

بررسی اثر روش‌های خشک کردن بر ویژگی‌های صمغ دانه بالنگو

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

^aاستادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده فنی و منابع طبیعی تویسرکان، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
^bدانشیار دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۹/۲۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۶/۲۰

۹۷

چکیده

مقدمه: هیدروکلئیدها (صمغ‌ها) به مجموعه‌ای از پلی ساکاریدها و پروتئین‌ها اطلاق می‌شوند که در آب حل یا پخش شده و ویسکوزیته را افزایش می‌دهند. هدف از این پژوهش بررسی اثر روش‌های مختلف خشک کردن بر خصوصیات رئولوژیکی و بافتی صمغ دانه بالنگو می‌باشد.

مواد و روش‌ها: سه روش متفاوت شامل خشک کردن در هوای داغ (۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد)، خشک کن انجمادی و تحت خلاء مورد مطالعه قرار گرفت. خصوصیات رئولوژیکی و بافتی محلول‌ها (۰/۵۵ و ۳ درصد) به ترتیب توسط ویسکومتر چرخشی بروکفیلد و دستگاه آنالیز بافت اندازه‌گیری گردید.

یافته‌ها: ویسکوزیته ظاهری محلول‌های تهیه شده از صمغ‌های خشک شده در شرایط مختلف و در سرعت برشی برابر ۶۰ بر ثانیه در محدوده ۰/۰۵۶ تا ۰/۲۰۳ پاسکال ثانیه می‌باشد. با افزایش دمای هوای داغ از ۴۰ به ۸۰ درجه سانتی‌گراد، مقدار ویسکوزیته صمغ‌ها از ۰/۱۶۱ به ۰/۰۵۶ پاسکال ثانیه کاهش می‌یابد (سرعت برشی ۶۰ بر ثانیه). مقدار عددی سفتی، نیروی چسبندگی، قوام و چسبندگی به ترتیب در محدوده ۳۳/۱ تا ۴۶/۹ گرم، ۹/۹۰ تا ۱۴/۸ گرم، ۲۴۵/۳ تا ۴۸۷/۸ گرم در ثانیه و ۶۴/۱ تا ۱۳۰/۸ گرم در ثانیه برای ژل‌های تهیه شده از صمغ‌های خشک شده (۳٪ وزنی/وزنی) در شرایط مختلف می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که صمغ خشک شده درون خشک کن انجمادی بیشترین مقدار ویسکوزیته را دارد و با افزایش دمای هوای داغ مقدار ویسکوزیته صمغ‌ها کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار عددی مربوط به سفتی و قوام بافت صمغ مربوط به نمونه‌های خشک شده درون خشک کن انجمادی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: چسبندگی، خشک کن انجمادی، خلاء، رئولوژی، قوام

مقدمه

کربوهیدرات‌ها فراوان ترین و متنوع‌ترین گروه ترکیبات آلی موجود در طبیعت هستند. عبارت هیدروکلوتید (صمغ) به مجموعه‌ای از پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها اطلاق می‌شوند که در آب حل یا پخش شده و ویسکوزیته را افزایش می‌دهند. امروزه مصرف هیدروکلوتیدها در صنایع غذایی افزایش چشم‌گیری یافته و به طور گسترده برای افزایش غلظت، حفظ و بهبود بافت محصولات غذایی، تشکیل ژل و فیلم، تثبیت کف، امولسیون‌ها، دیسپرسیون‌ها، ممانعت از تشکیل کریستال‌های یخ و شکر و همچنین آزادسازی کنترل شده طعم‌ها به کار می‌روند. این ترکیبات اگر چه در غلظت کمتر از ۱٪ به کار می‌روند، اما قادرند اثر معنی‌داری بر خواص بافتی و ارگانولپتیکی مواد غذایی داشته باشند (Mirhosseini & Amid, 2012; Razavi, 2012; et al., 2012).

کاربرد و اهمیت هیدروکلوتیدها به خواص عملکردی آنها بستگی دارد. خصوصیات عملکردی هیدروکلوتیدها در مواد غذایی به ساختار ملکولی، غلظت، pH، دما و واکنش‌دهی با سایر ترکیبات ماده غذایی مانند نمک‌ها، کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، پروتئین و... وابسته می‌باشد. اخیراً تقاضا برای هیدروکلوتیدها با خواص عملکردی ویژه افزایش یافته است، بنابراین دستیابی به منابع جدید صمغ‌ها با خواص مناسب جهت استفاده در صنعت اهمیت ویژه‌ای دارد. موسیلاژهای دانه‌ای و پلی‌ساکاریدهای گیاهی به دلایلی مانند قابلیت دسترسی بالا، طبیعی بودن، خواص درمانی و قیمت مناسب، اهمیت ویژه‌ای دارند (Mirhosseini & Amid, 2012).

دانه بالنگو (*Lallemantia royleana*)، گیاهی از تیره نعنایان، به شکل بیضی کشیده می‌باشد که در آسیا و شمال اروپا امکان کشت و برداشت آن وجود دارد. دانه بالنگو در هنگام قرار گرفتن در آب به راحتی متورم شده و مقدار زیادی موسیلاژ (صمغ محلول در آب) ایجاد می‌کند که در طب سنتی کاربرد گسترده‌ای دارد (Mohammad, 2012; Naghibi et al., 2005; Amini & Razavi, 2012).

بررسی خصوصیات رئولوژیکی و ویسکوزیته مواد قبل از طراحی فرآیندهایی شامل انتقال سیالات، استخراج،

بررسی اثر روش‌های خشک کردن بر ویژگی‌های صمغ دانه بالنگو

فیلتراسیون، پاستوریزاسیون، تبخیر و خشک کردن ضروری می‌باشد (Marcotte et al., 2002). خصوصیات صمغ‌ها تحت تاثیر روش استخراج و شرایط خشک کردن آنها می‌باشد (Amid & Mirhosseini, 2012).

محققان روش‌های مختلفی را برای خشک کردن صمغ استخراج شده از دانه گیاهان مورد استفاده قرار داده اند تا به یک محصول با کیفیت و خواص رئولوژیکی بالا دست یابند. این روش‌ها شامل خشک کردن هوای داغ (Razavi, 2010; Wang et al., 2012; et al.), بستر سیال (Cunha et al., 2000)، ماکروویو تحت خلاء (Sundaram et al., 2008)، انجمادی (Moreira, 2009)؛ تحت خلاء (Barresi et al., 2009; Wang et al., 2009) و پاششی (Amid & Mirhosseini, 2012; Nep & Conway, 2011) می‌باشد.

Amid & Mirhosseini (۲۰۱۲) اثر روش‌های خشک کردن شامل هوای داغ، انجمادی، پاششی و تحت خلاء را بر خصوصیات رئولوژیکی صمغ دانه دیوران^۱ مورد بررسی قرار دادند. نتایج بدست آمده نشان دادند که روش خشک کردن تاثیر معنی‌داری بر ویسکوزیته و رنگ صمغ دارد.

همچنین Nep & Conway (۲۰۱۱) گزارش کردند که روش خشک کردن صمغ گرویا^۲ باعث تغییر ویسکوزیته آن در محدوده ۰/۲۰ تا ۰/۳۲ پاسکال ثانیه می‌شود. همچنین صمغ خشک شده در روش هوای داغ نسبت به روش‌های خشک کردن انجمادی و پاششی ویسکوزیته بیشتری از خود نشان می‌دهد.

بررسی منابع مختلف نشان می‌دهد که تا کنون مطالعه‌ای در خصوص بررسی اثر روش‌های مختلف خشک کردن بر خصوصیات رئولوژیکی و بافتی صمغ دانه‌های بومی ایران انجام نشده است. هدف از این پژوهش بررسی اثر روش‌های مختلف خشک کردن شامل خشک کردن با هوای داغ در محدوده دمایی ۴۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد، خشک کردن انجمادی و تحت خلاء بر خصوصیات رئولوژیکی و بافتی (سفتی، نیروی چسبندگی، قوام و چسبندگی) صمغ استخراج شده از دانه بالنگو می‌باشد.

¹ Durian Seed Gums

² Grewia Gum

VO, Memmert Universal, Schwabach, Germany) با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۰۰ میلی بار قرار گرفت (Salehi *et al.*, 2014).

بعد از طی زمان خشک شدن، نمونه‌های خشک شده (۲ درصد رطوبت)، آسیاب شده و سپس از الک با مش ۳۵ عبور داده شدند. نمونه‌های تهیه شده جهت انجام آزمایشات رئولوژیکی و بافتی، درون کیسه‌های پلاستیکی در بسته قرار گرفتند.

- آماده سازی نمونه‌ها

محلول‌های هیدروکلوئیدی در دو غلظت ۰/۵۵٪ (وزنی/وزنی) برای آزمایشات ویسکومتری و ۰/۳٪ (وزنی/وزنی) برای بررسی خصوصیات بافت سنجی، با حل کردن پودر صمغ خشک شده درون آب مقطر با کمک یک همزن (۲۵۰ دور در دقیقه)، بدست آمدند. غلظت ۰/۵۵ بر اساس غلظت موسیلاژ استخراجی از دانه (قبل از خشک کردن) انتخاب شد تا اثر تیمارها بر خصوصیات رئولوژیکی صمغ با نمونه شاهد مقایسه گردد. غلظت ۳ درصد نیز براساس بررسی منابع و آزمون خطا جهت مطالعه خصوصیات بافتی در یک سیستم مدل انتخاب شد (Zameni *et al.*, 2014). محلول‌های بدست آمده جهت آنگیری کامل صمغ، به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند (Razavi *et al.*, 2012).

- اندازه‌گیری ویسکوزیته

ویسکوزیته نمونه‌ها با استفاده از یک دستگاه ویسکومتر چرخشی بروکفیلد (Brookfield, model RVDV- II+ pro, USA) در محدوده سرعت برشی ۰/۶ تا ۱۲۰ بر ثانیه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، با استفاده از اسپیندل شماره ۲ (Brookfield, RV2-S02) اندازه‌گیری شدند. مقادیر مربوط به سرعت برشی و تنش برشی با استفاده از داده‌های بدست آمده از دستگاه ویسکومتر و معادلات Mitschka (۱۹۸۲) محاسبه گردید. بر اساس بررسی‌های انجام شده، مدل‌های قانون توان^۵ (معادله ۱) و هرشل بالکلی^۶ (معادله ۲) جهت بررسی خصوصیات رئولوژیکی صمغ دانه بالنگو مناسب تشخیص داده شدند و از این دو مدل برای بررسی

مواد و روش‌ها

- استخراج صمغ

دانه بالنگو از بازار گرگان خریداری و به روش غربالگری، ناخالصی‌های همراه دانه حذف شد. جهت استخراج صمغ، ابتدا دانه‌های بالنگو به مدت ۲۰ دقیقه درون آب مقطر با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، در pH برابر ۷ و نسبت آب به دانه برابر ۲۰ به ۱ قرار گرفتند (Salehi *et al.*, 2014). سپس صمغ خارج شده توسط دستگاه استخراج کننده (Panasonic, MJ-J176P, Japan) از دانه جدا گردید. موسیلاژ بدست آمده در آون (۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و ۴ ساعت) خشک و مشاهده گردید که دارای غلظت صمغ دانه بالنگو برابر ۰/۵۵ درصد می‌باشد. بعد از فرآیند استخراج، موسیلاژها درون خشک‌کن‌ها با شرایط مورد نظر قرار گرفتند. ویسکوزیته موسیلاژ بدست آمده قبل از خشک کردن به عنوان نمونه شاهد^۱ نیز اندازه‌گیری شد.

- خشک کردن نمونه‌ها

در این پژوهش جهت بررسی اثر روش‌های مختلف خشک کردن بر خصوصیات رئولوژیکی و بافتی صمغ دانه بالنگو، صمغ استخراج شده از دانه بالنگو درون خشک‌کن‌های مختلف قرار گرفت. جهت حذف اثر زمان بر تغییر خصوصیات صمغ‌ها، مدت زمان قرار گرفتن درون خشک‌کن‌ها یکسان و به مدت ۴۸ ساعت در نظر گرفته شد. در مدت زمان ۴۸ ساعت موسیلاژ استخراجی به طور کامل درون تمامی خشک‌کن‌ها خشک می‌شود.

خشک کردن با هوای داغ^۲ توسط یک دستگاه خشک‌کن (Convection oven, Memmert Universal, Schwabach, Germany) در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد و در سرعت جریان برابر ۱ متر بر ثانیه انجام پذیرفت.

جهت خشک کردن نمونه‌ها درون خشک‌کن انجمادی^۳، دمای دستگاه خشک‌کن انجمادی (Operon freeze-dryer, Operon Co Ltd, Korea) بر روی ۴۰- درجه سانتی‌گراد تنظیم شد.

موسیلاژ دانه بالنگو درون ظروف پلیمری و با ضخامت ۱ سانتی متر در خشک‌کن تحت خلاء^۴ (Vacuum oven)

^۱ Control Sample (CS) ^۲ Control Sample (CS)

^۳ Power Law Model ^۴ Vacuum Oven Drying (VO)

^۵ Freeze Drying (FD) ^۶ Herschel-Bulkley's Model

بررسی اثر روش‌های خشک کردن بر ویژگی‌های صمغ دانه بالنگو

سانتی‌گراد قرار گرفت. پروب استوانه ای با قطر ۲۵ میلی‌متر، با سرعت ۱/۰ میلی‌متر بر ثانیه و به عمق ۱۵ میلی‌متر جهت انجام آزمون نفوذ و بدست آوردن خصوصیات بافتی استفاده گردید (Zamani *et al.*, 2014; Najji *et al.*, 2013). سرعت پروب قبل و بعد از آزمون ۱/۰ میلی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. پارامترهای بافت‌سنجی شامل، سفتی^۱، نیروی چسبندگی^۲، قوام^۳ و چسبندگی^۴ بدست آمدند.

یافته‌ها

- اثر نوع خشک کن بر ویسکوزیته ظاهری

همانطور که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود، در تمامی نمونه‌های با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته ظاهری صمغ‌ها کاهش می‌یابد. با افزایش سرعت برشی از ۰/۶ به ۱۲۰ بر ثانیه، ویسکوزیته ظاهری برای صمغ خشک شده درون خشک‌کن انجمادی از ۵/۲ به ۰/۱۲۷ پاسکال ثانیه کاهش یافت.

در شکل ۲ تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ دانه بالنگو در سرعت برشی برابر 60 s^{-1} به نمایش در آمده است. بیشترین ویسکوزیته مربوط به صمغ استخراج شده قبل از فرآیند خشک کردن است (۰/۲۳۶ پاسکال ثانیه در سرعت برشی برابر ۶۰ بر ثانیه). با افزایش دمای هوای داغ از ۴۰ به ۸۰ درجه سانتی‌گراد، ویسکوزیته صمغ دانه بالنگو از ۰/۱۶۱ پاسکال ثانیه به ۰/۰۵۶ پاسکال ثانیه کاهش می‌یابد (سرعت برشی برابر 60 s^{-1}). اثر روش خشک کردن بر ویسکوزیته صمغ‌های پلی ساکارییدی ممکن است به دلیل خصوصیات مختلف مواد محلول تشکیل شده باشد.

در جدول ۱ پارامترهای برازش شده مدل قانون توان برای محلول صمغ دانه بالنگو به نمایش درآمده است. ضریب قوام (k_p) مربوط به این صمغ با استفاده از این مدل در محدوده $0.3-2.03 \text{ Pa s}^n$ بدست آمد. همانطور که در شکل ۱ ملاحظه شده، صمغ دانه بالنگو دارای رفتار شل شونده با افزایش سرعت برش است و شاخص رفتار جریان گزارش شده در این جدول نیز کمتر از ۱ می‌باشد، که معرف سیال شل شونده با برش می‌باشد. مقدار عددی

خصوصیات مستقل از زمان استفاده گردید.

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

در رابطه ۱، τ تنش برشی (پاسکال)، k_p ضریب قوام (Pa s^n)، $\dot{\gamma}$ سرعت برشی (s^{-1}) و n_p شاخص رفتار جریان برای مدل قانون توان می‌باشند.

$$\tau = \tau_{0H} + k_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (2)$$

در رابطه ۲، τ تنش برشی (پاسکال)، τ_{0H} تنش تسلیم (پاسکال)، k_H ضریب قوام (Pa.s^n)، $\dot{\gamma}$ سرعت برشی (s^{-1}) و n_H شاخص رفتار جریان برای مدل هرشل بالکلی می‌باشند. به منظور مدل کردن داده‌های تجربی تنش برشی در برابر سرعت برشی و بدست آوردن ثابت‌های مدل‌های رئولوژیکی، از نرم‌افزار Curve Expert ویرایش ۱/۳۴ استفاده شد.

آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گردید. برای رسم نمودارها از برنامه (۲۰۰۷) Excel و برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SAS 9.1.3 در سطح معنی‌داری ۵٪ استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها نیز به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

- آنالیز بافت

بافت مواد غذایی به عنوان یکی از مهمترین خصوصیات کیفی محصول، نقش مهمی در پذیرش کلی مصرف کنندگان دارد. ارزیابی چسبندگی به روش دستگاهی نخستین بار توسط Friedman و همکاران (۱۹۶۳) با استفاده از یک بافت سنج انجام شد. یک پروب سیلندری با یک مسیر دایره‌ای به عنوان کنترل کننده سرعت نمونه و سپس کشش استفاده گردید. خصوصیات بافتی ژل تهیه شده از صمغ‌های خشک شده دانه بالنگو، با استفاده از دستگاه بافت‌سنج^۱ (TA-XT Plus, Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK) و نرم‌افزار مربوطه (Texture Expert 1.05) مورد بررسی قرار گرفت. ژل تهیه شده به ارتفاع ۵۰ میلی‌متر درون ظروف پلاستیکی (با قطر و ارتفاع ۵۰ و ۶۰ میلی‌متر) و دمای ۲۵ درجه

¹ Texture analyzer

² Hardness

³ Stickiness

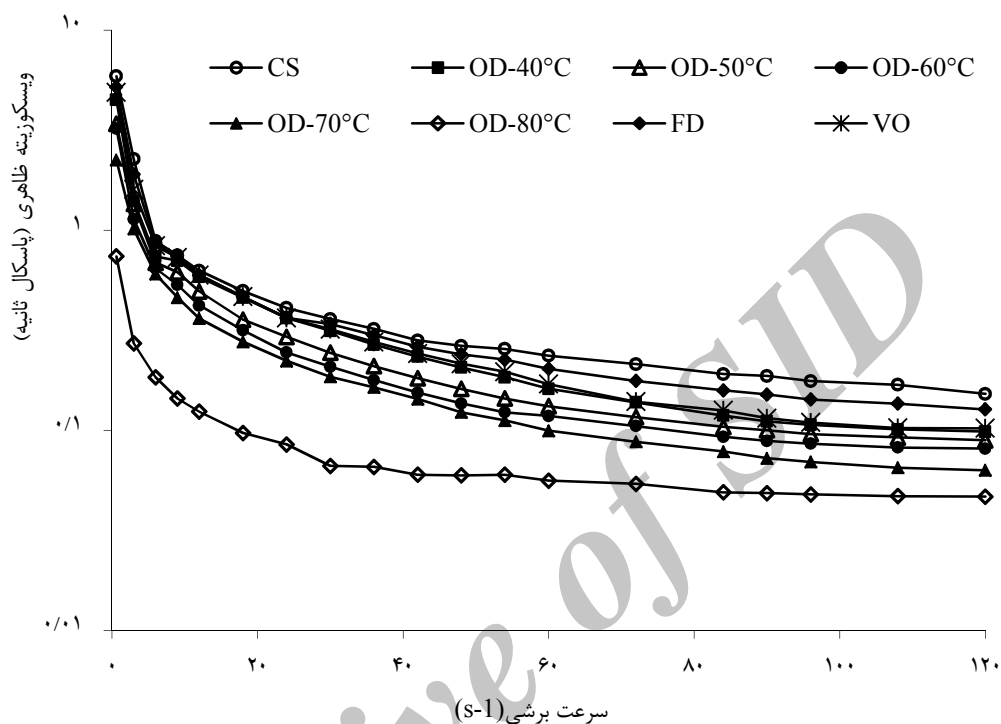
⁴ Consistency

⁵ Adhesiveness

می‌شود، در تمامی صمغ های خشک شده تنش تسلیم مشاهده می‌شود. مقدار عددی تنش تسلیم برای این صمغ در محدوده ۰/۰۲ تا ۱/۶۷ پاسکال بدست آمد. ضریب قوام (k_H) مربوط به این صمغ با استفاده از این مدل در محدوده ۰/۰۴-۱/۷۵ $Pa s^n$ بدست آمد.

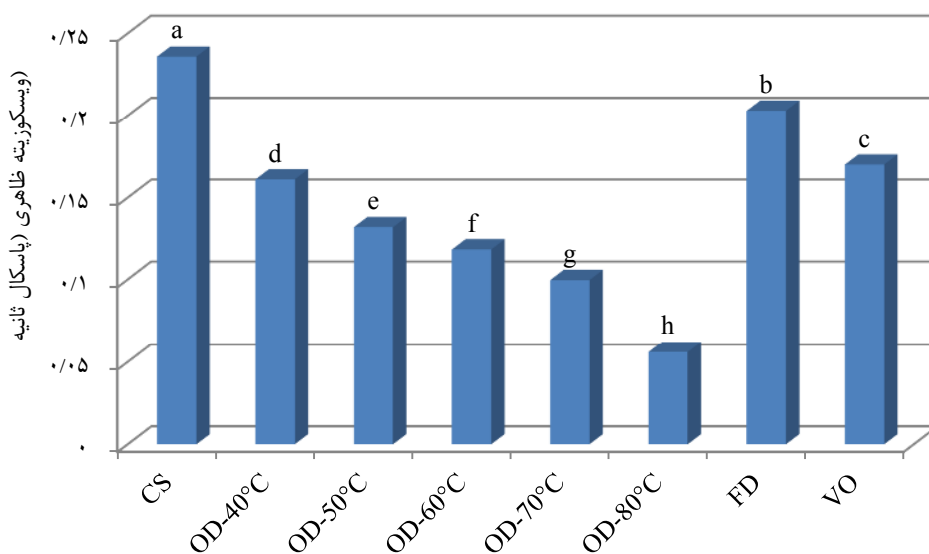
شاخص رفتار جریان در این پژوهش از ۰/۲۱ تا ۰/۶۳ تغییر می‌کرد.

در جدول ۲ پارامترهای برازش شده مدل هرشل بالکی برای محلول صمغ دانه بالنگو خشک شده به روش‌های مختلف به نمایش درآمده است. همانطور که ملاحظه



۱۰۱

شکل ۱- اثر روش های مختلف خشک کردن بر ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ دانه بالنگو، تابعی از سرعت برشی، (CS) نمونه شاهد، OD هوای داغ، FD انجمادی، VO تحت خلأ)



شکل ۲- اثر روش های مختلف خشک کردن بر ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ دانه بالنگو (سرعت برشی برابر $60 s^{-1}$)، (CS) نمونه شاهد، OD هوای داغ، FD انجمادی، VO تحت خلأ)

بررسی اثر روش‌های خشک کردن بر ویژگی‌های صمغ دانه بالنگو

خشک کردن خلا و انجمادی در یک سطح قرار دارند و با یکدیگر اختلاف معنی داری نشان نمی‌دهند. با افزایش دمای هوای داغ از ۴۰ به ۸۰ درجه سانتی‌گراد، سفتی بافت از ۳۹/۶ به ۳۳/۶ گرم کاهش می‌یابد.

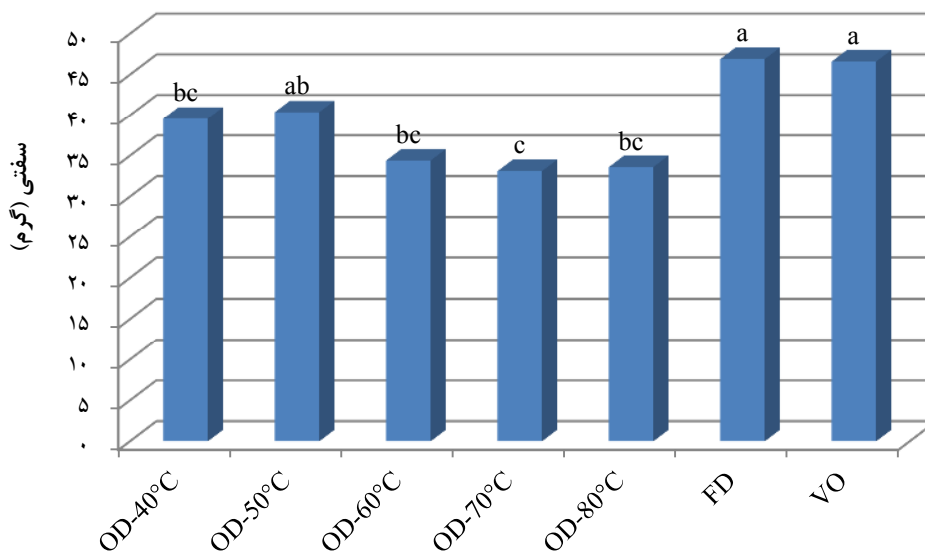
- اثر نوع خشک کن بر سفتی بافت
در شکل ۳ اثر روش‌های مختلف خشک کردن بر سفتی بافت ژل تهیه شده از صمغ دانه بالنگو به نمایش در آمده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، روش‌های

جدول ۱- پارامترهای برازش شده مدل قانون توان برای محلول صمغ دانه بالنگو.

SE	r	n_p	k_p (Pa s ⁿ)	کد نمونه
۰/۱۹۹	۰/۹۹۶	۰/۳۹	۱/۴۱	CS
۰/۲۶۵	۰/۹۷۸	۰/۲۴	۱/۸۶	OD-40°C
۰/۱۸۲	۰/۹۸۱	۰/۲۲	۱/۶۹	OD-50°C
۰/۱۷۴	۰/۹۸۰	۰/۲۳	۱/۴۰	OD-60°C
۰/۱۰۹	۰/۹۸۷	۰/۲۱	۱/۲۸	OD-70°C
۰/۱۰۱	۰/۹۹۱	۰/۶۳	۰/۱۰۳	OD-80°C
۰/۱۷۴	۰/۹۹۵	۰/۳۱	۱/۶۴	FD
۰/۲۲۵	۰/۹۷۷	۰/۲۰	۲/۰۳	VO

جدول ۲- پارامترهای برازش شده مدل هرشل بالکلی برای محلول صمغ دانه بالنگو.

SE	r	n_H	k_H (Pa s ⁿ)	τ_{0H} (Pa)	کد نمونه
۰/۱۸۱	۰/۹۹۷	۰/۴۵	۱/۰۰	۰/۶۵	CS
۰/۰۸۸	۰/۹۸۵	۰/۲۵	۱/۲۴	۱/۶۳	OD-40°C
۰/۱۷۸	۰/۹۸۳	۰/۳۱	۰/۸۷	۰/۹۶	OD-50°C
۰/۱۴۲	۰/۹۸۷	۰/۴۳	۰/۳۹	۱/۲۸	OD-60°C
۰/۱۱۲	۰/۹۸۷	۰/۲۱	۱/۲۷	۰/۰۲	OD-70°C
۰/۰۵۹	۰/۹۹۷	۰/۸۵	۰/۰۴	۰/۳۱	OD-80°C
۰/۱۷۹	۰/۹۹۵	۰/۳۰	۱/۷۵	۰/۱۵	FD
۰/۱۶۲	۰/۹۸۴	۰/۲۵	۱/۰۵	۱/۶۷	VO



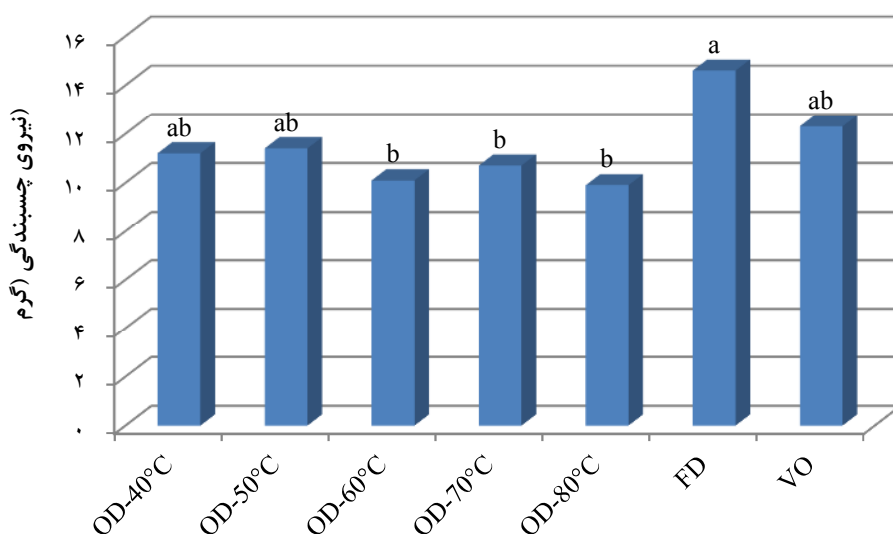
شکل ۳- اثر روش‌های مختلف خشک کردن بر سفتی بافت ژل تهیه شده از صمغ دانه بالنگو، (CS نمونه شاهد، OD هوای داغ، FD انجمادی، VO تحت خلاء)

- اثر نوع خشک کن بر نیروی چسبندگی

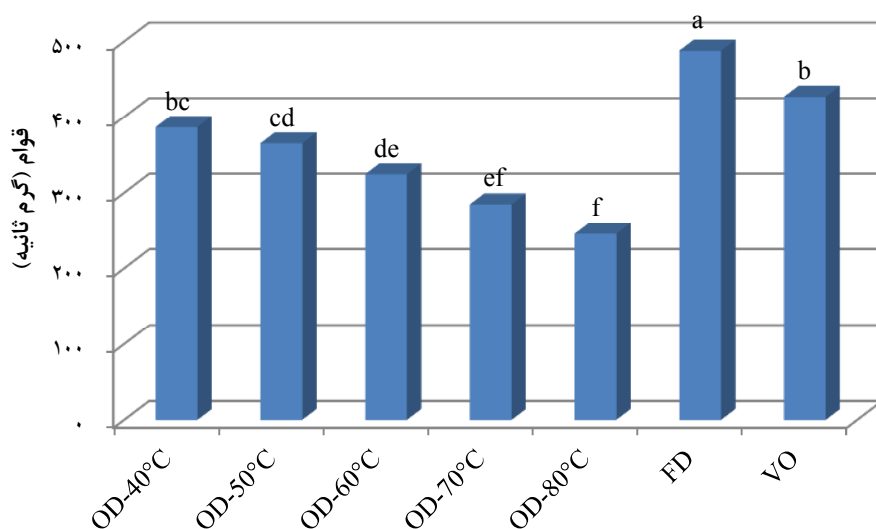
در شکل ۴ اثر روش‌های مختلف خشک کردن بر نیروی چسبندگی ژل تهیه شده از صمغ دانه بالنگو به نمایش در آمده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، اثر روش‌های خشک کردن خلاء، انجمادی و هوای داغ با دماهای ۴۰ و ۵۰ درجه، بر نیروی چسبندگی در یک سطح قرار دارند و با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نشان نمی‌دهند. تغییر دمای خشک کن هوای داغ نیز تاثیر معنی‌داری بر نیروی چسبندگی ژل تهیه شده از صمغ دانه بالنگو ندارد. مقدار عددی نیروی چسبندگی در این پژوهش در محدوده ۹/۹۰ تا ۱۴/۸ گرم بدست آمد.

- اثر نوع خشک کن بر قوام

در شکل ۵ اثر روش‌های مختلف خشک کردن بر قوام ژل تهیه شده از صمغ دانه بالنگو به نمایش در آمده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، روش خشک کردن موسیلاژ، اثر معنی‌داری بر قوام ژل تهیه شده از صمغ خشک شده دارد. بیشترین مقدار عددی مربوط به سفتی بافت، مربوط به صمغ خشک شده درون خشک کن انجمادی می‌باشد که برابر ۴۸۷/۸ گرم در ثانیه می‌باشد. با افزایش دمای هوای داغ از ۴۰ به ۸۰ درجه سانتی‌گراد، باعث کاهش قوام بافت از ۳/۳۸۶ به ۳/۲۴۵ گرم در ثانیه می‌شود.



شکل ۴- اثر روش های مختلف خشک کردن بر نیروی چسبندگی بافت ژل تهیه شده از صمغ دانه بالنگو، (CS نمونه شاهد، OD هوای داغ، FD انجمادی، VO تحت خلاء)



شکل ۵- اثر روش های مختلف خشک کردن بر قوام بافت ژل تهیه شده از صمغ دانه بالنگو، (CS نمونه شاهد، OD هوای داغ، FD انجمادی، VO تحت خلاء)

- اثر نوع خشک‌کن بر چسبندگی

نرم افزار دستگاه بافت سنج، نمودار نیرو-زمان را در طی حرکت پروب ثبت می‌کند و مساحت منفی زیر نمودار را به عنوان چسبندگی نمونه گزارش می‌دهد. چسبندگی مربوط به مقدار کار مورد نیاز برای غلبه بر نیروی کشش بین سطح ماده غذایی و سطح جسم در تماس با آن دارد. پارامتر چسبندگی یک فاکتور مثبت در فرآورده‌های نانوائی و پودینگ‌ها می‌باشد و یک فاکتور منفی در فرآورده‌هایی چون اسپاگتی و فرآورده‌های گوشتی مطرح می‌باشد (Fizman & Damasio, 2000). در شکل ۶ اثر روش‌های مختلف خشک کردن بر چسبندگی بافت ژل تهیه شده از صمغ دانه بالنگو به نمایش در آمده است. اثر روش خشک کردن با خلاء بر چسبندگی با روش‌های انجمادی و هوای داغ در یک سطح قرار نداشته و با یکدیگر اختلاف معنی داری نشان می‌دهند. مقدار عددی چسبندگی بدست آمده در این پژوهش در محدوده ۶۴/۱ تا ۱۳۰/۸ گرم در ثانیه بدست آمد.

بحث

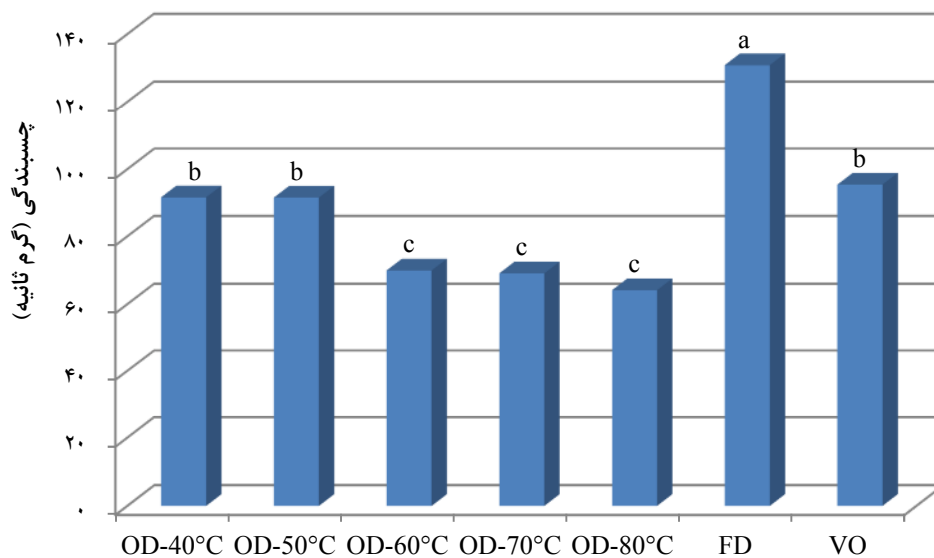
خصوصیات رئولوژیکی و کاربردی صمغ‌ها به روش

استخراج و خشک کردن آنها وابسته است (Telis *et al.*,

2005; Jimoh *et al.*, 2009; Iglesias *et al.*, 1993). با توجه به اینکه غلظت صمغ استخراج شده از دانه بالنگو برابر ۰/۵۵ درصد بود، از نمونه‌های خشک شده در شرایط مختلف، محلول‌هایی با غلظت ۰/۵۵ درصد تهیه و خصوصیات رئولوژیکی آنها در سرعت برشی‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته ظاهری صمغ‌ها کاهش می‌یابد. کاهش ویسکوزیته با سرعت برشی، نشان دهنده خصوصیت رفتار شل شونده با سرعت برشی (سودوپلاستیک^۱) صمغ دانه بالنگو می‌باشد. صمغ دانه دیوران^۲ (*Durio zibethinus*) نیز رفتار شل شونده با برش از خود نشان می‌دهد و در سرعت برشی برابر ۱۰۰۰ بر ثانیه و غلظت ۱ درصد، ویسکوزیته ظاهری آن برابر ۰/۰۶۵ گزارش شده است (Amin *et al.*, 2007).

تمامی روش‌های خشک کردن بر طور معنی داری بر مقدار ویسکوزیته صمغ تاثیر دارند. صمغ خشک شده به روش انجمادی بیشترین ویسکوزیته را دارد و این روش حداقل آسیب را به صمغ وارد می‌کند. بعد از خشک کن انجمادی، خشک کن تحت خلاء حداقل آسیب را به صمغ وارد می‌کند. با افزایش دمای هوای داغ نیز خصوصیات

۱۰۴



شکل ۶- اثر روش‌های مختلف خشک کردن بر چسبندگی بافت ژل تهیه شده از صمغ دانه بالنگو، (CS نمونه شاهد، OD هوای داغ، FD انجمادی، VO تحت خلاء).

¹ Pseudoplastic Behavior

² Durian Seed Gum

هوای داغ دردهای ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد در یک سطح قرار دارند و اختلاف معنی‌داری بایکدیگر ندارند.

در نمودار نیرو-زمان بافت سنجی، مساحت زیر نمودار از لفظه شروع آزمون تا رسیدن به حداکثر تغییر شکل مورد نظر را قوام می‌نامند (Angioloni & Collar, 2009). قوام بیانگر میزان کار مورد احتیاج برای غلبه بر نیروی داخلی بین باندهای نمونه می‌باشد. تغییر دمای خشک کن هوای داغ نیز تاثیر معنی‌داری بر قوام ژل دارد و با افزایش دمای هوای داغ قوام بافت کاهش یافت. Giri & Prasad (۲۰۰۷) در طی خشک کردن با استفاده از هوای داغ و خشک کن ماکروویو تحت خلاء نتایج مشابهی بدست آوردند و گزارش کردند که خشک کردن با هوای داغ باعث تخریب بیشتر بافت می‌شود. صمغ خشک شده درون هوای داغ اگر چه نسبت به صمغ خشک شده درون خشک کن انجمادی قوام کمتری از خود نشان داد ولی به دلیل هزینه پایین‌تر این روش، امکان استفاده از آن در صنعت وجود دارد و دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به دلیل خصوصیات بافتی مناسب و قوام بالا برای این کار مناسب می‌باشد.

همانطور که ملاحظه می‌شود، روش خشک کردن موسیلاژ، اثر معنی‌داری بر چسبندگی ژل تهیه شده از صمغ خشک شده دارد و بیشترین مقدار عددی مربوط به چسبندگی بافت، مربوط به صمغ خشک شده درون خشک کن انجمادی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

دانه بالنگو، یک دانه بومی ایران است که حاوی مقادیر زیادی هیدروکلئید با خواص رئولوژیکی قابل توجه می‌باشد و قابلیت تولید انبوه آن در سطح تجاری وجود دارد. در این پژوهش اثر روش خشک کردن موسیلاژ صمغ دانه بالنگو بر خصوصیات رئولوژیکی و بافتی آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که صمغ خشک شده رفتار شل شونده با برش را از خود نشان می‌دهد و مدل رئولوژیکی هرشل بالکلی جهت بررسی خصوصیات جریان‌ی این صمغ مناسب تشخیص داده شد. همچنین صمغ خشک شده درون خشک کن انجمادی بالاترین ویسکوزیته را نسبت به سایر روش‌های خشک کردن از خود نشان می‌دهد.

صمغ تغییر می‌کند و صمغ خشک شده در ۸۰ درجه سانتی‌گراد حداقل ویسکوزیته را در محلول ایجاد می‌کند. روش خشک کردن به طور معنی‌داری ($p < 0.05$) بر نسبت مواد محلول و غیر محلول تشکیل شده تاثیر می‌گذارد (Ibanez & Ferrero, 2012). Amid & Mirhosseini (۲۰۰۳) ویسکوزیته ظاهری صمغ استخراج شده از دانه *Prosopis flexuosa*^۱ (*P. flexuosa*) را در غلظت ۰/۴ درصد و سرعت برشی ۶۴ بر ثانیه، برابر ۱/۹ پاسکال ثانیه گزارش کردند.

شاخص رفتار جریان بدست آمده برای صمغ بالنگو کمتر از ۱ می‌باشد، که معرف سیال شل شونده با برش یا سودوپلاستیک می‌باشد. مقدار عددی شاخص رفتار جریان مدل هرشل بالکلی از ۰/۲۱ تا ۰/۸۵ تغییر می‌کند. Marcotte و همکاران (۲۰۰۱) و Song و همکاران (۲۰۰۶) مقدار شاخص رفتار جریان مدل هرشل بالکلی برای صمغ گزانتان را به ترتیب برابر ۰/۲۴ و ۰/۲۳ گزارش کردند. مقدار ضریب همبستگی^۲ بالا و مقدار خطای استاندارد^۳ پایین بدست آمده از برازش مدل هرشل بالکلی با داده‌های تجربی، نشان از مناسب بودن این مدل می‌باشد و از این مدل داده‌های گزارش شده در جدول ۲ می‌توان جهت پیشگویی رفتار صمغ دانه بالنگو استفاده نمود.

بیشترین نیروی مشاهده شده در نمودار نیرو-زمان در طی انجام آزمایشات بافت سنجی به عنوان سفتی بافت نمونه‌ها گزارش می‌شود. پارامتر سفتی عموماً برای بیان قدرت شبکه ژلی اندازه‌گیری می‌شود. بیشترین مقدار عددی مربوط به سفتی بافت (۴۶/۹ گرم)، مربوط به صمغ خشک شده درون خشک کن انجمادی می‌باشد. افزایش دمای خشک کن هوای داغ نیز باعث کاهش سفتی بافت ژل تهیه شده از صمغ دانه بالنگو می‌شود.

نیروی چسبندگی به عنوان بیشترین نیروی لازم جهت غلبه بر نیروی چسبندگی بین سطح ماده غذایی و پروب تعریف می‌شود. در نمودار نیرو-زمان بررسی خصوصیات بافتی، بیشترین نیرو در قسمت منفی نمودار به عنوان نیروی چسبندگی معرفی می‌شود (Basu & Shivhare, 2010). بیشترین مقدار عددی مربوط به نیروی چسبندگی (۱۴/۶ گرم)، مربوط به صمغ خشک شده درون خشک کن انجمادی می‌باشد. سطوح دمایی در روش خشک کردن با

^۱ Prosopis Flexuosa DC Seeds

^۲ Correlation Coefficient (r)

^۳ Standard Error (SE)

measurement. *Journal of Food Science*. 28, 390-396.

Giri, S. K. & Prasad, S. (2007). Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of Food Engineering*. 78, 512-521.

Ibanez, M. C. & Ferrero, C. (2003). Extraction and characterization of the hydrocolloid from *Prosopis flexuosa* DC seeds. *Food Research International*. 36, 455-460.

Iglesias, O., Garcia, A., Roques M. & Bueno J. L. (1993). Drying of water gels: determination of the characteristic curve of agar-agar. *Drying Technology*. 11(3), 571-587.

Jimoh, K. O., Olurin, T. O. & Aina, J. O. (2009). Effect of drying method on the rheological characteristics and colour of yam flours. *African Journal of Biotechnology*. 8, 2325-2328.

Marcotte, M., Taherian Hoshahili, A. R. & Ramaswamy, H. S. (2001). Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Research International*. 34, 695-703.

Mirhosseini, H. & Amid, B. T. (2012). A review study on chemical composition and molecular structure of newly plant gum exudates and seed gums, *Food Research International*, 46: 387-398.

Mitschka, P. (1982). Simple conversion of Brookfield R.V.T. readings into viscosity functions. *Rheologica Acta*. 21, 207-209.

Mohammad Amini, A. & Razavi, S. M. A. (2012). Dilute solution properties of Balangu (*Lallemantia royleana*) seed gum: Effect of temperature, salt, and sugar. *International Journal of Biological Macromolecules*. 51, 235-243.

Moreira, R. A. (2009). Isolation of a lectin and a galactoxyloglucan from *Mucuna sloanei* seeds, *Phytochemistry*. 70, 1965-1972.

Naghibi, F., Mosaddegh, M., Mohammadi Motamed, S. & Gorbani, A. (2005). Labiatae family in folk medicine in Iran: from ethnobotany to pharmacology. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*. 2, 63-79.

Naji, S., Razavi, S. M. A. & Karazhiyan, H., (2013). Effect of freezing on functional and textural attributes of cress seed gum and xanthan gum, *Food and Bioprocess Technology*. 6(5), 1302-1311.

Nep, E. I. & Conway, B. R. (2011).

روش خشک کردن موسیلاژ، اثر معنی‌داری بر خصوصیات بافتی ژل تهیه شده از صمغ دانه خشک شده دانه بالنگو دارد و صمغ خشک شده درون خشک‌کن انجمادی دارای خصوصیات بافتی مناسبی بوده و نسبت به سایر روش‌های خشک کردن دارای سفتی و قوام بیشتری می‌باشد. صمغ خشک شده درون هوای داغ اگر چه نسبت به صمغ خشک شده درون خشک‌کن انجمادی ویسکوزیته کمتری از خود نشان داد ولی به دلیل هزینه پایین‌تر و همچنین خصوصیات بافتی مناسب، امکان استفاده از آن در صنعت وجود دارد.

منابع

Amid, B.T. & Mirhosseini, H. (2012). Influence of different purification and drying methods on rheological properties and viscoelastic behaviour of durian seed gum. *Carbohydrate Polymers*. 90, 452-461.

Amin, A. M., Ahmad, A. S., Yin, Y., Yahya, N. & Ibrahim, N. (2007). Extraction, purification and characterization of durian (*Durio zibethinus*) seed gum. *Food Hydrocolloids*. 21, 273-279.

Angioloni, A. & Collar, C. (2009). Small and large deformation viscoelastic behavior of selected fiber blends with gelling properties. *Food Hydrocolloids*. 23, 742-748.

Barresi, A. A., Pisano, R., Fissore, D., Rasetto, V., Velardi, S. A. & Vallan, A. (2009). Monitoring of the primary drying of a lyophilization process in vials. *Chemical Engineering and Processing*. 48, 408-423.

Basu, S. & Shivhare, U. S. (2010). Rheological, textural, micro-structural and sensory properties of mango jam. *Journal of Food Engineering*. 100, 357-365.

Cunha, R. L. R., Maialle, K. G. & Menegalli, F. C. (2000). Evaluation of the drying process in spouted bed and spout fluidized bed of xanthan gum: Focus on product quality. *Powder Technology*. 107, 234-242.

Fizman, 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.

Friedman, H. H., Whitney, J. E. & Szczesniak, A. S. (1963). The texturometer-A new instrument for objective texture

۱۰۶

Physicochemical characterization of grewia polysaccharide gum: Effect of drying method. *Carbohydrate Polymers*. 84, 446–453.

Razavi, S. M. A., Mohammadi Moghaddam, T., Emadzadeh, B. & Salehi, F. (2012). Dilute solution properties of wild sage (*Salvia macrosiphon*) seed gum. *Food Hydrocolloids*. 29, 205-210.

Salehi, F., Kashaninejad, M. & Behshad, V. (2014). Effect of sugars and salts on rheological properties of Balangu seed (*Lallemantia royleana*) gum. *International Journal of Biological Macromolecules*. 67, 16-21.

Song, K. W., Kim, Y. S. & Chang, G. S. (2006). Rheology of concentrated xanthan gum solutions: steady shear flow behavior. *Fibers and Polymers*. 7(2), 129-138.

Sundaram, J. & Durance, T. D. (2008). Water sorption and physical properties of locust bean gum–pectin–starch composite gel

dried using different drying methods. *Food Hydrocolloids*. 22, 1352–1361.

Telis, V. R. N., Telis-Romero, J. & Gabas, A. L. (2005). *Solids Rheology for Dehydrated Food and Biological Materials*. *Drying Technology*. 23(4), 759-780.

Wang, Y., Li, D., Wang, L. J., Li, S. J. & Adhikari, B. (2010). Effects of drying methods on functional properties of flaxseed gum powders. *Carbohydrate Polymer*. 8, 128–133.

Wang, Y., Wang, L. J., Li, D., Xue, J. & Mao, Z. H. (2009). Effects of drying methods on rheological properties of flaxseed gum. *Carbohydrate Polymers*. 78, 213–219.

Zameni, A., Kashaninejad, M., Aalami, M. & Salehi, F. (2014). Effect of thermal and freezing treatments on rheological, textural and color properties of Basil seed gum. *Journal of Food Science and Technology*. DOI: 10.1007/s13197-014-1679-x.