheki, A., & Razavi, S. M. A. (2014). Dynamic rheological properties of *Lepidium perfoliatum* seed gum: Effect of concentration, temperature and heating/cooling rate. *Food Hydrocolloids*, 35, 583-589.
- [18] Mandala, I. G., Savvas, T. P., & Kostaropoulos, A. E. (2004). Xanthan and locust bean gum influence on the rheology and structure of a white model-sauce. *Journal of Food Engineering*, 64(3), 335-342.



Scientific Research

Effect of Concentration and Temperature on the Rheological Flow Behavior and Dynamic Oscillatory Properties of purified Alooche Exudate Gum

Akbar Zarein¹, Reza Farahmandfar^{2*}, Jafar Mohammadzadeh Milani², Hannaneh Moniri³, Zeinab Qazanfarzadeh⁴

1- MSc student, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Full professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

3- MSc, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

4- Postdoctoral researcher, Department of Life Sciences, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2025/10/04

Review: 2025/11/28

Accepted: 2026/01/31

Keywords:

Gum,

Rheology,

FTIR,

Zeta potential,

Color evaluation

DOI: [10.48311/fsct.2026.116750.82879](https://doi.org/10.48311/fsct.2026.116750.82879)

*Corresponding Author E-

r.farahmandfar@sanru.ac.ir;

re1farahmand@gmail.com

The *Rosaceae* family includes numerous species such as peach, apricot, plum, cherry, and almond, which are well known for producing natural gums. *Prunus cerasifera* is one of the gum-producing species, and its exudate is a clear, mucilaginous liquid with a light-yellow color. In the present study, the rheological properties of raw and purified *Prunus cerasifera* gum were evaluated at concentrations of 4%, 6%, and 8% and at temperatures of 5°C and 85°C. Flow behavior, strain sweep, and frequency sweep tests were performed to investigate the mechanical behavior of the samples. Furthermore, FTIR spectroscopy was used to identify functional groups, along with zeta potential measurements and color analysis. The results showed that all samples exhibited pseudoplastic (shear-thinning) behavior. Among the rheological models applied, the Herschel–Bulkley, Power-law, and Sisko models provided the best fit with the highest coefficients of determination (R^2). Increasing the gum concentration from 4% to 8% led to an increase in both storage and loss moduli, while increasing the temperature resulted in a decrease in these moduli. FTIR findings confirmed the presence of carbohydrate-related functional groups and the characteristic fingerprint region of cherry plum gum.