

اثر تیمارهای حرارتی بر ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی صمغ دانه ریحان

عاکفه ضامنی^{a*}، مهدی کاشانی نژاد^b، فخرالدین صالحی^c

^a دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^b دانشیار دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^c دانشجوی دکتری دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده

مقدمه: هیدروکلوئیدها (صمغ‌ها) جزئی از ترکیبات مواد غذایی می‌باشند که هنگام انتقال، فراوری، نگهداری و توزیع مواد غذایی، تحت تاثیر تیمارهای حرارتی قرار می‌گیرند. در این پژوهش تاثیر تیمارهای حرارتی بر تغییر رنگ، خصوصیات رئولوژیکی و بافتی (سفتی، چسبندگی و قوام) صمغ دانه ریحان بررسی شد.

مواد و روش‌ها: صمغ دانه ریحان استخراج و جهت بررسی خصوصیات رئولوژیکی و رنگ، محلول‌های با غلظت ۰/۲٪ و جهت بررسی خصوصیات بافتی محلول‌هایی با غلظت‌های ۳ و ۴٪ از صمغ خشک شده تهیه و سپس تحت تیمارهای حرارتی متفاوت (دماهای ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه) قرار گرفتند.

یافته‌ها: اعمال تیمارهای حرارتی باعث افزایش ویسکوزیته صمغ دانه ریحان شد. بافت ژل تهیه شده در برابر تیمارهای حرارتی مقاومت خوبی از خود نشان داده و مقادیر سفتی، چسبندگی و قوام ژل ۳ درصد صمغ دانه ریحان پس از اعمال تیمار حرارتی در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد، به ترتیب ۵۱/۳ گرم، ۲۳/۷۵ گرم در ثانیه و ۲۱۱/۹۹ گرم در ثانیه بدست آمدند. با افزایش دمای تیمار حرارتی، رنگ نمونه‌ها روشنتر (افزایش L) شد.

نتیجه‌گیری: نتایج برازش داده‌ها حاکی از رفتار سودوپلاستیک صمغ دانه ریحان بوده و مدل قانون توان جهت بررسی آن مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بافت، تیمار حرارتی، رئولوژی، صمغ دانه ریحان

مقدمه

هیدروکلوئیدها یا صمغ‌ها بیوپلیمرهای آبدوست^۱ با وزن مولکولی بالا هستند که در صنایع غذایی برای کنترل و بهبود ویژگی‌های عملکردی فرآورده‌های غذایی به کار می‌روند. مهم‌ترین ویژگی‌های محلول هیدروکلوئیدها، قوام‌دهندگی (ایجاد ویسکوزیته) و تشکیل ژل می‌باشد. علاوه بر این ویژگی‌ها، هیدروکلوئیدها به منظور تثبیت امولسیون‌ها، جلوگیری از تشکیل مجدد کریستال‌های یخ و ایجاد ویژگی‌های حسی مطلوب در محصولات غذایی به کار می‌روند. هیدروکلوئیدها از منابع مختلفی استخراج می‌شوند که یکی از این منابع دانه‌ها هستند (Dickinson, 2003).

موسیلاژهای دانه‌ای و پلی‌ساکاریدهای گیاهی به آسانی در دسترس می‌باشند و به دلیل قیمت مناسب اهمیت ویژه‌ای دارند و اکثر آن‌ها در فرمولاسیون‌های غذایی قابل استفاده هستند. پلی‌ساکاریدهای استخراج شده از گیاهان در صنایع غذایی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند. این پلیمرها به دلیل طبیعی بودن برای بسیاری از مصرف‌کنندگان از مطلوبیت بیشتری برخوردار هستند (Lai et al., 2000; Yadav et al., 2007). استفاده از این صمغ‌های استخراج شده از دانه‌ها در فرمولاسیون مواد غذایی توسط محققان در حال بررسی است. اثر پکتین، صمغ دانه ریحان و مرو بر خصوصیات فیزیکیوشیمیایی و حسی ماست چکیده بدون چربی توسط رزمخواه و همکاران (۲۰۱۰) مورد بررسی قرار گرفته است.

ریحان، گیاهی یکساله به بلندی ۵۰ سانتی‌متر است. گل‌های آن کوچک مایل به سبز یا ارغوانی و یا سفید می‌باشند، برگ‌های جوان، سبز و روشن به شکل بیضی، نوک تیز با دندانه‌های ریز و معطر است، و لعاب دانه ریحان نرم‌کننده، ملین و معرق است. در لعاب تخم ریحان هگزورونیک اسید، پنتوز و خاکستر وجود دارد (میرحیدری، ۱۳۷۲).

برطبق تحقیقات صورت گرفته، مشخص شده است که هیدروکلوئید استخراج شده از دانه ریحان دارای ۲ جزء اصلی می‌باشد: اسکلت اصلی یا هسته اصلی گلوکومانان که در مقابل اسید پایدار است (۴۳٪) و دارای نسبت گلوکز به مانوز ۱۰ به ۲ می‌باشد و قسمت محلول در اسید که دارای

اثر تیمارهای حرارتی بر ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی صمغ دانه ریحان

گزیلان با اتصالات ۱ به ۴ (۲۴/۲۹٪) و دارای زنجیره جانبی اسیدی بر روی کربن شماره ۲ و ۳ از گزیلوزیل می‌باشد (Anjaneyalu & Tharanathan, 1971).

دما یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر ویژگی‌های عملکردی هیدروکلوئیدها می‌باشد. فرآیندهای حرارتی مختلف نظیر پاستوریزاسیون، استریلیزاسیون، گرم کردن، خشک کردن و ... بر ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی هیدروکلوئیدهای موجود در محصولات غذایی طی فرآیندهای تولید و انبارداری تاثیر می‌گذارند. در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه بررسی خواص عملکردی صمغ‌ها تحت تیمارهای حرارتی صورت گرفته است. برای مثال حسینی پرور و همکاران (۱۳۸۸) ویژگی‌های رئولوژیکی رفتار جریان محلول صمغ استخراج شده از دانه ریحان در ترکیب با صمغ‌های گوار و لوبیای لوکاست را مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که فرآیند حرارتی ۸۵ درجه سانتی‌گراد بر مخلوط صمغ‌های یاد شده در تغییر برخی پارامترهای رئولوژیکی آن‌ها مؤثر می‌باشد. تاثیر تیمار حرارتی (۸۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۵ ثانیه) بر برهمکنش پروتئین‌های شیر و صمغ‌های کاپاکاراگینان، گوار، گزانتان در غلظت‌های ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ توسط محققان بررسی و نتایج نشان می‌دهد که دما به مدت طولانی باعث کاهش ویسکوزیته صمغ گوار - پروتئین‌های شیر می‌گردد، ولی صمغ گزانتان به شرایط اعمال شده حساس نمی‌باشد (Smith & Schmidt, 1999).

در مطالعه دیگری گزارش شده است که سفتی ژل آلزینات با حرارت دادن افزایش می‌یابد و طولانی کردن مدت زمان فرایند حرارتی منجر به افزایش بیشتر در میزان سفتی ژل می‌شود (Bhattachary & Roopa, 2008).

Mandala و همکاران (۲۰۰۲) با بررسی تأخیر شرایط نگهداری مخلوط صمغ‌های گزانتان - نشاسته در دمای (۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد) دریافتند که نگهداری در دمای پایین (۵ درجه سانتی‌گراد) منجر به افزایش سختی ژل تهیه شده می‌گردد.

برای اهداف طراحی و مدلسازی فرآیندهای غذایی بایستی ویژگی‌های رئولوژیکی مواد غذایی مایع به دقت مورد توجه قرار گیرند. محاسبات فرآیندهای حامل جریان سیال نظیر پمپ کردن، استخراج و فیلتراسیون نیازمند

¹ Hydrophilic

غلظت‌های ۳ و ۴ درصد وزنی- وزنی برای انجام آزمون نفوذ تهیه و توسط همزن کاسه‌دار (Philips, HR-1565, China) همگن شدند. سپس به منظور کامل شدن هیدراتاسیون به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط روی همزن غلتکی^۲ نگهداری شدند. (جهت تعیین حداقل غلظت لازم برای تشکیل ژل، غلظت‌های مختلف محلول صمغ با اختلاف ۰/۱٪ تهیه در ظرف‌های مخصوص ریخته شد و تا انحلال کامل صمغ در آب دیونیزه به شدت همزده شد. محلول‌های حاصله در بن ماری با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت قرار داده شدند و پس از سرد شدن در دمای محیط به مدت نیم ساعت، به یخچال منتقل شده و یک شب در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. غلظتی که در آن پس از حرکت دادن و برگرداندن ظرف، حرکتی در محتویات ظرف به طرف بیرون ظرف مشاهده نشد (حالت شبه جامد) به عنوان حداقل غلظت لازم از صمغ برای تشکیل ژل در نظر گرفته شد).

ب) تیمارهای حرارتی

در کلیه آزمایشات نمونه‌ها پس از تهیه، جهت اعمال تیمار حرارتی در دماهای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد درون بن ماری (Memmert Universal, WB14, Germany) و جهت اعمال تیمار ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد درون اتوکلاو (کاووش مگا، عمودی ۲۵ لیتری، ایران) به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفتند.

- آزمایشات

- بررسی خصوصیات رئولوژیکی

خصوصیات رئولوژی محلول ۰/۲٪ (وزنی/وزنی) نمونه‌های صمغ پس از اعمال تیمارهای حرارتی با استفاده از یک دستگاه ویسکومتر چرخشی بروکفیلد (Brookfield, Model RVDV- II+ pro, USA) در محدوده سرعت برشی ۶/۱۲ تا ۲۵۰ بر ثانیه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از اسپیندل YULA-15 اندازه‌گیری شدند. ۱۶ میلی‌لیتر از نمونه آماده شده داخل ظرف اسپیندل ریخته شد و پس از آن که دمای نمونه به ۲۵ درجه

داشتن داده‌های رئولوژیکی می‌باشد (Marcotte et al., 2001). برای مثال Razavi و همکاران (۲۰۱۱) اثر غلظت و دما بر ویژگی‌های رئولوژیکی صمغ دانه مرو را مورد بررسی قرار داده و آن را با مدل‌های رئولوژیکی توان، بینگهام، کاسون و هرشل بالکی مدلسازی کردند. آن‌ها دریافتند که مدل هرشل بالکی برای بررسی رفتار این صمغ مناسب می‌باشد.

هیدروکلوئیدها در شرایط حرارتی مختلف، رفتار مشابهی ندارند، لذا بررسی اثر تیمارهای مختلف بر ویژگی‌هایی صمغ‌ها ضرورت دارد تا قابلیت استفاده از آن‌ها در فرمولاسیون‌های غذایی تعیین گردد. بررسی منابع انتشار یافته، حاکی از عدم بررسی تاثیر تیمارهای حرارتی بر خصوصیات صمغ دانه ریحان به عنوان یک منبع هیدروکلوئیدی مناسب و جدید می‌باشد. لذا هدف از این پژوهش بررسی اثر تیمارهای حرارتی متفاوت (دماهای ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۰ دقیقه) بر ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی صمغ دانه ریحان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

- تهیه نمونه

دانه ریحان (گونه استفاده شده در این تحقیق ریحان شیرین^۱ می‌باشد که جزء گونه‌هایی است که در ایران به وفور کشت می‌شود)، از بازار محلی در شهر گرگان خریداری شد و جهت حذف ناخالصی‌ها، الک شد. صمغ دانه ریحان با روش تعیین شده توسط صالحی و همکاران (۱۳۹۲) و با اندکی تغییرات (نسبت آب به دانه ۲۰ به ۱، دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، pH=۷ و مدت زمان ۲۰ دقیقه)، توسط اکسترکتور خانگی استخراج، سپس در آن با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک و توسط آسیاب پودر گردید.

الف) آماده‌سازی محلول‌های هیدروکلوئیدی

محلول‌های صمغ دانه ریحان توسط پراکنده کردن پودر صمغ در آب مقطر در غلظت ۰/۲ درصد وزنی- وزنی برای انجام آزمون‌های ویسکومتری و رنگ تهیه شدند (چون در محصولات غذایی درصد مجاز استفاده از صمغ تا این حدود می‌باشد، از این غلظت استفاده شد).

^۱ Sweet Basil

^۲ Roller Mixer

اثر تیمارهای حرارتی بر ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی صمغ دانه ریحان

- رنگ‌سنجی

برای بررسی تاثیر تیمارهای حرارتی بر تغییر رنگ محلول صمغ‌ها، از روش پردازش تصویر استفاده شد. برای اندازه‌گیری رنگ صمغ دانه ریحان، ۵۰ میلی‌لیتر از محلول صمغی ۰/۲ درصد پس از اعمال تیمارهای حرارتی در ظروف شیشه‌ای شفاف ریخته و از آن عکس گرفته شد. سیستم بینایی رایانه‌ای (CVS) ^۱ شامل یک دوربین دیجیتال برای گرفتن عکس از نمونه، منبع نوری استاندارد شامل ۲ لامپ بود و نرم افزار کامپیوتری Image J (1.42e, USA) برای تجزیه و تحلیل تصاویر گرفته شده می‌باشد.

- تجزیه و تحلیل آماری

تمامی آزمایشات در قالب طرح کاملاً تصادفی و در ۳ تکرار صورت گرفت. تجزیه و تحلیل آماری نتایج شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح آماری ۵٪ توسط نرم افزار تخصصی آماری (SAS software 9.1.3) انجام شد. رسم نمودارها نیز توسط نرم افزار اکسل (Excel 2010) انجام گرفت.

یافته‌ها

- ویسکوزیته ظاهری

اثر تیمارهای حرارتی بر خصوصیات رئولوژیکی محلول صمغ دانه ریحان در شکل‌های ۱ و ۲ به نمایش در آمده است. نتایج نشان می‌دهد که ویسکوزیته ظاهری این صمغ با افزایش درجه برش کاهش یافته است که نشانگر رفتار سودوپلاستیک آن می‌باشد.

- مدل سازی

- قانون توان

همانطور که در جدول ۱ دیده می‌شود، شاخص رفتار جریان صمغ دانه ریحان با افزایش دما کاهش می‌یابد و تاثیر دما معنی‌دار می‌باشد. اما بین تیمارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود.

تاثیر دما بر مقدار ضریب قوام صمغ دانه ریحان معنی‌دار می‌باشد ($P < 0.05$)، اما اختلاف بین تیمارهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ و همچنین تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد

سانتی‌گراد رسید، آزمون رئولوژیکی مورد نظر برای به دست آوردن تنش برشی - درجه‌ی برش بر آن اعمال گردید. از مدل‌های رئولوژیکی شامل قانون توان، بینگهام و کاسون و نرم افزار آماری (Curve Expert program version 1.34) جهت برازش داده‌ها و یافتن ثابت‌های مدل‌ها استفاده گردید.

$$\tau = K_p \dot{\gamma}^{n_p}$$

مدل قانون توان

در این معادله، k ضریب قوام ($pa.s^n$) و n شاخص رفتار جریان (بدون بعد) می‌باشد. K بزرگی ویسکوزیته سیال و n ویژگی رفتار سیال را نشان می‌دهد (Razavi et al., 2011).

$$n_B \tau = n_B \dot{\gamma} + \tau_{OB}$$

مدل بینگهام

n_B را ویسکوزیته‌ی پلاستیک بینگهام (pa)، و τ_{OB} را تنش تسلیم بینگهام (Pa) می‌گویند (Razavi et al., 2011).

$$\tau^{0.5} = K_{OC}^{0.5} + K_C (\dot{\gamma})^{0.5}$$

مدل کاسون

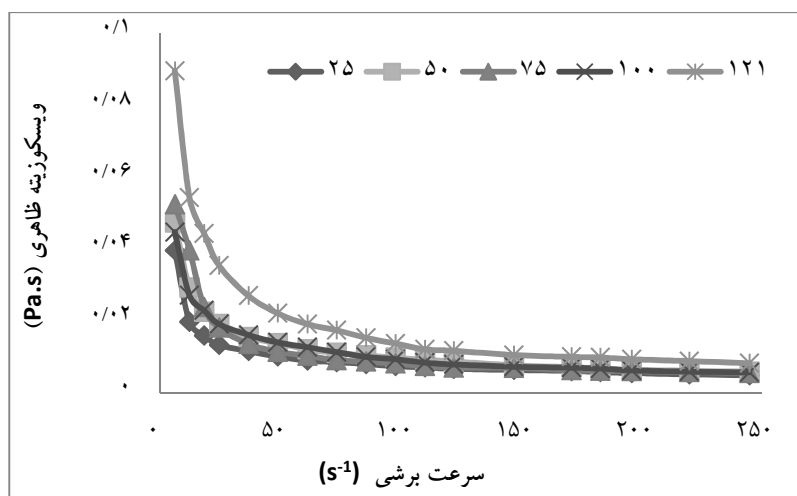
K_{OC} ، عرض از مبدا نمودار- ($\tau^{0.5}$) ($\dot{\gamma}^{0.5}$) و K_C شیب نمودار فوق است. $K_C^2 = \mu_c$ و $K_{OC}^2 = \tau_{OC}$ به ترتیب عبارتند از ویسکوزیته کاسون ($Pa.s$) و تنش تسلیم کاسون (Pa) (Razavi et al., 2011).

- بافت‌سنجی

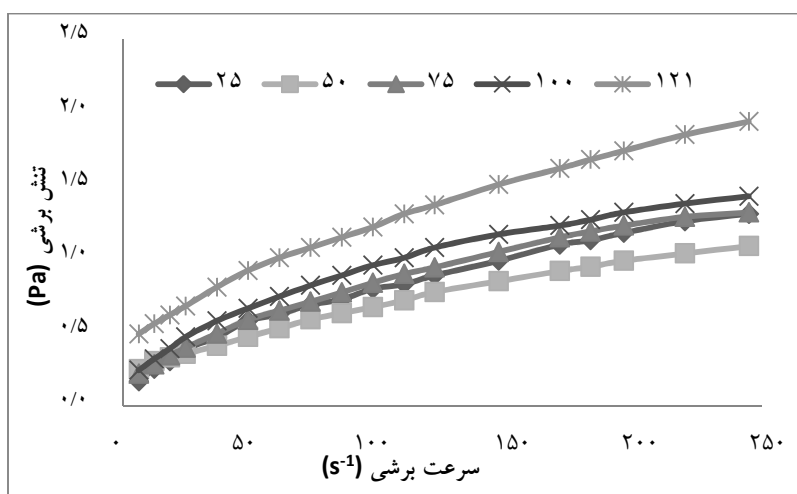
پارامترهای بافتی مانند سفتی، قوام و چسبندگی نمونه‌های ۳ و ۴ درصد (وزنی/وزنی) صمغ دانه ریحان پس از اعمال تیمارهای حرارتی به وسیله آزمون نفوذ توسط پروب استوانه‌ای با قطر ۶ میلی‌متر با سرعت ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه و به عمق ۱۵ میلی‌متر، توسط بافت سنج (TA-XT Plus, Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. کلیه آزمایشات پس از یک شب ماندگاری محلول صمغی در دمای محیط، به منظور تکمیل هیدراسیون و در دمای محیط انجام گرفت.

¹ Computer Vision System

معنی‌دار نمی‌باشد، و بیشترین تاثیر را تیمار ۱۲۱ درجه سانتیگراد دارد. در قانون توان، ضریب قوام صمغ دانه ریحان که نشانگر ویسکوزیته محلول صمغ است پس از اعمال تیمار حرارتی افزایش می‌یابد



شکل ۱- تاثیر تیمارهای حرارتی بر ویسکوزیته‌ی ظاهری محلول صمغ دانه ریحان



شکل ۲- اثر تیمارهای حرارتی بر نمودارهای تنش برشی- سرعت برشی محلول صمغ دانه ریحان

جدول ۱- پارامترهای رئولوژیکی مدل قانون توان برای محلول‌های تیمار شده صمغ دانه ریحان در دماهای مختلف و مدت زمان ۲۰ دقیقه

تیمارها	$k_p (Pa.s^n)$	n_p	R^2
۲۵°C	$0.057^c \pm 0.002$	$0.56^a \pm 0.021$	۰/۹۹۹
۵۰°C	$0.068^{bc} \pm 0.003$	$0.51^{ab} \pm 0.021$	۰/۹۹۵
۷۵°C	$0.077^{bc} \pm 0.003$	$0.50^{ab} \pm 0.028$	۰/۹۹۹
۱۰۰°C	$0.100^b \pm 0.002$	$0.49^b \pm 0.021$	۰/۹۹۸
۱۲۱°C	$0.180^a \pm 0.014$	$0.42^c \pm 0.014$	۰/۹۹۶

در ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد سفتی ژل به ۵۱/۳ می‌رسد و تیمار ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد. در شکل ۴ نیز تیمار ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین مقدار می‌باشد و با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری دارد و همانطور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود میزان سفتی در تمام تیمارهای غلظت ۴ درصد بیشتر از غلظت ۳ درصد می‌باشد.

- چسبندگی

چسبندگی به کار مورد نیاز برای غلبه بر نیروهای جاذب بین سطح ماده غذایی و موادی که در تماس با آن هستند اشاره می‌کند (Adhikari et al., 2010). همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود چسبندگی ژل ۳ درصد صمغ دانه ریحان پس از قرارگیری در معرض تیمارهای حرارتی افزایش می‌یابد و همچنین اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و تیمارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده نمی‌شود. بر اساس نتایج آزمون نفوذ که در شکل ۶ مشاهده می‌شود در غلظت ۴ درصد ژل صمغ دانه ریحان نیز چسبندگی با افزایش دمای تیمار حرارتی افزایش می‌یابد و همچنین در تمامی تیمارها میزان چسبندگی غلظت ۴ درصد ژل صمغ دانه ریحان بیشتر می‌باشد.

- مدل‌های رئولوژیکی بینگهام و کاسون

مدل‌های رئولوژیکی دارای تنش تسلیم مانند بینگهام و کاسون جهت بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی صمغ دانه ریحان مورد استفاده قرار گرفتند. داده‌های موجود در جدول ۲ نشان می‌دهد که η_B تنش تسلیم بینگهام صمغ دانه ریحان با افزایش دما افزایش می‌یابد و ویسکوزیته بینگهام نیز پس از اعمال حرارت افزایش پیدا می‌کند.

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، مدل کاسون نیز رفتار رئولوژیکی صمغ دانه ریحان را به خوبی و با ضریب تبیین بالایی توصیف می‌نماید. میزان تنش تسلیم کاسون به طور معنی‌داری در محلول‌های صمغ دانه ریحان افزایش پیدا می‌کند.

- ویژگی‌های بافتی

- سفتی

سفتی عموماً برای بیان قدرت شبکه ژل اندازه‌گیری می‌شود و بسته به نوع سیستم غذایی می‌تواند یک پارامتر بسیار مهم باشد (Fizman & Damasio, 2000). اثر تیمارهای حرارتی بر سفتی ژل صمغ دانه ریحان در غلظت‌های ۳ و ۴ درصد در شکل‌های ۳ و ۴ به نمایش درآمده است. میزان سفتی نمونه شاهد در غلظت ۳ درصد ۱۳/۹۵ گرم بود. حرارت‌دهی میزان سفتی را افزایش داده و

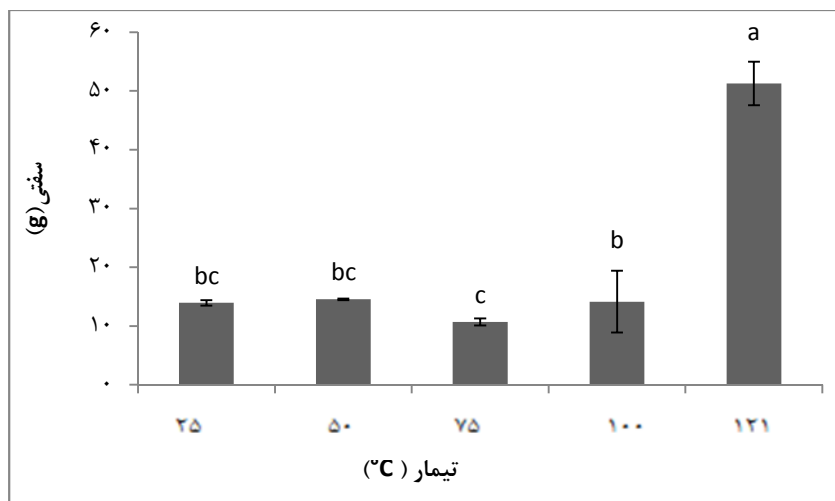
۱۰

جدول ۲- پارامترهای رئولوژیکی مدل بینگهام برای محلول‌های تیمار شده صمغ دانه‌ی ریحان در دماهای مختلف و مدت زمان ۲۰ دقیقه

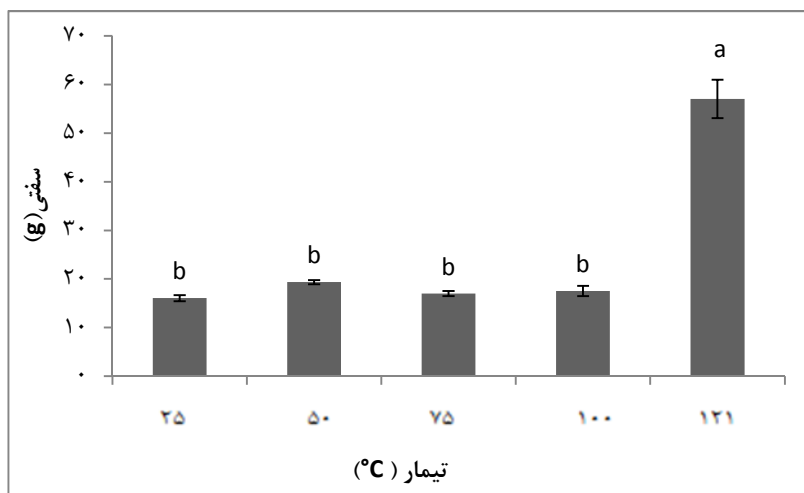
تیمارها	T_{OB} (Pa)	η_B (Pa.s)	R^2
۲۵°C	0.213 ± 0.026^c	0.0002 ± 0.0045^b	۰/۹۸۳
۵۰°C	0.423 ± 0.027^c	0.0001 ± 0.0036^c	۰/۹۹۰
۷۵°C	0.282 ± 0.031^{bc}	0.0001 ± 0.0047^b	۰/۹۸۲
۱۰۰°C	0.285 ± 0.035^b	0.0002 ± 0.0051^{ab}	۰/۹۷
۱۲۱°C	0.212 ± 0.056^a	0.0001 ± 0.0057^a	۰/۹۸۹

جدول ۳- پارامترهای رئولوژیکی مدل کاسون برای محلول‌های تیمار شده صمغ دانه‌ی ریحان در دماهای مختلف و مدت زمان ۲۰ دقیقه

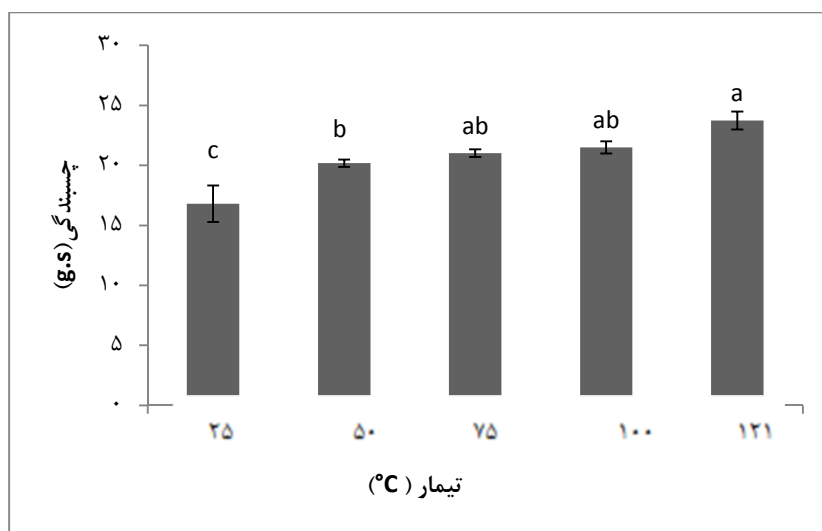
تیمارها	T_{OC} (Pa)	η_c (Pa.s)	R^2
۲۵°C	0.212 ± 0.035^c	0.0014 ± 0.0051^a	۰/۹۸۵
۵۰°C	0.141 ± 0.036^c	0.0014 ± 0.0049^a	۰/۹۹۸
۷۵°C	0.144 ± 0.039^{bc}	0.002 ± 0.0050^a	۰/۹۹۴
۱۰۰°C	0.213 ± 0.044^b	0.0014 ± 0.0050^a	۰/۹۹
۱۲۱°C	0.141 ± 0.058^a	0.002 ± 0.0050^a	۰/۹۸۹



شکل ۳- تاثیر تیمارهای حرارتی بر سفتی ژل صمغ دانه ریجان (۳ درصد)



شکل ۴- تاثیر تیمارهای حرارتی بر سفتی ژل صمغ دانه ریجان (۴ درصد)



شکل ۵- تاثیر تیمارهای حرارتی بر چسبندگی ژل صمغ دانه ریجان (۳ درصد)

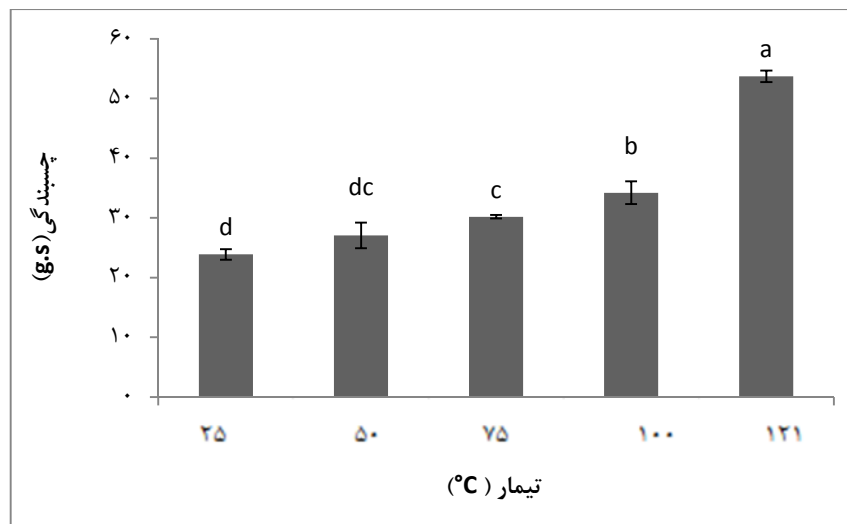
اثر تیمارهای حرارتی بر ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی صمغ دانه ریحان

- قوام

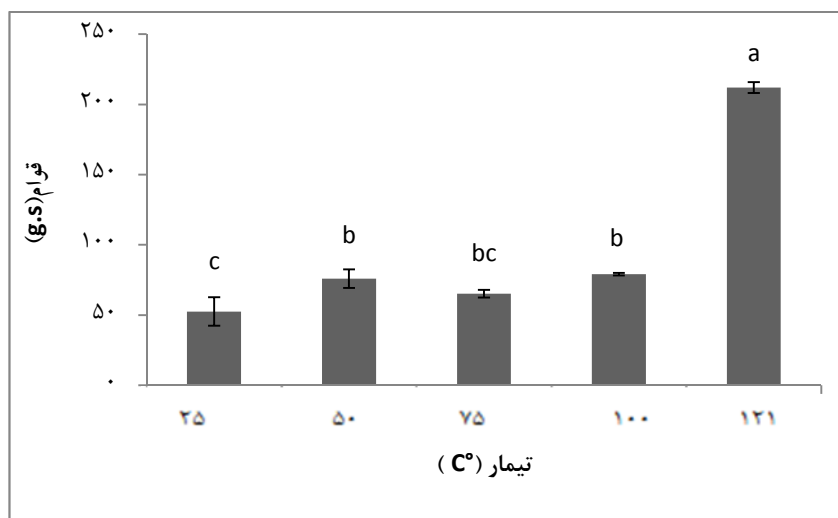
قوام به عنوان کار مورد نیاز برای رسیدن به تغییر شکلی که نشانگر قدرت داخلی باندها در محصول است به کار می‌رود (Ahmeda *et al.*, 2005). در شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب تاثیر تیمارهای حرارتی بر قوام ژل ۳ درصد و ۴ درصد صمغ دانه ریحان نشان داده شده است. میزان قوام صمغ دانه ریحان پس از اعمال تیمار حرارتی در هر دو غلظت افزایش می‌یابد که بیشترین تغییر معنی‌دار در تیمار ۱۲۱ درجه سانتیگراد و به مدت ۲۰ دقیقه مشاهده می‌شود که میزان قوام در غلظت ۳ درصد از ۵۲/۵۹ به ۲۱۱/۹۹ (گرم/تانیه) و در غلظت ۴ درصد از ۶۲/۲۲ به ۲۵۵/۹۸ (گرم/تانیه) افزایش می‌یابد.

- تغییر رنگ

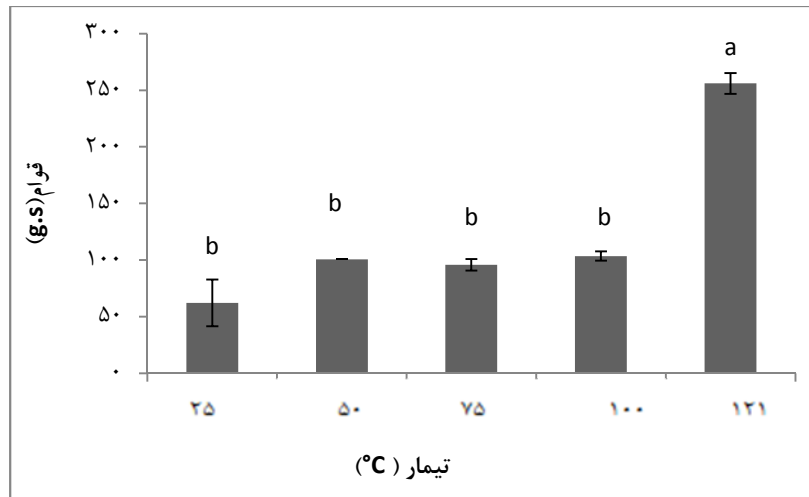
مدل رنگی Lab مرکب از جزء روشنایی (مقدار L که دامنه‌ای از صفر تا ۱۰۰ را دارد) و دو جزء رنگی (دامنه‌ای از -۶۰ تا +۶۰) است که شامل جزء a (دارای طیف رنگی سبز تا قرمز) و جزء b (دارای طیف رنگی آبی تا زرد) می‌باشد. در جدول ۴ نتایج مربوط به آنالیز رنگ صمغ دانه ریحان طی تیمارهای حرارتی مختلف مشاهده می‌شود. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود با افزایش دمای تیمار حرارتی میزان روشنایی نیز افزایش یافته است که بیشترین تغییر معنی‌دار در تیمار ۱۲۱ درجه سانتیگراد مشاهده می‌شود.



شکل ۶ - تاثیر تیمارهای حرارتی بر چسبندگی ژل صمغ دانه ریحان (۴ درصد)



شکل ۷ - تاثیر تیمارهای حرارتی بر قوام ژل صمغ دانه ریحان (۳ درصد)



شکل ۸- تاثیر تیمارهای حرارتی بر قوام ژل صمغ دانه ریحان (۴ درصد)

جدول ۴- تاثیر تیمارهای حرارتی بر پارامترهای رنگی محلول صمغ دانه ریحان (۲/۰ درصد) در دماهای مختلف و زمان ۲۰ دقیقه

تیمارها	<i>l</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
۲۵°C	۸۱/۸۸ ^b ± ۱/۱۴	-۲۱/۵۷ ^c ± ۱/۵۰	۲۴/۸۶ ^a ± ۱/۴۹
۵۰°C	۸۲/۹۵ ^b ± ۰/۶۰	-۲۰/۰۳۵ ^c ± ۱/۰۸	۲۳/۸۷ ^a ± ۱/۶۱
۷۵°C	۸۳/۲۶ ^b ± ۱/۰۴	-۱۲/۳۰۵ ^b ± ۰/۹۴	۱۲/۰۳ ^b ± ۰/۸۶
۱۰۰°C	۸۵/۰۳۰ ^b ± ۱/۳۹	-۲/۲۳ ^a ± ۱/۰۳	۴/۷۰ ^c ± ۱/۲۹
۱۲۱°C	۸۹/۰۸۰ ^a ± ۲/۰۶	-۲/۱۸ ^a ± ۰/۱۹	۱/۹۸ ^d ± ۰/۷۸

بحث

ویسکوزیته ظاهری صمغ دانه ریحان با افزایش درجه برش کاهش می‌یابد که نشانگر رفتار سودوپلاستیک آن می‌باشد. نتایج مدل قانون توان نیز نشانگر رفتار سودوپلاستیک صمغ دانه ریحان می‌باشد. این رفتار برای بیشتر محلول‌های هیدروکلوئیدی قابل مشاهده است که ناشی از ساختار پلیمری و وزن مولکولی بالای آن‌ها است. در قانون توان ضریب قوام صمغ دانه ریحان پس از اعمال تیمار حرارتی افزایش می‌یابد، که بیشترین ضریب قوام مربوط به دمای ۱۲۱ درجه سانتیگراد می‌باشد، که علت آن تجمع و اتصال قوی پلیمرهای این صمغ در طی حرارت‌دهی می‌باشد. این افزایش ویسکوزیته پس از اعمال تیمار حرارتی نشانگر یک بازآیی بین مولکولی برگشت ناپذیر در صمغ دانه ریحان توسط تیمار حرارتی می‌باشد (Yamazaki et al., 2009) نتیجه به دست آمده قابل

مقایسه با یافته‌های Yamazaki و همکاران (۲۰۰۹) می‌باشد که گزارش نموده‌اند ویسکوزیته هیدروکلوئید کورکوروس اولیتوریوس^۱ پس از حرارت دهی در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه افزایش می‌یابد شاخص رفتار جریان صمغ دانه ریحان با افزایش دمای تیمار حرارتی کاهش یافته است و در تمامی تیمارها کمتر از ۰/۶ می‌باشد که در فرایندهایی با تنش برشی بالا همانند پمپ کردن و پر کردن منجر به سهولت فرایند می‌گردد و در هنگام مصرف با افزایش ویسکوزیته ظاهری محصول، احساس دهانی مطلوبی ایجاد می‌کند (Vardhanabhuti & Ikeda, 2006).

ویسکوزیته بینگهام و تنش تسلیم بینگهام صمغ دانه ریحان پس از اعمال تیمار حرارتی افزایش می‌یابد. مدل کاسون نیز رفتار صمغ دانه ریحان را در شرایط مختلف به خوبی توصیف می‌کند. میزان تنش تسلیم کاسون صمغ دانه

^۱ *Corchorus olitorius L.*

ریحان به طور معنی‌داری طی تیمارهای حرارتی افزایش می‌یابد. تنش تسلیم از پارامترهای رئولوژیکی مهم برای پیشگویی فرایند کردن محصولات و یا کارایی محصول نهایی است. مقدار تنش مورد نیاز برای جریان اولیه معمولاً تنش تسلیم بوده و در ارتباط با ساختار اولیه مواد است که باید قبل از ایجاد جریان تخریب شود. وجود تنش تسلیم برای محلول‌های صمغ دانه ریحان به دلیل تعداد زیاد باندهای هیدروژنی در ساختار ماریچ آن می‌باشد. وجود تنش تسلیم در محلول‌های صمغ زمانی که به عنوان اتصال دهنده برای حفظ ترکیبات فرمولاسیون در کنار هم استفاده می‌شود بسیار حائز اهمیت است (Rao & Keney, 1975).

بر اساس نتایج آزمون نفوذ، میزان سفتی ژل ۳ و ۴ درصد صمغ دانه ریحان پس از حرارت‌دهی افزایش یافته است، و تیمار ۱۲۱ درجه سانتیگراد با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد و دارای بیشترین مقدار می‌باشد. این رفتار مبین این است که دماهای اتوکلاوی منجر به تشکیل شبکه ژلی قوی‌تری می‌شوند. رفتار حرارتی ژل‌ها بسته به نقاط اتصال متفاوت است و مهمترین عامل موثر بر قدرت نقاط اتصال طول آن‌ها است. نقاط اتصال نقش بسیار مهمی در فرایند ژل شدن ایفا می‌کنند. آن‌ها نیز به طور قابل توجهی ویژگی‌های ویژگی‌های عملکردی یک ژل خاص را تحت تاثیر قرار می‌دهند. تعداد مولکول‌هایی که در مناطق اتصال هستند برای تعیین ویژگی‌های ژل حائز اهمیت می‌باشند. تعداد بیشتر مولکول‌ها در نقاط اتصال، باعث سفت و سخت تر شدن ژل می‌شود. افزایش سختی ژل دانه ریحان پس از تیمار حرارتی ممکن است به دلیل نقطه اتصال قوی بین مولکول‌های صمغ‌ها باشد (Saha & Bhattacharya, 2010). چسبندگی ژل ۳ و ۴ درصد صمغ دانه ریحان نیز، پس از قرارگیری در معرض تیمارهای حرارتی افزایش یافته است. Naji و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که ژل صمغ دانه شاهی در ۲۵ درجه سانتیگراد چسبندگی بالایی دارد (۹/۲ گرم/ثانیه) و این پارامتر پس از قرارگرفتن در معرض تیمارهای حرارتی افزایش می‌یابد. هر گونه تغییری ممکن است در چسبندگی محصولات اثرات نامطلوبی به دنبال داشته باشد، بنابراین انتخاب بهینه یک عامل ژل دهنده مناسب برای کنترل پدیده چسبندگی ضروری است. بالا بودن چسبندگی ژل صمغ دانه ریحان حاکی از آن است

که می‌توان آن‌ها را به عنوان اصلاح کننده بافت در محصولات غذایی که تحت عملیات حرارتی قرار می‌گیرند و پارامتر چسبندگی در آن‌ها حائز اهمیت است، استفاده نمود.

میزان قوام ژل ۳ و ۴ درصد صمغ دانه ریحان پس از اعمال تیمار حرارتی افزایش می‌یابد. نتایج گویای این مطلب است که قدرت شبکه ژلی پس از حرارت‌دهی افزایش می‌یابد، در نتیجه نیروی لازم برای غلبه بر نقاط اتصال افزایش می‌یابد. این نتایج، افزایش نقاط اتصال طی تیمارها تایید می‌کند که علت آن افزایش وجود مقادیر بالایی نواحی غیر استخلاف یافته مانوز می‌باشد (Chiavaro, et al., 2007).

Naji و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که ژل صمغ دانه شاهی در ۲۵ درجه سانتیگراد قوام بالایی دارد (۷۷ گرم/ثانیه) و این پارامتر پس از قرارگرفتن در معرض تیمارهای حرارتی افزایش می‌یابد.

با افزایش دمای تیمار حرارتی میزان روشنایی صمغ دانه ریحان نیز افزایش یافته است که بیشترین تغییر معنی‌دار در تیمار ۱۲۱ درجه سانتیگراد مشاهده می‌شود. محلول‌های صمغ دانه ریحان معمولاً دارای طیف وسیعی از اندازه‌های مختلف ذرات می‌باشند و هر طیف از ذرات امواج نور را به صورت متفاوت پراکنده می‌کنند. با افزایش ویسکوزیته در دماهای بالا غلظت ذرات نیز افزایش می‌یابد، بنابراین با افزایش غلظت ذرات روشنایی نیز افزایش می‌یابد، زیرا باعث پراکنش بیشتر نور توسط ذرات می‌شود و به همین علت سطح نمونه روشن‌تر دیده می‌شود (McClements, 2002).

نتیجه‌گیری

صمغ دانه ریحان به‌عنوان یک منبع جدید هیدروکلوئیدی خصوصیات عملکردی مطلوبی دارد. نتایج نشانگر عدم تاثیر تخریب حرارت در دمای بالا بر ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی صمغ دانه ریحان است و حتی در بیشتر موارد تیمار حرارتی باعث بهبود این ویژگی‌ها در صمغ دانه ریحان می‌گردد. پس از اعمال تیمارهای حرارتی، ویسکوزیته نمونه‌ها افزایش یافت. صمغ دانه ریحان از نظر بافت دارای ویژگی‌های چسبندگی، سختی و قوام مناسب می‌باشد که می‌تواند در برابر تیمارهای حرارتی

properties of an acid-coagulated (Karish) cheese using exopolysaccharide producing cultures. *LWT - Food Science and Technology*, 38(8), 843-847.

Anjaneyalu, Y. V. & Tharanathan, R. N. (1971). Composition and preliminary fractionation of the seed mucilage of *Ocimum canum*. *Australian Chemistry*, 24, 1501-1507.

Chiavaro, E., Vittadini, E. & Corradini, C. (2007). Physicochemical characterization and stability of inulin gels. *Eur Food Res Technol*, 225, 85-94.

Dickinson, E. (2003). Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*, 17, 25-39.

Fiszman, S. M. & Damasio, M. H. (2000). Instrumental Measurement of Adhesiveness in Solid and Semi-Solid Foods. A Survey. *Journal of Texture Studies*, 31(1), 69-91.

Lai, L. S., Tung, J. & Lin, P. S. (2000). Solution properties of hsiang-tiao (*Mesona procumbens Hemsl*) leaf gum. *Food Hydrocolloids*, 14, 287-294.

Mandala, I. G., Palogou, E. D. & Kostaropoulos, A. E. (2002). Influence of preparation and storage conditions on texture of xanthan-starch mixtures. *Food Engineering*, 53(1), 27-38.

Marcotte, M., Taherian, A. R. & Ramaswamy, H. S. (2001). Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Research International*, 34, 695-704.

McClements, D. J. (2002). Theoretical prediction of emulsion color. *Advances in Colloid and Interface Science*, 97, 63-89.

Naji, S., Razavi, S. M. A., Karazhiyan, H. & Koocheki, A. (2012). Influence of thermal treatments on textural characteristics of cress seed. *Electronic environmental, agricultur and food chemistry*, 11(3), 222-237.

Rao, M. A. & Keney, J. F. (1975). Flow properties of selected food gums. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 8, 142-148.

Razavi, S. M. A., Taheri, H. & Quinchia, L. A. (2011). Steady shear flow properties of wild sage (*Salvia macrosiphon*) seed gum as a function of concentration and temperature. *Food Hydrocolloids*, 25, 451-458

Roopa, B. S. & Bhattacharya, S. (2010). Alginate gels: II. Stability at different Processing conditions. *J Food Process Pres*, 33, 466-480.

مختلف یکپارچگی خود را حفظ نماید. همچنین افزایش دمای تیمار حرارتی باعث بهبود ویژگی‌های بافتی می‌گردد که علت افزایش تعداد مولکول‌ها در نقاط اتصال می‌باشد. لذا به دلیل مقاومت حرارتی بالای صمغ دانه ریحان، می‌توان از این صمغ به عنوان پایدارکننده امولسیون‌ها، سوسپانسیون‌ها و دیسپرسیون‌ها، کف زایی، تشکیل فیلم، انکپسولاسیون و جلوگیری از تشکیل کریستال و همچنین به عنوان بهبود دهنده ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی در فرمولاسیون مواد غذایی که در معرض تیمارهای حرارتی قرار می‌گیرند، استفاده نمود. از این رو صمغ دانه ریحان می‌تواند جایگزین مناسبی برای برخی از صمغ‌های دیگر در تولید محصولات کم چرب باشد. همچنین می‌توان از آن به عنوان یک تغلیظ کننده مناسب در صنایع غذایی و دارویی استفاده نمود.

منابع

حسینی پرور، س. ه.، مرتضوی، س. ع.، رضوی، س. م.، مرینو، ل. و معتمدزادگان، ع. (۱۳۸۸). رفتار رئولوژیکی جریان مخلوط صمغ دانه ریحان با صمغ های گوار و لوبیای لوکاست. *مجله الکترونیک فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۲:۱، ص ۸۴-۶۹.

رزمخواه شریبانی، س.، رضوی، س. م. ع.، بهزاد، خ. و مظاهری تهرانی، م. (۱۳۸۹). بررسی تاثیر استفاده از پکتین، صمغ دانه های مرو و ریحان بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی ماست چکیده بدون چربی. *نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران*، ۱: ۶، ص ۳۶-۲۷.

صالحی، ف.، کاشانی نژاد، م. و صارم نژاد، ف. (۱۳۹۲). تاثیر پارامترهای استخراج صمغ بر سنتتیک استخراج جرم در دانه ریحان. *مجله پژوهش‌های صنعت غذا، شماره (۱)*، ص ۳۵-۲۹.

میرحیدری، ح. (۱۳۷۳). معارف گیاهی (کاربرد گیاهان در پیشگیری و درمان بیماری‌ها). *جلد سوم، چاپ اول دفتر نشر فرهنگ اسلامی*

Adhikari, B., Howes, H., Bhandari, B. R. & Truong, V. (2001). Stickiness in foods: a review of mechanisms and test methods. *International Journal of Food Properties*, 4(1), 1-33.

Ahmeda, N. H., El Soda, M., Hassan, A. N. & Frank, J. (2005). Improving the textural

Saha, D. & Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 587-597.

Schmidt, K. A. & Smith, D. E. (1999). Rheological properties of gum and milk protein interactions. *Dairy Science*, 75(1), 36-42.

Vardhanabhuti, B. & Ikeda, S. (2006). Isolation and characterization of hydrocolloid from monomi (*Cissampelos pareira*) leaves. *Food Hydrocolloid*, 20(6), 885-891

Yadav, M. P., Johnston, D. B., Hotchkiss, A. T. & Hicks, K. B. (2007). Corn fiber gum a potential gum Arabic replacer for beverage flavor emulsification. *Food Hydrocolloids*, 21, 1022-1028

Yamazaki, E., Kurita, O. & Matsumura, Y. (2009). High viscosity of hydrocolloid from leaves of *Corchoruse olitorius L.* *Food Hydrocolloids*, 23, 655-660.