

## تأثیر خشک کردن با روش‌های هوای داغ، تحت خلأ، و انجمادی بر ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی صمغ دانه مرو (*Salvia macrosiphon*)

فخرالدین صالحی<sup>۱\*</sup>، مهدی کاشانی‌نژاد<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی دکتری و دانشیار دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۲۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱/۲۳)

### چکیده

به منظور بهبود بافت محصولات غذایی، هیدروکلوئیدها به‌طور گسترده به‌عنوان مواد ژل‌دهنده در سیستم‌های غذایی استفاده می‌شوند. دانه مرو دارای مقادیر شایان توجهی صمغ (موسیلاژ) با خواص عملکردی مناسب است. این موسیلاژ باعث بهبود خصوصیات رئولوژیکی، بافتی، و کاربردی غذاها می‌شود. در این پژوهش اثر روش‌های گوناگون خشک کردن شامل هوای داغ (۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، و ۸۰ درجه سلسیوس)، خشک کن انجمادی، و تحت خلأ بر خصوصیات رئولوژیکی و بافتی صمغ دانه مرو بررسی شد. ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ‌های خشک شده در سرعت برشی برابر ۶۰ بر ثانیه در محدوده ۰/۱۶۲ تا ۰/۳۴۴ پاسکال ثانیه به دست آمد. با افزایش دمای هوای داغ از ۴۰ به ۸۰ درجه سلسیوس، مقدار ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ‌ها از ۰/۲۷۱ به ۰/۱۶۲ پاسکال ثانیه کاهش یافت. مدل هرشل بالکلی به خوبی قادر به مدل کردن رفتار جریان صمغ دانه مرو در تمامی آزمایش‌هاست. روش خشک کردن موسیلاژ باعث تغییر خصوصیات بافتی ژل تهیه شده از صمغ شد و بیشترین مقدار عددی مرتبط با سفتی، نیروی چسبندگی، قوام، و چسبندگی بافت ژل تهیه شده مربوط به نمونه‌های خشک شده با خشک کن انجمادی بود که به ترتیب برابر با ۷۸/۲ گرم، ۱۷/۰ گرم، ۰/۷۹۴/۸، و ۱۵۹/۲ گرم در ثانیه به دست آمد.

**کلیدواژگان:** خشک کردن، خلأ، رئولوژی، صمغ دانه مرو، هوای داغ.

### مقدمه

عبارت هیدروکلوئید (صمغ) به مجموعه‌ای از پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها اطلاق می‌شود که در آب حل یا پخش می‌شوند و ویسکوزیته را افزایش می‌دهند. امروزه مصرف هیدروکلوئیدها در صنایع غذایی افزایش چشم‌گیری یافته است و به‌طور گسترده در صنایع گوناگون با عملکردهایی همچون غلیظ‌کنندگی، حفظ و بهبود بافت محصولات غذایی، تشکیل ژل، تشکیل فیلم، تثبیت کف، ممانعت از تشکیل کریستال‌های یخ و شکر، و آزادسازی کنترل‌شده طعم‌ها استفاده می‌شوند. این ترکیبات اگرچه در غلظت کمتر از ۱ درصد به کار می‌روند، اما قادرند اثر معنی‌داری بر خواص بافتی و ارگانولپتیکی مواد غذایی داشته باشند (Mirhosseini & Amid, 2012; Farahnaky et al., 2013).

کاربرد و اهمیت هیدروکلوئیدها به خواص عملکردی آنها بستگی دارد. خصوصیات عملکردی هیدروکلوئیدها در مواد غذایی به ساختار مولکولی هیدروکلوئید، غلظت هیدروکلوئید،

pH، دما، و واکنش هیدروکلوئید با سایر ترکیبات ماده غذایی (نمک‌ها، کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، پروتئین‌ها و مانند اینها...) وابسته است. اخیراً تقاضا برای هیدروکلوئیدها با خواص عملکردی ویژه افزایش یافته است، بنابراین یافتن منابع جدید صمغ‌ها با خواص مناسب برای استفاده در صنعت اهمیت ویژه‌ای دارد. موسیلاژهای دانه‌ای و پلی‌ساکاریدهای گیاهی به‌آسانی در دسترس هستند و به دلایل طبیعی بودن، داشتن خواص درمانی و قیمت مناسب، اهمیت ویژه‌ای دارند (Mirhosseini & Amid, 2012; Razavi et al., 2013).

کشور ایران به دلیل داشتن آب‌وهوای متنوع و متناسب برای کشت و پرورش پوشش‌های گیاهی گوناگون به‌خصوص گیاهانی که جزء منابع استخراج صمغ‌های گوناگون به حساب می‌آیند، جایگاه مناسبی دارد. صمغ دانه مرو<sup>۱</sup> (*Salvia macrosiphon*) از هیدروکلوئیدهای بومی ایران است که می‌توان از آن در اکثر ترکیبات غذایی استفاده کرد. این دانه در هنگام قرارگرفتن در آب به راحتی متورم می‌شود و مقدار زیادی موسیلاژ (صمغ محلول در آب) ایجاد می‌کند که در طب سنتی

1. Wild sage seed

چسبندگی، قوام و چسبندگی) صمغ استخراج شده از دانه مرو است.

## مواد و روش‌ها

### استخراج صمغ

دانه مرو از بازار گرگان خریداری شد و آلودگی‌ها و ذرات خارجی آن با الک و مش‌های گوناگون حذف شدند. به منظور استخراج صمغ، ابتدا دانه‌های مرو به مدت ۲۰ دقیقه درون آب مقطر با دمای ۲۵ درجه سلسیوس در pH برابر ۷ و نسبت آب به دانه برابر با ۲۰ به ۱ قرار گرفتند. سپس برای جدا کردن صمغ خارج شده از دانه از دستگاه استخراج کننده (آبمیوه‌گیر) (Panasonic, MJ-J176P, Japan) استفاده شد. موسیلاژ به دست آمده دارای غلظتی برابر با ۰/۶ درصد صمغ دانه مرو بود. بعد از فرایند استخراج، موسیلاژها درون خشک‌کن‌ها با شرایط مورد نظر قرار گرفتند. ویسکوزیته این موسیلاژ نیز با عنوان نمونه کنترل<sup>۳</sup> (CS) اندازه‌گیری شد.

### خشک کردن نمونه‌ها

در این پژوهش برای بررسی اثر روش‌های گوناگون بر خصوصیات رئولوژیکی و بافتی صمغ دانه مرو، صمغ استخراج شده از دانه مرو درون ظروف کاسه‌ای از جنس پلی اتیلن به حجم ۵۰ سی‌سی ریخته شد و در خشک‌کن‌های گوناگون برای خشک شدن به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت. خشک کردن با هوای داغ<sup>۴</sup> (OD) با آون ممرت (Convection oven, Memmert Universal, Schwabach, Germany) در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، و ۸۰ درجه سلسیوس انجام پذیرفت. برای خشک کردن نمونه‌ها درون خشک‌کن انجمادی<sup>۵</sup> (FD)، ابتدا نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت درون فریزر با دمای ۱۸- درجه سلسیوس قرار داده شدند تا کاملاً منجمد شوند و سپس نمونه‌ها درون دستگاه قرار گرفتند و دمای خشک‌کن (Operon freeze-dryer, Operon Co Ltd, Korea) ۴۰- درجه سلسیوس تنظیم شد. در روش دیگر موسیلاژ دانه مرو درون یک خشک‌کن تحت خلأ<sup>۶</sup> (VO) (Vacuum oven, Model VO200, Memmert, Germany) با دمای ۵۰ درجه سلسیوس و فشار ۱۰۰ میلی‌بار قرار گرفت. بعد از طی زمان خشک شدن، نمونه‌های خشک شده، آسیاب شدند، سپس از الک با مش ۳۵ برای حذف ذرات آسیاب نشده و درشت، عبور داده شدند. نمونه‌های تهیه شده برای

کاربرد گسترده‌ای دارد (Farahnaky et al., 2013; Razavi et al., 2013).

بررسی خصوصیات رئولوژیکی و ویسکوزیته مواد قبل از طراحی فرایندهایی شامل انتقال سیالات، پمپاژ، استخراج، فیلتراسیون، پاستوریزاسیون، تبخیر، و خشک کردن ضروری است (Marcotte et al., 2001). این خصوصیات صمغ‌ها شدیداً تحت تأثیر روش استخراج و شرایط خشک کردن آنهاست (Amid & Mirhosseini, 2012).

محققان روش‌های گوناگونی را برای خشک کردن صمغ استخراج شده از دانه گیاهان قرار داده‌اند تا به محصولی با کیفیت و خواص رئولوژیکی بالا دست یابند. این روش‌ها شامل استفاده از هوای داغ (Wang et al., 2010)، خشک‌کن بستر سیال و فورانی (Cunha et al., 2000)، خشک‌کن مایکروویو تحت خلأ (Sundaram et al., 2008)، خشک‌کن انجمادی (Barresi et al., 2009; Moreira, 2009)، خشک‌کن تحت خلأ (Wang et al., 2009)، و خشک‌کن پاششی (Nep & Conway, 2011) هستند.

(Amid, 2012) و Mirhosseini اثر روش‌های خشک کردن شامل هوای داغ، خشک‌کن انجمادی، خشک‌کن پاششی، و تحت خلأ را بر خصوصیات رئولوژیکی صمغ دانه دیوران<sup>۱</sup> بررسی کردند. نتایج به دست آمده توسط این محققان حاکی از این است که روش خشک کردن تأثیر معنی‌داری بر ویسکوزیته صمغ دارد. رنگ محصول خشک شده نیز فاکتوری مهم در ارزیابی کیفیت مواد خشک شده است که تحت تأثیر روش خشک کردن قرار می‌گیرد. همچنین (Nep 2011) و Conway گزارش کردند که روش خشک کردن صمغ گروبا<sup>۲</sup> باعث تغییر ویسکوزیته ظاهری آن در محدوده ۰/۲۰ تا ۰/۳۲ پاسکال‌ثانیه می‌شود. همچنین صمغ خشک شده توسط هوای داغ به نسبت روش‌های خشک کردن انجمادی و پاششی ویسکوزیته بیشتری از خود نشان می‌دهد.

بررسی منابع گوناگون نشان می‌دهد که تاکنون مطالعه‌ای در خصوص بررسی اثر روش‌های گوناگون خشک کردن بر خصوصیات رئولوژیکی و بافتی صمغ دانه‌های بومی ایران انجام نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثر روش‌های گوناگون خشک کردن شامل خشک کردن با هوای داغ در دماهای ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، و ۸۰ درجه سلسیوس، خشک کردن انجمادی، و تحت خلأ بر خصوصیات رئولوژیکی و بافتی (سفتی، نیروی

3. Control sample (CS)  
4. Oven drying (OD)  
5. Freeze drying (FD)  
6. Vacuum oven drying (VO)

1. Durian seed gums  
2. Grewia gum

دارد. خصوصیات بافتی ژل تهیه شده از صمغ های خشک شده دانه مرو، با استفاده از دستگاه بافت سنج<sup>۳</sup> (TA-XT Plus, Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK) و با نرم افزار (Texture Expert 1.05) بررسی شدند. ژل تهیه شده به ارتفاع ۵۰ میلی متر درون ظروف پلاستیکی (با قطر و ارتفاع ۵۰ و ۶۰ میلی متر) و دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفت. پروب استوانه ای با قطر ۲۵ میلی متر، با سرعت ۱/۰ میلی متر بر ثانیه و به عمق ۱۵ میلی متر برای انجام آزمون نفوذ و به دست آوردن خصوصیات بافتی استفاده شد. سرعت رفت و برگشت پروب ۱/۰ میلی متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. پارامترهای بافت سنجی شامل، سفتی<sup>۴</sup>، نیروی چسبندگی<sup>۵</sup>، قوام<sup>۶</sup>، و چسبندگی<sup>۷</sup> به دست آمدند (Salehi & Kashaninejad, 2014).

نیروی چسبندگی به عنوان بیشترین نیروی لازم برای غلبه بر نیروی چسبندگی بین سطح ماده غذایی و پروب تعریف می شود. در نمودار نیرو-زمان بررسی خصوصیات بافتی، بیشترین نیرو در قسمت منفی نمودار به عنوان نیروی چسبندگی معرفی می شود (Basu & Shivhare, 2010). مقدار عددی سفتی، نیروی چسبندگی، قوام، و چسبندگی با نرم افزار دستگاه بافت سنج محاسبه و گزارش شد.

برای رسم نمودارها از برنامه<sup>۸</sup> (۲۰۰۷) Excel و برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار SAS 9.1.3 در سطح معنی داری ۵ درصد استفاده شد و مقایسه میانگین ها به روش آزمون چنددامنه ای دانکن صورت گرفت.

#### پردازش تصویر

به منظور بررسی رنگ نمونه های صمغ دانه مرو از روش پردازش تصویر استفاده شد. در این روش از یک جعبه با ابعاد ۵/۰ × ۵/۰ × ۰/۵ متر به عنوان سکوی تصویربرداری استفاده شد. نمونه در وسط جعبه قرار گرفت و یک دوربین دیجیتال (Panasonic, Model DMC-FS42, Japan) در دیواره بالای جعبه روبروی نمونه ها مستقر بود. سیستم نورپردازی از دو لامپ فلورسنت (۱۰ وات) به طول ۴۰ سانتی متر) تشکیل شده بود که در وسط اتاقک عکس برداری قرار داشتند. تصویرگیری با دوربین دیجیتالی در فاصله ۲۰ سانتی متری نمونه انجام شد. تصاویر با فرمت jpg و در فضای رنگی RGB ذخیره شدند. تصاویر گرفته شده با نرم افزار Image J و برنامه آن (Color-Space)

انجام آزمایش های رئولوژیکی و بافتی، درون کیسه های پلاستیکی در بسته قرار گرفتند. رطوبت نمونه های خشک شده در حدود ۱/۲ درصد بود.

#### آماده سازی نمونه ها

محلول های هیدروکلوئیدی در دو غلظت ۰/۶ درصد (وزنی/وزنی) برای آزمایش های ویسکومتری و ۳ درصد (وزنی/وزنی) برای بررسی خصوصیات بافت سنجی، با حل کردن پودر صمغ خشک شده درون آب مقطر با کمک همزن، به دست آمدند. محلول های به دست آمده برای آبیگری کامل صمغ، به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق (۲۵ درجه سلسیوس) نگهداری شدند.

#### اندازه گیری ویسکوزیته ظاهری

ویسکوزیته نمونه ها با 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 سلسیوس با اسپیندل شماره SO2 اندازه گیری شدند.

مقادیر مربوط به سرعت و تنش برشی با استفاده از داده های به دست آمده از دستگاه ویسکومتر محاسبه شدند. براساس بررسی های انجام شده، مدل های قانون توان<sup>۱</sup> (معادله ۱) و هرشل بالکلی<sup>۲</sup> (رابطه ۲) برای بررسی خصوصیات رئولوژیکی صمغ دانه مرو مناسب تشخیص داده شدند و از این دو مدل برای بررسی خصوصیات مستقل از زمان استفاده شد.

$$\tau = k_p \dot{\gamma}^{n_p} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این معادله،  $\tau$  تنش برشی (Pa)،  $k_p$  ضریب قوام (Pa)  $s^{-n}$ ،  $\dot{\gamma}$  سرعت برشی  $(s^{-1})$ ، و  $n_p$  شاخص رفتار جریان برای مدل قانون توان هستند.

$$\tau = \tau_{0H} + k_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این معادله،  $\tau$  تنش برشی (Pa)،  $\tau_{0H}$  تنش تسلیم (Pa)،  $k_H$  ضریب قوام  $(Pa \cdot s^{n_H})$ ،  $\dot{\gamma}$  سرعت برشی  $(s^{-1})$ ، و  $n_H$  شاخص رفتار جریان برای مدل هرشل بالکلی هستند. به منظور مدل کردن داده های تجربی تنش برشی در برابر سرعت برشی، و به دست آوردن ثابت های مدل های رئولوژیکی، از نرم افزار Curve Expert ویرایش ۱/۳۴ استفاده شد.

#### آنالیز بافت

بافت مواد غذایی به عنوان یکی از مهمترین خصوصیات کیفی محصول، نقش مهمی در پذیرش کلی توسط مصرف کنندگان

3. Texture analyzer  
4. Firmness  
5. Stickiness  
6. Consistency  
7. Adhesiveness

1. Power law model  
2. Herschel-Bulkley's model

(Converter) از فضای رنگی RGB به  $L^* a^* b^*$  تبدیل شدند.

## نتایج و بحث

### اثر نوع خشک کن بر ویسکوزیته ظاهری

خصوصیات رئولوژیکی و کاربردی صمغ‌ها به روش استخراج و خشک کردن آنها وابسته است (Iglesias et al., 1993; Telis et al., 2005; Jimoh et al., 2005). با توجه به اینکه غلظت صمغ استخراج شده از دانه مرو برابر با ۰/۶ درصد بود، از نمونه‌های خشک شده در شرایط گوناگون، محلول‌هایی با غلظت ۰/۶ درصد تهیه و خصوصیات رئولوژیکی آنها در سرعت‌های برشی گوناگون بررسی شد. همانطور که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود، در تمامی نمونه‌های با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته ظاهری صمغ‌ها کاهش می‌یابد. کاهش ویسکوزیته با افزایش سرعت برشی، نشان‌دهنده خصوصیت رفتاری شل‌شونده با برش (سودوپلاستیک<sup>۱</sup>) صمغ دانه مرو است. با افزایش سرعت برشی از ۰/۶ به ۱۲۰ بر ثانیه، ویسکوزیته ظاهری صمغ خشک شده با هوای داغ با دمای ۸۰ درجه سلسیوس از ۴/۲ به ۰/۱۰۲ پاسکال ثانیه کاهش یافت. ویسکوزیته ظاهری صمغ دانه دیوران<sup>۲</sup> (*Durio zibethinus*) در سرعت برشی برابر ۱۰۰۰ بر ثانیه و غلظت ۱ درصد، برابر ۰/۰۶۵ گزارش شده است. این صمغ نیز رفتار شل‌شونده با برش از خود نشان داده است (Amin et al., 2007).

در شکل ۲ تأثیر روش‌های گوناگون خشک کردن بر ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ دانه مرو در سرعت برشی برابر با  $60 s^{-1}$  به نمایش درآمده است. بیشترین ویسکوزیته مربوط به صمغ استخراج شده قبل از فرایند خشک کردن است (۰/۳۴۴ Pa.s). تمامی روش‌های خشک کردن به‌طور معنی‌داری بر مقدار ویسکوزیته صمغ تأثیر 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 خلأ حداقل آسیب را به صمغ وارد می‌کند. با افزایش دمای هوای داغ نیز خصوصیات صمغ تغییر می‌کند و صمغ خشک شده در ۸۰ درجه سلسیوس حداقل ویسکوزیته را در محلول ایجاد می‌کند. با افزایش دمای هوای داغ از ۴۰ به ۸۰ درجه سلسیوس، ویسکوزیته صمغ دانه مرو از ۰/۲۷۱ Pa.s به ۰/۱۶۲ Pa.s کاهش می‌یابد. اثر روش خشک کردن بر ویسکوزیته صمغ‌های پلی‌ساکاریدی ممکن است به دلیل خصوصیات

گوناگون مواد محلول و غیرمحلول تشکیل شده باشد. روش خشک کردن به‌طور معنی‌داری (۰/۰۵ <math>p</math>) بر نسبت مواد محلول و غیرمحلول تشکیل شده تأثیر می‌گذارد (Amid et al., 2012). Ferrero و Ibanez, (2003) ویسکوزیته ظاهری صمغ استخراج شده از دانه *Prosopis flexuosa* (P. flexuosa) را در غلظت ۰/۴ درصد و سرعت برشی ۶۴ بر ثانیه، برابر با ۱/۹ پاسکال ثانیه گزارش کردند.

در جدول ۱ پارامترهای برازش شده مدل قانون توان برای محلول صمغ دانه مرو به نمایش درآمده است. ضریب قوام ( $k_p$ ) مربوط به این صمغ با استفاده از این مدل در محدوده  $Pa s^n$  ۳/۱۷-۱/۷۲ به دست آمد. همانطور که در شکل ۱ ملاحظه شد، صمغ دانه مرو دارای رفتار شل‌شونده با برش است و شاخص رفتار جریان گزارش شده در این جدول نیز کمتر از ۱ است، که معرف سیال شل‌شونده با برش است. مقدار عددی شاخص رفتار جریان در این پژوهش از ۰/۱۹ تا ۰/۳۳ تغییر می‌کرد. بیشترین ضریب قوام به دست آمده مربوط به صمغ خشک شده درون خشک کن انجمادی است که معادل  $3/17 Pa s^n$  محاسبه شد.

جدول ۱. پارامترهای برازش شده مدل قانون توان برای محلول

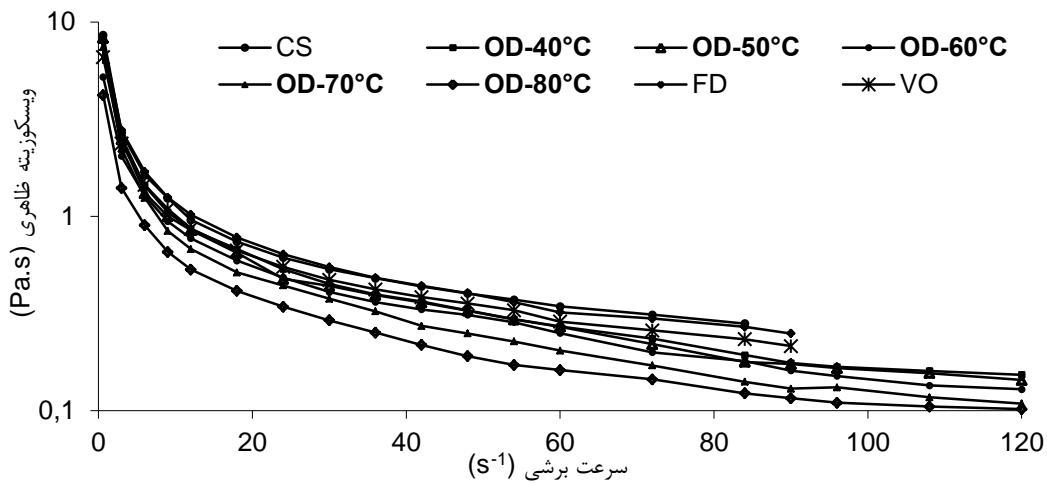
صمغ دانه مرو				
کد نمونه	$k_p$ (Pa s <sup>n</sup> )	$n_p$	r	SE
CS	۲/۶۲	۰/۳۳	۰/۹۹۸	۰/۱۸
OD-40°C	۲/۹۲	۰/۲۴	۰/۹۸۵	۰/۳۲
OD-50°C	۳/۰۳	۰/۲۲	۰/۹۶۷	۰/۴۶
OD-60°C	۲/۵۸	۰/۲۴	۰/۹۵۹	۰/۵۳
OD-70°C	۲/۶۸	۰/۱۹	۰/۹۶۸	۰/۳۱
OD-80°C	۱/۷۲	۰/۲۵	۰/۹۹۰	۰/۱۸
FD	۳/۱۷	۰/۲۷	۰/۹۸۵	۰/۴۲
VO	۲/۴۱	۰/۳۲	۰/۹۹۷	۰/۱۶

\* CS: نمونه کنترل؛ OD: خشک کن هوای داغ؛ FD: خشک کن انجمادی؛ VO: خشک کن تحت خلأ

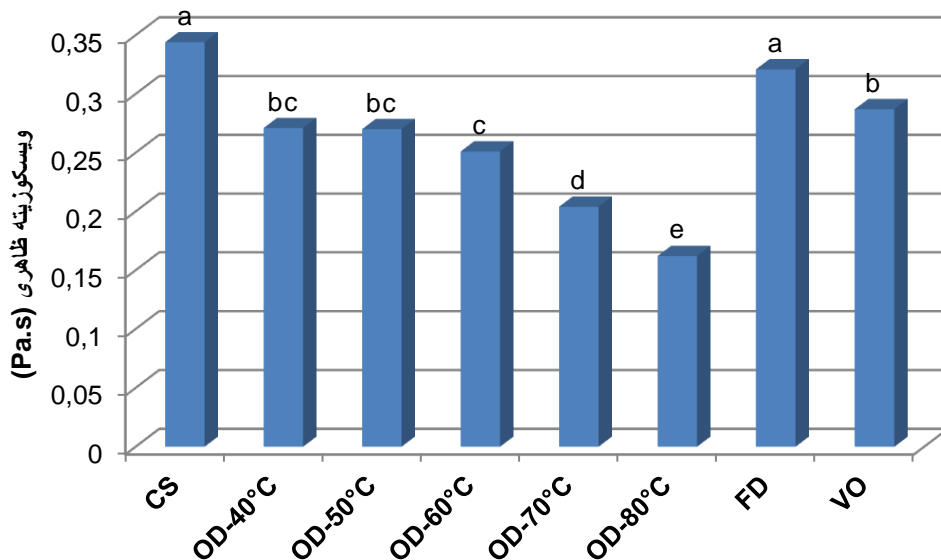
در جدول ۲ پارامترهای برازش شده مدل هرشل بالکلی برای محلول صمغ دانه مرو خشک شده به روش‌های گوناگون به نمایش درآمده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در تمامی صمغ‌های خشک شده تنش تسلیم مشاهده می‌شود. مقدار عددی تنش تسلیم برای این صمغ در محدوده ۰/۱۸ تا ۱/۴۰ پاسکال به دست آمد. ضریب قوام ( $k_H$ ) مربوط به این صمغ با استفاده از این مدل در محدوده  $Pa s^n$  ۳/۱۵-۱/۱۱ به دست آمد.

1. Pseudoplastic behavior  
2. Durian seed gum

شاخص رفتار جریان گزارش شده در این جدول نیز کمتر از ۱ است، که معرف سیال شل شونده با برش یا سودوپلاستیک است. مقدار عددی شاخص رفتار جریان مدل هرشل بالکلی از ۰/۱۵ تا ۰/۴۳ تغییر می کند.



شکل ۱. اثر روش های گوناگون خشک کردن بر ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ دانه مرو، تابعی از سرعت برشی (CS: نمونه کنترل؛ OD: خشک کن هوای داغ؛ FD: خشک کن انجمادی؛ VO: خشک کن تحت خلأ).



شکل ۲. اثر روش های گوناگون خشک کردن بر ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ دانه مرو (سرعت برشی برابر  $60\text{ s}^{-1}$ )، (اعداد دارای حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده معنی دار بودن در سطح  $p < 0.05$  هستند)

ترتیب برابر ۰/۲۴ و ۰/۲۳ گزارش کردند. مقدار ضریب همبستگی<sup>۱</sup> بالا و مقدار خطای استاندارد<sup>۲</sup> پایین به دست آمده از برآزش مدل هرشل بالکلی با داده های تجربی، نشان از مناسب بودن این مدل دارد و از داده های گزارش شده در جدول ۲ می توان برای پیشگویی رفتار صمغ دانه مرو استفاده کرد.

مقدار عددی تنش تسلیم، ضریب قوام، و شاخص رفتار جریان برای نمونه کنترل به ترتیب برابر  $1/29\text{ Pa s}^n$ ،  $1/64$  و  $0/42$  به دست آمد. همچنین بیشترین ضریب قوام مشاهده مربوط صمغ خشک شده در آن خلأ است که برابر  $3/15\text{ s}^n$  به دست آمد.

(2001) Marcotte et al. و (2006) Song et al. مقدار

شاخص رفتار جریان مدل هرشل بالکلی برای صمغ گزانتان را به

1. Correlation coefficient (r)

2. Standard error (SE)

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

SE	r	n <sub>H</sub>	k <sub>H</sub> (Pa s <sup>n</sup> )	τ <sub>0H</sub> (Pa)	کد نمونه
۰/۱۰	۰/۹۹۹	۰/۴۲	۱/۶۴	۱/۲۹	CS
۰/۱۳	۰/۹۹۸	۰/۲۸	۲/۴۶	۰/۱۹	OD-40°C
۰/۳۱	۰/۹۸۷	۰/۳۳	۱/۸۷	۰/۸۵	OD-50°C
۰/۰۸	۰/۹۹۸	۰/۴۳	۱/۱۱	۱/۴۰	OD-60°C
۰/۲۰	۰/۹۸۸	۰/۲۱	۲/۶۰	۰/۱۸	OD-70°C
۰/۱۶	۰/۹۹۲	۰/۱۵	۱/۸۱	۰/۳۲	OD-80°C
۰/۰۷	۰/۹۹۹	۰/۳۰	۳/۰۸	۰/۳۶	FD
۰/۱۵	۰/۹۹۸	۰/۲۷	۳/۱۵	۰/۸۹	VO

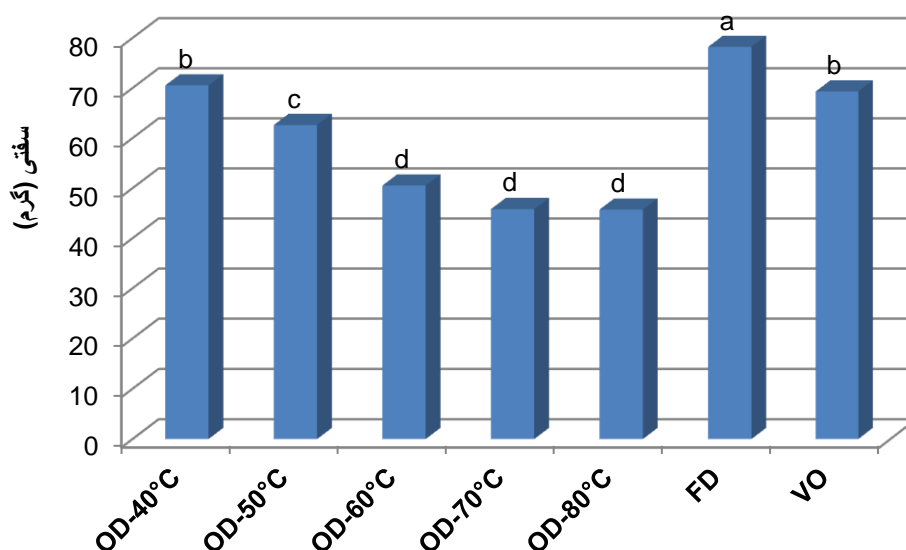
\* CS: نمونه کنترل؛ OD: خشک کن هوای داغ؛ FD: خشک کن انجمادی؛ VO: خشک کن تحت خلأ

داغ از ۴۰ به ۸۰ درجه سلسیوس، سفتی بافت از ۷۰/۵ به ۴۵/۷ گرم کاهش می یابد.

همانطور که در جدول ۲ ملاحظه می شود افزایش دمای هوای داغ اثر رونددار و مشخصی بر تنش تسلیم به دست آمده توسط مدل هرشل بالکلی ندارد. اما با ملاحظه شکل ۳ متوجه می شویم که با افزایش دمای هوا، سفتی ژل ها کاهش می یابد. این مورد به دلیل اختلاف موجود در غلظت نمونه های ویسکومتری (۰/۶ درصد) و بافت سنجی (۳ درصد) است که نشان دهنده این است که افزایش دما بر نمونه های غلیظ تر تأثیر بیشتری دارد. مقدار عددی مربوط به سفتی بافت برای صمغ خشک شده درون خشک کن تحت خلأ برابر ۶۹/۳ گرم به دست آمد.

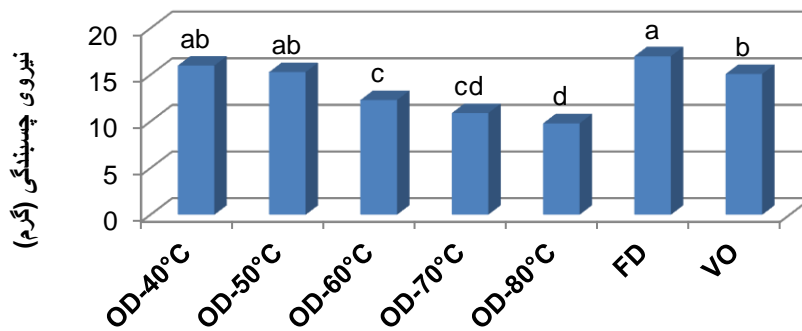
### اثر نوع خشک کن بر سفتی بافت

بیشترین نیروی مشاهده شده در نمودار نیرو-زمان در طی انجام آزمایش های بافت سنجی به عنوان سفتی بافت نمونه ها گزارش می شود. پارامتر سفتی عموماً برای بیان قدرت شبکه ژلی استفاده می شود. در شکل ۳ اثر روش های گوناگون خشک کردن بر سفتی بافت ژل تهیه شده از صمغ دانه مرو به نمایش در آمده است. همانطور که ملاحظه می شود روش خشک کردن موسیلاژ، اثر معنی داری بر سفتی بافت ژل تهیه شده از صمغ خشک شده دارد. بیشترین مقدار عددی مربوط به سفتی بافت، متعلق به صمغ خشک شده درون خشک کن انجمادی است (۷۸/۲ گرم). افزایش دمای خشک کن هوای داغ نیز باعث کاهش سفتی بافت ژل تهیه شده از صمغ دانه مرو می شود. با افزایش دمای هوای



شکل ۳. اثر روش های گوناگون خشک کردن بر سفتی بافت ژل تهیه شده از صمغ دانه مرو (اعداد دارای حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده معنی دار بودن در سطح  $p < 0.05$  هستند)

(CS: نمونه کنترل؛ OD: خشک کن هوای داغ؛ FD: خشک کن انجمادی؛ VO: خشک کن تحت خلأ).



شکل ۴. اثر روش های گوناگون خشک کردن بر نیروی چسبندگی بافت ژل تهیه شده از صمغ دانه مرو (اعداد دارای حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده معنی دار بودن در سطح  $p < 0.05$  هستند)  
(CS: نمونه کنترل؛ OD: خشک کن هوای داغ؛ FD: خشک کن انجمادی؛ VO: خشک کن تحت خلأ).

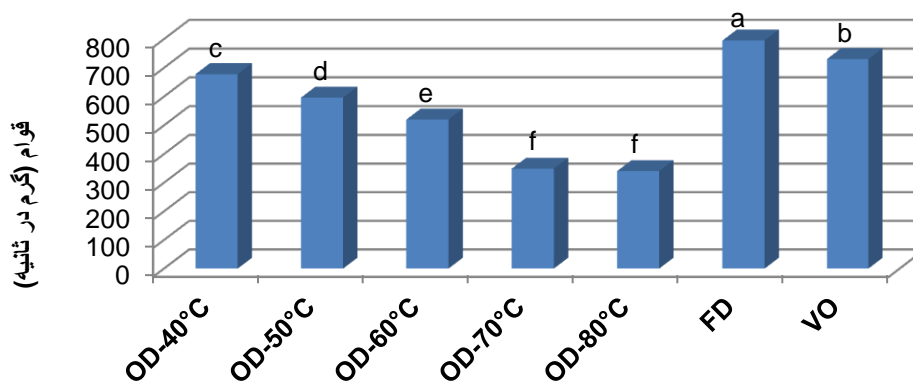
دانه مرو به نمایش در آمده است. همانطور که ملاحظه می شود روش خشک کردن موسیلاژ اثر معنی داری بر قوام ژل تهیه شده از صمغ خشک شده دارد. بیشترین مقدار عددی مربوط به قوام بافت، به صمغ خشک شده درون خشک کن انجمادی تعلق دارد که برابر  $794/8$  گرم در ثانیه است. تغییر دمای خشک کن هوای داغ نیز تأثیر معنی داری بر قوام ژل دارد و افزایش دمای هوای داغ از  $40$  به  $80$  درجه سلسیوس، باعث کاهش قوام بافت از  $678/2$  به  $340/4$  گرم در ثانیه می شود. (Prasad, 2007) و Giri & در طی خشک کردن قارچ دکمه ای با هوای داغ و خشک کن مایکروویو تحت خلأ گزارش کردند که خشک کردن با هوای داغ باعث تخریب بیشتر بافت مواد غذایی می شود. صمغ خشک شده با هوای داغ اگرچه در مقایسه با صمغ خشک شده درون خشک کن انجمادی قوام کمتری از خود نشان داد ولی به دلیل هزینه پایین تر این روش، امکان استفاده از آن در صنعت وجود دارد و دمای  $40$  درجه سلسیوس به دلیل خصوصیات بافتی مناسب و قوام بالا برای این کار مناسب است.

#### اثر نوع خشک کن بر نیروی چسبندگی

در شکل ۴ اثر روش های گوناگون خشک کردن بر نیروی چسبندگی ژل تهیه شده از صمغ دانه مرو به نمایش در آمده است. همانطور که ملاحظه می شود روش خشک کردن موسیلاژ، اثر معنی داری بر نیروی چسبندگی ژل تهیه شده از صمغ دانه مرو دارد. بیشترین مقدار عددی مربوط به نیروی چسبندگی، مربوط به صمغ خشک شده درون خشک کن انجمادی است ( $17/0$  گرم). تغییر دمای خشک کن هوای داغ نیز تأثیر معنی داری بر نیروی چسبندگی ژل تهیه شده از صمغ دانه مرو دارد. مقدار عددی نیروی چسبندگی در این پژوهش در محدوده  $9/8$  تا  $17/0$  گرم به دست آمد.

#### اثر نوع خشک کن بر قوام

در نمودار نیرو-زمان بافت سنجی، مساحت زیر نمودار از لحظه شروع آزمون تا رسیدن به حداکثر تغییر شکل مورد نظر را قوام می نامند (Angioloni *et al.*, 2009). قوام بیانگر میزان کار لازم برای غلبه بر نیروی داخلی بین باندهای نمونه است. در شکل ۵ اثر روش های گوناگون خشک کردن بر قوام ژل تهیه شده از صمغ

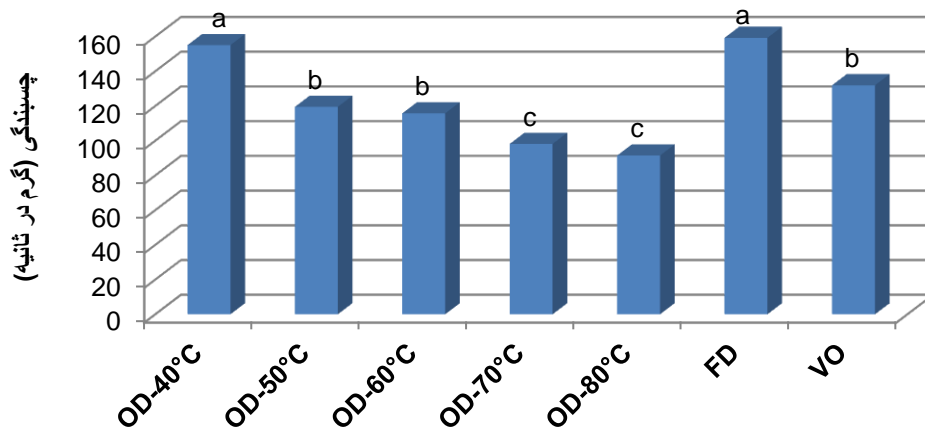


شکل ۵. اثر روش های گوناگون خشک کردن بر قوام بافت ژل تهیه شده از صمغ دانه مرو (اعداد دارای حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده معنی دار بودن در سطح  $p < 0.05$  هستند)  
(CS: نمونه کنترل؛ OD: خشک کن هوای داغ؛ FD: خشک کن انجمادی؛ VO: خشک کن تحت خلأ).

### اثر نوع خشک‌کن بر چسبندگی

ارزیابی چسبندگی به روش دستگاهی نخستین بار توسط Friedman *et al.* (1963) با استفاده از یک بافت‌سنج انجام شد. یک پروب سیلندری با مسیری دایره‌ای به‌عنوان کنترل‌کننده سرعت نمونه و سپس کشش استفاده شد. نرم‌افزار دستگاه بافت‌سنج نمودار نیرو-زمان را در طی حرکت پروب ثبت می‌کند و مساحت منفی زیر نمودار را به‌عنوان چسبندگی نمونه گزارش می‌دهد. چسبندگی مربوط به مقدار کار لازم برای غلبه بر نیروی کشش بین سطح ماده غذایی و سطح جسم در تماس با آن است. پارامتر چسبندگی فاکتوری مثبت در فرآورده‌های نانوبی و پودینگ‌هاست و فاکتوری منفی در فرآورده‌هایی چون

اسپاگتی و فرآورده‌های گوشتی مطرح است (Fizman *al.*, 2000). در شکل ۶ اثر روش‌های گوناگون خشک‌کردن بر چسبندگی بافت ژل تهیه‌شده از صمغ دانه مرو به نمایش در آمده است. همانطور که ملاحظه می‌شود روش خشک‌کردن موسیلاژ اثر معنی‌داری بر چسبندگی ژل تهیه‌شده از صمغ خشک‌شده دارد. بیشترین مقدار عددی مربوط به چسبندگی بافت، مربوط به صمغ خشک‌شده درون خشک‌کن انجمادی است (۱۵۹/۲ گرم در ثانیه). مقدار عددی چسبندگی به‌دست‌آمده در این پژوهش در محدوده ۹۱/۴ تا ۱۵۹/۲ گرم در ثانیه به‌دست آمد.



شکل ۶. اثر روش‌های گوناگون خشک‌کردن بر چسبندگی بافت ژل تهیه‌شده از صمغ دانه مرو (اعداد دارای حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح  $p < 0.05$  هستند)

CS: نمونه کنترل؛ OD: خشک‌کن هوای داغ؛ FD: خشک‌کن انجمادی؛ VO: خشک‌کن تحت خلأ.

گرایش نمونه‌ها به سمت زردی است. نمونه‌های خشک‌شده در آون تحت خلأ زردترینند.

جدول ۳. نتایج پردازش تصویر نمونه‌های صمغ دانه مرو.

کد نمونه	L	a*	b*
CS	۴۶/۹	-۳/۱	۹/۵
OD-40°C	۴۲/۱	-۴/۶	۷/۴
OD-50°C	۴۰/۹	-۲/۳	۳/۴
OD-60°C	۴۰/۵	-۱/۱	۳/۸
OD-70°C	۳۹/۸	-۳/۲	۹/۶
OD-80°C	۳۱/۶	-۳/۴	۶/۴
FD	۴۶/۳	-۳/۱	۹/۷
VO	۴۳/۱	-۳/۱	۱۴/۹

\* CS: نمونه کنترل؛ OD: خشک‌کن هوای داغ؛ FD: خشک‌کن انجمادی؛ VO: خشک‌کن تحت خلأ

### پردازش تصویر

مدل رنگی Lab مرکب از جزء روشنایی (مقدار L که دامنه‌ای از صفر تا ۱۰۰ را دارد) و دو جزء رنگی (دامنه‌ای از ۱۲۰- تا ۱۲۰+) که شامل جزء a\* (دارای طیف رنگی سبز تا قرمز) و جزء b\* (دارای طیف رنگی آبی تا زرد) است. در جدول ۳ نتایج مربوط به آنالیز رنگ نمونه‌های صمغ دانه مرو بیان شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش دمای هوای داغ میزان روشنایی (L) کاهش یافته است و نمونه‌ها تیره‌تر شده‌اند. در بین نمونه‌های خشک‌شده، خشک‌کن انجمادی کمترین اثر را بر تغییر رنگ نمونه‌ها دارد و نمونه‌های خشک‌شده با این روش روشن‌ترینند. شاخص a\* منفی است که نشان‌دهنده گرایش نمونه‌ها به رنگ سبز است و b\* مثبت است که نشان‌دهنده



صمغ خشک شده با خشک کن انجمادی دارای خصوصیات بافتی مناسبی است و نسبت به سایر روش های خشک کردن سفتی و قوام بیشتری دارد. مقدار عددی سفتی، نیروی چسبندگی، قوام و چسبندگی به ترتیب در محدوده ۴۵/۷ تا ۷۸/۲ گرم، ۹/۸ تا ۱۷/۰ گرم، ۳۴۰/۴ تا ۷۹۴/۸ گرم در ثانیه، و ۹۱/۴ تا ۱۵۹/۲ گرم در ثانیه برای ژل های تهیه شده از صمغ های خشک شده (۳ درصد وزنی/وزنی) در شرایط گوناگون است. خشک کن انجمادی کمترین اثر را بر تغییر رنگ نمونه ها دارد و نمونه های خشک شده با این روش روشن ترند. با توجه به اینکه خشک کن انجمادی کمترین تأثیر را بر خصوصیات رئولوژیکی، بافتی، و رنگ صمغ مرو دارد، استفاده از این روش برای خشک کردن این نوع صمغ گیاهی توصیه می شود.

## نتیجه گیری

دانه مرو دانه بومی ایران است که حاوی مقادیر زیادی هیدروکلوئید با خواص رئولوژیکی شایان توجه است و قابلیت تولید انبوه آن در سطح تجاری وجود دارد. در این پژوهش اثر روش خشک کردن موسیلاژ صمغ دانه مرو بر خصوصیات رئولوژیکی و بافتی آن بررسی شد. نتایج نشان داد که صمغ خشک شده رفتار شل شونده با برش را از خود نشان می دهد و مدل رئولوژیکی هرشل بالکلی برای بررسی خصوصیات جریانیه این صمغ مناسب تشخیص داده شد. همچنین صمغ خشک شده درون خشک کن انجمادی بالاترین ویسکوزیته را به نسبت سایر روش های خشک کردن از خود نشان می دهد. روش خشک کردن موسیلاژ اثر معنی داری بر خصوصیات بافتی ژل تهیه شده از صمغ دانه خشک شده دانه مرو دارد و

## REFERENCES

- 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., et al. (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.
- Farahnaky, A., Bakhshizadeh-Shirazi, Sh., Mesbahi, Gh., Majzobi, M., Rezvani, E., & Schleinig, G. (2013). Ultrasound-assisted isolation of mucilaginous hydrocolloids from *Salvia macrosiphon* seeds and studying their functional properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2013.06.003>.
- 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 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. A. (2012). Review study on chemical composition and molecular structure of newly plant gum exudates and seed gums. *Food Research International*, 46, 387–398.
- Moreira, R. A. (2009). Isolation of a lectin and a galactoxyloglucan from *Mucuna sloanei* seeds. *Phytochemistry*, 70, 1965–1972.
- Nep, E. I., & Conway, B. R. (2011). 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. (2014). Effect of different drying methods on rheological and textural properties of Balangu seed gum. *Drying Technology*, 32(6), 720-727.
- 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 Polymers*, 81, 128-133.
- Wang, Y., Wang, L., Li, J., Xue, D., & Mao, J. Z. H. (2009). Effects of drying methods on rheological properties of flaxseed gum. *Carbohydrate Polymers*, 78, 213-219.