

## بررسی برخی خواص رئولوژیکی هیدروکلوئید دانه گیاه شاهی (*Lepidium sativum* L.)

عسگر فرحناکی<sup>۱</sup>، حامد عسگری<sup>۲</sup> و مریم بختیاری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار و <sup>۲،۳</sup> دانشجویان کارشناسی ارشد بخش علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز  
(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۷/۲۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۰/۲/۲۶)

### چکیده

خصوصیات رئولوژیکی محلول‌های آبی موسیلاژ استخراج شده از دانه گیاه شاهی (*Lepidium sativum* L.) مورد بررسی قرار گرفت. ویسکوزیته هیدروکلوئید دانه شاهی در محدوده سرعت برشی ۱/۹۲ تا ۲۲۹/۴ s<sup>-1</sup> به عنوان تابعی از غلظت (۰/۱۶، ۰/۱۸ و ۱/۱۰ w/w %)، دما (۲۵، ۴۰ °C) و pH (۴، ۵، ۷ و ۱۰) به دست آمد. برای این هیدروکلوئید یک رفتار غیر نیوتنی رقیق شونده با برش مشاهده گردید و مقدار شاخص رفتار جریان در اکثر حالات کمتر از ۰/۶ بود. رفتار سودوپلاستیک (رقیق شوندگی) در محدوده غلظتی از ۰/۴ تا ۱/۱۰ نشان داده شد. از فرمول قانون توان برای تعیین همبستگی بین سرعت برشی و ویسکوزیته استفاده گردید. ویسکوزیته محلول‌ها، بستگی به غلظت، pH، دما و سرعت برشی داشت و با افزایش غلظت، مقدار ویسکوزیته و تنش برشی افزایش و با افزایش دما مقدار آنها کاهش یافت. افزایش pH تا ۷ باعث افزایش ویسکوزیته گردید. نتایج آزمون FT-IR دلالت بر وجود گروه‌های اسیدی با گروه‌های آسیدل در زنجیره پلیمر داشت.

**واژه‌های کلیدی:** رفتار رئولوژیکی، دانه شاهی، موسیلاژ، رقیق شونده با برش، ویسکوزیته.

### مقدمه

بررسی نمودند. آنها درصد استخراج را ۱۴ درصد، قدرت تورم را ۱۸ برابر و میزان خاکستر را ۴/۵ درصد گزارش نمودند. این تحقیق با تاکید بر خواص سوسپانسیون کنندگی موسیلاژ در مواد دارویی انجام شد. در تحقیق دیگری Sumangala et al. (2004) مطالعاتی را بر مبنای خواص پزشکی و عملکردی دانه شاهی تحت عناوین دانه کامل، آندوسپرم، و پوسته آن انجام دادند. آنها علاوه بر خواص عملکردی موسیلاژ دانه شاهی، ترکیب اسیدهای چرب آن را نیز بررسی کردند و وجود اسیدهای لینولئیک (۳۰/۲ درصد) و اروسیک (۳/۹ درصد) را گزارش کردند. با وجود ارزش درمانی بالای این دانه، این فراورده تاکنون در صنعت غذا به اندازه کافی مورد توجه قرار نگرفته است و گزارشات محدودی درباره ترکیب شیمیایی این دانه ارائه شده است. به لحاظ ویژگی‌های دارویی، این دانه می‌تواند به عنوان جزئی از غذاهای عملگرا (فراسودمند) مورد استفاده قرار گیرد که تاکنون تحقیق قابل توجهی روی خواص عملکردی این دانه به ویژه هیدروکلوئید دانه گزارش نشده است. بنابراین هدف این تحقیق بررسی و مطالعه رفتار رئولوژیکی موسیلاژ دانه شاهی برای کاربرد در تولید مواد غذایی عملگرا می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

#### مواد

دانه‌های شاهی (*Lepidium sativum* L.) به میزان لازم از بازار مواد دارویی سنتی تهران خریداری گردید و برای جداسازی

گیاه شاهی با نام علمی (*Lepidium sativum* L.)، گیاهی است متعلق به خانواده چلیپاییان<sup>۱</sup> که در هند، امریکای شمالی و قسمتی از اروپا کشت می‌شود. اطلاعات دقیقی در مورد میزان تولید این دانه در دست نمی‌باشد. این گیاه در اروپا و امریکا به عنوان سبزی استفاده می‌شود و در هند، دانه‌های این گیاه استفاده غذایی دارد (Nadkarni & Nadkarni, 1954). دانه‌های گیاه شاهی دارای خواص درمانی متعددی شامل ملین، شیرافزا، ادرار آور، نیرو بخش، مسکن، ضد نفخ است. موسیلاژ دانه‌ها تسکین دهنده سوزش‌های پوشش موکوسی روده می‌باشد. دانه‌ها همچنین در درمان اسهال و ناراحتی‌های پوستی ناشی از ناخالصی‌ها و سموم موجود در داخل خون و بزرگی مزمن طحال گزارش شده است (Gopalan et al., 2000). دانه‌ها از لحاظ مورفولوژی مشابه برخی دانه‌های روغنی هستند و دارای آندوسپرم دولپه‌ای می‌باشند که ۸۵-۸۰٪ از جرم دانه را تشکیل می‌دهند. پوشش دانه و جوانه به ترتیب ۱۷-۱۲٪ و ۳-۲٪ از جرم دانه را تشکیل می‌دهند (Gopalan et al., 2000). رنگ دانه‌ها قرمز آجری مایل به نارنجی است و آندوسپرم دانه‌ها زرد رنگ می‌باشد (شکل ۱). در تحقیقی Divekar et al. (2010) موسیلاژ دانه شاهی را استخراج و ترکیبات و برخی خواص آن را

\* نویسنده مسئول: farahnak@shirazu.ac.ir

1. Brassicaceae (Cruciferae)

محدوده ۴۰۰ الی ۴۰۰۰  $\text{cm}^{-1}$  با قدرت تفکیک  $1 \text{ cm}^{-1}$  و مد عبوری به دست آمد.

#### تهیه بافر

برای تثبیت pH، تهیه بافر از ترکیبی به نام ایمیدازول با خلوص ۹۹٪ صورت گرفت. از کمترین غلظت ممکن این ترکیب (۰/۰۵ گرم در هر لیتر آب مقطر) برای تهیه بافرهایی با pH ۲/۵، ۴، ۷ و ۱۰ استفاده گردید. البته برای تنظیم pH بسته به مورد از اسید کلریدریک و یا سود ۰/۵ نرمال یا ۰/۱ نرمال استفاده شد.

#### تهیه محلول‌های صمغ دانه شاهی

مقادیری از پودر صمغ متناسب با غلظت‌های ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱/۰ (w/w) به طور تدریجی و پیوسته به بافرهای با pH ۲/۵، ۴، ۷ و ۱۰ به منظور بررسی رفتار رئولوژیکی صمغ در pHهای مختلف، اضافه شد و مخلوط‌ها سپس به منظور انحلال کامل صمغ به مدت ۳ دقیقه در دمای  $85^\circ\text{C}$  در داخل حمام آب گرم به صورت یکنواخت و ملایم هم زده شدند. در این پژوهش تمامی نمونه‌ها پس از یک شب (حدود ۱۶ ساعت) نگهداری در دمای اتاق ( $25^\circ\text{C}$ ) مورد آزمایش قرار گرفتند.

#### اندازه‌گیری ویسکوزیته

ویسکوزیته نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ویسکومتر برنامه‌پذیر بروکفیلد مدل DV-II+Pro (Brookfield Engineering Laboratories, Inc. USA) و ژئومتری شماره CP51 مدل LV اندازه‌گیری شد. مقدار ۰/۵ میلی لیتر از نمونه در داخل ژئومتری دستگاه قرار داده شد و سپس ویسکوزیته نمونه‌ها در شرایط دمایی ۵، ۲۵ و  $40^\circ\text{C}$  (با دقت  $0.1^\circ\text{C}$ ) و در هشتاد سرعت برشی مختلف در محدوده سرعت برشی ۲ تا  $230 \text{ s}^{-1}$ ، بر حسب (mPa.s) اندازه‌گیری گردید. بعد از گذشت هر ۱۰ ثانیه بر سرعت برشی به میزان  $2/88 \text{ s}^{-1}$  افزوده شد. اندازه‌گیری ویسکوزیته ظاهری در کلیه تیمارها حداقل ۳ بار تکرار شد و سپس به وسیله نرم افزار دستگاه (Rheocalc V3، Brookfield، USA) مورد آنالیز قرار گرفتند و با استفاده از معادله قانون توان (فرمول ۱)، رفتار رئولوژیکی هر یک از نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر n و K به کار رفته در فرمول قانون توان (فرمول ۱) به وسیله نرم افزار دستگاه برای هر یک از تیمارها در سه تکرار به دست آمد و مورد آنالیز آماری قرار گرفت. لازم به ذکر است که رفتار رئولوژیکی با معادلات قانون توان و هرشل بالکلی برازش شدند و با توجه به ضریب همبستگی بالاتر قانون توان، این معادله انتخاب گردید.

$$\tau = k\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

که در اینجا  $\tau$  تنش برشی مماس بر سیال ( $\text{N/m}^2$ )،  $\dot{\gamma}$

ناخالصی‌ها و دانه‌های صدمه دیده، توسط الک آزمایشگاهی (مش ۱۸) به طور کامل بوجاری و تمیز شد. کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق با درجه خلوص بالا و مخصوص آنالیزهای شیمیایی از شرکت مرک<sup>۱</sup> (آلمان) تهیه گردیدند.

#### روش‌ها

##### آنالیزهای شیمیایی

اندازه‌گیری رطوبت، خاکستر (AOAC941.12) و فیبر خام (AOAC934.01) بر اساس روش AOAC انجام گرفت. فیبر خام با شستشو با اسید و سپس قلیا صورت گرفت. اندازه‌گیری درصد نیتروژن با استفاده از روش میکروکدال (AOAC990.03) انجام شد و برای تبدیل به درصد پروتئین از فاکتور تبدیل ۶/۲۵ استفاده گردید. اندازه‌گیری میزان چربی با استفاده از سوکسله و حلال هگزان صورت گرفت (AOAC, 1984). اندازه‌گیری کربوهیدرات کل، از کم کردن مقادیر دیگر (رطوبت، چربی، پروتئین و خاکستر) از ۱۰۰ محاسبه شد.

##### جدا سازی موسیلاژ دانه شاهی

برای این منظور دانه‌های شاهی را با مقدار ۳۰ برابر وزنشان با آب مقطر ( $20^\circ\text{C}$ ) مخلوط کرده و اجازه داده شد که ۴ ساعت در دمای محیط آزمایشگاه باقی بمانند تا به طور کامل دانه‌ها آب را به خود جذب کنند. سپس دانه‌های متورم شده، با استفاده از یک مخلوط کن آزمایشگاهی به مدت ۲ دقیقه مخلوط گردیدند و با استفاده از سانتریفیوژ (SORVALL، مدل RC-5) در  $10000 \text{ g}$  و دمای  $25^\circ\text{C}$  به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید تا باقیمانده‌های دانه از مخلوط موسیلاژ جدا گردد. باقیمانده‌های دانه با سانتریفیوژ کردن ترسیب داده شد و موسیلاژ فوقانی را با استفاده از الکل اتانول ۹۶٪ به میزان ۳ برابر حجم محلول، رسوب داده شد و رسوب در سانتریفیوژ  $5000 \text{ g}$  به مدت ۵ دقیقه جدا گردید. شستشوی رسوب با الکل ۲ الی ۳ بار تکرار گردید. موسیلاژ به دست آمده از ترسیب با الکل، در داخل آون در دمای  $40^\circ\text{C}$  خشک گردید و به منظور انجام آزمایشات فیزیکوشیمیایی تا اندازه ذرات بین ۱۲۵-۵۳ میکرون آسیاب گردید (Farahnaky et al., 2010).

##### طیف سنجی فرو سرخ<sup>۲</sup>

مقدار ۱۰-۵ میلی گرم از پودر هیدروکلئید دانه شاهی با حدود ۵ گرم پودر KBr مخلوط گردید و تحت فشار از آن قرص تهیه شد و با استفاده از دستگاه طیف سنج فرو سرخ (BRUCKER، مدل EQUINOX 55، آلمان) مورد بررسی واقع شد. طیف فرو سرخ هیدروکلئید کربوهیدراتی دانه شاهی در

1. MERCK

2. FT-IR Spectrophotometer

\*. مقدار کربوهیدرات کل از اختلاف مجموع مقادیر دیگر (رطوبت، چربی، پروتئین، خاکستر) از ۱۰۰ به دست آمده است. فیبر خام جز کربوهیدرات کل است.

### طیف سنجی فرو سرخ

اسپکتروم فرو سرخ موسیلاژ دانه شاهی در شکل (۱) نشان داده شده است. اسپکتروم دارای بندهای مختلف در محدوده عدد موج  $400-4000 \text{ cm}^{-1}$  است. بند ایجاد شده در عدد موج  $1044 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی COC- می‌باشد. عدد موج  $1419 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی متقارن  $\text{COO}^-$  می‌باشد. عدد موج  $1633$  و بند کوچک ایجاد شده در  $1745 \text{ cm}^{-1}$  به ترتیب مربوط به ارتعاش کششی نامتقارن کششی  $\text{COO}^-$  حاوی پیوندهای هیدروژنی و گروه‌های استیل می‌باشد. ارتعاش کششی آلیفاتیک CH در عدد موج  $2926 \text{ cm}^{-1}$  دارای بند می‌باشد. بند پهن ایجاد شده در عدد موج  $3395 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی OH- است. به طور کلی حضور گروه‌های کربوکسیل روی مولکول‌های این هیدروکلوئید از نظر عملکردی دارای اهمیت است.

### اثر غلظت و دما روی خصوصیات جریان

شاخص غلظت (k) و شاخص رفتار جریان (n) که از نمودار تطبیق داده شده داده‌های تنش برشی در مقابل سرعت برشی با استفاده از مدل قانون توان به دست آمده بود، به عنوان تابعی از غلظت صمغ و دما در جدول (۲) آورده شده است. ضریب تبیین ( $R^2$ ) در همه نمونه‌های آزمون شده  $0.95$  یا بالاتر بوده که دلالت بر این دارد که مدل قانون توان برای توصیف خصوصیات جریان صمغ دانه شاهی مناسب می‌باشد. همچنین آزمون خصوصیات جریان به عنوان تابعی از سرعت برشی برای دماها و غلظت‌های مختلف صمغ به دست آمد. مقدار شاخص رفتار جریان (n) کمتر از  $1(0.310-0.745)$  بود که نشان دهنده رفتار رقیق شونده با برش<sup>۲</sup> صمغ در شرایط مختلف اندازه‌گیری می‌باشد. افزایش غلظت صمغ منجر به کاهش شاخص رفتار جریان (n) و افزایش شاخص قوام (k) گردید.

بر خلاف افزایش غلظت، دما تاثیر معکوسی بر پارامترهای قانون توان نشان داد که شاخص رفتار جریان با افزایش دما افزایش می‌یافت و شاخص قوام کاهش پیدا می‌کرد. این پدیده با تحقیقات انجام شده به وسیله Marcotte et al. (2001 a,b) که بر روی صمغ‌های زانتان، کاراگینان، پکتین و نشاسته انجام دادند، همخوانی دارد. همچنین Mothe & Rao (1999)، Farhoosh & Riazi (2006) و Vardhanabhuti & Ikeda (2007) رفتار تجربی مشابهی را برای صمغ سقز، صمغ استخراج

سرعت برشی ( $s^{-1}$ )، k ضریب قوام (Pa.s) و n شاخص رفتار جریان (بدون واحد) است.

### مقایسه ویسکوزیته صمغ دانه شاهی با دیگر هیدروکلوئیدها

به منظور مقایسه میزان ویسکوزیته و رفتار جریان هیدروکلوئید دانه شاهی، غلظت  $0.4\%$  (w/w) از این صمغ در آب مقطر (pH 6/05) تهیه گردید و با همین غلظت از صمغ عربی (Sigma)، کربوکسی متیل سلولز<sup>۱</sup> (Merck)، آلژینات سدیم (Sigma, medium viscosity) و کتیرا (نوع نواری، ایران) در دمای  $25^\circ \text{C}$  در شرایط مشابه، با استفاده از دستگاه ویسکومتر مورد مقایسه قرار گرفت.

### تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی در سه تکرار و در قالب طرح CRD انجام شدند. پس از آنالیز واریانس و تعیین معنی‌دار بودن اختلاف‌ها، مقایسه میانگین‌ها و گروه‌بندی آنها با استفاده از آزمون دانکن در سطح  $\alpha \leq 0.01$  انجام شد و عملیات تجزیه و تحلیل آماری با روش آنالیز ANOVA و با استفاده از نرم افزار SPSS13 اجرا گردید. نمودارهای سه بعدی با استفاده از نرم افزار Design Expert رسم گردید.

### نتایج و بحث

هیدروکلوئید دانه شاهی استخراج گردید و بعد از خالص سازی به منظور بررسی رفتار رئولوژیک آن مورد آزمون واقع شد. ترکیب شیمیایی دانه کامل شاهی در جدول (۱) آورده شده است. درصد موسیلاژ استخراج شده از دانه تقریباً  $14.32\%$  وزن دانه به دست آمد. در تحقیق دیگری توسط نویسندگان مقاله، درصد موسیلاژ استخراج شده از دانه مرمرشک  $12\%$  درصد به دست آمد. همچنین در تحقیق دیگری درصد موسیلاژ استخراج شده از دانه اسفرزه  $27\%$  درصد به دست آمد (Farahnaky et al. 2010).

جدول ۱- ترکیب شیمیایی دانه کامل گیاه شاهی

ترکیبات	مقدار (%)
رطوبت	$41.84 \pm 0.04$
چربی	$16.94 \pm 2.29$
پروتئین	$5.75 \pm 0.10$
فیبر خام	$14.72 \pm 0.21$
کربوهیدرات کل*	$66.90 \pm 2.61$
خاکستر	$5.57 \pm 0.18$

کمتر از ۰/۶ است. این خصوصیت به ویژه در فرمولاسیون امولسیون‌های روغن در آب اهمیت پیدا می‌کند و به این معنی است که می‌تواند در طی نگهداری از جدا شدن گرانشی قطرات کوچک روغن جلوگیری کند اما در زمان تخلیه، امولسیون به آسانی از ظرف جاری می‌شود و جریان پیدا می‌کند (Taherian et al. 2007).

شده از برگ‌های نوعی گیاه و ثعلب مشاهده کرده‌اند. مقدار شاخص رفتار جریان در اکثر حالات کمتر از ۰/۶ بوده و صمغ رقیق شونده با برش دانه شاهی در سرعت‌های برشی پایین دارای ویسکوزیته بالائی بوده و به مرور به واسطه افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته کاهش می‌یابد. در تحقیقی Muller et al. (1994) و Chhinan et al. (1985) گزارش کرده‌اند که رفتار غیر نیوتنی زمانی دارای اهمیت است که شاخص رفتار جریان

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های مقادیر  $k$  و  $n$  به دست آمده از محلول‌های هیدروکلوئید دانه شاهی در دماها، غلظت‌ها و pH های مختلف

دما	۵°C				۲۵°C				۴۰°C			
	غلظت صمغ (w/w)	pH	k	n	R <sup>2</sup>	k	n	R <sup>2</sup>	k	n	R <sup>2</sup>	
۰/۴	۲/۵	۹۳/۰۰۰ <sup>a</sup>	۰/۱۵۰۰ <sup>a</sup>	۰/۱۹۶	۱۹/۹۵۰ <sup>a</sup>	۰/۱۶۵۵ <sup>b</sup>	۰/۱۹۵	۱۴/۸۰۰ <sup>a</sup>	۰/۱۶۶۰ <sup>b</sup>	۰/۱۹۶	۰/۱۹۶	
	۴	۲۲۳/۱۰۰ <sup>c</sup>	۰/۳۵۰ <sup>a</sup>	۰/۱۹۶	۱۰۳/۹۰۰ <sup>b</sup>	۰/۴۳۰ <sup>b</sup>	۰/۱۹۵	۳۰/۶۰۰ <sup>a</sup>	۰/۱۵۸۰ <sup>c</sup>	۰/۱۹۷	۰/۱۹۷	
	۷	۲۲۵/۲۰۰ <sup>c</sup>	۰/۳۴۵ <sup>a</sup>	۰/۱۹۷	۱۱۴/۷۵۰ <sup>b</sup>	۰/۴۱۵ <sup>b</sup>	۰/۱۹۵	۳۶/۶۰۰ <sup>a</sup>	۰/۱۵۴۵ <sup>c</sup>	۰/۱۹۶	۰/۱۹۶	
	۱۰	۲۱۵/۲۵۰ <sup>c</sup>	۰/۳۱۰ <sup>a</sup>	۰/۱۹۷	۱۱۰/۵۰۰ <sup>b</sup>	۰/۴۱۵ <sup>b</sup>	۰/۱۹۶	۳۶/۰۰۰ <sup>a</sup>	۰/۱۵۴۵ <sup>c</sup>	۰/۱۹۶	۰/۱۹۶	
۰/۱۶	۲/۵	۱۸۰/۹۵۰ <sup>c</sup>	۰/۴۴۵ <sup>c</sup>	۰/۱۹۶	۳۹/۵۰۰ <sup>a</sup>	۰/۱۶۱۵ <sup>b</sup>	۰/۱۹۵	۱۸/۸۰۰ <sup>a</sup>	۰/۷۴۵ <sup>d</sup>	۰/۱۹۶	۰/۱۹۶	
	۴	۳۰۴/۰۰۰ <sup>c</sup>	۰/۳۴۵ <sup>a</sup>	۰/۱۹۷	۱۲۱/۱۰۰ <sup>b</sup>	۰/۴۷۰ <sup>b</sup>	۰/۱۹۵	۴۵/۶۵۰ <sup>a</sup>	۰/۱۵۷۵ <sup>c</sup>	۰/۱۹۸	۰/۱۹۸	
	۷	۱۸۵/۷۰۰ <sup>c</sup>	۰/۴۱۵ <sup>b</sup>	۰/۱۹۶	۱۳۷/۲۵۰ <sup>b</sup>	۰/۴۵۵ <sup>b</sup>	۰/۱۹۷	۷۱/۸۵۰ <sup>a</sup>	۰/۱۵۰۵ <sup>c</sup>	۰/۱۹۶	۰/۱۹۶	
	۱۰	۱۷۶/۷۰۰ <sup>c</sup>	۰/۴۶۵ <sup>b</sup>	۰/۱۹۷	۱۳۳/۵۵۰ <sup>b</sup>	۰/۴۴۵ <sup>a</sup>	۰/۱۹۶	۳۷/۵۰۰ <sup>a</sup>	۰/۱۶۱۰ <sup>c</sup>	۰/۱۹۶	۰/۱۹۶	
۰/۱۸	۲/۵	۲۷۶/۷۵۰ <sup>b</sup>	۰/۴۱۵ <sup>b</sup>	۰/۱۹۶	۱۰۹/۴۰۰ <sup>a</sup>	۰/۴۹۰ <sup>b</sup>	۰/۱۹۵	۱۰۰/۴۵۰ <sup>a</sup>	۰/۴۸۵ <sup>b</sup>	۰/۱۹۶	۰/۱۹۶	
	۴	۳۶۳/۶۰۰ <sup>c</sup>	۰/۳۴۵ <sup>a</sup>	۰/۱۹۷	۲۰۸/۰۵۰ <sup>b</sup>	۰/۴۲۰ <sup>b</sup>	۰/۱۹۶	۸۶/۷۵۰ <sup>a</sup>	۰/۱۵۲۵ <sup>c</sup>	۰/۱۹۶	۰/۱۹۶	
	۷	۳۶۷/۸۰۰ <sup>c</sup>	۰/۳۶۵ <sup>a</sup>	۰/۱۹۷	۲۳۹/۵۵۰ <sup>b</sup>	۰/۴۲۵ <sup>b</sup>	۰/۱۹۵	۱۱۰/۳۰۰ <sup>a</sup>	۰/۴۹۵ <sup>c</sup>	۰/۱۹۷	۰/۱۹۷	
	۱۰	۲۹۹/۶۵۰ <sup>c</sup>	۰/۳۷۵ <sup>a</sup>	۰/۱۹۸	۲۰۲/۳۰۰ <sup>b</sup>	۰/۴۲۰ <sup>b</sup>	۰/۱۹۷	۴۸/۷۵۰ <sup>a</sup>	۰/۱۶۲۵ <sup>c</sup>	۰/۱۹۶	۰/۱۹۶	
۰/۱	۲/۵	۳۳۵/۵۵۰ <sup>c</sup>	۰/۴۱۵ <sup>b</sup>	۰/۱۹۶	۱۸۱/۷۵۰ <sup>b</sup>	۰/۴۴۵ <sup>b</sup>	۰/۱۹۶	۱۴۹/۱۰۰ <sup>a</sup>	۰/۴۵۰ <sup>a</sup>	۰/۱۹۶	۰/۱۹۶	
	۴	۴۸۲/۲۵۰ <sup>c</sup>	۰/۳۵۰ <sup>a</sup>	۰/۱۹۶	۲۷۲/۱۰۰ <sup>b</sup>	۰/۴۱۰ <sup>b</sup>	۰/۱۹۶	۱۳۹/۵۵۰ <sup>a</sup>	۰/۴۹۵ <sup>c</sup>	۰/۱۹۷	۰/۱۹۷	
	۷	۵۱۷/۴۰۰ <sup>c</sup>	۰/۳۳۵ <sup>a</sup>	۰/۱۹۹	۳۶۸/۸۰۰ <sup>b</sup>	۰/۴۰۵ <sup>b</sup>	۰/۱۹۸	۲۱۲/۳۰۰ <sup>a</sup>	۰/۴۲۵ <sup>c</sup>	۰/۱۹۷	۰/۱۹۷	
	۱۰	۳۷۳/۶۰۰ <sup>c</sup>	۰/۳۶۵ <sup>a</sup>	۰/۱۹۷	۲۸۸/۹۵۰ <sup>b</sup>	۰/۴۰۰ <sup>a</sup>	۰/۱۹۶	۱۰۲/۸۰۰ <sup>a</sup>	۰/۱۵۴۰ <sup>b</sup>	۰/۱۹۸	۰/۱۹۸	

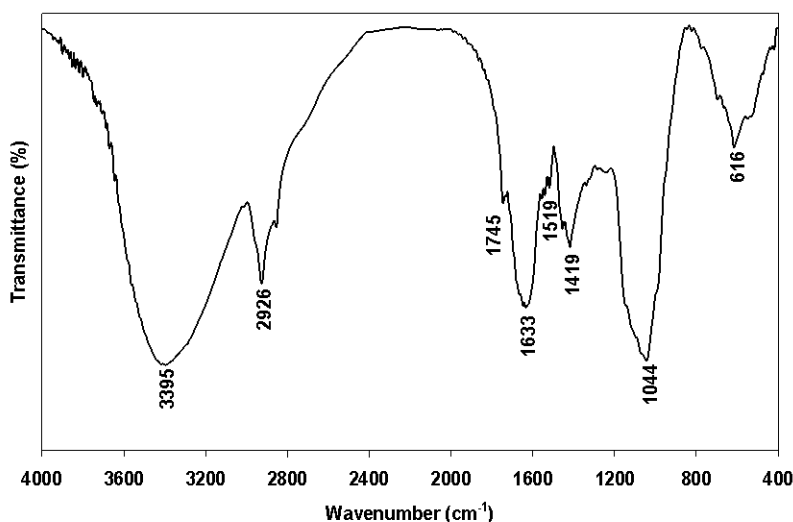
\* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف کوچک متفاوت، در سطح  $\alpha \leq 0.1$  دارای اختلاف معنی دار آماری در pH های مختلف هستند.  
 \*\* در هر سطر میانگین‌های دارای حروف بزرگ متفاوت، در سطح  $\alpha \leq 0.1$  دارای اختلاف معنی دار آماری در دماهای مختلف هستند.  
 N.S.: فاقد اختلاف معنی دار آماری

افزایش دما، ویسکوزیته کاهش یافته است. نتایج مشابهی برای دیگر غلظت‌ها نیز به دست آورده شد. طبق تحقیقات Garcia-Ochoa & Casas (1992) که روی صمغ لوبیای لوکاست کار کرده‌اند، تاثیر دما بر تغییرات ویسکوزیته برگشت پذیر بوده و این تغییرات ناشی از برهمکنش‌های متقابل مولکولی در محلول می‌باشد که در دماهای بالا ضعیف تر است. در تحقیقی، Hassan & Hobani (1998) گزارش کرده‌اند که ویسکوزیته یک محلول تابعی از نیروهای داخل ذراتی و برهمکنش‌های ماده حل شده با حلال آب بوده که حرکت مولکول‌ها را محدود می‌کند. بنابراین، به واسطه افزایش دما، انرژی حرارتی مولکول‌ها افزایش یافته و فاصله بین ذرات به واسطه انبساط حرارتی افزایش پیدا می‌کند. این نتایج همچنین با نتایج تحقیقات پیشین Vardhanabuthi & Ikeda (2006)، Marcotte et al. (2001a, b)،

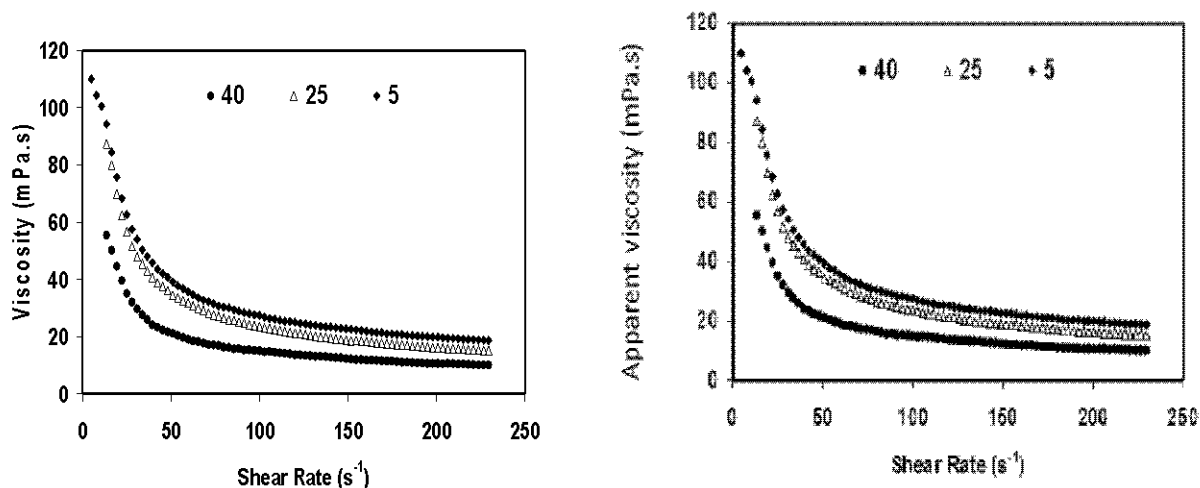
اثر دما بر تغییرات شاخص‌های رفتار جریان ( $n$  و  $k$ ) محلول‌های هیدروکلوئید دانه شاهی در غلظت‌های مختلف، در جدول (۲) آورده شده است. این تغییرات در سطح آماری  $\alpha \leq 0.1$  دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند و نشان می‌دهد که رفتار رئولوژیکی محلول‌ها در غلظت‌های مختلف وابسته به دما می‌باشد و با افزایش دما، مقدار  $k$  کاهش و مقدار  $n$  افزایش می‌یابد. این نتایج با تحقیقات Vardhanabuthi & Ikeda (2006)، Farhoosh & Riazi (2007) و Marcotte et al. (2001a, b) همخوانی دارند. این محققین گزارش کرده‌اند، دما تاثیر زیادی روی شاخص قوام دارد و همچنین شاخص قوام با افزایش غلظت در صمغ‌های نشاسته، پکتین، کاراگینان و زانتان افزایش می‌یابد. شکل (۲) تاثیر دما بر ویسکوزیته محلول‌های صمغ دانه شاهی در غلظت ۱٪ (w/w) را نشان می‌دهد که با

محلول‌های صمغ دانه شاهی می‌باشد. به واسطه افزایش سرعت برشی، زنجیره طولانی مولکول‌های پلیمر و زنجیره‌هایی که به صورت تصادفی قرار گرفته‌اند، در جهت جریان در یک ردیف قرار گرفته و منجر به کاهش واکنش‌های متقابل بین زنجیره‌های پلیمری مجاور هم می‌گردد. بررسی ویسکوزیته محلول‌های صمغ در سرعت‌های برشی پایین می‌تواند مشابه رفتار آن در حین بلعیده شدن در دهان در نظر گرفته شود ( Morris & Taylor, 1982) و مقدار ویسکوزیته در سرعت‌های برشی بالاتر امکان بررسی ویسکوزیته محصول در طول عملیات فرایندی معین از قبیل پمپ کردن و خشک کردن پاششی را فراهم می‌کند. بنابراین، با کاهش ویسکوزیته در سرعت‌های برشی بالا، بازده پمپ کردن افزایش یافته و همچنین سرعت جریان پمپ نیز افزایش خواهد یافت (Race, 1991).

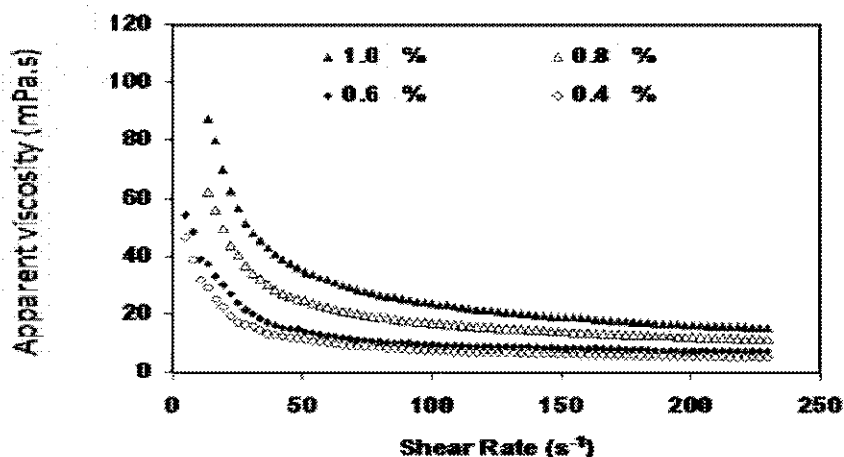
Feng et al. (2007) همخوانی دارد که نتایج یکسانی به دست آمده است. همچنین Gomez-Diaz & Navaza (2003) بیان کرده‌اند که افزایش مقدار  $k$  به افزایش ظرفیت اتصال با آب مرتبط می‌باشد. در تحقیقی Wanchoo et al. (1996) گزارش کرده‌اند که شاخص  $k$  وابستگی زیادی به غلظت محلول و دما دارد، در صورتی که شاخص  $n$  وابستگی قوی به غلظت و دمای محلول‌های پلیمری ندارد. ارتباط بین ویسکوزیته و سرعت برشی در غلظت‌های مختلف صمغ دانه شاهی در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  در شکل (۳) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها با افزایش سرعت برشی کاهش پیدا می‌کند و همچنین واضح است که وابستگی مستقیمی به غلظت صمغ دارد. بعد از یک کاهش سریع در ویسکوزیته تا سرعت‌های برشی حدود  $50\text{ s}^{-1}$ ، نمودار تغییرات ویسکوزیته تقریباً صاف خواهد شد. این نتایج نشان دهنده رفتار رقیق شونده با برش در



شکل ۱- اسپکتروم فرو سرخ پودر هیدروکلوئید استخراج شده از دانه شاهی.

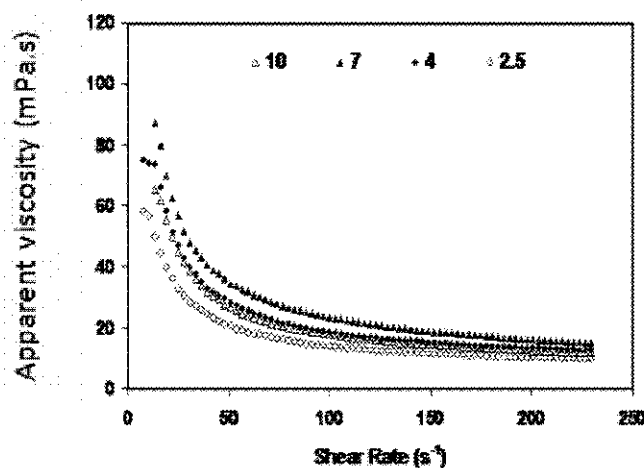


شکل ۲- تاثیر دما روی ویسکوزیته ظاهری محلول ۱٪ (w/w) هیدروکلوئید دانه شاهی در pH=۷ در دمای ۴۰ و ۲۵ و ۵ درجه سلسیوس



شکل ۳-). تاثیر غلظت هیدروکلئید دانه شاهی روی ویسکوزیته ظاهری محلول در pH=۷ و دمای ۲۵ درجه سلسیوس

بر روی ویسکوزیته صمغ دانه شاهی در سرعت‌های برشی مختلف در شکل (۴) نشان داده شده است. مشابه شاخص غلظت، افزایش pH تا ۷ منجر به افزایش ویسکوزیته گردید. گزارش شده است که ویسکوزیته گالاکتومانان‌ها، CMC و صمغ کارایا در pH پایین ویسکوزیته‌اشان کاهش پیدا می‌کند (Glicksman, 1982). در گزارشی Medina-Torres et al. (2000) اثر pH را روی ویسکوزیته ظاهری *Opuntia ficusindica* مطالعه کرده‌اند و بیان نموده‌اند که چنین تغییرانی مربوط به تغییرات کنفورماسیونی در مولکول موسیلاژ می‌باشد. همچنین Huei Chen & Yuu Chen (2001) گزارش کرده‌اند که افزایش pH منجر به افزایش ویسکوزیته ظاهری موسیلاژ خره سبز می‌شود.



شکل ۴- تاثیر pH روی ویسکوزیته ظاهری محلول ۱٪ (w/w) هیدروکلئید دانه شاهی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس

مقایسه ویسکوزیته صمغ دانه شاهی با دیگر هیدروکلئیدها

شکل (۵)، نمودار تغییرات تنش برشی و ویسکوزیته محلول ۰/۴٪ هیدروکلئید دانه شاهی را در مقایسه با همین غلظت از هیدروکلئید های کتیرا، کربوکسی متیل سلولز،

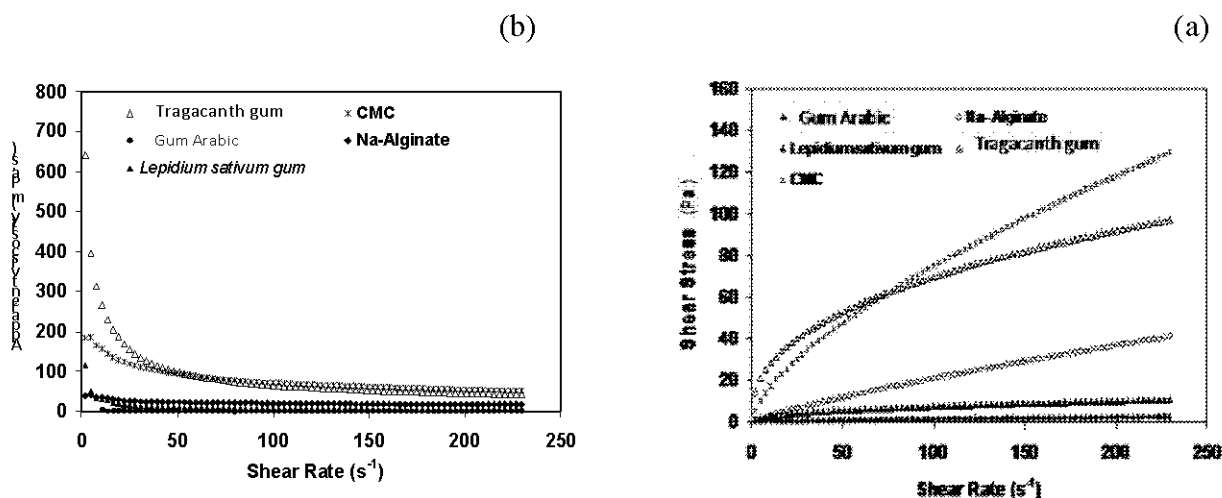
غلظت پلی‌ساکارید در محلول اثر مستقیمی روی ویسکوزیته و درجه رقیق شوندگی با برش دارد (Sutherland, 1994). با افزایش غلظت صمغ دانه شاهی ویسکوزیته نیز افزایش یافت. افزایش ویسکوزیته را می‌توان به بالاتر رفتن محتوای مواد جامد محلول‌ها به واسطه افزایش غلظت دانست که این پدیده منجر به کاهش حرکت‌های مولکولی و تشکیل فیلم‌های داخل شبکه‌ای می‌شود و ویسکوزیته افزایش می‌یابد (Maskan & Gogus, 2000).

#### تاثیر pH بر رفتار رئولوژیکی صمغ دانه شاهی

شاخص قوام (k) و شاخص رفتار جریان (n) که از نمودار تطبیق داده شده داده‌های تنش برشی در مقابل سرعت برشی با استفاده از مدل قانون توان به دست آمده بود، به عنوان تابعی از pH در جدول (۲) آورده شده‌اند. مقدار k که شاخصی از قوام می‌باشد، با افزایش pH از ۲/۵ به ۷ افزایش یافت که نتایج حاصل از این تغییرات در جدول (۲) آورده شده است. این روند در کلیه دماها و غلظت‌ها ثابت بوده و در سطح آماری  $\alpha \leq 0.01$  دارای اختلاف معنی‌دار آماری است. مقدار n که شاخصی از رفتار جریان نمونه می‌باشد، با افزایش pH محلول‌ها کاهش پیدا کرد و در pH ۱۰ مقداری افزایش یافت. این روند در کلیه دماها و غلظت‌ها ثابت بود. با توجه به اسپکتروم فرو سرخ صمغ دانه شاهی (شکل ۱) مشخص می‌شود که این صمغ بر روی رنجیره پلیمری خود دارای گروه‌های کربوکسیل می‌باشد و پلیمری با بار منفی است. به واسطه دافعه الکترواستاتیک که از گروه‌های کربوکسیل حاصل می‌شود این صمغ تمایل به منبسط شدن در pH های بالا داشته و بنابراین با بالا رفتن pH، ویسکوزیته محلول‌ها و مقدار k افزایش پیدا می‌کند. موارد مشابهی در تحقیقات Launay et al. (1986) و Onweluzo et al. (1994) نیز بیان شده است که تاییدی بر نتایج حاصل می‌باشد. اثر pH

متیل سلولز، کتیرا، آلژینات سدیم، صمغ دانه شاهی و صمغ عربی از خود نشان می دهند.

آلژینات سدیم و صمغ عربی نشان می دهد که به ترتیب بالاترین ویسکوزیته و تنش برشی را محلول های کربوکسی



شکل ۵- مقایسه تغییرات (a): تنش برشی (Pa) و (b): ویسکوزیته ظاهری (mPa.s) در مقابل سرعت برشی (s-1) هیدروکلوئید دانه شاهی با هیدروکلوئید های کتیرا، کربوکسی متیل سلولز، آلژینات سدیم و صمغ عربی در غلظت ۰/۴٪ در دمای ۲۵ °C و pH ۷.

افزایش دما منجر به کاهش ویسکوزیته و رقیق شوندگی گردید. به واسطه افزایش دمای محلول ها، k کاهش و n افزایش یافت در صورتی که افزایش در غلظت منجر به افزایش k و کاهش n گردید. همچنین ویسکوزیته ظاهری صمغ دانه شاهی با تغییر در pH محلول ها تغییر کرد. نتایج این تحقیق می تواند در کاربردهای عملی مفید باشد و به عبارت دیگر در صورت جایگزینی این صمغ با دیگر هیدروکلوئیدها در محصولات غذایی، برای بهینه سازی کارایی این صمغ در سیستم های غذایی می توان از این نتایج استفاده کرد.

#### نتیجه گیری کلی

صمغ دانه گیاه شاهی رفتار غیر نیوتنی رقیق شونده با برش در غلظت های ۰/۴ الی ۱٪ و در محدوده دمایی ۵ الی ۴۰ °C را از خود نشان داد. مدل قانون توان برای توصیف رفتار رئولوژیکی محلول ها به خوبی به کار برده شد. به خاطر ایجاد ویسکوزیته مناسب و طبیعت رقیق شوندگی با برش صمغ دانه گیاه شاهی، این ماده می تواند به عنوان یک ماده غلیظ کننده در مواد غذایی کاربرد داشته باشد. افزایش غلظت محلول ها منجر به افزایش ویسکوزیته و رقیق شوندگی شد و همچنین

#### REFERENCES

- A.O.A.C. (1984) *Official methods of analysis*. (14). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Chhinnan, M. S., McWaters, K. H. & Rao, V. N. M. (1985) Rheological characterization of grain legume pastes and effect of hydration time and water level on apparent viscosity. *Journal of Food Science*, 50, 1167–1171.
- Divekar, V. B., Mohan, K. G., Poonam, C. D., Vivek, R. K. & Baheti D. G. (2010). Isolation and characterization of mucilage from lepidium sativum Linn Seeds. *International Journal of Pharmaceutical Research and Development*, 2, 1-5.
- Farahnaky A., Askari, H. & Majzooobi, M. (2010) The impact of concentration, temperature and pH on dynamic rheology of psyllium gels. *Journal of Food Engineering*. 100, 294-301.
- Farhoosh, R. & Riazi, A. (2007) A compositional study on two current types of salep in Iran and their rheological properties as a function of concentration and temperature. *Food Hydrocolloids*, 21, 660–666.
- Feng, T., Gu, Z. B. & Jin, Z. Y. (2007) Chemical composition and some rheological properties of Mesona Blumes gum. *Food Science and Technology International*, 13, 55–61.
- Garcia-Ochoa, F. & Casas, J. A. (1992) Viscosity of locust bean gum solutions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 59, 97–100.
- Glicksman, M. (1982) *Food Hydrocolloids*, Vols. 2 and 3. CRC Press Inc, FL.
- Gomez-Diaz, D. & Navaza, J. M. (2003) Rheology of aqueous solutions of food additives effect of concentration, temperature and blending. *Journal of Food Engineering*, 56, 387–392.
- Gopalan C., Rama Sastri B. V. & Balasubramanian S. C. (2000) *Nutritive value of Indian foods*. Hyderabad, India: National Institute of Nutrition, Indian Council of Medical Research.

- Hassan B. H. & Hobani A. I. (1998) Flow properties of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) Extract. *Journal of Food Engineering*, 35, 459-470.
- Huei Chen, R. & Yuu Chen, W. (2001) Rheological properties of the water-soluble mucilage of a green laver, *Monostroma nitidum*. *Journal of Applied Phycology*, 13, 481-488.
- Launay, B., Doublier, I. & Cavalier, G. (1986) *Flow properties of aqueous solution and dispersions of polysaccharides*. In: Mitchell, J. R. (Ed.), *Functional Properties of Food Macromolecules*. Elsevier Applied Science Publishers, New York, pp. 1-78.
- Marcotte, M., Taherian, A. R. & Ramaswamy, H. S. (2001a) Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Research International*, 34, 695-704.
- Marcotte, M., Taherian, A. R. & Ramaswamy, H. S. (2001b). Evaluation of rheological properties of selected salt enriched food hydrocolloids. *Journal of Food Engineering*, 48, 157-167.
- Maskan, M. & Gogus, F. (2000). Effect of sugar on the rheological properties of sunflower oil-water emulsions. *Journal of Food Engineering*, 43, 173-177.
- Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B. & Kattain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*, 14, 417-424.
- Morris, E. R. & Taylor, L. J. (1982) Oral perception of fluid viscosity. *Progress in Food and Nutrition Science*, 6, 285-296.
- Mothe, C. G. & Rao, M. A. (1999). Rheological behavior of aqueous dispersions of cashew gum and gum arabic: Effect of concentration and blending. *Journal of Food Hydrocolloids*, 13(6), 501-506.
- Muller, F. L., Pain, J. P. & Villon, P. (1994) On the behaviour of non-Newtonian liquids in collinear ohmic heaters. In: *Proceedings of the 10th International Heat Transfer Conference. Freezing, Melting, Internal Forces Convection and Heat Exchangers*, Vol. 4. Brighton, UK, pp. 285-290.
- Müller, K., Tintelnot, S. & Leubner-Metzger, G. (2006) Endosperm-limited Brassicaceae Seed Germination: Abscisic Acid Inhibits Embryo-induced Endosperm Weakening of *Lepidium sativum* (cress) and Endosperm Rupture of Cress and *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Physiol.*, 47(7), 864-877.
- Nadkarni K. M. & Nadkarni A. K. (1954) *Lepidium sativum* Lim. In: *The Indian Materia Medica with Ayurvedic, Unani and Home remedies*, 3rd edn. Bombay, India: Popular Prakashan, pp 736-737.
- Onweluzo, J. C., Obanu, Z. A. & Onuoha, K. C. (1994). Viscosity studies on the flour of some lesser known tropical legumes. *Nigerian Food Journal*, 12, 1-10.
- Race, S. W. (1991). Improved product quality through viscosity measurement. *Food Technology*, 45, 86-88.
- Sumangala S. G., Nagappa, G. M. & Minguo, G. (2004). Chemical composition of garden cress (*Lepidium Sativum*) seeds and its fractions and use of bran as a functional ingredient, *Plant Foods for Human Nutrition*, 59, 105-111.
- Sutherland, I. W. (1994). Structure-function relationships in microbial exopolysaccharides. *Biotechnology Advances*, 12, 393-448.
- Taherian, A. R., Fustier, P. & Ramaswamy, H. S. 2007. Effects of added weighting agent and xanthan gum on stability and rheological properties of beverage cloud emulsions formulated using modified starch. *Journal of Food Process Engineering*, 30, 204-224.
- Vardhanabhuti, B. & Ikeda, S. (2006). Isolation and characterization of hydrocolloids from monoi (*Cissampelos pareira*) leaves. *Food Hydrocolloids*, 20, 885-891.