Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Food Processing and Preservation Journal

Print ISSN: 2423-3544
Online ISSN: 2423-3803

Iranian Association of Food Scientists and Technologists

Effect of Organic Acids on the Viscosity and Rheological Properties of Basil Seed Mucilage

Fakhreddin Salehi[1*], Kimia Samary[2], Maryam Tashakori[2]

[1]Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, Email: F.Salehi@Basu.ac.ir

[2]MSc Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2024-02-02
Revised: 2024-05-06
Accepted: 2024-05-21

Keywords:
Ascorbic acid
Citric acid
Malic acid
Plastic viscosity
Tartaric acid

ABSTRACT

Background and objectives: Organic acids in foods are exist naturally or added for specific purposes such as reducing pH, chelating metals, increasing antioxidant activity, reducing microorganism activity, and extending shelf life, or they are produced by microorganisms. Mucilages are used as thickening agents, gelling agents, and stabilizers to increase the viscosity and improving the textural and rheological properties of food products. The aim of this research was to investigate the effect of the addition of different organic acids on the viscosity changes of aqueous solution containing basil seed mucilage.

Materials and methods: In this study the effect of four edible organic acids include ascorbic acid, citric acid, malic acid, and tartaric acid, at two concentrations of 0.5, and 1 % (w/v), on the viscosity and rheological behavior of Basil seed mucilage solution was investigated. The Basil seed mucilage solutions were provided by solving the mucilage powder (0.2%, w/v) in distilled water and different concentrations of organic acids using a magnetic stirrer. The rheological parameters of Basil seed mucilage solutions were measured using a viscometer (Brookfield, USA) at 20°C. The shear rate/shear stress data were also fitted using Power law, Bingham, Herschel-Bulkley, and Casson models.

Results: The finding of this study showed that the apparent viscosity of Basil seed mucilage solution reduced when the shear rate increased. Additionally, the apparent viscosity of the Basil seed mucilage solution reduced as the organic acids concentration increased. The highest decrease in viscosity was related to solution containing 1% malic acid and the lowest was related to ascorbic acid with a concentration of 0.5%. The Power law model was the best one for describing the behavior of Basil seed mucilage solutions containing organic acids. The Power law model had a good performance with the highest correlation coefficient (>0.9082) and least sum of squared error (<0.4782) and root mean square error (<0.1996) for all samples. The consistency coefficient of the mucilage solution reduced as the acid concentration was increased. The samples containing 1% malic acid had the lowest consistency

coefficient and the samples containing 0.5% citric acid had the highest consistency coefficient. By adding acid to the mucilage solution and reducing its pH, the amount of yield stress of the Bingham and Casson models was decreased. The Casson plastic viscosity value for the control solution prepared from Basil seed mucilage was equal to 0.058 Pa.s. The sample containing 0.5% ascorbic acid had the highest (0.050 Pa.s) and the sample containing 1% tartaric acid had the lowest (0.032 Pa.s) plastic viscosity value.

Conclusion: By adding acid to the mucilage solution and as a result reducing the pH, the flow behavior index of the samples (Power law and Herschel-Bakli models) increased (reduction in pseudoplastic behavior). Based on the findings of this research, the use of Basil seed mucilage in food products containing high concentration of malic acid is not recommended, and this acid causes a great reduction in the viscosity and consistency of products containing this mucilage.

Cite this article: Salehi, F., Samary, K., Tashakori, M. 2024. Effect of Organic Acids on the Viscosity and Rheological Properties of Basil Seed Mucilage. *Food Processing and Preservation Journal*, 16(1), 17-32.



"Authors retain the copyright and full publishing rights"

DOI: 10.22069/fppj.2024.22164.1799
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

فرآوری و نگهداری مواد غذایی
شاپا چاپی: ۳۵۴۴-۲۴۲۳
شاپا الکترونیکی: ۳۸۰۳-۲۴۲۳

اثر اسیدهای آلی بر ویسکوزیته و خصوصیات رئولوژیکی موسیلاژ دانه ریحان

فخرالدین صالحی[1*]، کیمیا ثمری[2]، مریم تشکری[2]

[1] دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران، رایانامه: F.Salehi@Basu.ac.ir

[2] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۳
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۱

واژه‌های کلیدی:
اسید آسکوربیک
اسید تارتاریک
اسید سیتریک
اسید مالیک
ویسکوزیته پلاستیک

چکیده

سابقه و هدف: اسیدهای آلی در غذاها یا به صورت طبیعی وجود دارند یا برای اهداف خاصی مانند کاهش pH، شلاته کردن فلزات، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کاهش فعالیت میکروارگانیسم و افزایش زمان نگهداری اضافه می‌شوند و یا اینکه توسط میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شوند. موسیلاژها به‌عنوان عوامل غلیظ کننده، عوامل ژل کننده و پایدارکننده برای افزایش ویسکوزیته و بهبود خواص بافتی و رئولوژیکی محصولات غذایی استفاده می‌شوند. هدف این پژوهش بررسی اثر افزودن اسیدهای آلی مختلف بر تغییر ویسکوزیته محلول آبی حاوی موسیلاژ دانه ریحان بود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه اثر چهار اسید آلی خوراکی شامل اسید آسکوربیک، اسید سیتریک، اسید مالیک و اسید تارتاریک، در دو غلظت ۰/۵ و ۱ درصد (وزنی/حجمی) بر ویسکوزیته و رفتار رئولوژیکی محلول موسیلاژ دانه ریحان بررسی و مدل‌سازی شد. محلول های موسیلاژ دانه ریحان با حل کردن پودر موسیلاژ (۰/۲ درصد، وزنی/حجمی) در آب مقطر و غلظت های مختلف اسیدهای آلی با استفاده از همزن مغناطیسی تهیه شدند. پارامترهای رئولوژیکی محلول‌های موسیلاژ دانه ریحان با استفاده از ویسکومتر (بروکفیلد، آمریکا) در دمای ۲۰ درجه سلسیوس اندازه گیری شد. داده‌های سرعت برشی/تنش برشی نیز با استفاده از مدل‌های قانون توان، بینگهام، هرشل بالکلی و کاسون برازش شدند.

یافته ها: یافته های این مطالعه نشان داد که ویسکوزیته ظاهری محلول موسیلاژ دانه ریحان با افزایش سرعت برشی کاهش یافت. علاوه بر این، ویسکوزیته ظاهری محلول موسیلاژ دانه ریحان با افزایش غلظت اسیدهای آلی کاهش یافت. بیشترین کاهش ویسکوزیته مربوط به محلول حاوی ۱ درصد اسید مالیک و کمترین آن مربوط به اسید آسکوربیک با غلظت ۰/۵ درصد بود. مدل قانون توان بهترین مدل برای توصیف رفتار محلول‌های موسیلاژ دانه ریحان حاوی اسیدهای آلی بود. مدل قانون توان با بیشترین مقدار ضریب تبیین (۰/۹۰۸۲<)، و حداقل مجموع مربعات خطا (۰/۴۷۸۲<) و جذر میانگین مربعات خطا (۰/۱۹۹۶<) برای همه نمونه‌ها، عملکرد خوبی داشت. با افزایش غلظت اسیدهای آلی، ضریب قوام محلول موسیلاژ کاهش

یافت. نمونه‌های حاوی ۱ درصد اسید مالیک دارای کمترین ضریب قوام و نمونه‌های حاوی ۰/۵ درصد اسید سیتریک دارای بیشترین ضریب قوام بودند. با افزودن اسید به محلول موسیلاژ و کاهش pH آن، مقدار تنش تسلیم مدل‌های بینگهام و کاسون کاهش یافت. مقدار ویسکوزیته پلاستیک کاسون برای محلول شاهد تهیه شده از موسیلاژ دانه ریحان، برابر ۰/۰۵۸ پاسکال ثانیه بود. نمونه حاوی ۰/۵ درصد اسید آسکوربیک دارای بیشترین (۰/۰۵۰ پاسکال ثانیه) و نمونه حاوی ۱ درصد اسید تارتاریک کمترین (۰/۰۳۲ پاسکال ثانیه) مقدار ویسکوزیته پلاستیک را داشتند.

نتیجه‌گیری: با افزودن اسید به محلول موسیلاژ و در نتیجه کاهش pH، مقدار شاخص رفتار جریان نمونه‌ها (مدل‌های قانون توان و هرشل بالکلی) افزایش یافت (کاهش در رفتار سودوپلاستیکی). براساس یافته‌های این تحقیق استفاده از موسیلاژ دانه ریحان در محصولات غذایی حاوی غلظت بالای اسید مالیک توصیه نمی‌شود و این اسید باعث کاهش زیاد در ویسکوزیته و قوام محصولات حاوی این موسیلاژ می‌شود.

استناد: صالحی، فخرالدین؛ ثمری، کیمیا؛ تشکری، مریم. (۱۴۰۳). اثر اسیدهای آلی بر ویسکوزیته و خصوصیات رئولوژیکی موسیلاژ دانه ریحان. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۶(۱)، ۳۲-۱۷.



DOI: 10.22069/fppj.2024.22164.1799
ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

"حق نشر و حقوق کامل انتشار برای نویسندگان محفوظ است"

مقدمه

اسیدهای آلی در میوه‌ها، سبزی‌ها و غذاها یا به‌صورت طبیعی وجود دارند یا برای اهداف خاصی مانند کاهش pH (اسیدی کردن)، شلاته کردن فلزات، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کاهش فعالیت میکروارگانیسم و افزایش زمان نگهداری به محصولات کشاورزی و غذاها اضافه می‌شوند و یا اینکه توسط میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شوند. اسیدهای آلی به‌عنوان مواد مغذی در نظر گرفته نمی‌شوند، اما طعم خاصی به غذا می‌دهند، باعث بهبود طعم و افزایش قابلیت هضم غذا می‌شوند (۱). مرکبات به‌عنوان میوه‌های اسیدی طبقه‌بندی می‌شوند، زیرا مواد جامد محلول آنها عمدتاً از اسیدهای آلی و قندها تشکیل شده است. اسیدهای آلی به‌عنوان شاخص اصلی بلوغ و یکی از معیارهای اصلی کیفیت طعم و پذیرش میوه‌ها می‌باشند. اسیدهای اصلی مرکبات اسیدهای سیتریک و مالیک هستند. البته مقادیر کمی هم اسید تارتاریک، بنزوئیک، اگزالیک و سوکسینیک در آنها گزارش شده است (۲، ۳).

ضرورت ویتامین C (اسید آسکوربیک) برای سلامت انسان کاملاً ثابت شده است. ازآنجایی‌که بدن انسان قادر به سنتز اسید آسکوربیک نیست، باید این اسید آلی را از طریق رژیم غذایی خود دریافت کند (۴). اسید آسکوربیک، یک آنتی‌اکسیدان و حذف‌کننده رادیکال‌های آزاد است. این اسید در میوه‌ها و سبزی‌ها در غلظت های مختلف وجود دارد که از مقادیر کم ۵ تا ۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم (در سیب) تا حدود ۸۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در هر ۱۰۰ گرم در (در پرتقال) متغیر است (۵). اسید تارتاریک یک اسید آلی طبیعی است که عمدتاً در گیاهان وجود دارد و همچنین یکی از اسیدهای آلی اصلی در انگور است (۶). اسید سیتریک، یک اسید آلی غیر سمی با سه گروه کربوکسیل، به طور طبیعی در مرکبات یافت می‌شود و می‌تواند به‌عنوان عامل اتصال متقابل برای واکنش با گروه‌های هیدروکسیل نشاسته استفاده شود (۷). اسیدهای آلی مانند اسید تارتاریک و اسید سیتریک ایمن و ارزان هستند که به‌طور طبیعی وجود دارند و معمولاً در صنایع غذایی استفاده می‌شوند. اسید تارتاریک و اسید سیتریک به ترتیب اسیدهای دی‌کربوکسیلیک و تری‌کربوکسیلیک هستند که قادر به اتصال متقابل مولکول‌های پروتئین هستند (۸). در میان اسیدهای آلی، اسید مالیک یک اسید دی کربوکسیلیک استخراج شده از میوه است که به‌عنوان یک افزودنی غذایی تأیید شده و در فرمولاسیون مواد غذایی مختلف استفاده می‌شود (۹).

اسیدهای آلی و نمک‌های آن‌ها به‌عنوان اسیدهای ضعیف در نظر گرفته می‌شوند، به این معنی که به‌طور کامل در آب تجزیه نمی‌شوند (۹). از اسیدهای آلی در اکثر سس‌ها استفاده می‌شود. سس مایونز امولسیون روغن در آب با محدوده pH اسیدی است (۱۰). طعم ترش سس سویا عمدتاً از اسیدهای آلی مختلف از جمله اسیدهای آلی غیرفرار مانند اسید مالیک، اسید فوماریک، اسید پیروگلوتامیک، اسیدلاکتیک، اسیدسیتریک، اسید سوکسینیک و اسیدهای آلی فرار مانند اسید استیک، اسید بوتیریک و غیره ناشی می‌شود (۱۱).

موسیلاژ‌ها هیدروکلوئیدهای کربوهیدراتی غیر نشاسته‌ای آب‌دوست با وزن مولکولی بالا هستند. این ترکیبات معمولاً به عنوان عوامل غلیظ کننده، عوامل ژل کننده و پایدارکننده برای افزایش ویسکوزیته و بهبود ویژگی های بافتی و رئولوژیکی محصولات غذایی استفاده می‌شوند (۱۲). موسیلاژها در بهبود قوام و خواص بافتی محصولات غذایی مانند انواع سس‌ها، محصولات لبنی، سوپ‌ها، دسرها، محصولات نانوایی و قنادی نقش مهمی دارند (۱۳-۱۷). موسیلاژ دانه ریحان یک هیدروکلوئید استخراج شده از

دانه‌های *Ocimum basilicum* L. است. هنگامی‌که این موسیلاژ با آب مخلوط می‌شود، باعث افزایش ویسکوزیته آن می‌شود. البته ویسکوزیته این ماده ژل مانند در هنگام هم زدن کاهش می‌یابد و محصول رفتار شبه پلاستیک از خود نشان می‌دهد (۱۸). تأثیر دما، ساکارز و لاکتوز بر خواص محلول رقیق صمغ دانه ریحان توسط میرابوالحسنی و همکاران (۲۰۱۶) بررسی شده است. یافته‌های این پژوهش نشان داد که قندها تأثیر معنی‌داری بر خواص محلول رقیق صمغ دانه ریحان دارند. اگرچه ویسکوزیته ذاتی این صمغ تحت تأثیر دما قرار گرفت، اما با افزایش دما روند یکنواختی را دنبال نکرد و پس از ۵۵ درجه سلسیوس کاهش یافت (۱۹).

اکثر پلی ساکاریدها در محلول های آبی به شکل ماکرویون هستند و ابعاد آنها توسط دافعه الکترواستاتیکی منبسط و با جاذبه الکترواستاتیکی بین بخش های زنجیره‌ای، منقبض می‌شود که در نتیجه وابستگی غیرخطی منحصر به فردی در ویسکوزیته محلول ها ایجاد می کنند (۲۰). افزودن اسید به محلول آبی حاوی موسیلاژها و در نتیجه تغییر pH محلول، جزء عوامل مهم و تأثیرگذار بر ویسکوزیته و خواص رئولوژیکی محلول‌های هیدروکلوئیدی است (۱۳، ۱۵، ۲۱، ۲۲). مارتینز و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که رفتار جریان موسیلاژ گزانتان و کربوکسی متیل سلولز تحت شرایط شدید اسیدی تغییر می کند (۲۳). باک و یو (۲۰۲۳) اثر تغیر pH بر ویژگی‌های رئولوژیکی مخلوط موسیلاژ سه‌تایی تهیه شده از موسیلاژ گزانتان، موسیلاژ گوار و کربوکسی متیل سلولز را بررسی کردند. بر اساس نتایج این پژوهش، افزایش اسیدیته محیط (کاهش سطح pH از ۷ به ۳)، منجر به افزایش شاخص رفتار جریان از ۰/۱۳ به ۰/۲۸، کاهش ضریب قوام از ۲۹/۹ $Pa.s^n$ به $Pa.s^n$ ۱۱/۱ و همچنین کاهش ویسکوزیته ظاهری (در سرعت برشی ۵۰ برثانیه) از ۰/۹۸ پاسکال ثانیه به ۰/۶۷ پاسکال ثانیه شد (۲۴).

خواص رئولوژیکی در ایجاد روابط ساختار-عملکرد مفید است. بنابراین، تجزیه و تحلیل رئولوژیکی ممکن است درک اساسی در مورد ساختار و ویژگی‌های مواد غذایی ارائه دهد (۲۰). برای کمک به توسعه استفاده گسترده از موسیلاژهای جدید مانند موسیلاژ دانه ریحان در سیستم‌های غذایی و غیرغذایی، تحقیقات بیشتری در مورد رفتار رئولوژیکی آنها در شرایط مختلف مورد نیاز است. از اسیدهای آلی خوراکی مانند مالیک، سیتریک، آسکوربیک و تارتاریک معمولاً برای کنترل pH در برخی از محصولات غذایی استفاده می‌شود. لذا در این مطالعه، اثر افزودن اسیدهای آلی خوراکی شامل اسید آسکوربیک، اسید سیتریک، اسید مالیک و اسید تارتاریک در غلظت‌های مختلف بر تغییر ویسکوزیته و خواص رئولوژیکی محلول تهیه شده از موسیلاژ دانه ریحان بررسی شد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

تهیه اسیدهای آلی: اسیدهای آلی شامل آسکوربیک، تارتاریک، مالیک و سیتریک (ttca، چین) به‌صورت پودر خریداری و در آب مقطر حل شدند. از هر اسید دو غلظت ۰/۵ درصد و ۱ درصد تهیه شد.

تهیه موسیلاژ دانه ریحان: برای استخراج موسیلاژ دانه ریحان، دانه های ریحان از استان همدان تهیه و ناخالصی آن‌ها جداسازی گردید. ابتدا دانه‌های ریحان به مدت ۲۰ دقیقه درون آب با دمای ۲۵ درجه سلسیوس و نسبت آب به دانه برابر ۲۰ به ۱ قرار گرفتند (۱۸، ۲۵). موسیلاژ خارج شده از دانه‌ها، توسط یک جداکننده آزمایشگاهی جدا (FJ-479، تولیپس، ایران) و سپس توسط آون (شیماز، ایران) در

دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک و در نهایت با آسیاب (FJ-479، تولیپس، ایران)، به شکل پودر تبدیل گردید. پودر موسیلاژ آسیاب شده، بسته‌بندی و در جای خشک و خنک نگهداری شد .

تهیه محلول‌های اسیدی حاوی موسیلاژ دانه ریحان: در این پژوهش، برای تهیه محلول‌های مورد استفاده جهت آزمایش‌های رئولوژیکی، ۰/۲ درصد (وزنی/حجمی) از پودر موسیلاژ دانه ریحان درون محلول تهیه شده از هر اسید به‌صورت کامل حل شد (توسط همزن مغناطیسی، شیماز، ایران). برای تکمیل آبگیری موسیلاژ نیز یک ساعت محلول در جای خنک نگهداری شد. برای تهیه نمونه شاهد، ۰/۲ درصد از موسیلاژ در آب مقطر (۰ درصد اسید) حل و به مدت یک ساعت در دمای اتاق نگهداری جهت تکمیل فرآیند آبگیری نگهداری شد.

اندازه‌گیری ویسکوزیته و تنش برشی: برای اندازه‌گیری خصوصیات رئولوژیکی محلول‌های حاوی اسید و موسیلاژ دانه ریحان، از یک ویسکومتر چرخشی (بروکفیلد، DV2T، RV، آمریکا) استفاده شد. با استفاده از این دستگاه، ویسکوزیته و تنش برشی نمونه‌ها در سرعت برشی ۱۲/۲ تا ۱۷۱/۲ بر ثانیه با استفاده از کیت UL آداپتور در دمای ۲۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد (۲۶). برای اندازه‌گیری ویسکوزیته ظاهری محلول‌ها نیز ویسکوزیته نمونه‌ها در سرعت برشی ۴۹ بر ثانیه اندازه‌گیری شد.

مدل‌های رئولوژیکی: معادلات قانون توان[1] (معادله ۱)، بینگهام[2] (معادله ۲)، هرشل بالکلی[3] (معادله ۳) و کاسون[4] (معادله ۴)، مدل های متداولی برای بررسی رفتار رئولوژیکی موسیلاژ ها هستند (۲۷). در این تحقیق از این مدل‌ها برای برازش نتایج تنش برشی و سرعت برشی محلول‌های موسیلاژ دانه ریحان حاوی اسیدهای آلی خوراکی استفاده شد. برای برازش داده و محاسبه مقادیر ثابت مدل‌ها، از نرم‌افزار متلب (نسخه R2012a) و جعبه ابزار برازش داده‌ها (cftool) استفاده شد.

$$\tau = k\dot{\gamma}^{n} \qquad (۱)$$

در معادله ۱، $\dot{\gamma}$ سرعت برشی (s^{-1}) ، τ تنش برشی (پاسکال)، k ضریب قوام ($Pa.s^{n}$) و n شاخص رفتار جریان (بدون واحد) هستند (۱۸).

$$\tau = \tau_{0B} + \eta_B\dot{\gamma} \qquad (۲)$$

در معادله ۲، $\dot{\gamma}$ سرعت برشی (s^{-1}) ، τ تنش برشی (پاسکال)، τ_{0B} تنش تسلیم بینگهام (پاسکال) و η_B ویسکوزیته پلاستیک بینگهام (Pa.s) هستند.

$$\tau = \tau_{0H} + k_H\dot{\gamma}^{n_H} \qquad (۳)$$

در معادله ۳، τ تنش برشی (پاسکال)، τ_{0H} تنش تسلیم (پاسکال)، k_H ضریب قوام ($Pa.s^{n}$)، γ سرعت برشی (s^{-1}) و n_H شاخص رفتار جریان برای مدل هرشل بالکلی می‌باشند.

$$\tau^{0.5} = \tau_{0C}^{0.5} + \eta_C\dot{\gamma}^{0.5} \qquad (۴)$$

در معادله ۴، $\dot{\gamma}$ سرعت برشی (s^{-1}) ، τ تنش برشی (پاسکال)، τ_{0C} تنش تسلیم کاسون (پاسکال) و η_C ویسکوزیته پلاستیک کاسون (Pa.s) هستند.

آنالیز آماری

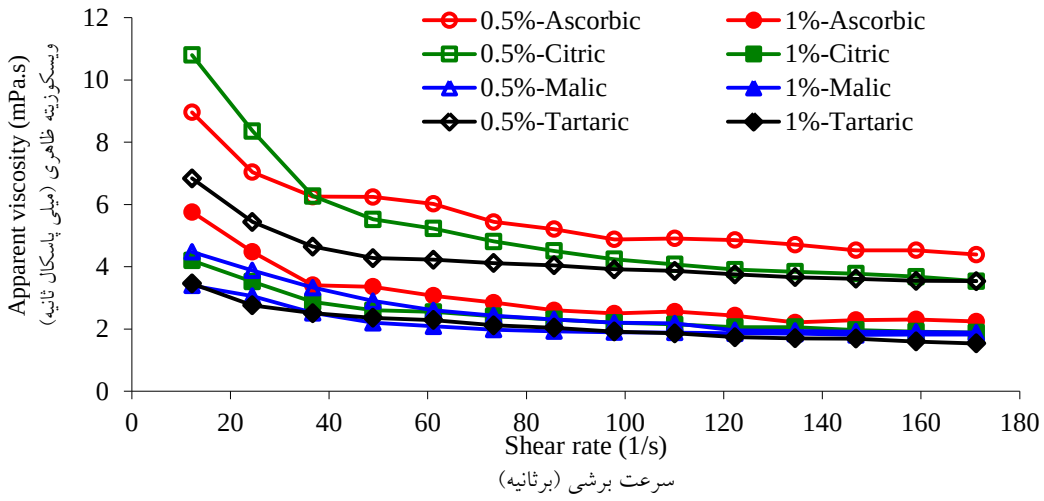
در این پژوهش اثر چهار اسید آلی (اسید آسکوربیک، اسید سیتریک، اسید مالیک و اسید تارتاریک) در دو غلظت ۰/۵ و ۱ درصد بر تغیر ویسکوزیته و خصوصیات رئولوژیکی موسیلاژ دانه ریحان بررسی شد. این پژوهش در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21 تجزیه و تحلیل شد. تمام آزمون‌ها در سه تکرار انجام و برای مقایسه میانگین پاسخ های مشاهده

1. Power law
2. Bingham
3. Herschel-Bulkley
4. Casson

شده، از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۹۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

ویسکوزیته ظاهری: رفتار غیر نیوتنی سودوپلاستیکی یا شل شدن برشی به دلیل جهت‌گیری زنجیره‌های پلیمری در جهت تنش برشی است که منجر به کاهش برهمکنش‌ها و شکستن پیوندهای قوی در سرعت‌های برشی بالا می‌شود (۲۸). شکل ۱ نحوه تغییر ویسکوزیته محلول موسیلاژ دانه ریحان هنگام اعمال برش در سرعت های مختلف را نشان می دهد. مقادیر ویسکوزیته ظاهری با افزایش سرعت برشی کاهش یافت، که نشان می‌دهد دیسپرسیون موسیلاژ جزء سیالات غیر نیوتنی است، همان طور که قبلاً در مطالعات دیگر در مورد محلول‌های سایر موسیلاژ‌های مشابه گزارش شده است (۱۲، ۱۸). در این شکل مشاهده می‌شود که ویسکوزیته ظاهری محلول موسیلاژ دانه ریحان با افزایش سرعت برشی کاهش یافته است (رفتار سودوپلاستیکی). در این مطالعه، ویسکوزیته ظاهری نمونه حاوی ۰/۵ اسید سیتریک با افزایش سرعت برشی از ۱۲/۲ برثانیه به ۱۷۱/۲ برثانیه، از ۱۰/۸ میلی پاسکال ثانیه به ۳/۵ میلی پاسکال ثانیه کاهش یافت. گروهی از پژوهشگران تأثیر pH (۴/۵-۷/۵) و یون کلسیم بر رفتار رئولوژیکی ژل‌های مخلوط بتا-لاکتوگلوبولین- صمغ دانه ریحان (۱ درصد) را بررسی کردند. بر اساس نتایج گزارش شده نقطه ژل شدن ژل‌های بتا-لاکتوگلوبولین و صمغ دانه ریحان به‌شدت وابسته به pH گزارش شده و ژل‌های سفت‌تر در pH بالاتر تشکیل شده‌اند (۲۹).

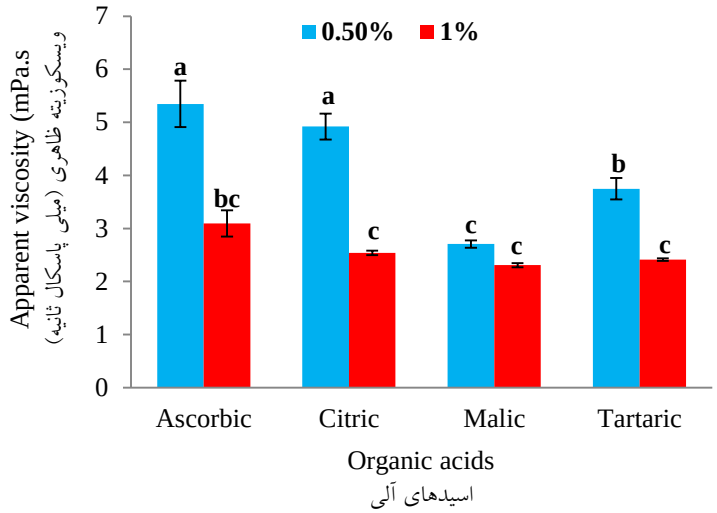


شکل ۱- تأثیر سرعت برشی بر ویسکوزیته ظاهری محلول موسیلاژ دانه ریحان حاوی اسیدهای آلی مختلف.

Figure 1. Impact of shear rate on the apparent viscosity of Basil seed mucilage solution containing various organic acids.

با کاهش pH محلول تهیه شده از موسیلاژها، گروه‌های کربوکسیلات از گروه‌های یونیزه به گروه های غیریونیزه تبدیل می‌شوند، که بر دافعه الکترواستاتیکی در میان زنجیره‌های جانبی موسیلاژ تأثیر می‌گذارد و در نتیجه ویسکوزیته محلول کاهش می‌یابد (۳۰). ویسکوزیته نمونه شاهد موسیلاژ دانه ریحان برابر ۳۶/۴۹ میلی‌پاسکال ثانیه بود. ویسکوزیته محلول موسیلاژ دانه ریحان در حضور اسیدهای آلی

مختلف در شکل ۲ گزارش شده است. افزودن اسیدهای آلی به موسیلاژ دانه ریحان، ویسکوزیته آن را کاهش داد و این رفتار برای تمام اسیدهای آلی مشاهده شد. بیشترین کاهش ویسکوزیته مربوط به محلول حاوی ۱ درصد اسید مالیک (۲/۳۱ میلی پاسکال ثانیه) و کمترین آن مربوط به اسید آسکوربیک با غلظت ۰/۵ درصد (۵/۳۵ میلی پاسکال ثانیه) بود. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت اسید سیتریک از ۰/۵ به ۱ درصد، ویسکوزیته موسیلاژ دانه ریحان به‌صورت معنی‌داری ($p<0/05$) از ۴/۹۲ میلی‌پاسکال ثانیه به ۲/۵۴ میلی پاسکال ثانیه کاهش یافت (سرعت برشی برابر ۴۹ بر ثانیه). همراستا با نتایج این پژوهش، امین و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که ویسکوزیته موسیلاژ دانه دوریان با کاهش pH، به دلیل تخریب زنجیره‌های پلیمری تحت شرایط اسیدی، کاهش یافته است (۳۱).

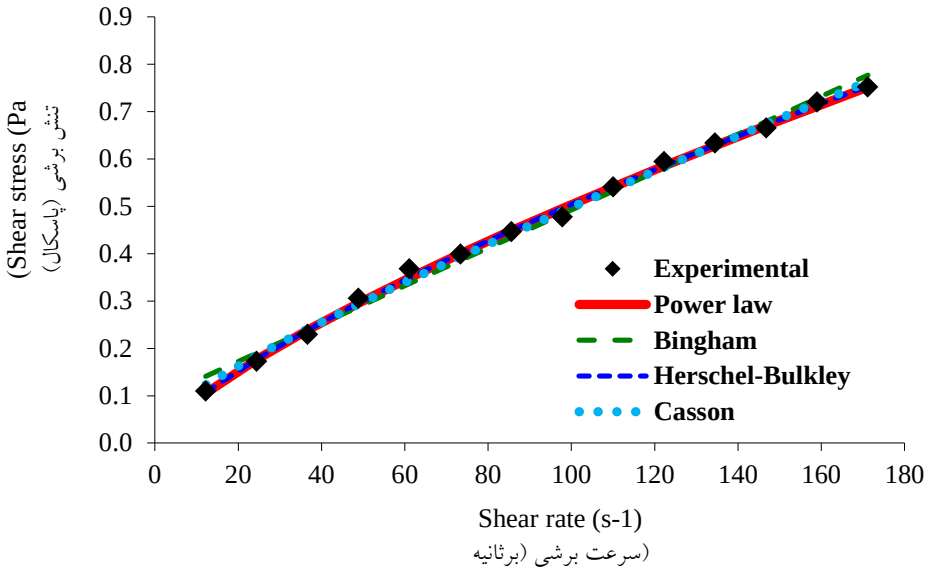


شکل ۲- تأثیر اسیدهای آلی بر ویسکوزیته ظاهری محلول موسیلاژ دانه ریحان (سرعت برشی برابر ۴۹ برثانیه)

حروف مختلف بالای ستون‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار است ($p<0/05$)

Figure 2. Impact of organic acids on the apparent viscosity of Basil seed mucilage solution (shear rate=49).
Different letters above the columns indicate significant difference ($p<0.05$)

مدل‌سازی رئولوژیکی: درک اولیه از فعل و انفعالات بین مولکولی و رفتار رئولوژیکی موسیلاژها برای کاربرد بالقوه آنها به‌عنوان یک عامل غلیظ کننده و تثبیت‌کننده در صنایع غذایی ضروری است (۲۰). در این پژوهش، رفتار رئولوژیکی محلول موسیلاژ دانه ریحان با استفاده از مدل‌های قانون توان، بینگهام، هرشل بالکلی و کاسون مدل‌سازی شد و در مجموع مدل قانون توان به عنوان بهترین مدل برای توصیف رفتار جریانی محلول موسیلاژ دانه ریحان انتخاب شد. شکل ۳ تناسب داده‌های به دست آمده از معادلات رئولوژیکی با داده‌های آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که هر دو معادله قانون توان و هرشل بالکلی در پیش‌بینی روابط بین داده‌های تنش برشی و سرعت برشی محلول موسیلاژ دانه ریحان حاوی اسیدهای آلی به یک اندازه مناسب هستند؛ اما چون تعداد پارامترهای مدل قانون توان کمتر است (دو پارامتر) و تنش تسلیم محاسبه شده توسط معادله هرشل بالکلی نزدیک صفر است، لذا مدل قانون توان به‌عنوان مدل مناسب برای بررسی خصوصیات رئولوژیکی محلول‌ها انتخاب شد.



شکل ۳- قابلیت برازش معادلات مختلف رئولوژیکی برای داده‌های تنش برشی آزمایشگاهی (نمونه آسکوربیک اسید، ۰/۵ درصد).

Figure 3. Fitting ability of various rheological equations for experimental shear stress data (ascorbic acid sample, 0.5%).

مدل قانون توان: مدل قانون توان توصیف خوبی از رابطه بین تنش برشی و سرعت برشی با بیشترین مقدار ضریب تبیین (>۰/۹۰۸۲)، و حداقل مجموع مربعات خطا (<۰/۴۷۸۲) و جذر میانگین مربعات خطا (<۰/۱۹۹۶) برای همه نمونه‌ها داشت (جدول ۱). در جدول ۱ تأثیر اسیدهای آلی بر مقدار ضریب قوام محلول موسیلاژ دانه ریحان گزارش شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درصد اسید، مقدار ضریب قوام نمونه‌ها کاهش یافته است. ضریب قوام نمونه شاهد برابر ۰/۴۹۳ $Pa.s^n$ بود. در بین نمونه‌های دارای اسید، نمونه حاوی ۰/۵ درصد اسید سیتریک دارای بیشترین ضریب قوام و نمونه حاوی ۱ درصد اسید مالیک دارای کمترین ضریب قوام بودند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت اسید سیتریک از ۰/۵ به ۱ درصد، مقدار ضریب قوام نمونه‌ها به‌صورت معنی‌داری از ۰/۰۲۴ $Pa.s^n$ به ۰/۰۰۸ $Pa.s^n$ کاهش می‌یابد ($p<0/05$). به‌طور مشابه فرحناکی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که ضریب قوام موسیلاژ دانه مرو (۰/۲ درصد، وزنی/حجمی) در شرایط اسیدی و با کاهش pH از ۷ به ۳، از ۰/۷۰۶ $Pa.s^n$ به ۰/۳۰۴ $Pa.s^n$ کاهش می‌یابد (۲۸).

تأثیر اسیدهای آلی بر مقدار شاخص رفتار جریان محلول موسیلاژ دانه ریحان در جدول ۱ گزارش شده است. شاخص رفتار جریان نمونه شاهد برابر ۰/۳۵ بود. با افزودن اسید به محلول موسیلاژها، مقدار شاخص رفتار جریان نمونه‌ها افزایش یافت (کاهش در رفتار شل شدن برشی). نمونه حاوی ۰/۵ درصد اسید سیتریک دارای کمترین مقدار شاخص رفتار جریان و نمونه حاوی ۱ درصد اسید مالیک بیشترین مقدار را داشت. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت اسید مالیک از ۰/۵ درصد به ۱ درصد، شاخص رفتار جریان محلول از ۰/۷۰ به ۰/۸۱ افزایش می‌یابد. به‌طور مشابه فرحناکی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که شاخص رفتار جریان موسیلاژ دانه مرو (۰/۲ درصد، وزنی/حجمی) در شرایط اسیدی و با کاهش pH از ۷ به ۳، از ۰/۴۱ به ۰/۴۴ افزایش می‌یابد (۲۸).

جدول ۱- اثرات اسیدهای آلی بر پارامترها و مقادیر خطای مدل قانون توان

Table 1- Effects of organic acids on the parameters and error values of Power law model

اسید آلی Organic acid	غلظت اسید Acid concentration	ضریب قوام ($Pa.s^n$) Consistency coefficient ($Pa.s^n$)	شاخص رفتار جریان Flow behavior index	مجموع مربعات خطا Sum of squared error (SSE)	ضریب تبیین Correlation coefficient (r)	جذر میانگین مربعات خطا Root mean square error (RMSE)
آسکوربیک Ascorbic	0.5%	0.015±0.003 ^{b}	0.74±0.038 ^{ab}	0.0035	0.9949	0.0162
سیتریک Citric		0.024±0.001 ^{a}	0.61±0.001 ^{c}	0.0017	0.9966	0.0118
مالیک Malic		0.009±0.002 ^{cd}	0.70±0.037 ^{bc}	0.0006	0.9966	0.0071
تارتاریک Tartaric		0.010±0.002 ^{c}	0.77±0.046 ^{ab}	0.0017	0.9990	0.0064
آسکوربیک Ascorbic	1%	0.009±0.003 ^{cd}	0.74±0.066 ^{ab}	0.0024	0.9935	0.0113
سیتریک Citric		0.008±0.001 ^{cd}	0.73±0.033 ^{ab}	0.0002	0.9989	0.0040
مالیک Malic		0.005±0.001 ^{d}	0.81±0.027 ^{a}	0.0002	0.9989	0.0037
تارتاریک Tartaric		0.008±0.001 ^{cd}	0.69±0.036 ^{bc}	0.0004	0.9971	0.0058

حروف مختلف در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری است ($p < 0.05$)

Different letters within each column represent significance difference ($p < 0.05$)

مدل بینگهام: مقدار ضریب تبیین، حداقل مجموع مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطا برای مدل بینگهام به ترتیب در محدوده ۰/۷۹۹۱ تا ۰/۹۹۹۲، ۰/۰۰۰۱ تا ۰/۹۸۶۳ و ۰/۰۰۳۵ تا ۰/۹۵۹۷ به دست آمد (جدول ۲). افزودن اسیدهای آلی و در نتیجه کاهش pH محلول حاوی موسیلاژ دانه ریحان، باعث تغییر تنش تسلیم و ویسکوزیته پلاستیک بینگهام شد. در جدول ۲ تأثیر اسیدهای آلی بر مقدار تنش تسلیم بینگهام محلول موسیلاژ دانه ریحان گزارش شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزودن اسید به محلول موسیلاژ و در نتیجه کاهش pH آن، مقدار تنش تسلیم مدل بینگهام کاهش یافته است. . تنش تسلیم محلول شاهد برابر ۱/۲۵۱ پاسکال بود. در بین نمونه‌های دارای اسید، نمونه حاوی ۱ درصد اسید مالیک دارای کمترین تنش تسلیم و نمونه حاوی ۰/۵ درصد اسید سیتریک دارای بیشترین تنش تسلیم بودند. نتایج نشان داد با افزایش غلظت اسید سیتریک از ۰/۵ به ۱ درصد، مقدار تنش تسلیم محلول موسیلاژ از ۰/۰۶۴۲ پاسکال به ۰/۰۴۱۸ پاسکال کاهش یافت ($p>0/05$).

با افزودن اسیدهای آلی به محلول موسیلاژ، مقدار ویسکوزیته پلاستیک (مدل بینگهام) موسیلاژ دانه ریحان کاهش یافت (جدول ۲). مقدار ویسکوزیته پلاستیک برای نمونه شاهد تهیه شده از موسیلاژ دانه ریحان، برابر ۰/۰۰۹۳ پاسکال ثانیه بود که اختلاف معناداری با نمونه‌های حاوی اسید داشت ($p<0/05$). نمونه حاوی ۰/۵ درصد اسید آسکوربیک دارای بیشترین مقدار (۰/۰۰۳۴ پاسکال ثانیه) و نمونه حاوی ۰/۵ درصد اسید مالیک کمترین (۰/۰۰۱۶ پاسکال ثانیه) مقدار ویسکوزیته پلاستیک را داشت. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت اسید آسکوربیک از ۰/۵ درصد به ۱ درصد، ویسکوزیته پلاستیک محلول به‌صورت معنی‌داری از ۰/۰۰۳۴ پاسکال ثانیه به ۰/۰۰۱۹ پاسکال ثانیه کاهش یافت ($p<0/05$).

جدول ۲- اثرات اسیدهای آلی بر پارامترها و مقادیر خطای مدل بینگهام

Table 2- Effects of organic acids on the parameters and error values of Bingham model

اسید آلی Organic acid	غلظت اسید Acid concentration	تنش تسلیم بینگهام (پاسکال) Bingham yield stress (Pa)	ویسکوزیته پلاستیک بینگهام (پاسکال ثانیه) Bingham plastic viscosity (Pa.s)	مجموع مربعات خطا Sum of squared error (SSE)	ضریب تبیین Correlation coefficient (r)	جذر میانگین مربعات خطا Root mean square error (RMSE)
آسکوربیک Ascorbic	0.5%	0.0556±0.034 [a]	0.0034±0.0004 [a]	0.0026	0.9969	0.0139
سیتریک Citric		0.0642±0.042 [a]	0.0027±0.0001 [b]	0.0015	0.9970	0.0113
مالیک Malic		0.0493±0.006 [a]	0.0016±0.0000 [c]	0.0006	0.9965	0.0069
تارتاریک Tartaric		0.0551±0.009 [a]	0.0027±0.0004 [b]	0.0010	0.9977	0.0088
آسکوربیک Ascorbic	1%	0.0536±0.018 [a]	0.0019±0.0001 [c]	0.0014	0.9967	0.3248
سیتریک Citric		0.0418±0.005 [a]	0.0017±0.0000 [c]	0.0009	0.9951	0.0085
مالیک Malic		0.0271±0.003 [a]	0.0017±0.0001 [c]	0.0021	0.9984	0.0048
تارتاریک Tartaric		0.0435±0.004 [a]	0.0014±0.0001 [c]	0.0012	0.9914	0.0100

حروف مختلف در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری است ($p < 0.05$)

Different letters within each column represent significance difference ($p < 0.05$)

مدل هرشل بالکلی: در این مطالعه، مدل هرشل بالکلی هم مشابه مدل قانون توان توصیف خوبی از رابطه بین تنش برشی و سرعت برشی با متوسط ضریب تبیین برابر ۰/۹۹۱۷، مجموع مربعات خطا برابر ۰/۰۳۸۷ و جذر میانگین مربعات خطا برابر ۰/۰۲۶۹ داشت. در این مطالعه متوسط تنش تسلیم مدل هرشل بالکلی برابر ۰/۰۳۷۱ پاسکال به دست آمد (جدول ۳).

تغییر در مقدار ضریب قوام و شاخص رفتار جریان محلول موسیلاژها، به دلیل تغییرات ساختاری موسیلاژ در حضور اسیدهای مختلف می‌باشد. در این پژوهش نیز وجود اسیدهای آلی در محلول حاوی موسیلاژ دانه ریحان تأثیر قابل توجهی بر تغییرات ضریب قوام و شاخص رفتار جریان محلول موسیلاژ داشت. مقدار ضریب قوام برای نمونه شاهد برابر ۰/۴۴۴ $Pa.s^n$ بود که اختلاف معناداری با نمونه‌های حاوی اسید داشت. با افزایش درصد اسید، مقدار ضریب قوام نمونه ها کاهش یافت. نمونه حاوی ۱ درصد اسید آسکوربیک دارای کمترین (۰/۰۰۲ $Pa.s^n$) و نمونه حاوی ۰/۵ درصد اسید سیتریک دارای بیشترین (۰/۰۰۸ $Pa.s^n$) ضریب قوام بودند. نتایج نشان داد که با غلظت افزایش اسید آسکوربیک از ۰/۵ به ۱ درصد، ضریب قوام نمونه‌ها از ۰/۰۰۷ $Pa.s^n$ به ۰/۰۰۲ $Pa.s^n$ کاهش یافت.

با افزودن اسید به محلول موسیلاژ و در نتیجه کاهش pH آن، مقدار شاخص رفتار جریان محلول افزایش یافت (کاهش در رفتار سودوپلاستیکی). نمونه شاهد کمترین مقدار شاخص رفتار جریان (۰/۳۸) و نمونه حاوی ۱ درصد اسید آسکوربیک بیشترین مقدار شاخص رفتار جریان (۰/۹۹) را داشت. نتایج نشان داد

که با افزایش غلظت اسید مالیک از ۰/۵ درصد به ۱ درصد، شاخص رفتار جریان موسیلاژ دانه ریحان از ۰/۸۵ به ۰/۹۰ افزایش یافت، البته این افزایش معنی‌دار نبود (p>۰/۰۵).

جدول ۳- اثرات اسیدهای آلی بر پارامترها و مقادیر خطای مدل هرشل بالکلی

Table 3- Effects of organic acids on the parameters and error values of Herschel-Bulkley model

اسید آلی Organic acid	غلظت اسید Acid concentration	تنش تسلیم (پاسکال) Yield stress (Pa)	ضریب قوام ($Pa.s^n$) Consistency coefficient ($Pa.s^n$)	شاخص رفتار جریان Flow behavior index	مجموع مربعات خطا Sum of squared error (SSE)	ضریب تبیین Correlation coefficient (r)	جذر میانگین مربعات خطا Root mean square error (RMSE)
آسکوربیک Ascorbic	0.5%	0.064±0.043 ^{ab}	0.007±0.006 ^{a}	0.95±0.14 ^{a}	0.0015	0.9979	0.0412
سیتریک Citric		0.076±0.005 ^{a}	0.008±0.002 ^{a}	0.81±0.03 ^{ab}	0.0006	0.9987	0.0076
مالیک Malic		0.028±0.010 ^{bc}	0.004±0.002 ^{a}	0.85±0.11 ^{ab}	0.0004	0.9980	0.0057
تارتاریک Tartaric		0.019±0.011 ^{bc}	0.007±0.003 ^{a}	0.84±0.09 ^{ab}	0.0003	0.9993	0.0054
آسکوربیک Ascorbic	1%	0.050±0.028^{abc}	0.002±0.002 ^{a}	0.99±0.13 ^{a}	0.0007	0.9974	0.0077
سیتریک Citric		0.006±0.004 ^{c}	0.007±0.002 ^{a}	0.76±0.05 ^{ab}	0.0002	0.9990	0.0041
مالیک Malic		0.013±0.013 ^{c}	0.003±0.002 ^{a}	0.90±0.10 ^{ab}	0.0001	0.9996	0.0026
تارتاریک Tartaric		0.006±0.008 ^{c}	0.007±0.002 ^{a}	0.72±0.08 ^{b}	0.0004	0.9972	0.0059

حروف مختلف در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری است ($p < 0.05$)

Different letters within each column represent significance difference ($p < 0.05$)

مدل کاسون: در این پژوهش متوسط مقدار ضریب تبیین، حداقل مجموع مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطا برای مدل کاسون به ترتیب برابر ۰/۹۸۷۴، ۰/۰۵۷۲ و ۰/۰۲۷۷ بود (جدول ۴). در جدول ۴ تأثیر اسیدهای آلی بر مقدار تنش تسلیم کاسون محلول موسیلاژ دانه ریحان گزارش شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزودن اسید به محلول موسیلاژ و در نتیجه کاهش pH آن، مقدار تنش تسلیم مدل کاسون کاهش یافته است. مقدار تنش تسلیم برای نمونه شاهد برابر ۰/۸۴۳ پاسکال بود که اختلاف معناداری با نمونه‌های حاوی اسید داشت. نمونه حاوی ۰/۵ درصد اسید سیتریک دارای بیشترین تنش تسلیم و نمونه حاوی ۱ درصد اسید مالیک دارای کمترین تنش تسلیم بودند. با افزایش غلظت اسید سیتریک از ۰/۵ به ۱ درصد، مقدار تنش تسلیم محلول موسیلاژ به‌صورت معنی‌داری از ۰/۰۵۰ پاسکال به ۰/۰۱۲ پاسکال کاهش یافت (p<۰/۰۵). با افزایش غلظت اسید، مقدار ویسکوزیته پلاستیک محلول موسیلاژ کاهش یافت. مقدار ویسکوزیته پلاستیک کاسون برای محلول شاهد تهیه شده از موسیلاژ دانه ریحان، برابر ۰/۰۵۸ پاسکال ثانیه بود. نمونه حاوی ۰/۵ درصد اسید آسکوربیک دارای بیشترین (۰/۰۵۰ پاسکال ثانیه) و نمونه حاوی ۱ درصد اسید تارتاریک کمترین (۰/۰۳۲ پاسکال ثانیه) مقدار ویسکوزیته پلاستیک را داشتند. با افزایش غلظت اسید آسکوربیک از ۰/۵ درصد به ۱ درصد، ویسکوزیته پلاستیک محلول به‌صورت معنی‌داری از ۰/۰۵۰ پاسکال ثانیه به ۰/۰۳۸ پاسکال ثانیه کاهش یافت (p<۰/۰۵).

جدول ۴- اثرات اسیدهای آلی بر پارامترها و مقادیر خطای مدل کاسون

Table 4- Effects of organic acids on the parameters and error values of Casson model

اسید آلی Organic acid	غلظت اسید Acid concentration	تنش تسلیم کاسون (پاسکال) Casson yield stress (Pa)	ویسکوزیته پلاستیک کاسون (پاسکال ثانیه) Casson plastic viscosity (Pa.s)	مجموع مربعات خطا Sum of squared error (SSE)	ضریب تبیین Correlation coefficient (r)	جذر میانگین مربعات خطا Root mean square error (RMSE)
آسکوربیک Ascorbic	0.5%	0.025±0.008 ^{b}	0.050±0.003 ^{a}	0.0024	0.9968	0.0137
سیتریک Citric		0.050±0.002 ^{a}	0.041±0.001 ^{b}	0.0006	0.9987	0.0072
مالیک Malic		0.016±0.004 ^{bc}	0.034±0.001 ^{cd}	0.0004	0.9978	0.0057
تارتاریک Tartaric		0.014±0.005 ^{bc}	0.046±0.004 ^{a}	0.0005	0.9989	0.0061
آسکوربیک Ascorbic	1%	0.017±0.008 ^{bc}	0.038±0.001 ^{bc}	0.0018	0.9961	0.0088
سیتریک Citric		0.012±0.003 ^{c}	0.035±0.001 ^{cd}	0.0004	0.9979	0.0055
مالیک Malic		0.006±0.001 ^{c}	0.037±0.001 ^{bc}	0.0002	0.9991	0.0036
تارتاریک Tartaric		0.015±0.003 ^{bc}	0.032±0.002 ^{d}	0.0007	0.9954	0.0074

حروف مختلف در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری است ($p < 0.05$)

Different letters within each column represent significance difference ($p < 0.05$)

نتیجه‌گیری

خصوصیات رئولوژیکی هیدروکلوئیدها به دلیل خواص ساختاری و بافتی که در مواد غذایی ایجاد می‌کنند، اهمیت زیادی دارد. در این پژوهش، تأثیر اسیدهای آلی خوراکی شامل آسکوربیک، سیتریک، مالیک و تارتاریک در دو غلظت ۰/۵ و ۱ درصد بر ویسکوزیته و پارامترهای رئولوژیکی محلول موسیلاژ دانه ریحان مورد بررسی قرار گرفت. محلول‌های ۰/۲ درصد موسیلاژ دانه ریحان (شاهد و نمونه‌های حاوی اسید) رفتار سودوپلاستیکی از خود نشان دادند و با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته آنها کاهش یافت. با افزایش درصد اسیدهای آلی، ویسکوزیته محلول‌ها کاهش یافت و بیشترین کاهش ویسکوزیته مربوط به اسید مالیک ۱ درصد بود. معادلات مختلفی برای برازش داده های رئولوژیکی استفاده شد و مشاهده شد که مدل قانون توان بهترین مدل است و متوسط مقدار ضریب تبیین، حداقل مجموع مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطا برای این مدل به ترتیب برابر ۰/۹۹۰۵، ۰/۰۳۹۰ و ۰/۰۲۴۹ بود. با افزایش درصد اسید، مقدار ضریب قوام (مدل‌های قانون توان و هرشل بالکلی) نمونه‌ها کاهش یافت. با افزودن اسید به محلول موسیلاژ دانه ریحان، شاخص رفتار جریان افزایش یافت. همچنین با افزایش غلظت اسید، مقدار ویسکوزیته پلاستیک (مدل‌های بینگهام و کاسون) نمونه‌ها کاهش یافت. در مجموع، استفاده از موسیلاژ دانه ریحان در محصولات غذایی حاوی غلظت بالای اسیدهای آلی خوراکی مخصوصاً اسید مالیک توصیه نمی‌شود و غلظت بالای این اسید باعث کاهش ویسکوزیته و قوام محصولات حاوی این موسیلاژ می‌شوند.

تشکر و قدردانی

دانشگاه بوعلی سینا از این پژوهش، قدردانی می‌کنیم.

از حمایت مالی و معنوی معاونت محتـــرم پـــژوهشی

References

1. Yildiz, F. 2010. Food acids: Organic acids, volatile organic acids, and phenolic acids, in: F. Yildiz (Ed.) Advances in Food Biochemistry, CRC Press, Boca Raton, pp. 28.
2. Nour, V., Trandafir, I., Ionica, M.E. 2010. HPLC organic acid analysis in different citrus juices under reversed phase conditions, Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 38: 44-48.
3. Karadeniz, F. 2004. Main organic acid distribution of authentic citrus juices in Turkey, Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 28: 267-271.
4. Nyyssönen, K., Salonen, J.T., Parviainen, M.T. 2000 Ascorbic acid, in: Modern chromatographic analysis of vitamins, CRC Press, pp. 259-286.
5. Lo Scalzo, R. 2008. Organic acids influence on DPPH scavenging by ascorbic acid, Food Chemistry. 107: 40-43.
6. Tao, Q., Zhao, J., Li, J., Liu, Y., Luo, J., Yuan, S., Li, B., Li, Q., Xu, Q., Yu, X., Huang, H., Li, T., Wang, C. 2020. Unique root exudate tartaric acid enhanced cadmium mobilization and uptake in Cd-hyperaccumulator Sedum alfredii, Journal of Hazardous materials. 383: 121177.
7. Yao, S., Wang, B.-J., Weng, Y.-M. 2022. Preparation and characterization of mung bean starch edible films using citric acid as cross-linking agent, Food Packaging and Shelf Life. 32: 100845.
8. Wang, H., Li, W., Gong, Y., Xu, Y., Luo, S., Hu, X., Liu, C. 2024. The effect of organic acids on high-moisture extrusion of soy protein isolate: Comparison between monocarboxylic acid and polycarboxylic acids, Food Bioscience. 58: 103664.
9. Mani-López, E., García, H.S., López-Malo, A. 2012. Organic acids as antimicrobials to control Salmonella in meat and poultry products, Food Research International. 45: 713-721.
10. Savani, P., Puthiyedath, A., Chandran K, R., George, S., Prasad, P.S., Annapure, U.S. 2023. Evaluation of the sensory properties and antioxidant activity of clean rosemary extracts for an effective replacement of EDTA in Mayonnaise, Applied Food Research. 3: 100302.
11. Zhou, T., Feng, Y., Chen, Y., Zhao, M. 2023. Quantitative studies, taste recombination, and omission experiments on the key taste compounds in Chinese and Japanese soy sauce, Food Chemistry. 403: 134215.
12. Jo, W., Bak, J.H., Yoo, B. 2018. Rheological characterizations of concentrated binary gum mixtures with xanthan gum and galactomannans, International Journal of Biological Macromolecules. 114: 263-269.
13. Ozgur, A., Dogan, M., Karaman, S. 2017. Rheological interactions of the xanthan gum and carboxymethyl cellulose as alternative to pectin in organic acid–sucrose model system: simplex lattice mixture design approach, European Food Research and Technology. 243: 1041-1056.
14. Nor Hayati, I., Wai Ching, C., Rozaini, M.Z.H. 2016. Flow properties of o/w emulsions as affected by xanthan gum, guar gum and carboxymethyl cellulose interactions studied by a mixture regression modelling, Food Hydrocolloids. 53: 199-208.
15. Hayta, M., Dogan, M., Aslan Türker, D. 2020. Rheology and microstructure of galactomannan–xanthan gum systems at different pH values, Journal of Food Process Engineering. 43: e13573.
16. Salehi, F. 2020. Effect of common and new gums on the quality, physical, and textural properties of bakery products: A review, Journal of Texture Studies. 51: 361-370.
17. Kang, J., Yue, H., Li, X., He, C., Li, Q., Cheng, L., Zhang, J., Liu, Y., Wang, S., Guo, Q. 2023. Structural, rheological and functional properties of ultrasonic treated xanthan gums, International Journal of Biological Macromolecules. 246: 125650.

18. Salehi, F., Inanloodoghouz, M. 2023. Rheological properties and color indexes of ultrasonic treated aqueous solutions of basil, Lallemantia, and wild sage gums, International Journal of Biological Macromolecules. 253: 127828.
19. Mirabolhassani, S.E., Rafe, A., Razavi, S.M.A. 2016. The influence of temperature, sucrose and lactose on dilute solution properties of basil (*Ocimumbasilicum*) seed gum, International Journal of Biological Macromolecules. 93: 623-629.
20. Xu, X., Liu, W., Zhang, L. 2006. Rheological behavior of Aeromonas gum in aqueous solutions, Food Hydrocolloids. 20: 723-729.
21. Brenelli, S., Campos, S., Saad, M. 1997. Viscosity of gums in vitro and their ability to reduce postprandial hyperglycemia in normal subjects, Brazilian Journal of Medical and Biological Research. 30: 1437-1440.
22. Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B., Katthain, R. 2000. Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*), Food Hydrocolloids. 14: 417-424.
23. Martins, D., Dourado, F., Gama, M. 2023. Effect of ionic strength, pH and temperature on the behaviour of re-dispersed BC:CMC - A comparative study with xanthan gum, Food Hydrocolloids. 135: 108163.
24. Bak, J., Yoo, B. 2023. Rheological characteristics of concentrated ternary gum mixtures with xanthan gum, guar gum, and carboxymethyl cellulose: Effect of NaCl, sucrose, pH, and temperature, International Journal of Biological Macromolecules. 253: 126559.
25. Salehi, F., Satorabi, M. 2021. Effect of basil seed and xanthan gums coating on colour and surface change kinetics of peach slices during infrared drying, Acta Technologica Agriculturae. 24: 150-156.
26. Salehi, F., Razavi Kamran, H., Goharpour, K. 2023. Production and evaluation of total phenolics, antioxidant activity, viscosity, color, and sensory attributes of quince tea infusion: Effects of drying method, sonication, and brewing process, Ultrasonics Sonochemistry. 99: 106591.
27. Salehi, F., Inanloodoghouz, M. 2024. Effects of ultrasonic intensity and time on rheological properties of different concentrations of xanthan gum solution, International Journal of Biological Macromolecules. 263: 130456.
28. Farahnaky, A., Shanesazzadeh, E., Mesbahi, G., Majzoobi, M. 2013. Effect of various salts and pH condition on rheological properties of *Salvia macrosiphon* hydrocolloid solutions, Journal of Food Engineering. 116: 782-788.
29. Rafe, A., Razavi, S.M.A. 2013. The effect of pH and calcium ion on rheological behaviour of β-lactoglobulin-basil seed gum mixed gels, International Journal of Food Science & Technology. 48: 1924-1931.
30. Nsengiyumva, E.M., Alexandridis, P. 2022. Xanthan gum in aqueous solutions: Fundamentals and applications, International Journal of Biological Macromolecules. 216: 583-604.
31. Amin, A.M., Ahmad, A.S., Yin, Y.Y., Yahya, N., Ibrahim, N. 2007. Extraction, purification and characterization of durian (*Durio zibethinus*) seed gum, Food Hydrocolloids. 21: 273-279.