

اثر روش‌های مختلف خشک کردن بر گرانروی و ژل‌دهی صمغ دانه قدومه شهری

لیلا مومنی^۱، بهزاد علاء‌الدینی^{۲*}، آرش کوچکی^۳

۱، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی

۲، مربی، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی

۳، دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۲/۲۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۰/۲۰)

چکیده

هدف اصلی از مطالعه حاضر بررسی اثر روش‌های خشک کردن متفاوت بر گرانروی ظاهری و ژل‌دهی صمغ دانه قدومه شهری می‌باشد. سه روش خشک کردن از جمله خشک کردن با خشک‌کن‌های انجمادی، آون هوا داغ و آون خلاء مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند، مقادیر گرانروی نمونه‌ها در سرعت برشی ۱۲/۲۳ بر ثانیه در محدوده ۰/۳۱ تا ۱/۲۶ پاسگال ثانیه می‌باشد و نمونه کنترل بیشترین مقدار ویسکوزیته را دارد. تمامی روش‌های خشک کردن ویسکوزیته ظاهری را کاهش دادند اما خشک کردن با آون خلاء بیشترین اثر منفی را بر ویسکوزیته داشت. ویسکوزیته صمغ‌های خشک شده توسط خشک‌کن‌های انجمادی و هوا داغ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. روش‌های خشک کردن موسیلاژ، اثر معنی‌داری بر تغییرات سختی و چسبناکی ژل تهیه شده از صمغ‌های خشک شده دارند. مقادیر عددی سختی و چسبناکی به ترتیب در محدوده ۰/۱۴۱ تا ۰/۲۶۴ (N) و ۰/۱۹۲ تا ۰/۳۰۹ (Ns) برای ژل‌های تهیه شده از صمغ‌های خشک شده در شرایط مختلف است. هر یک از ویژگی‌های کاربردی صمغ نهایی می‌توانند متاثر از روش‌های متفاوت خشک کردن باشند. بنابراین این نتایج می‌توانند در انتخاب روش خشک کردن صحیح صمغ دانه قدومه شهری به عنوان یک عامل قوام دهنده و ژل دهنده موثر باشند.

واژه‌های کلیدی: دانه قدومه شهری، صمغ، روش‌های خشک کردن، گرانروی ظاهری، ژل‌دهی.

مقدمه

دانه قدومه شهری با نام علمی *Lepidium perfoliatum* از خانواده شب بو، بومی مصر، عربستان، عراق، ایران و پاکستان است و در سطح محلی قدومه شهری نامیده می‌شود. از لحاظ ظاهری دانه ریز تخم مرغی شکل و قهوه‌ای رنگ است که با پوشش نازک موسیلاژی پوشیده شده و هنگامی که داخل آب قرار می‌گیرد، سریع متورم می‌شود و مقدار زیادی موسیلاژ (صمغ محلول در آب) ایجاد می‌کند. موسیلاژ حاصل از دانه قدومه شهری برای قرن‌ها در ایران برای استفاده داروئی استفاده شده است (Razavi et al., 2011) (Koocheki et al., 2013). صمغ دانه قدومه شهری با رفتار جریان غیر نیوتنی روان شونده با برش برای استفاده در فرمولاسیون‌هایی که بافتی با لزجتی کمتر یا احساس دهانی مطلوب تر مورد نیاز است، قابل کاربرد است (Koocheki & Razavi, 2009).

هیدروکلوئیدهای گیاهی که به طور طبیعی در دانه‌ی گیاهان وجود دارند می‌توانند برای عملکردهای متنوع فیزیکی،

مکانیکی و حسی مواد غذایی استفاده شوند (Koocheki et al., 2013). آنها خواص ژل دهی و یا قوام دهنده‌ی محصول نهایی را بهبود بخشیده و توزیع، ذخیره و مصرف مواد غذایی را افزایش می‌دهند. بنابراین دانستن ویژگی‌های عملکردی صمغ‌ها و انتخاب مناسب آنها بر اساس دامنه کاربردشان بسیار مهم است (Salehi & Kashaninezhad, 2014).

بررسی خواص رئولوژیکی هیدروکلوئیدها به منظور اصلاح خصوصیات بافتی مواد غذایی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. ویژگی‌های رئولوژیکی در طراحی فرآیندهایی که دارای جریان می‌باشند (مانند پمپ کردن، استخراج، فیلتراسیون، اکستروژن و خالص‌سازی) و در فرآیندهای غذایی نظیر پاستوریزاسیون، تبخیر شدن و خشک کردن نقش مهمی ایفا می‌کنند (Marcotte et al., 2001). خواص فیزیکی، شیمیایی و عملکردی بیوپلیمرهای طبیعی با پایه‌ی گیاهی به شدت تحت تاثیر فاکتورهای متعددی مانند ترکیب شیمیایی و ساختار مولکولی بیوپلیمرها است. از طرف دیگر استخراج، خالص‌سازی، خشک کردن و یا فرآیندهای بهبوددهنده بیشتر می‌توانند ترکیب شیمیایی و ساختار مولکولی و در نتیجه خواص عملکردی بیوپلیمر را تحت تاثیر قرار دهند (Mirhosseini & Amid, 2013).

* نویسنده مسئول: beh_ala@yahoo.com

یکی از موارد کلیدی جهت قابلیت پذیرش محصولات غذایی، بافت مواد غذایی می‌باشد و هیدروکلوئیدها نقش مهمی در کنترل ویژگی‌های بافتی محصولات غذایی ایفا می‌کنند. خواص مکانیکی محصولات غذایی، مواد بیولوژیک و صمغ‌های گیاهی تا حد زیادی توسط فرآیند خشک کردن تحت تاثیر قرار می‌گیرند و یکی از مهم ترین ویژگی‌های کیفیت محصولات خشک شده در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین تاثیر روش‌های خشک کردن بر بافت مواد غذایی می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. صالحی و کاشانی‌نژاد تاثیر روش‌های متفاوت خشک کردن انجمادی، تحت خلاء و هوا داغ $40-80^{\circ}\text{C}$ را بر خصوصیات بافتی ژل صمغ دانه بالنگو^۱ بررسی نمودند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که مقادیر سفتی و چسبناکی صمغ دانه بالنگو خشک شده به ترتیب در محدوده $33/1$ تا $49/6$ گرم $64/1$ تا $130/8$ گرم در ثانیه برای ژل‌های تهیه شده از صمغ‌های خشک شده در شرایط مختلف می‌باشد.

خواص عملکردی صمغ‌ها مانند ویسکوزیته و خواص رئولوژیکی آنها به شدت به فرآیند خشک کردن حساس است؛ (Jimoh *et al.*, 2010 Jaya & Durance, 2009). معمول ترین روش های خشک کردن برای انواع صمغ‌های گیاهی شامل خشک کردن در آون، خشک کردن پاششی، خشک کردن انجمادی و خشک کردن تحت خلاء است (Mirhosseini & Amid, 2013). محققان روش های 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. وانگ و همکاران اثرات روش‌های خشک کردن رسوب با اتانول، انجمادی، آون 105 و 80 درجه سانتی‌گراد، پاششی و آون تحت خلا را بر خواص رئولوژیکی صمغ دانه کتان^۲ مورد بررسی قرار دادند و مشاهده نمودند روش خشک کردن بارش اتانول باعث افزایش ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ دانه کتان می‌شود. در حالیکه روش‌های خشک کردن انجمادی، آون 105 و 80 درجه سانتی‌گراد، پاششی و آون تحت خلاء ویسکوزیته ظاهری را کاهش دادند (Wang *et al.*, 2009). نپ و کانوی تاثیر روش‌های خشک کردن با خشک‌کن‌های انجمادی، آون هوا داغ و پاششی بر ویسکوزیته دیسپرسیون آبی 1% پلی‌ساکارید صمغ گرویا^۳ بررسی نمودند. محققان گزارش نمودند که ویسکوزیته با توجه به روش خشک کردن متفاوت بوده است و تنها نمونه‌های خشک شده با خشک‌کن‌های انجمادی و آون هوا داغ خواص

جریان رضایت‌بخش نشان دادند (Nep & Conway, 2011). امید و میرحسینی اثر روش های خشک کردن هوا داغ، انجمادی، پاششی و تحت خلا را بر خصوصیات رئولوژیکی صمغ دانه دوریان^۴ مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند فرآیند خشک کردن سبب افزایش ویسکوزیته صمغ دوریان گردید و صمغ خشک شده با روش انجمادی بیشترین ویسکوزیته و صمغ خشک شده با روش آون کمترین ویسکوزیته را در بین تمام نمونه‌های خشک شده نشان دادند (Amid & Mirhosseini, 2012). هم چنین صالحی و کاشانی‌نژاد تاثیر روش‌های متفاوت خشک کردن با خشک‌کن‌های هوا داغ در دو دمای 40 و 80 درجه سانتی‌گراد، انجمادی و آون تحت خلا را بر روی دانه بالنگو شیرازی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این محققان حاکی از این است که روش خشک کردن صمغ دانه بالنگو شیرازی باعث تغییر گرانیوی آن در محدوده $0/056$ تا $0/236$ پاسگال ثانیه می‌شود. هم چنین صمغ خشک شده با خشک‌کن انجمادی نسبت به روش های خشک کردن هوا داغ و تحت خلاء بیشترین ویسکوزیته را از خود نشان می‌دهد (Salehi & Kashaninezhad, 2014).

اگر چه خواص عملکردی و رئولوژیکی صمغ دانه قدومه شهری قبل بررسی شده است (Koocheki *et al.*, 2013). اما تاکنون هیچ مطالعه‌ای در زمینه تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر گرانیوی و بافت صمغ دانه قدومه شهری صورت نگرفته است از این رو هدف از مطالعه حاضر بررسی ویسکوزیته ظاهری، رفتار جریان و بافت (سفتی و چسبناکی) صمغ دانه قدومه شهری به عنوان یک منبع جدید هیدروکلوئیدی تحت تاثیر روش‌های مختلف خشک کردن (آون هوا داغ، انجمادی و تحت خلاء) است.

مواد و روش

مواد اولیه

دانه های قدومه شهری از یک فروشگاه گیاهان دارویی در مشهد تهیه و به روش دستی تمیز و بوجاری گردید. سدیم آزید نیز برای جلوگیری از آلودگی‌های باکتریایی تهیه شد.

ترکیبات شیمیایی صمغ دانه قدومه شهری

تجزیه و تحلیل ترکیبات شیمیایی صمغ دانه قدومه شهری نشان داد که این صمغ شامل 6% رطوبت، $23/88\%$ قند کل، $4/6\%$ پروتئین، 18% خاکستر و بدون چربی است (Koocheki *et al.*, 2013).

1. Balangu Seed Gum
2. Flax seed gum
3. Grewia gum

4. Durian seed gum

در نهایت از صافی عبور داده شدند تا ذرات یکنواختی از پودرها به دست آمد سپس پودرهای آسیاب شده توزین و در قوطی-های محفوظ به هوا بسته بندی شدند تا زمانی که در آزمایشات استفاده شوند.

آماده سازی نمونه ها و تهیه ژل

محللول‌های هیدروکلئوئید با حل کردن پودرهای به دست آمده در آب دیونیزه در غلظت‌های ۰/۷۵٪ (وزنی-حجمی) برای اندازه گیری ویسکوزیته و و بررسی رفتار جریان و ۰/۳٪ (وزنی-حجمی) جهت آنالیز بافت تهیه گردیدند. سپس جهت هیدراسیون کامل توسط هم‌زن مگنت به مدت یک ساعت هم زده شدند و به مدت یک شب، در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد برای جذب کامل آب قرار گرفتند. مقداری از موسیلاژ استخراج شده (موسیلاژ خام) در شرایط مورد نظر، خشک گردید و مشخص شد که از آن حدود ۰/۷۵٪ صمغ خشک شده به دست می‌آید. هم چنین گرانروی موسیلاژ خام با عنوان نمونه کنترل^{۱۰} (CS) در نظر گرفته شد. برای تهیه ژل محللول‌های تهیه شده در غلظت ۰/۳٪ (وزنی-حجمی) به مدت ۲۴ ساعت بر روی رولر میکسر و سپس به مدت ۲۴ ساعت در یخچال (۴ °C) قرار داده شدند تا ژل تشکیل شود

اندازه‌گیری گرانروی

محللول‌های هیدروکلئوئیدی توسط ویسکومتر بروکفیلد^{۱۱} (مدل + DV-II pro، امریکا) و با استفاده از اسپیندل مدل (LV-2)، مجهز به پروب دمایی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه-گیری گردید. اثر سرعت برشی بر رفتار رئولوژیکی محللول‌های صمغ دانه قدومه شهری در غلظت ۰/۷۵٪ (وزنی-حجمی) و در دامنه برش ۱۰ تا ۱۰۰ بر ثانیه مورد بررسی قرار گرفت. آزمون رئولوژیکی مورد نظر برای به دست آوردن تنش برش-درجه برش بر آن اعمال گردید و ویسکوزیته پس از گذشت ۱۵ ثانیه از چرخش اسپیندل قرائت گردید.

با توجه به رفتار غیر نیوتنی این صمغ، به منظور توصیف رفتار رئولوژیکی، داده‌های آزمون (سرعت برشی- تنش برشی) با مدل قانون توان (فرمول ۱) برازش شد (Steffe, 1996).

$$\tau = KD^n \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این معادله K ضریب قوام (Pa.sⁿ)، n شاخص رفتار جریان (بدون بعد)، τ تنش برشی ($\frac{N}{m^2}$) و D سرعت برشی S⁻¹ می‌باشد. K بزرگی ویسکوزیته سیال و n ویژگی رفتار سیال

عملیات استخراج

صمغ دانه قدومه شهری در دمای ۴۸ °C از دانه کامل با نسبت آب به دانه ۳۰ به ۱ با pH ۸ و در مدت زمان ۱/۵ ساعت استخراج شد. جداسازی صمغ از دانه های متورم شده با عبور از اکستراکتور مجهز به صفحه چرخنده (استخراج کننده آزمایشگاهی، شرکت پارس خزر) صورت گرفت. محللول به دست آمده به منظور حذف ذرات اضافی از صافی عبور داده شد (Koocheki et al., 2009).

عملیات خشک کردن

در این پژوهش از سه روش خشک کردن هوا داغ، انجمادی و آون خلاء برای خشک کردن صمغ دانه‌ها استفاده شد.

الف- فرآیند خشک کردن توسط خشک‌کن هوا داغ^۱

محللول صمغ دانه قدومه شهری در خشک‌کن هوا داغ گروک^۲ ساخت کشور آلمان در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد (Nep & Conway, 2011).

ب- فرآیند خشک کردن توسط خشک‌کن انجمادی^۳

در این روش از خشک‌کن انجمادی (لیبولد هرتوس^۴ مدل لیواک جی تی ۳^۵) برای خشک کردن نمونه‌های صمغ بر اساس روش (Nep & Conway, 2011) استفاده لعاب حاصل به محفظه فریزر خشک‌کن انجمادی منتقل شد تا در دمای ۴۰- به مدت ۲۴ ساعت یخ بزند. سپس ارلن‌ها به پمپ خلاء خشک‌کن انجمادی متصل شدند تا به‌طور کامل خشک شوند. مدت زمان این عملیات حدوداً ۲۴ ساعت بود.

ج- فرآیند خشک کردن توسط آون خلاء^۶

از سیستم تبخیر کننده روتاری^۷ همراه با سیستم خلاء و مجهز به حمام آب گرم (بوچی)^۸ در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد جهت تغلیظ لعاب استفاده شد. نمونه تغلیظ شده به دست آمده از تبخیر کننده روتاری در خشک‌کن آون خلاء (ایرت)^۹ بر اساس روش (Salehi & Kashaninezhad, 2014) در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت در فشار ۱۰۰ میلی بار خشک گردید.

در مرحله آخر ماده خشک شده به دست آمده از خشک‌کن‌های هوا داغ، انجمادی و آون خلاء آسیاب، پودر و

1. Hot air
2. GROUC
3. Freeze dryer
4. Leybold heraeus
5. Lyovac GT 3
6. Vacuum oven
7. Rotary vapar
8. Buchi
9. Ehret

10. Control sample (CS)

11. Brookfield

را نشان می‌دهد. در سیالات نیوتنی n برابر ۱ است و در نتیجه K دقیقاً معادل ویسکوزیته سیال می‌باشد.

آنالیز ژل

آزمون آنالیز ژل جهت کسب اطلاعات بیشتر پیرامون خصوصیات ژل و تغییرات اتصالات بین زنجیرهای هیدروکلوئید طی روش‌های متفاوت خشک کردن صورت گرفت. آنالیز بافت ژل تهیه شده از صمغ های خشک شده دانه قدمه شهری با استفاده از دستگاه بافت‌سنج Testometric^۱ (اینسترون^۲، مدل-M350، 10CT ساخت انگلیس) در دمای محیط (25°C) اندازه‌گیری گردید.

آزمون نفوذ سنجی^۳

آزمون نفوذ توسط پروب استوانه ای با قطر ۱۳ mm، سرعت ۶۰ mm/min و عمق نفوذ ۱۵ mm انجام گردید. پارامترهای سفتی^۴ و چسبناکی^۵ در آزمون نفوذ مورد ارزیابی قرار گرفتند که طبق تعریف عبارتند از:

سفتی: حداکثر نیروی مورد احتیاج برای رسیدن به تغییر نمودار مورد نظر به عنوان میزان سفتی و استحکام ژل (Szczesniak et al., 1963).

چسبناکی: نیروی لازم برای جدا کردن پروب از داخل نمونه (Ahmed et al., 2005).

آنالیز آماری

کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار صورت گرفت نتایج به دست آمده در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل شدند. سطح معنی داری ۰/۰۵ برای تجزیه و تحلیل داده ها انتخاب شد. آزمون تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی انجام پذیرفت. تجزیه و تحلیل آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. برازش منحنی‌ها با استفاده از نرم افزار Microsoft Excel 2007 انجام گردید.

نتایج و بحث

تاثیر روش‌های خشک کردن بر گرانیوی ظاهری

تاثیر روش خشک کردن بر ویسکوزیته‌ی دیسپرسیون آبی ۰/۷۵٪ (وزنی - حجمی) صمغ دانه‌ی قدمه شهری در شکل (۱) نشان داده شده است. ویسکوزیته صمغ دانه قدمه

شهری به شدت توسط فرآیند خشک کردن تحت تاثیر قرار گرفت. ویسکوزیته ظاهری محلول ۰/۷۵ درصد صمغ دانه قدمه شهری خشک نشده (نمونه کنترل) و خشک شده به روش‌های انجمادی، هوا داغ و آون خلاء در آهنگ برشی ۱۲/۲۳ (یک بر ثانیه) به ترتیب ۰/۷، ۰/۶۹، ۰/۳۱ و Pa.s در ۲۵ درجه سانتی گراد به دست آمد و تاثیر روش خشک کردن بر ویسکوزیته ظاهری معنی‌دار بود.

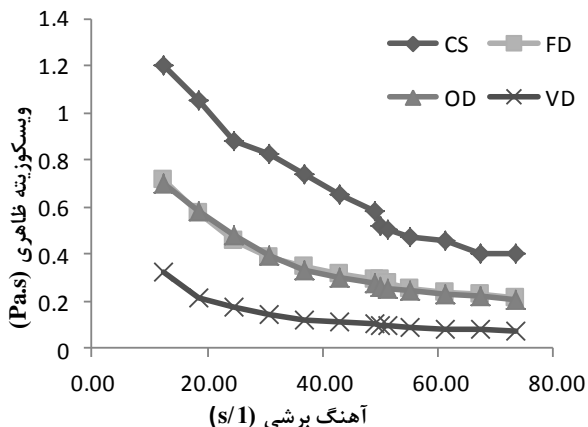
همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، ویسکوزیته صمغ دانه قدمه شهری بسته به نوع روش خشک کردن متغیر می‌باشد. به طور کلی فرآیند خشک کردن منجر به کاهش ویسکوزیته صمغ دانه قدمه شهری گردید به طوری که ویسکوزیته نمونه کنترل در غلظت مشابه از تمامی نمونه‌ها بیشتر گردید. طی بررسی انجام شده ویسکوزیته نمونه شاهد اختلاف معنا داری را با سه نمونه خشک شده توسط خشک‌کن‌های انجمادی، هوا داغ و آون خلاء نشان داد. نتیجه به دست آمده قابل مقایسه با یافته‌های (Wang et al., 2009) و (Salehi & Kashaninezhad, 2014) است که به ترتیب گزارش نموده‌اند ویسکوزیته صمغ دانه کتان (جز در روش بارش اتانول^۶) و دانه بالنگو شیرازی تابع شرایط خشک کردن کاهش می‌یابد. نمونه‌های خشک شده صمغ دانه قدمه شهری با خشک‌کن انجمادی و هوا داغ بیشترین ویسکوزیته را در بین تمام نمونه‌های خشک شده نشان دادند و اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند ($P > 0/01$). نمونه خشک شده با خشک‌کن خلاء کمترین ویسکوزیته را در بین تمام نمونه‌های خشک شده نشان داد و ویسکوزیته آن به طور معناداری کاهش یافت ($P < 0/01$). ممکن است اعمال دمای بالا طی فرآیند خشک کردن تحت خلاء منجر به تجزیه حرارتی صمغ خشک شده و در نتیجه منجر به کاهش ویسکوزیته صمغ خشک شده با این روش گردد. نتیجه بدست آمده قابل مقایسه با یافته‌های Wang et al., (2009) است که گزارش نموده‌اند، صمغ دانه کتان خشک شده توسط خشک‌کن پاششی کمترین ویسکوزیته را نشان داد و این می‌توانست بیشتر به دلیل تجزیه حرارتی در اثر دمای بالا رخ داده باشد.

تغییرات ویسکوزیته در اثر فرآیند خشک کردن می‌تواند به دلیل تاثیر فرآیند خشک کردن بر خواص شیمیایی صمغ‌ها باشد (Amid & Mirhosseini, 2012). حضور الیگوساکاریدها و نمک‌های معدنی و فنولی در بین پلی‌ساکاریدهای موجود در ساختار صمغ ویسکوزیته بیشتری به محلول‌ها می‌دهند (Simas-Tosin & Barraza, 2010).

1. Texture analyzer instrument
2. Instron
3. Penetration test
4. Hardness
5. Adhesiveness

6. Ethanol precipitation

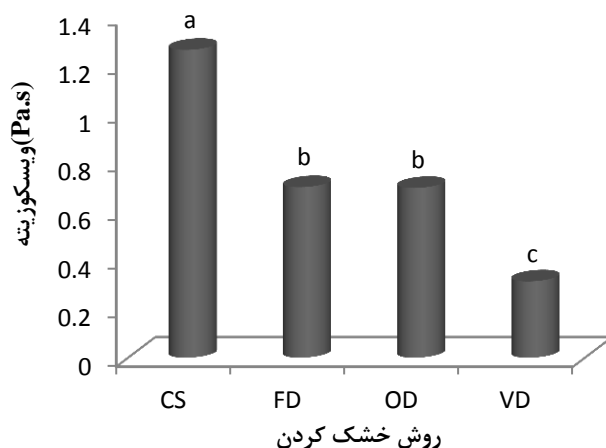
جریان در حین فرآیندهایی با تنش برشی بالا همانند پمپ و پر کردن می‌گردد و در هنگام مصرف با افزایش ویسکوزیته ظاهری محصول احساس دهانی مطلوبی در صورت استفاده از آن در فرمولاسیون‌های غذایی ایجاد می‌کند (Koocheki *et al.*, 2013).



شکل ۲- تاثیر روش‌های متفاوت خشک کردن بر ویسکوزیته ظاهری صمغ دانه قدومه شهری تابع آهنگ برشی. CS: نمونه کنترل (خشک نشده)، FD: نمونه خشک شده با خشک کن انجمادی، VD: نمونه خشک شده با آون خلاء، OD: نمونه خشک شده با آون هوا داغ.

نتایج مدل قانون توان^۱ نیز نشانگر رفتار سودوپلاستیک^۲ محلول صمغ دانه قدومه شهری حاصل از روش‌های مختلف خشک کردن می‌باشد که در جدول (۱) ارائه شده است. این رفتار برای بیشتر محلول‌های هیدروکلوئیدی قابل مشاهده است که ناشی از ساختار پلیمری و وزن مولکولی بالای آنهاست.

صمغ دانه‌ی دوریان خشک شده به روش‌های متفاوت رفتار جریان روان‌شونده با برش نشان داد (Amid & Mirhosseini, 2012). رفتار جریان مشابهی برای صمغ‌های خشک شده دانه‌ی کتان به روش‌های انجمادی، هوا داغ، پاششی و خلاء گزارش گردید (Wang *et al.*, 2009). همچنین صمغ مترشح از درخت هلو و خشک شده به روش انجمادی، در غلظت‌های متفاوت رفتار جریان روان‌شونده با برش نشان داد (Simas-Tosin & Barraza, 2010). ویسکوزیته ظاهری صمغ دانه‌ی بالنگو شیرازی خشک شده به روش‌های متفاوت نیز با افزایش آهنگ برشی کاهش یافت که نشان دهنده رفتار جریان روان‌شونده با برش این صمغ بوده است (Salehi & Kashaninezhad, 2014). تاثیر روش‌های خشک کردن توسط



شکل ۱- تاثیر روش‌های متفاوت خشک کردن بر ویسکوزیته ظاهری صمغ دانه قدومه شهری در آهنگ برشی ۱۲/۲۳ بر ثانیه CS: نمونه خشک نشده، FD: نمونه خشک شده با خشک کن انجمادی، VD: نمونه خشک شده با آون خلاء، OD: نمونه خشک شده با آون هوا داغ. میانگین‌های دارای حروف متفاوت (a-c) از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار با یکدیگر دارند. ($P < 0.01$).

ویسکوزیته صمغ‌های پلی‌ساکاریدی تا حد زیادی تحت تاثیر اندازه‌ی ذرات، توزیع وزن مولکولی و نسبت بخش محلول به نامحلول قرار می‌گیرند (Wang & Cui, 2005). فرآیند خشک کردن می‌تواند طیف گسترده‌ای از وزن مولکولی را بسته به نوع و شرایط خشک کردن ایجاد کند و سبب تغییر ویسکوزیته گردد (Nep & Conway, 2011). در مطالعه حاضر، اختلاف میان ویسکوزیته ممکن ناشی از اختلاف میان وزن مولکولی نمونه‌ها بوده باشد.

رفتار جریان صمغ دانه‌ی قدومه شهری خشک شده به روش‌های متفاوت تابع آهنگ برشی در شکل (۲) نشان داده شده است. این منحنی، جریان محلول‌های صمغ حاصل از خشک‌کن‌های انجمادی، هوا داغ، خلاء و نمونه‌ی خشک نشده (شاهد) را نشان می‌دهد. ویسکوزیته ظاهری این صمغ‌ها با افزایش درجه برش کاهش یافت که نشانگر رفتار غیر نیوتونی شل‌شونده با برش آنهاست.

با افزایش سرعت برشی، مولکول‌های پلیمری که طویل بوده و به صورت تصادفی و به هم ریخته قرار دارند، بطور فزاینده‌ای در جهت جریان منظم می‌شوند و باعث کاهش اتصالات زنجیره‌های جانبی پلیمر با یکدیگر می‌شوند (Vardhanabhati & Ikeda, 2006). ویسکوزیته دیسپرسیون-های صمغ با افزایش سرعت برشی به دلیل کاهش تعداد درگیری‌های زنجیره‌ای در سرعت برشی بالا کاهش می‌یابد (Cui, 2005). کاهش ویسکوزیته ظاهری موجب سهولت

1. Power law model
2. Pseudoplastic

روش‌های خشک کردن بر میزان قوام تاثیر داشتند. همان‌طور که در جدول (۱) مشهود است مقدار k_p با اعمال فرآیند خشک کردن کاهش یافت. نمونه‌ی خشک شده توسط خشک کن هوا داغ دارای بیشترین و نمونه‌ی خشک شده توسط خشک کن خلاء دارای کمترین میزان k_p در بین تمام نمونه‌های خشک شده بودند.

تاثیر روش‌های خشک کردن بر ژل دهی

در این پژوهش تاثیر ۴ نوع روش خشک کردن بر ژل تهیه شده از صمغ خشک شده دانه‌ی قدومه شهری بررسی شد. جدول (۲) تاثیر روش‌های متفاوت خشک کردن بر پارامترهای بافتی آزمون نفوذ (سفتی و چسبناکی) برای صمغ دانه قدومه شهری را نشان می‌دهد. در ادامه تاثیر این روش‌ها بر هر یک از این صفات بافتی به تفکیک مورد بحث قرار گرفته است.

سفتی

سفتی به منظور نشان دادن قدرت ساختار یک ماده تحت تاثیر نیروی فشاری اندازه گیری می‌شود. این پارامتر می‌تواند یک ویژگی بسیار مهم بسته به نوع سیستم غذایی مورد استفاده باشد (Fizman & Damasio, 2000a). به طور معمول، پارامتر سفتی برای بیان قدرت شبکه ژلی اندازه‌گیری می‌شود.

همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود خشک کردن تاثیر قابل توجهی بر سفتی ژل صمغ دانه قدومه شهری داشته است ($P < 0.01$). در آزمون نفوذ بیشترین میزان سفتی ژل مربوط به نمونه خشک شده توسط آون خلاء بود. ممکن است روش خشک کن خلاء منجر به تشکیل شبکه‌ی ژلی قوی‌تری نسبت به دیگر روش‌های خشک کردن گردیده باشد. در حالیکه ژل حاصل از صمغ دانه بالنگو شیرازی خشک شده توسط خشک‌کن انجمادی بیشترین میزان سفتی را در آزمون نفوذ نشان داد (Salehi & Kashaninezhad, 2014).

جدول ۲- تاثیر روش‌های خشک کردن مختلف بر خصوصیات بافتی صمغ دانه قدومه شهری در آزمون نفوذ. میانگین‌های دارای حروف متفاوت (a-c) و (A-C) از لحاظ آماری اختلاف معنی دار با یکدیگر دارند ($P < 0.01$).

پارامترهای بافتی		
روش خشک کردن	سفتی (N)	چسبناکی (Ns)
انجمادی	B _{0.194}	b _{0.272}
هوا داغ	C _{0.141}	a _{0.309}
خلاء	A _{0.264}	c _{0.192}

با توجه به جدول (۲) ملاحظه می‌شود کمترین میزان سفتی ژل مربوط به نمونه خشک شده توسط آون هوا داغ بود. در حالیکه مقادیر سفتی ژل حاصل از صمغ دانه بالنگو شیرازی

خشک‌کن‌های انجمادی، آون هوا داغ و پاششی بر ویسکوزیته دیسپرسیون آبی ۱٪ پلی‌ساکارید صمغ گرویا بررسی و گزارش شد، ویسکوزیته با افزایش آهنگ برشی کاهش می‌یابد که این نشان‌دهنده رفتار جریان روان‌شوندگی با برش صمغ گرویا بوده است (Nep & Conway, 2011).

(n) شاخص رفتار جریان^۱ می‌باشد و در جدول (۱) ارائه شده است. این پارامتر میزان شل‌شوندگی با برش یک ماده را تعیین می‌کند و با افزایش درجه سودوپلاستیسیته کاهش می‌یابد. به رفتار جریانی که ویسکوزیته با افزایش آهنگ برشی کاهش یابد رفتار جریان روان شونده با برش می‌گویند. وقتی در یک ماده‌ی غذایی ویسکوزیته‌ی بالا و احساس دهانی مطلوب مورد نظر است، سیستم هیدروکلوئیدی که دارای شاخص رفتار جریان پایین است، گزینه‌ی انتخابی خوبی می‌باشد (Marcotte et al., 2001). با افزایش انحراف از رفتار نیوتونی (مقدار شاخص رفتار جریان پایین، اختلاف زیاد از رفتار نیوتونی را نشان می‌دهد)، احساس دهانی لزجی صمغ‌ها کاهش می‌یابد (Szczeniak & Farkas, 1962). رفتار غیر نیوتونی زمانی اهمیت دارد که شاخص رفتار کمتر از ۰/۶ باشد (Muller et al., 1994). همان‌طور که در جدول (۱) مشهود است، این مقدار در نمونه‌های صمغ دانه قدومه شهری در همه روش‌های خشک کردن کمتر از ۰/۶ به دست آمد که بر اساس گزارشات رضوی و همکاران، (۲۰۱۱) این می‌تواند نشانگر رفتار سودوپلاستیک قوی صمغ باشد. همان‌طور که در جدول مشهود است مقدار (n) با اعمال فرآیند خشک کردن کاهش یافت. نمونه‌ی خشک شده توسط خشک‌کن انجمادی دارای بیشترین و نمونه‌ی خشک شده توسط خشک‌کن خلاء دارای کمترین میزان شاخص رفتار جریان (n) در بین تمام نمونه‌های خشک شده بودند.

جدول ۱- پارامترهای رئولوژیکی مدل قانون توان برای محلول‌های صمغ دانه قدومه شهری خشک شده در شرایط متفاوت خشک کردن.

تیمارها	$k_p(\text{Pa.s}^n)$	n_p	R^2
نمونه کنترل	1.0414×10^{-2}	۰/۵۶	۹۷/۷
خشک‌کن انجمادی	7.68×10^{-2}	۰/۳۴	۹۸/۴
خشک کن هوا داغ	9.24×10^{-2}	۰/۲۷	۹۷/۶
خشک کن خلاء	4.53×10^{-2}	۰/۲۰	۹۷/۵

مقادیر ضریب قوام (K_p) نیز در جدول (۱) ارائه شده است. ضریب قوام نشانگر ویسکوزیته محلول صمغ است. تمامی

1. Flow behavior index
2. Consistency coefficient

میزان چسبناکی در آزمون نفوذ را نشان داده است (Salehi & Kashaninezhad, 2014). در جدول (۲) ملاحظه می‌شود که نمونه خشک‌شده توسط خشک‌کن خلاء کمترین میزان چسبناکی را در آزمون نفوذ دارد. درحالی‌که صمغ دانه بالنگو شیرازی خشک شده توسط خشک‌کن هوا داغ کمترین میزان چسبناکی در آزمون نفوذ را داشته است. به‌طوریکه با افزایش دمای خشک کردن مقادیر چسبناکی از ۹۱/۷۱ گرم در ثانیه در دمای $40^{\circ}C$ به ۶۴/۱۲ گرم در ثانیه در دمای $80^{\circ}C$ کاهش یافته است (Salehi & Kashaninezhad, 2014).

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر تاثیر روش‌های متفاوت خشک کردن بر خواص رئولوژیکی و بافتی صمغ دانه قدومه شهری بررسی گردید. این صمغ تحت تاثیر تمامی روش‌های خشک کردن رفتار روان‌شونده با برش نشان داد و شاخص رفتار جریان بسته به نوع روش خشک کردن متغیر بود. ضریب قوام و ویسکوزیته نیز تابع شرایط خشک کردن تغییرات قابل توجهی داشتند. تمامی روش‌های خشک کردن ویسکوزیته را کاهش دادند. اما خشک کردن با آون خلاء بیشترین اثر منفی را بر ویسکوزیته داشت. ویسکوزیته‌ی صمغ‌های خشک شده توسط خشک‌کن هوا داغ و انجمادی تقریباً مشابه بود. از آنجایی که فرآیند خشک کردن با خشک‌کن هوا داغ به صرف هزینه‌ی کمتری نیاز دارد در نتیجه ترجیح داده می‌شود در محصولاتی که تنها به یک عامل قوام-دهنده برای افزایش ویسکوزیته و قوام نیاز دارند از صمغ خشک شده با خشک‌کن هوا داغ استفاده شود.

مقادیر سفتی ژل صمغ دانه قدومه شهری از ۰/۱۴۱ تا ۰/۲۶۴ (N) در شرایط متفاوت خشک کردن متغیر بود. نتایج نشان دادند صمغ خشک شده به روش خلاء دارای بیشترین مقادیر سفتی و کمترین میزان چسبناکی می‌باشد و صمغ خشک شده با روش هوا داغ دارای کمترین میزان سفتی و بیشترین مقدار چسبناکی می‌باشد.

REFERENCE

Ahmed, N. H., El Soda, M., Hassan, A. N., & Frank, J. (2005). Improving the textural properties of a acid-coagulated (Karish) cheese using exopolysaccharide producing cultures. *LWT-Food Science and Technology*, 38(8), 843-847.

Amid, B., & Mirhosseini, H. (2012). Influence of different purification and drying methods on rheological properties and viscoelastic behaviour of durian seed gum. *Carbohydrate polymers*, 90(1), 452-461

خشک شده به روش هوا داغ بسته به دمای خشک کردن از ۳۳/۱ تا ۴۰/۴ g متغیر بوده و از مقادیر سفتی ژل نمونه‌های خشک شده توسط خشک‌کن انجمادی و خلاء کمتر گردیده است (Salehi & Kashaninezhad, 2014). اثر روش خشک کردن بر میزان قدرت ژل صمغ دانه کتان مورد بررسی قرار گرفت و گزارش گردید که تمام روش‌های خشک کردن قدرت ژل صمغ دانه کتان را در مقایسه با نمونه خشک نشده (شاهد) کاهش دادند. نمونه خشک شده توسط روش بارش اتانول کمترین قدرت ژل و نمونه خشک نشده (شاهد) بیشترین قدرت ژل را داشتند. بقیه روش‌های خشک کردن با یکدیگر اختلاف معنا داری نداشتند (Wang et al., 2010).

چسبناکی

این پارامتر اشاره به کار مورد احتیاج برای غلبه بر نیروهای جاذب بین سطح ماده غذایی و سطح موادی که در تماس با آنها هستند دارد (Szczeniak, 1975). چسبناکی یک ویژگی سطحی است که بستگی به نیروهای چسبندگی و پیوستگی، ویسکوزیته و ویسکوالاستیسیته نمونه دارد (Salehi & Kashaninezhad, 2014). پارامتر چسبناکی می‌تواند یک فاکتور مثبت در فراورده‌های نانویی، قنادی و پودینگ‌ها و یا یک فاکتور منفی در فراورده‌هایی چون اسپاگتی و فراورده‌های گوشتی مطرح باشد (Fizman & Damasio, 2000b). از آنجایی‌که هرگونه تغییری ممکن است در چسبناکی محصولات اثرات نامطلوبی به دنبال داشته باشد، انتخاب بهینه یک عامل ژل دهنده مناسب جهت کنترل پدیده چسبناکی ضروری است (Naji et al., 2012).

همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌گردد اثر خشک کردن بر چسبناکی ژل قابل توجه بوده و چسبناکی نمونه‌های متفاوت با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند ($P < 0/01$). نمونه خشک شده توسط خشک‌کن هوا داغ بیشترین میزان چسبناکی را در آزمون نفوذ داشته است. درحالی‌که صمغ دانه بالنگو شیرازی خشک شده توسط خشک‌کن انجمادی بیشترین

Cui, S. W. (2005). Structural analysis of polysaccharides. *Food carbohydrates: Chemistry, physical properties and applications*. Boca Raton, FL: CRC Press.

Fizman, S. M., & Damasio, M. H. (2000a). Suitability of Single-Compression and TPA Tests to Determine Adhesiveness in Solid and Semi-Solid Foods. *Journal of Texture Studies*, 31(1): 5-68

Fizman, S. M., & Damasio, M. H. (2000b). Instrumental measurement of adhesiveness in

- solid and semi-solid foods. a survey. *Journal of texture studies*, 31(1), 69-91.
- Jaya, S., & Durance, T. D. (2009). Compressive characteristics of cellular solids produced using vacuum-microwave, freeze, vacuum and hot air dehydration methods. *Journal of Porous Materials*, 16(1), 47-58.
- Jimoh, K. O., Olurin, T. O., & Aina, J. O. (2010). Effect of drying methods on the rheological characteristics and colour of yam flours. *African Journal of Biotechnology*, 8(10).
- Koocheki, A., & Razavi, S. M. (2009). Effect of concentration and temperature on flow properties of Alyssum homolocarpum seed gum solutions: assessment of time dependency and thixotropy. *Food Biophysics*, 4(4), 353-364.
- Koocheki, A., Taherian, A. R., & Bostan, A. (2013). Studies on the steady shear flow behavior and functional properties of Lepidium perfoliatum seed gum. *Food Research International*, 50(1), 446-4562
- Koocheki, A., Taherian, A. R., Razavi, S., & Bostan, A. (2009). Response surface methodology for optimization of extraction yield, viscosity, hue and emulsion stability of mucilage extracted from Lepidium perfoliatum seeds. *Food Hydrocolloids*, 23(8), 2369-2379.
- 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(8), 695-703.
- Mirhosseini, H., & Amid, B. T. (2013). Effect of different drying techniques on flowability characteristics and chemical properties of natural carbohydrate-protein Gum from durian fruit seed. *Chemistry Central Journal*, 7(1), 1-14
- Muller, F. L., Pain, J. P., & Villon, P. (1994). On the behaviour of non-newtonian liquids in collinear ohmic heaters. *In institution of chemical engineers symposium series* (vol. 135, pp. 285-285). Hemisphere publishing corporation.
- Naji, S., Razavi, S. M. A., Karazhiyan, H., & Koocheki, A. (2012). Influence of thermal treatments on textural characteristics of cress seed (Lepidium sativum) gum gel. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 11(3), 222-237.
- Nep, E. I., & Conway, B. R. (2011). Physicochemical characterization of grewia polysaccharide gum: Effect of drying method. *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 446-453
- Razavi, S. M. A., Bostan, A., NikNia, S., & Razmkhah, S. (2011). Functional properties of hydrocolloid extracted from selected domestic Iranian seeds. *Journal of Food Research*, 21(3), 379-389(In Farsi)
- 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
- Simas-Tosin, F. F., Barraza, R. R., Petkowicz, C. L. O., Silveira, J. L. M., Sasaki, G. L., Santos, E. M. R., ... & Iacomini, M. (2010). Rheological and structural characteristics of peach tree gum exudate. *Food hydrocolloids*, 24(5), 486-493.
- Steffe, J. F. 1996. Rheological methods in food process engineering. 2nd ed. Michigan: Freeman Press.
- Szczesniak, A. S. (1975). Textural characterization of temperature sensitive foods. *Journal of Texture Studies*, 6(1), 139-156.
- Szczesniak, A. S., & Farkas, E. (1962). Objective characterization of the mouthfeel of gum solutions. *Journal of Food Science*, 27(4), 381-385.
- Szczesniak, A. S., Brandt, M. A., & Friedman, H. H. (1963). Development of standard rating scales for mechanical parameters of texture and correlation between the objective and the sensory methods of texture evaluation. *J. Food Sci*, 28(4), 397-403.
- Vardhanabhuti, B., & Ikeda, S. (2006). Isolation and characterization of hydrocolloids from monoi (Cissampelos pareira) leaves. *Food hydrocolloids*, 20(6), 885-891.
- Wang, Q., & Cui, S. W. (2005). Understanding the physical properties of food polysaccharides. *Food carbohydrates: chemistry, physical properties and applications*. Taylor and Francis, New York, 161-217
- Wang, Y., Li, D., Wang, L. J., Li, S. J., & Adhikari, B. (2010). Effects of drying methods on the functional properties of flaxseed gum powders. *Carbohydrate polymers*, 81(1), 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(2), 213-219