نشریه علمی فناوری و گیاهان دارویی ایران
دوره۷- شماره ۲- پیاپند ۱۳-پائیز و زمستان ۱۴۰۳

بررسی خصوصیات رئولوژیکی صمغ استخراج شده از پوست کدو سبز

Rheological Characterization of Gum Extracted from Green Squash (*Cucurbita pepo*) Peel

حسن رشیدی[1*]، وحید حکیم زاده[2]، لیلی افشار نوغانی[3]، سودابه عین افشار[4]

۱. دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران ، (نگارنده مسئول)
۲. دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران.
۳. کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران.
۴. دانشیار، بخش فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۲ - شناسانهٔ برنمود رقمی:10.22092/mpt.2025.370533.1199

چکیده

رشیدی، ح.، حکیم زاده، و.، افشار نوغانی، ل.، عین افشار، س.، بررسی خصوصیات رئولوژیکی صمغ استخراج شده از پوست کدو سبز **نشریه علمی فناوری وگیاهان دارویی ایران، دوره ۷- شماره ۲- پیاپند ۱۳-پائیز و زمستان ۱۴۰۳ صفحه: ۲۳-۱۲**

در این پژوهش، صمغ استخراج‌شده از پوست کدو سبز (*Cucurbita pepo*) با هدف بررسی رفتار رئولوژیکی و امکان‌سنجی کاربرد آن در صنایع غذایی مطالعه شد. صمغ ابتدا با روش استخراج حلالی تهیه و سپس خالص‌سازی شد. رفتار جریان و ویسکوزیته ظاهری محلول‌های صمغ در سه غلظت (۱، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی/ حجمی) و سه دما (۲۵، ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد) با استفاده از ویسکومتر چرخشی ارزیابی شد. نتایج نشان داد تمامی نمونه‌ها در محدوده سرعت‌های برشی مورد مطالعه، رفتار نیوتنی پایدار از خود نشان می‌دهند و مقدار شاخص رفتار جریان (n) در بازه ۰/۹۳ تا ۰/۹۷ قرار دارد. ویسکوزیته ظاهری به‌طور معنی‌داری با افزایش غلظت افزایش یافت ($P<$ ۰/۰۵) و افزایش دما موجب کاهش ویسکوزیته بدون تغییر در ماهیت رفتار جریان شد. بیشترین ویسکوزیته در غلظت ۵ درصد و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (۱۳/ ۳۰ mPa·s) ثبت گردید. مقایسه نتایج با صمغ‌های گیاهی گزارش‌شده نشان داد که صمغ کدو سبز برخلاف بسیاری از صمغ‌های دانه‌ای، رفتار سودوپلاستیک نداشته و ماهیت کاملاً نیوتنی دارد که این ویژگی می‌تواند آن را برای کاربرد در نوشیدنی‌ها، محصولات کم‌چرب و فرمولاسیون‌هایی که نیازمند رفتار جریان یکنواخت هستند مناسب سازد. این مطالعه نشان می‌دهد که صمغ پوست کدو سبز، به عنوان یک محصول با ارزش افزوده استخراج شده از پسماندهای کشاورزی، ظرفیت تبدیل‌شدن به یک هیدروکلوئید اقتصادی، پایدار و قابل استفاده در صنایع غذایی را دارد.

واژه های کلیدی: صمغ کدو سبز(*Cucurbita pepo*)، رئولوژی، ویسکوزیته، رفتار جریان، هیدروکلوئیدها

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: ha_rashidi@yahoo.com

مقدمه

هیدروکلوئیدها، گروهی از ترکیبات عمدتا پلی ساکاریدی هستند که در آب حل یا پخش می شوند و ویسکوزیته را افزایش می‌دهند. این مواد اولین بار در شیرابه حاصل از درختان یا درختچه‌ها، عصاره گیاهان یا گیاهان دریایی، آرد دانه‌ها، لعاب چسبناک حاصل از فرآیند تخمیر و بسیاری از فرآورده‌های طبیعی پیدا شدند. صمغ‌ها وهیدروکلوئیدها درمحصولات غذایی مختلف با هدف ایجاد کیفیت مطلوب از نظر پایداری بافت و ظاهر استفاده می‌شود و ترکیب شیمیایی و مصارف آنها به اثبات رسیده است (Gao *et al*.,2024 & Farahnaky *et al*., 2013)

به طورکلی هیدروکلوئیدها در صنایع غذایی به عنوان افزودنی‌های عملکردی [1] برای کنترل ریز ساختار، طعم و افزایش ماندگاری محصولات غذایی به کار می‌روند. بسیاری از دانشمندان، به خصوص در کشورهای صنعتی، به شدت علاقه‌مند به استفاده از خواص بالقوه این مواد به عنوان فیبر رژیمی و یا کاربرد آن‌ها در فرمولاسیون مواد غذایی کم چربی یا کم کالری هستند (Hamdani *et al*., 2019, Yemenicioglu *et al*. 2020 and Barak., 2020).

همچنین دانش رئولوژی، کاربردهای فراوانی درزمینه‌های مختلف غذایی مانند ارزیابی فرآیند، مقبولیت فرآورده و خرید و فروش آن دارد. رفتار جریان مواد غذایی طی فرآوری دراثر تغییر شدید در قوام و ترکیب ماده دراثر عملیاتی مانند مخلوط کردن، حرارت دادن، گرم کردن و مانند آنها تغییر می‌نماید. دراین راستا ویسکوزیته یک عامل مهم برای ارزیابی کیفیت اغلب مواد به ویژه هیدروکلوئیدها بوده است. از طرفی پژوهش‌های علمی حاکی از آن است که خصوصیات رئولوژی هیدروکلوئیدها به خصوص وقتی که برای بهبود بافت در فرمولاسیون موادغذایی به کار می‌روند، اهمیت دارند. برای اهداف طراحی و مدلینگ، فرآیندهای غذایی بایستی خصوصیات رئولوژی مواد غذایی مایع به دقت مورد توجه قرار گیرند. محاسبات فرآیندهای حامل جریان سیال نظیر پمپ کردن، استخراج و فیلتراسیون نیازمند داشتن داده‌های رئولوژی می‌باشد (Mirarab-razy *et al*., 2017 & Farizad *et al*., 2023).

صمغ و پلی‌ساکاریدهای استخراج‌شده از گونه‌های کدو سبز در دهه اخیر به‌عنوان مواد زیست‌پایه با کارکردهای رئولوژیکی، زیست‌سازگاری بالا و ویژگی‌های زیست‌فعالی مورد توجه قرار گرفته‌اند. مرورهای جامع بر جنس *Cucurbita* نشان می‌دهند که با وجود تمرکز تاریخی بر روغن و ترکیبات فیتوشیمیایی بذر و گوشت میوه، پلیمرهای کربوهیدراتی و صمغ‌های این گیاه ظرفیت جایگزینی یا هم‌افزایی با هیدروکلوئیدهای تجاری در فرمولاسیون‌های غذایی، دارویی و آرایشی را دارند (Salehi *et al*., 2021). پوست، پالپ، میان‌بر و بذر به‌عنوان منابع ترکیبات کربوهیدراتی و زیست‌فعال ارزیابی شده‌اند؛ که عملکرد گسترده‌تری برای کاربردهای غذایی و آرایشی فراهم می‌کند (Cvetković *et al*., 2021). پلی‌ساکاریدهای کدو می‌توانند ویسکوزیته،

1. Functional ingredients

پایداری فاز و بافت را در نوشیدنی‌ها، سس‌ها و فراورده‌های لبنی بهبود دهند و به‌عنوان هیدروکلوئیدهای زیست‌پایه مطرح شوند. پلیمرهای گیاهی کدو ظرفیت تشکیل فیلم‌های زیست‌تجزیه‌پذیر و بسته‌بندی‌های فعال را دارند و به‌عنوان جایگزین‌های سبز برای پلیمرهای سنتزی پیشنهاد شده‌اند (Salehi *et al*., 2021). ویژگی‌های خمیرشدگی و رئولوژی صمغ کدو سبز نیز برای کاربردهای غذایی گزارش شده‌اند و می‌تواند با صمغ‌های استخراجی ترکیب شود تا پروفایل ژل‌سازی و ویسکوالاستیک بهینه گردد (Adetunji, 2024). پلیمرهای گیاهی کدو به‌عنوان حامل‌های زیست‌سازگار برای رهایش کنترل‌شده و محافظت از مواد مؤثره مطرح شده‌اند که ظرفیت این جنس را برای فرمولاسیون‌های نوین تأیید می‌کنند. منشأ گیاهی و زیست‌تجزیه‌پذیری، خطرات سمی را کاهش می‌دهد و در سامانه‌های خوراکی و موضعی کاربرد دارد(Malviya & Sharma, 2021) . ترکیبات فنولی، کاروتنوئیدها و فیتواسترول‌های کدو به‌عنوان عوامل آنتی‌اکسیدان و ضدالتهاب گزارش شده‌اند که می‌توانند اثرات هم‌افزا با سامانه‌های دارورسانی داشته باشند. (Perez Gutierrez, 2016)

خواص فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی صمغ برگ پنیرک مورد بررسی قرار گرفت. در میان مدل‌های رئولوژیک، مدل قانون توان به خوبی رفتار این صمغ را توصیف کرد. مدل آرنیوس برای مطالعه وابستگی ویسکوزیته صمغ به دما به کار گرفته شد و به خوبی توانست خصوصیات صمغ را نشان دهد. سه مدل نمایی، چندجمله ای و توان برای توصیف اثر غلظت بر ویسکوزیته در سرعت برشی ۱۰ بر ثانیه بکار گرفته شد. در غلظت‌های بالا صمغ حساسیت بالاتری نسبت به افزایش دما از خود نشان داد و مدل پاورلا به عنوان بهترین مدل برای ارزیابی تاثیر غلظت بر ویسکوزیته تعیین گردید (Hassanpour Amnieh *et al*., 2018). در پژوهشی دیگر صمغ گیاه بامیه با دو حلال آب وهیدروکسید سدیم استخراج شد. صمغ بامیه استخراج شده با هیدروکسید سدیم در مقایسه با صمغ بامیه استخراج شده با آب، براساس پیوندهای بین مولکولی برقرار شده، دارای ویسکوزیته بیشتر بود و تنش بیشتری برای رفتار جریانی خود نشان داد. این صمغ دارای رفتاری سودوپلاستیک یا روان شونده بود که با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته محلول کاهش یافت. نتایج نشان‌دهنده غالب بودن پیوندهای اکسیژن–هیدروژن این صمغ بود که نشان‌دهنده مقدار زیاد واحدهای تشکیل دهنده اسید گالاکتورونیک در ساختار این ترکیب بود. pH بالای اعمال شده از طریق روش استخراجی با هیدروکسید سدیم باعث افزایش مقدار اسید گالاکتورونیک موجود در صمغ بامیه و بنابراین افزایش پیوندهای اکسیژن– هیدروژن و افزایش ویسکوزیته صمغ استخراج شده با هیدروکسید سدیم در مقایسه با آب شد (Sekooni Ravasan & Asafi, 2018). در تحقیقی دیگر گلوکومانان ریشه سریش به‌عنوان یک منبع هیدروکلوئیدی مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان داد مدل درجه دو بهترین مدل برای توصیف داده‌ها میباشد. دمای ۷۹ درجه سانتی‌گراد، نسبت آب به ماده جامد ۹۸/۳ به ۱ و زمان ۳ ساعت و ۱۲

دقیقه به عنوان شرایط بهینه استخراج صمغ تعیین گردید. تحت این شرایط، مقدار ویسکوزیته ظاهری ۲۵۰ میلی پاسکال ثانیه، حلالیت ۵۳/۹۹ درصد و راندمان استخراج ۷۲/۴۳ درصد محاسبه شد. نتایج آنالیز ترکیبات شیمیایی نشان داد که نمونه بهینه بر مبنای وزن خشک دارای کربوهیدرات ۸۶/۵۲ درصد، ۶/۲۲ درصد پروتئین، ۶/۱۳ درصد رطوبت و ۴/۱۷ درصد املاح بودند. نتایج آنالیز منوساکاریدها نیز نشان داد صمغ ریشه سریش با نسبت گلوکز به مانوز ۱/۱ به ۱ از خانواده گلوکومانان‌ها است (Salahi *et. al.*, 2023).

کدوسبز (*Cucurbita pepo*) گیاهی یکساله و خزنده است که دارای مواد مغذی التیام بخش و خاصیت آنتی اکسیدانی و ضد سرطانی می‌باشد. این گیاه اولین بار ۵۵۰۰ سال پیش در مکزیک کاشته شد (Hoseinzadeh Kalagar & Amjadi Surki, 2012)

هدف از این تحقیق استخراج وشناسایی رفتار رئولوژی صمغ حاصل از پوست کدوسبز است. امید می‌رود این مطالعه دیدگاهی برای فهم ارتباط ساختار، عملکرد و کاربرد بالقوه آن در صنایع غذایی فراهم آورد و آن را به عنوان یک فرآورده با ارزش و سودآورحاصل از پس ماندهای کشاورزی مورد توجه قرار دهد.

مواد وروش‌ها

کدوسبز خورشتی از بازار محلی خریداری شد و پس از شستشو پوست‌گیری شد. اتانول و استون به ترتیب از نمایندگی شرکت مرک[1] آلمان و شرکت رازی تهیه گردید.

استخراج و خالص سازی

ابتدا پوست کدوسبز داخل آون تحت خلاء دردمای ۷۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از خشک شدن، پوست‌ها توسط آسیاب برقی با اندازه مش ۰/۰۸ آسیاب شدند. پودر حاصل بعد از بسته بندی در جای خشک و خنک نگهداری شد. برای استخراج صمغ ۱۰۰گرم پودر پوست کدوسبز در سه مرحله با حلال اتانول[2] و استون[3] و آب گرم به ترتیب در سه دمای ۵۰، ۷۰ و ۷۰ درجه سانتیگراد شستشو شد و سپس در مرحله بعد محلول کلوئیدی توسط روتاری تحت خلاء[4](Laborta, Germany) تغلیظ و در نهایت با حلال اتانول رسوب داده شد. صمغ خام جمع آوری و در هوای آزاد خشک گردید. برای خالص سازی صمغ، ابتدا ۸گرم پودر صمغ خام را با ۸۰ سی سی آب مقطر مخلوط و به مدت ۲۴ساعت در یخچال با دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری شد. پس از هیدراته شدن به منظور جداسازی ناخالصی‌ها، مخلوط حاصل با استفاده از سانتریفیوژ[5] (EBA, Germany) با دور rpm 6000 سانتریفوژ گردید. سپس محلول زلال فوقانی حاصل از سانتریفیوژ، به نسبت ۱به ۳ با اتانول رسوب داده شد و صمغ ، پس از جمع آوری در آون خشک شد (Darvishi & Yazdanpanah, 2021; Hosseini *et al*., 2021).

1. Merck

2 .MERCK

3. MERCK

4. LABOROTA4003 –control

5 . EBA 20Zentrifuge

اندازه‌گیری پارامترهای رئولوژی صمغ

اندازه‌گیری ویسکوزیته ظاهری[1] و بررسی رفتار جریان نمونه‌ها با استفاده از ویسکومتر چرخشی (Brookfild, DVIII ultra, USA) انجام شد.کلیه سنجش‌ها با استفاده از اسپیندل SC4-18 در محدوده درجه برش S-1330- 30 و در سه دمای ۲۵ ،۴۰ و ۶۰ درجه سانتی گراد انجام شد.برای مدل سازی رفتار جریان از نرم افزار Slide right plus نسخه ۷ استفاده شد. برای هر آزمون تقریبا ۱۰ سی سی نمونه در درون مخزن منتقل شد . دستگاه در دمای مورد نظر تنظیم و نمونه به مدت ۱۰دقیقه در این دما قرار گرفت تا به دمای مورد نظر آزمایش (۲۵ ،۴۰،۶۰ درجه سانتیگراد) برسد. پس از آن سرعت برش به صورت لگاریتمی به آن اعمال شد. برای توصیف داده‌ها ازمدل قانون توان استفاده شد. داده‌های شاخص رفتار جریان (n) و ضریب قوام (k) از طریق پردازش مدل قانون توان (رابطه ۱) بر داده‌های آزمایش (تنش برش- سرعت برش) تعیین گردید.

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

که دراین مدل τ تنش برش (pa، $\dot{\gamma}$) سرعت برش (S^{-1}، k) ضریب قوام (pa.sn) و n شاخص رفتار جریان بدون بعد می‌باشد (Najaf-Najafi & Fazeli, 2017 ;Salehi & Inanlu-Doguz, 2024 ;Mirarab-Razi *et al*., 2016).

نتایج و بحث

رفتار جریان

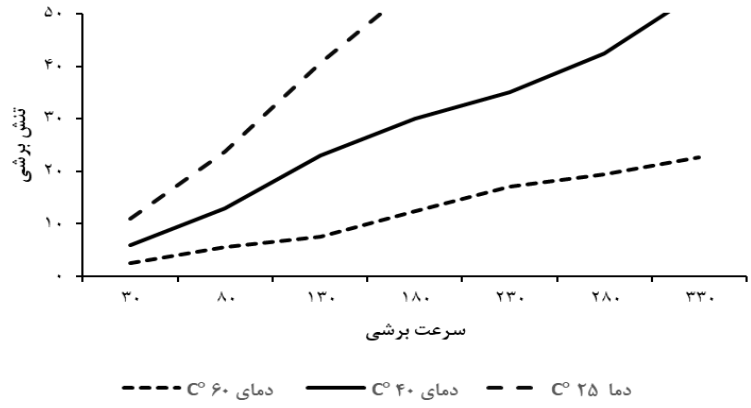
منحنی جریان برای صمغ کدوسبز در دماهای ۲۵، ۴۰، ۶۰ و غلظت‌های ۱, ۲/۵ و ۵ درصد بررسی شد. شاخص رفتار جریان (n) و ضریب قوام (k) از طریق پردازش مدل قانون توان بر داده‌های آزمایش (تنش برش- سرعت برش) محاسبه شد.

شکل‌های ۱ و ۲ منحنی‌های تنش برشی‌سرعت برشی نمونه‌های صمغ در دماهای ۲۵، ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد و غلظت‌های ۱، ۲/۵ و ۵ درصد را نشان می‌دهند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در تمامی غلظت‌ها و دماها، رابطه بین تنش برشی و سرعت برشی تقریباً خطی بوده و شیبی یکنواخت دارد که نشان‌دهنده ماهیت نیوتنی محلول‌های صمغ است. این رفتار نیوتنی بیانگر آن است که ویسکوزیته مستقل از سرعت برشی بوده و ساختار سه‌بعدی شبکه‌ای یا برهم‌کنش‌های مولکولی پیچیده که منجر به رفتار شبه‌پلاستیک یا دیلاتانت می‌شود، در این سامانه وجود ندارد.

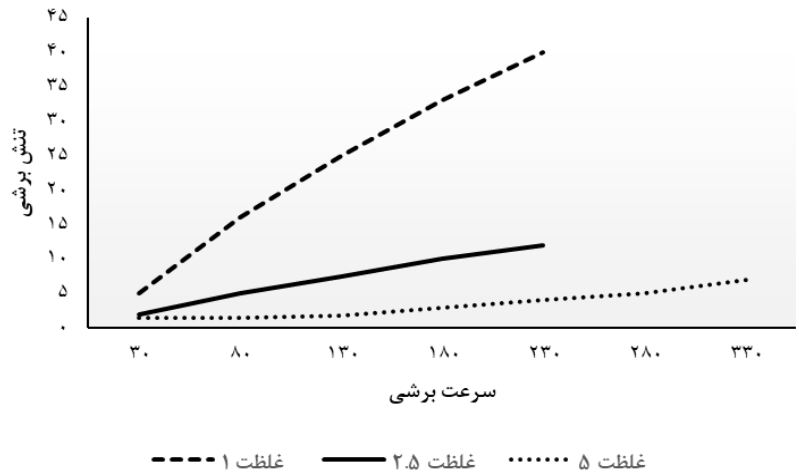
افزایش شیب منحنی‌ها با افزایش غلظت، نشان‌دهنده افزایش ویسکوزیته است، در حالی‌که افزایش دما موجب کاهش شیب و در نتیجه کاهش ویسکوزیته ظاهری شده است. این روند کاملاً مطابق رفتار معمول پلی‌ساکاریدهای محلول در آب است که تحت تأثیر افزایش دما، حرکات حرارتی زنجیره‌ها بیشتر شده و گرانروی کاهش می‌یابد.

رفتار نیوتنی مشاهده شده در این پژوهش مشابه نتایج گزارش‌شده درباره صمغ کتیرای ایرانی در غلظت‌های پایین است ، (Mostafavi, *et al*., 2016)، اما با بسیاری از صمغ‌های دانه‌ای نظیر قدومه شیرازی (Hoseinzadeh, *et*

1. Viscosity



شکل۱. نمودار رفتار جریان در نمونه صمغ استخراج شده از کدو سبز در دماهای مختلف



شکل ۲. نمودار رفتار جریان در نمونه صمغ استخراج شده از کدو سبز در غلظت های مختلف (درصد)

شاهی و قدومه شهری (Razavi & Karazhiyan, 2009 ; Hoseinzadeh Kalagar & Amjadi Surki, 2012 *al.*, 2015). دارای رفتار سودوپلاستیک (کاهش ویسکوزیته با افزایش سرعت برشی)، تفاوت دارد. این اختلاف نشان می‌دهد ساختار ماکرومولکولی صمغ کدو سبز ماهیت متفاوتی دارد و احتمالاً زنجیره‌های پلی‌ساکاریدی آن فاقد شاخه‌مندی زیاد یا پیوندهای بین‌زنجیره‌ای قوی هستند.

جدول ۱ خلاصه‌ای از مقادیر n و k در سه غلظت و سه دما ارائه می‌دهد. مقدار n برای تمام نمونه‌ها در بازه ۰/۹۳ تا ۰/۹۷ قرار دارد. نزدیک بودن مقدار n به عدد ۱ تأیید می‌کند که نمونه‌ها رفتار نیوتنی دارند، افزایش غلظت یا تغییر دما تأثیر معنی‌داری بر شاخص رفتار جریان ندارد و ساختار صمغ در محدوده مورد مطالعه در اثر تنش دچار شکست ساختاری نمی‌شود.

ضریب قوام (k) با افزایش غلظت به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است، به طوری که مقدار آن از حدود ۰/۲۰ تا ۰/۰۳ در غلظت یک

جدول۱. مقادیر پارامترهای رئولوژی نمونه های صمغ استخراج شده از کدو سبز

غلظت(w/w)	دما (C°)	n ±SD	k (mPa.s) ± SD	R^2
۱	۲۵	۰/۹۶۴±۰/۰۰۳	۰/۳۶±۰/۰۰۱	۰/۹۶۶
	۴۰	۰/۹۵۴±۰/۰۰۲	۰/۲۷±۰/۰۰۱	۰/۹۹۸
	۶۰	۰/۹۵۶±۰/۰۰۴	۰/۲۳±۰/۰۰۱	۰/۹۹۸
۲/۵	۲۵	۰/۹۵۸±۰/۰۰۱	۰/۶۹۸±۰/۰۰۲	۰/۹۹۸
	۴۰	۰/۹۴۹±۰/۰۰۳	۰/۵۲±۰/۰۰۱	۰/۹۹۹
	۶۰	۰/۹۶۴±۰/۰۰۲	۰/۳۳۹±۰/۰۰۱	۰/۹۹۸
۵	۲۵	۰/۹۳۴±۰/۰۰۵	۰/۱۹۷±۰/۰۰۵	۰/۹۹۹
	۴۰	۰/۹۳۹±۰/۰۰۴	۰/۱۳۹±۰/۰۰۳	۰/۹۹۹
	۶۰	۰/۹۶۵±۰/۰۰۲	۰/۱۴۵±۰/۰۰۴	۰/۹۹۹

درصد به حدود ۰/۱۹ تا ۰/۲۰ در غلظت ۵ درصد می‌رسد. این موضوع نشان‌دهنده افزایش تراکم مولکولی و برهم‌کنش‌های درون‌مولکولی با افزایش مقدار صمغ است. همچنین افزایش دما موجب کاهش k می‌شود که با اثر معمول دما بر کاهش مقاومت سیال مطابقت دارد.

این نتایج با یافته‌های مربوط به صمغ پنیرک (Hassanpour Amnieh, *et al*., 2018)و صمغ بامیه (Sekooni Ravasan & Asafi, 2018) تطابق دارد، با این تفاوت مهم که در پژوهش حاضر، n تقریباً ثابت و نزدیک ۱ است، در حالی که بسیاری از صمغ‌های گیاهی رفتار شبه‌پلاستیک نشان داده‌اند. این تفاوت بیانگر ماهیت ساختاری ویژه صمغ کدو سبز است.

ویسکوزیته

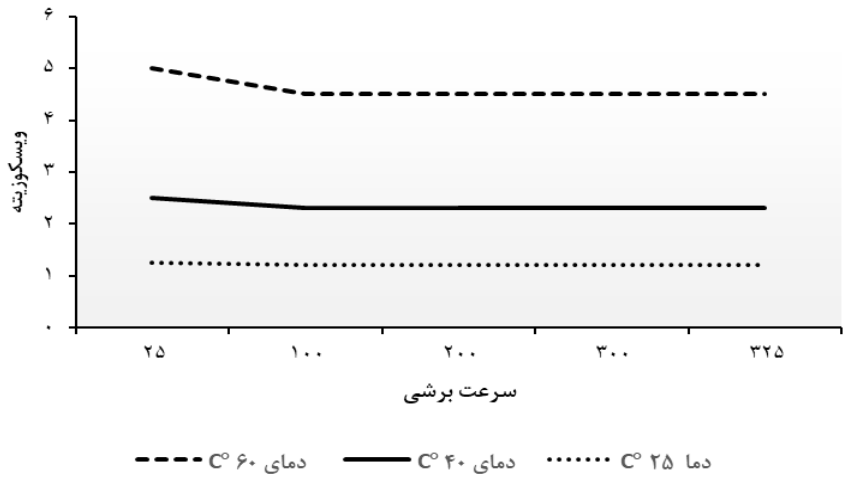
شکل ۳ و ۴ منحنی ویسکوزیته[1] برای صمغ کدوسبز در دماهای ۲۵ ،۴۰ و ۶۰ و غلظت‌های ۱, ۲/۵و ۵ درصد را نشان می‌دهد.

شکل ۳ تغییرات ویسکوزیته ظاهری را در دماهای مختلف و شکل ۴ رابطه بین تنش برشی و سرعت برشی در غلظت های مختلف را نشان می‌دهد. در هر سه غلظت، ویسکوزیته با افزایش سرعت برشی تقریباً ثابت باقی مانده است که این امر یک بار دیگر رفتار نیوتنی نمونه‌ها را تأیید می کند.

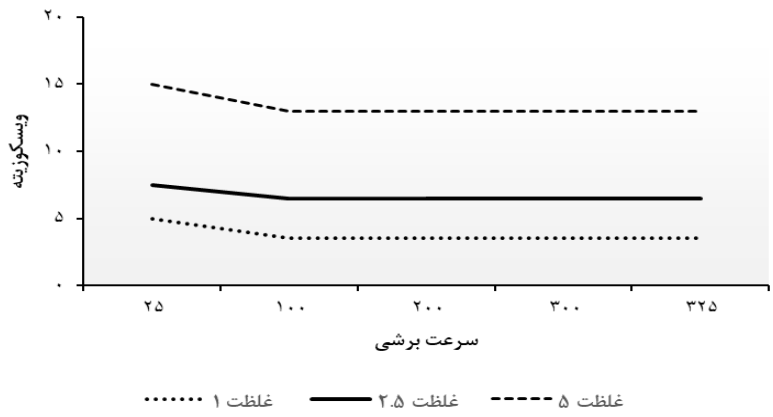
آشکار است که در غلظت‌های بالاتر، مقدار ویسکوزیته اولیه بسیار بیشتر است؛ مثلا در غلظت ۵ درصد، مقدار ویسکوزیته در دمای ۲۵ درجه به ۱۳/۳۰ mPa·s می‌رسد. این مقدار تقریباً شش برابر مقدار ویسکوزیته مشاهده‌شده در غلظت ۱ درصد (حدود ۳/۰۲ mPa·s) است.

کاهش ویسکوزیته با افزایش دما امری کاملاً طبیعی در ساختارهای پلی‌ساکاریدی است، زیرا با افزایش انرژی حرارتی، مقاومت زنجیره‌ها در برابر جریان کاهش می‌یابد. این پدیده با

۱.Viscosity



شکل۳. تغییرات ویسکوزیته ظاهری صمغ استخراج شده از کدوسبز در مقابل سرعت برشی در دماهای مختا



شکل ۴. نمودار تغییرات ویسکوزیته ظاهری نمونه صمغ استخراج شده از کدوسبز

درمقابل سرعت برشی درغلظت‌های مختلف (درصد)

نتایج گزارش‌شده درباره برنج‌های آمیلوز بالا در حضور هیدروکلوئیدها (Motahedi *et al.*, 2021) و سایر ترکیبات صمغی مشابهت دارد.

جدول ۲ نشان می‌دهد که ویسکوزیته ظاهری تحت تأثیر دو عامل مهم قرار می‌گیرد:

الف) افزایش غلظت منجر به افزایش خطی و شدید ویسکوزیته می‌شود. به عنوان نمونه در دمای ۲۵ درجه، افزایش غلظت از ۱٪ به ۵٪ موجب افزایش ویسکوزیته از ۳/۰۲ mPa·s به ۱۳/۳۰ mPa·s می‌شود. این افزایش حدود ۳۴۰ درصد است که نشان‌دهنده حساسیت بالای سیستم به غلظت است.

ب) افزایش دما منجر به کاهش ویسکوزیته می‌شود. در هر سه غلظت، روندی مشابه مشاهده می‌شود. در غلظت ۵ درصد، ویسکوزیته از ۱۳/۳۰ mPa·s در 25°C به ۹/۸۲ mPa·s در

جدول۲- میزان ویسکوزیته در دما وغلظت های مختلف

غلظت (w/w)	دما (°C)	ویسکوزیته ظاهری (mPa.s)
۱	۲۵	۳/۰۲
۱	۴۰	۲/۱۳
۱	۶۰	۱/۷۴
۲/۵	۲۵	۵/۵۳
۲/۵	۴۰	۳/۹۳
۲/۵	۶۰	۲/۸۴
۵	۲۵	۱۳/۳۰
۵	۴۰	۹/۸۲
۵	۶۰	۶/۷۲

40°C و ۶/۷۲ mPa·s در 60°C کاهش یافته است.

این رفتار را می‌توان با مدل‌های معمول وابستگی دما همچون معادله آرنیوس توصیف کرد، اگرچه در پژوهش حاضر مدل‌سازی دمایی انجام نشده است. کاهش ویسکوزیته با دما بازتابی از افزایش میزان تحرک مولکولی، کاهش برهم‌کنش‌های بین‌مولکولی و باز شدن ساختار پلی‌ساکارید در دماهای بالاتر است.

بسیاری از صمغ‌های دانه‌ای (مانند قدومه‌ها، شاهی، بامیه و صمغ‌های مبتنی بر گالاکتورونیک اسید) رفتار غیرنیوتنی شبه‌پلاستیک دارند. اما در این مطالعه، صمغ استخراج شده از پوست کدو سبز در تمام شرایط رفتاری کاملاً نیوتنی نشان داده است.

این یافته یک نوآوری علمی مهم محسوب می‌شود، زیرا تعداد کمی از صمغ‌های گیاهی رفتار نیوتنی پایدار در بازه غلظت-دما نشان می‌دهند. این ویژگی می‌تواند کاربردهای صنعتی خاصی ایجاد کند، مانند استفاده در فرمولاسیون‌های خوراکی که رفتار جریان یکنواخت می‌طلبند، کاربرد در نوشیدنی‌ها و سس‌های کم‌چرب، استفاده در محصولات رژیمی که افزایش بافت یا قوام بیش از حد نامطلوب است.

همچنین رفتار نیوتنی می‌تواند نشان‌دهنده حضور زنجیره‌هایی با وزن مولکولی متوسط و فاقد شبکه‌های سه‌بعدی پیچیده باشد که ضرورت بررسی ساختار شیمیایی صمغ در تحقیقات آینده را نشان می‌دهد.

نتیجه گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش درصد غلظت صمغ، ویسکوزیته افزایش می‌یابد و از طرفی افزایش دما منجر به کاهش ویسکوزیته نمونه صمغ می‌شود. بالاترین ویسکوزیته در غلظت ۵ درصد با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد مشاهده شد. صمغ استخراج‌شده از پوست کدو سبز دارای رفتار جریان نیوتنی پایدار است به این معنا که ویسکوزیته آن مستقل از سرعت برشی باقی مانده و تنها تحت

تأثیر غلظت و دما تغییر می‌کند. این ویژگی صمغ کدو را از بسیاری از صمغ‌های گیاهی دیگر که معمولاً رفتار سودوپلاستیک دارند متمایز می‌سازد. افزایش غلظت موجب افزایش قابل توجه ویسکوزیته و افزایش دما باعث کاهش آن شد، که هر دو روند با رفتار معمول پلی‌ساکاریدها سازگار هستند.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در رفتار رئولوژیکی و نیوتنی بودن صمغ نشان میدهد صمغ کدو گزینه‌ای مناسب برای فرمولاسیون‌هایی باشد که به یک عامل قوام‌دهنده سبک، پایدار، فاقد رفتار شبه‌پلاستیک و با امکان کنترل ساده ویسکوزیته نیاز دارند. این فرآورده با ارزش غذایی حاصل از پسماندها و ضایعات کشاورزی می‌تواند با دسترسی آسان به مواد اولیه و کاهش هزینه‌های تولیدکنندگان، جایگزین مناسبی برای برخی از صمغ‌های دیگر در تولید فرمولاسیون فرآورده‌های غذایی، به‌ویژه محصولات کم‌چرب و رژیمی باشد. خاصیت نیوتنی این صمغ در محدوده‌ی غلظت‌های مطالعه شده، ویژگی مهمی در فرآیندهای صنعتی محسوب می‌شود و استفاده از آن می‌تواند به تولید محصولات با قوام و بافت مطلوب‌تر و قابلیت ژل‌شوندگی پایین‌تر کمک کند.

References

Adetunji, R. O. 2024. Research Article Industrial Utilization of Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) Starch: Its Physicochemical and Pasting Properties. https://doi.org/ 10.3923/ijb.2024.20.25

Barak, S., Mudgil, D., and Khatkar, B. S. 2020. Exudate gums: Chemistry, properties and food applications – A review. Journal of the Science of Food and Agriculture, 100(7):2828–2835. https://doi.org/ 10.1002/jsfa.10302

Cvetković, D., Stanojević, L., Zvezdanović, J., Stanojević, J., Savić, D., Karabegović, I., and Danilović, B. 2021. Pumpkin fruit (*Cucurbita pepo* L.) as a source of phytochemicals useful in food and pharmaceutical industries. Journal of Food Measurement and Characterization, 15(5):4596-4607. https://doi.org/ 10.1007/s11694-021-01014-5

Darvishi, M., and Yazdanpanah, S. 2021. Microwave-assisted extraction of pectin from pumpkin peel and cap. Food Industry Research Journal, 31(1): 177–190. https://doi.org/ /10.22034/fr.2021.39051.1727

Farahnaki, A., Majzoobi, M., and Mesbahi, G. 2013. Characteristics and applications of hydrocolloids in food and pharmaceutical products: Gelatin, tragacanth, gum arabic, starch, modified starch, and pectin. Iranian Agricultural Science, 230.

Gao, Y., Liu, R., and Liang, H. 2024. Food hydrocolloids: Structure, properties, and applications. Foods, 13(7): 1077. http://doi.org/ 10.3390/foods13071077

Hassanpour Amnieh, A., Jouyandeh, H., Hojjati, M., and Nasahi, B. 2018. Physicochemical and rheological characteristics of gum extracted from mallow (*Malva neglecta*) leaves. Food Science and Nutrition, 15(2): 19–30.

Hesarinejad, M. A., Razavi, S. M. A., Koochaki, A., and Mohammadi-far, M. A. 2017. Rheological characteristics of mixed gel based on *Alyssum homolocarpum* seed gum and grass pea protein isolate. Journal of Food Science and Technology, 16(96): 1–10. https://doi.org/10.29252/fsct.16.11.14

Hoseinzadeh Kalagar, A., and Amjadi Surki, A. 2012. A review on the anticancer effects of pumpkin. Quran and Medicine, (4): 94.

Hoseinzadeh, M. A., Razavi, S. M. A., and Koochaki, A. 2015. Study of viscoelastic and thermal properties of Alyssum homolocarpum seed gum. Iranian Journal of Food Science and Technology Research, 11(2): 116–128. https://doi.org/ 10.22067/ifstrj.v1394i2.38724

Hosseini, A., Razavi, S. M. A., and Taghizadeh, M. 2021. Modeling and optimization of dry extraction conditions for mallow seed gum. Journal of Food Industry Engineering, 20(1): 79–94. https://doi.org/ 10.22092/fooder.2020.342583.1266

Malviya, R., and Sharma, A. 2021. Therapeutic Potential and Pharmaceutical Applications of Cucurbita. Current Nutrition and Food Science,17(4):363-373. https://doi.org/10.2174/1573401316999200819131300

Mirarab-Razi, S., and Motamedzadegan, A. 2016. Investigation of rheological properties of basil seed gum mixture with guar and acacia gums. Food Industry Research, 26(4): 615–625. https://doi.org/10.29011/2575-7091.100092

Mostafavi, F. S., Kadkhodaei, R., Emadzadeh, B., and Koochaki, A. 2016. Rheological behavior

of a mixture of tragacanth gum with *Alyssum homolocarpum*, Persian gum, and carob gum. Journal of Food Science and Technology, 14(63): 1–13.

Motahedi, A., Taifeh, M., Habibi, F., and Fadaei, L. 2021. Investigation of the effect of adding hydrocolloids on the rheological and chemical properties of high-amylose rice varieties. Iranian Food Science and Technology, 18: 251–262. https://doi.org/ 10.52547/fsct.18.114.251

Najaf-Najafi, M., and Fazeli, A. 2017. Effect of garden cress seed gum on physical stability and flow behavior characteristics of oil-in-water emulsions prepared by high-speed homogenization. Iranian Journal of Food Science and Technology, 14(64): 116–126.

Perez Gutierrez, R. M. 2016. Review of *Cucurbita pepo* (pumpkin) its phytochemistry and pharmacology. Med chem, 6(1): 12-21. https://doi.org/10.4172/2161-0444.1000316

Razavi, S. M. A., and Karazhiyan, H. 2009. Flow properties and thixotropy of selected hydrocolloids: Experimental and modeling studies. Food Hydrocolloids, 23(3): 908–912. https://doi.org/ 10.1016/j.foodhyd.2008.05.010

Salehi, B., Sharifi-Rad, J., Capanoglu, E., Adrar, N., Catalkaya, G., Shaheen, S. and Cho, W. C. 2019. Cucurbita plants: from farm to industry. Applied Sciences, 9(16): 3387. https://doi.org/ 10.3390/app9163387

Salehi, F., and Inanlu-Doguz, M. 2024. Modeling the effect of ultrasound on viscosity, consistency index, and flow behavior index of xanthan gum at different concentrations. Iranian Journal of Food Science and Technology, 21(146): 158–168. https://doi.org/ 10.22034/FSCT.21.146.158

Sallahi, M., Amiri, M. S., and Razavi, S. M. A. 2021. Optimization of extraction conditions of Sarish root gum using response surface methodology and evaluation of physicochemical properties of the optimized sample. Iranian Journal of Food Science and Technology, 18(112). https://doi.org/ 10.52547/fsct.18.112.153

Sekooni Ravasan, M., and Asafi, N. 2018. Extraction of gum from okra (*Abelmoschus esculentus*) and evaluation of its physicochemical properties. Food Industry Research Journal, 28(4): 31–43.

Yemenicioglu, A., Farris, S., Turkyilmaz, M., and Gulec, S. 2020. Current and future food applications of natural hydrocolloids. International Journal of Food Science and Technology, 55(4): 1389–1406. https://doi.org/ 10.1111/ijfs.14363

um, rheology, viscosity, flow behavior, hydrocolloids

Rheological Characterization of Gum Extracted from Green Squash (*Cucurbita pepo*) Peel

Hassan Rashidi[1*], Vahid Hakimzadeh[2], Leili Afshar Noghani[3], Soodabeh Einafshar[4]

1. Associate Professor, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran . (Corresponding author)
2. Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran
3. M.Sc. Graduate, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran
4. Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad/IRAN.

Received: October 2025 Accepted: December 2025 - DOI: 10.22092/mpt.2025.370533.1199

Abstract

Rashidi, H., Hakimzadeh, V., Afshar Noghani., L., Einafshar, S.,. Rheological Characterization of Gum Extracted from Green Squash (*Cucurbita pepo)* Peel
Iranian Medicinal Plants and Technology, Vol 7, No. 2, 2025 03-04: 12-23 (in Persian)

Abstract

In this study, gum extracted from the peel of green squash (*Cucurbita pepo*) was investigated to evaluate its rheological behavior and assess its feasibility for application in the food industry. The gum was first obtained using a solvent-extraction method and subsequently purified. The flow behavior and apparent viscosity of gum solutions at three concentrations (1, 2.5, and 5% w/v) and three temperatures (25, 40, and 60 °C) were measured using a rotational viscometer. The results indicated that all samples exhibited stable Newtonian behavior across the studied shear-rate range, with flow behavior index (n) values between 0.93 and 0.97. Apparent viscosity increased significantly with increasing concentration ($P < 0.05$), while increasing temperature reduced viscosity without altering the Newtonian nature of the flow. The highest viscosity was recorded at 5% concentration and 25 °C (13.30 mPa·s). Comparison with reported plant-derived gums demonstrated that, unlike many seed gums, green squash peel gum does not exhibit pseudoplastic behavior and instead shows fully Newtonian characteristics. This property may render it

Email address of the corresponding author: ha_rashidi@yahoo.com

suitable for use in beverages, low-fat products, and formulations requiring uniform flow behavior. Overall, the findings highlight the potential of green squash peel gum—an added-value product derived from agricultural waste—to serve as an economical, sustainable hydrocolloid for food industry applications.

Keywords: Green squash (*Cucurbita pepo*) gum, rheology, viscosity, flow behavior, hydrocolloids