

بررسی خصوصیات رئولوژیکی، بافتی، و رنگ صمغ دانه بالنگو (*Lallemantia royleana*) تحت تأثیر دماهای متفاوت

عاکفه زامنی*^۱، مهدی کاشانی نژاد^۲، مهران اعلمی^۳، فخرالدین صالحی^۴، گیتی شیروانی^۵

۱. کارشناس ارشد دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. استادیار دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱/۲۶)

چکیده

هیدروکلوئیدها (صمغ‌ها) در صنایع غذایی برای کنترل و بهبود بافت، طعم و افزایش پایداری به کار می‌روند. اکثر فرایندهای غذایی باعث تغییر در خصوصیات رئولوژیکی و بافتی مواد غذایی می‌شوند. در این پژوهش، اثر دماهای گوناگون بر تغییر رنگ، خصوصیات رئولوژیکی و بافتی (سفتی، چسبندگی و قوام) صمغ دانه بالنگو مطالعه شد. برای این منظور صمغ دانه بالنگو استخراج شد و غلظت ۰/۲ درصد (وزنی-وزنی) برای بررسی خصوصیات رئولوژیکی و رنگ، و غلظت‌های ۳ و ۴ درصد (وزنی-وزنی) برای بررسی خصوصیات بافتی، از صمغ تهیه شد و تحت دماهای (۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۱ درجه سانتیگراد، ۲۰ دقیقه) قرار گرفت. ویسکوزیته محلول‌های صمغ توسط ویسکومتر چرخشی بروکفیلد در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد اندازه‌گیری و با مدل‌های قانون توان، کاسون، و بینگهام برازش شد. نتایج برازش داده‌ها حاکی از رفتار سودوپلاستیک صمغ دانه بالنگو است و نمونه‌ها با ضریب همبستگی بالایی از مدل قانون توان تبعیت می‌کنند ($R^2 = 0.99$). صمغ بالنگو قابلیت مقاومت در برابر دمای بالا (۱۲۱ درجه سانتیگراد) را نداشت ولی بافت ژل تهیه‌شده از این صمغ در برابر دماهای حرارتی مقاومت خوبی از خود نشان داد. مقادیر عددی سفتی و قوام ژل ۳ درصد صمغ دانه بالنگو پس از اعمال حرارت در دمای ۱۲۱°C به ترتیب برابر ۱۰/۶ گرم و ۳۲/۴۸ گرم در ثانیه به‌دست آمدند. همچنین با افزایش دما میزان روشنایی نمونه‌ها کاهش یافت.

کلیدواژگان: آزمون نفوذ، ژل، هیدروکلوئید، ویسکوزیته.

مقدمه

عبارت هیدروکلوئید به مجموعه‌ای از پلی‌ساکاریدها اطلاق می‌شود که امروزه به دلیل عملکردهایی چون قوام‌دهندگی، تشکیل ژل، پایدارکنندگی کف‌ها، امولسیون‌ها، و ممانعت از تشکیل کریستال به‌طور گسترده در صنایع غذایی به کار می‌رود. دانه‌ها از منابع قدیمی و سنتی تولید صمغ‌ها هستند. اکثر دانه‌ها حاوی مقادیر زیادی نشاسته برای استفاده جوانه هستند و بسیاری هم پلیمرهای پلی‌ساکاریدی دیگر با ویژگی‌های مشابه صمغ‌ها دارند که آن‌ها را تبدیل به منابع مفیدی برای به‌دست‌آوردن هیدروکلوئیدها کرده است. از سال‌های دور بسیاری از دانه‌ها مانند اسفرزه، لوبیای افاقیا، گوآر، تارا، تمریند، و خردل به‌عنوان منابع صمغی استفاده می‌شدند، اگرچه برای مصارف غذایی و در تولید صنعتی فقط برخی از این صمغ‌ها اهمیت دارند (Razavi et al., 2009). پلی‌ساکاریدهای

استخراج‌شده از گیاهان در صنایع غذایی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند. این پلیمرها به دلیل طبیعی بودن برای بسیاری از مصرف‌کنندگان مطلوبیت بیشتری دارند (Lai et al., 2000). اخیراً تقاضا برای هیدروکلوئیدها با خواص عملکردی ویژه افزایش یافته است، بنابراین یافتن منابع جدید صمغ‌های گیاهی با خواص مناسب برای استفاده در صنعت اهمیت ویژه‌ای دارد و محققان صنعت غذا همواره به دنبال یافتن منابع جدید پلی‌ساکاریدی هستند. صمغ‌های حاصل از دانه‌ها، افزودنی‌های غذایی مهمی در صنایع غذایی به‌شمار می‌روند (Yadav et al., 2007).

بالنگو با نام علمی (*Lallemantia royleana*) گیاهی لعاب‌دار بومی از تیره نعنایان است که در مناطق گوناگون جهان به‌خصوص کشورهای منطقه خاورمیانه که شامل قفقاز، شمال هند، و پاکستان است، رشد می‌کند. دانه بالنگو اگر در آب خیس شود، مایع چسبناک، کدر، و بی‌مزه‌ای (موسیلاژ) ایجاد می‌کند. به‌علت تولید مقادیر بالای موسیلاژ، این دانه می‌تواند به‌عنوان منبع جدید هیدروکلوئید در فرمولاسیون

* نویسنده مسئول: akefe_zameni@yahoo.com

سپس سردکردن، قادر به بازیابی ویسکوزیته اولیه خود بوده است. اما حرارت‌دهی در دمای بالاتر از ۱۲۱ درجه سانتیگراد منجر به کاهش ویسکوزیته محلول آلژینات شد.

Schmidt & Smith (1999) تأثیر تیمار حرارتی (۸۱ درجه سانتیگراد به مدت ۲۵ ثانیه) را بر برهمکنش پروتئین‌های شیر و صمغ‌های کاپاکاراگینان، گوار، گزانتان در غلظت‌های ۰/۰۵، ۰/۱، و ۰/۲ بررسی و مشاهده کردند که برای هیدراتاسیون کامل کاراگینان تیمار حرارتی کافی احتیاج است و دما به مدت طولانی باعث کاهش ویسکوزیته صمغ گوارپروتئین‌های شیر می‌شود، ولی صمغ گزانتان به شرایط اعمال شده حساس نبود.

بررسی منابع حاکی از عدم بررسی تأثیر دماهای گوناگون بر خصوصیات صمغ دانه بالنگو به عنوان منبع هیدروکلوئیدی مناسب و جدید است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثر دماهای گوناگون بر ویژگی‌های بافتی (سفتی، چسبندگی و قوام)، ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی صمغ دانه بالنگو است.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه

دانه بالنگو از بازار محلی در شهر گرگان خریداری و آلودگی‌های ثانویه آن‌ها حذف شد. صمغ دانه بالنگو با بهینه‌کردن روش تعیین شده توسط Razavi et al. (2009)، با نسبت آب به دانه ۲۰ به ۱، در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد، pH=۷، و مدت زمان ۲۰ دقیقه، با اکستراکتور خانگی استخراج و در آون با دمای ۴۵ درجه سانتیگراد خشک و با آسیاب به پودر تبدیل شد.

الف) آماده‌سازی محلول‌های هیدروکلوئیدی

محلول‌های صمغ دانه بالنگو با پراکنده‌کردن پودر صمغ در آب مقطر در غلظت ۰/۲ درصد وزنی-وزنی (برای انجام آزمون‌های ویسکومتری و رنگ‌سنجی) و غلظت‌های ۳ و ۴ درصد وزنی-وزنی برای انجام آزمون نفوذ تهیه و توسط همزن کاسه‌دار (Philips, HR-1565, china همگن شدند. سپس به منظور کامل‌شدن هیدراتاسیون به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط روی همزن هماتولوژی (پارس، تهران، ایران) نگهداری شدند (Salehi et al., 2014).

ب) اعمال دماهای متفاوت

در همه آزمایش‌ها نمونه‌ها پس از تهیه، برای اعمال دماهای گوناگون در دماهای ۲۵، ۵۰، ۷۵، و ۱۰۰ درجه سانتیگراد درون

مواد غذایی به کار رود که در ایران عموماً از آن به عنوان تخم‌شربتی یاد می‌شود (Naghbi et al., 2005). صمغ دانه بالنگو شامل ۶۱/۷۴ درصد کربوهیدرات، ۰/۸۷ درصد پروتئین، ۲۹/۶۶ درصد فیبر خام، و ۸/۳۳ درصد وزنی-وزنی خاکستر است. بررسی‌ها نشان داده است صمغ دانه بالنگو رفتار شل‌شونده با برش دارد و شاخص رفتار جریان آن براساس قانون توان به دست آمده است. ضریب قوام و شاخص رفتار جریان محلول ۱ درصد وزنی-وزنی به ترتیب $8/84 \text{ Pa.s}^{-1}$ و $0/36$ گزارش شده‌اند. ویسکوزیته ظاهری محلول ۱ درصد صمغ دانه بالنگو در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و درجه برش $46/16 \text{ s}^{-1}$ برابر با Pa.s ۰/۷۶ بوده است (Mohammad Amini, 2007).

دما از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر ویژگی‌های عملکردی هیدروکلوئیدها می‌باشد. فرایندهای حرارتی گوناگون همچون پاستوریزاسیون، استریلیزاسیون، سردکردن، انجماد، و مانند اینها ... بر ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی هیدروکلوئیدهای موجود در محصولات غذایی طی فرایندهای تولید و انبارداری تأثیر می‌گذارند. هیدروکلوئیدها در شرایط حرارتی گوناگون رفتار مشابهی ندارند، بنابراین بررسی اثر دماهای گوناگون بر ویژگی‌هایی که صمغ‌ها ایجاد می‌کنند ضرورت دارد تا قابلیت استفاده از آن‌ها در فرمولاسیون‌های غذایی تعیین شود (Naji et al., 2012).

(Salehi et al. (2014) تأثیر ساکاروز، فروکتوز، گلوکز، و لاکتوز در غلظت‌های ۱، ۲، ۳، و ۴ درصد وزنی-وزنی بر خصوصیات رئولوژیکی محلول صمغ دانه بالنگو (۱ درصد) را بررسی کردند، آن‌ها گزارش دادند که اثر سینرژیستی بین صمغ و قند باعث افزایش ویسکوزیته محلول‌ها شد و مقدار تغییر ویسکوزیته به نوع قند مصرفی بستگی دارد. نوع و مقدار قند باعث تغییر ضریب قوام (k) و شاخص رفتار جریان (n) شدند.

(Razavi & Mohammadi moghadam (2011) اثر پنج سطح جایگزینی (۰ درصد، ۲۵ درصد، ۵۰ درصد، ۷۵ درصد، و ۱۰۰ درصد وزنی-وزنی) از صمغ دانه بالنگو بر ویژگی‌های بافتی صمغ گزانتان، گوار، و لوبیای لوکاست را با استفاده از آزمون تحلیل بافت کردند. نتایج حاکی از آن بود که که فنریت مخلوط گواربالنگو و مخلوط زانتان-بالنگو با افزایش غلظت بالنگو افزایش شایان توجهی داشت. همچنین گزارش کردند که میزان سختی و چسبندگی لوبیای لوکاست به میزان غلظت بالنگو بسیار حساس بود.

Chen et al. (1985) گزارش کردند که محلول صمغ

آلژینات باکتریایی (۵/۰ درصد) و جلبکی (۲/۰ درصد) پس از حرارت‌دهی در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه و

۳ و ۴ درصد (وزنی-وزنی) صمغ دانه بالنگو پس از اعمال دماهای گوناگون توسط بافت‌سنج مدل (TA-XT-PLUS, UK) در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد اندازه‌گیری شد. آزمون نفوذ توسط پروب استوانه‌ای با قطر ۶ میلی‌متر با سرعت ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه و عمق ۱۵ میلی‌متر انجام شد (Salehi & Kashaninejad, 2014).

د) رنگ‌سنجی

سیستم بینایی رایانه‌ای (CVS)^۴ شامل یک دوربین دیجیتالی (Panasonic, DMC-FS42, Japan) مجهز به حسگر CCD 10.1 مگاپیکسل برای گرفتن عکس از نمونه، منبع نوری استاندارد که شامل ۲ لامپ فلورسنت بود و نرم‌افزار کامپیوتری، Image J. e 1.47 برای تجزیه و تحلیل تصاویر گرفته شده است. برای اندازه‌گیری رنگ صمغ دانه بالنگو، ۵۰ میلی‌لیتر از محلول صمغی ۰/۲ درصد پس از اعمال دماهای گوناگون در ظروف شیشه‌ای شفاف ریخته و توسط دوربین دیجیتالی از آن عکس گرفته شد (Salehi & Kashaninejad, 2014). به این صورت که از یک جعبه مستطیلی ابعاد ۰/۵×۰/۵×۰/۵ مترمکعب به‌عنوان سکوی تصویربرداری استفاده شد. نمونه‌ها در وسط جعبه قرار گرفتند و یک دوربین در دیواره بالای جعبه روبروی نمونه‌ها مستقر بود. فاصله لامپ‌ها با نمونه ۲۹ سانتیمتر بود و تصویرگیری با دوربین دیجیتالی در فاصله ۲۲ سانتیمتری نمونه انجام شد. تصاویر در اندازه ۲۴۳۲×۴۳۲۰ پیکسل گرفته شدند و با فرمت jpg و در فضای رنگی RGB ذخیره شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

تمامی آزمایش‌ها در ۳ تکرار صورت گرفت. تجزیه و تحلیل آماری نتایج از طریق تجزیه واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح آماری ۵ درصد صورت گرفت و به‌منظور رسم نمودارها و آنالیز آماری از نرم‌افزارهای SAS software 9.1.3, 2003، Curve Expert و Excel 2010, program version 1.34 استفاده شد.

نتایج و بحث

تأثیر دماهای گوناگون بر ویسکوزیته ظاهری

منحنی‌های جریان و رابطه سرعت برشی-تنش برشی محلول صمغ دانه بالنگو تحت دماهای گوناگون به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ دیده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که ویسکوزیته ظاهری این صمغ با افزایش درجه برش کاهش می‌یابد که نشانگر رفتار شبه‌پلاستیک آن است. این رفتار ناشی از وزن مولکولی بالای

بن ماری (Memmert Universal, WB14, Germany) و برای اعمال دمای ۱۲۱ درجه سانتیگراد درون اتوکلاو (کاوش مگا، عمودی ۲۵ لیتری، ایران) به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفتند (Naji et al., 2012).

آزمایش‌ها

الف) خصوصیات رئولوژیکی

ویسکوزیته ظاهری و رفتار جریان محلول ۰/۲ درصد (وزنی-وزنی) نمونه‌ها پس از اعمال دماهای گوناگون توسط ویسکومتر بروکفیلد ساخت آمریکا (RVDVII) مجهز به سیرکولاتور حرارتی در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و استفاده از اسپیندل YULA-15 اندازه‌گیری شد. حجم مناسبی از نمونه آماده شده (۱۶ میلی‌لیتر) در داخل ظرف ریخته شد و پس از آن که دمای نمونه به ۲۵ درجه سانتیگراد رسید، آزمون رئولوژیکی مورد نظر برای به‌دست‌آوردن تنش برشی-درجه برش بر آن اعمال شد.

ب) مدل‌سازی

در این مطالعه اثر سرعت برشی بر رفتار رئولوژیکی محلول‌های هیدروکلوئیدی در دامنه درجه برش⁻¹ ۶/۱۲ تا ۲۴۵ بررسی شد و داده‌های آزمون (سرعت برشی-تنش برشی) با استفاده از مدل‌های ۱ و ۲ و ۳ برازش شدند:

۱. مدل قانون توان

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

در این معادله: k ضریب قوام ($pa \cdot S^n$) و n، شاخص رفتار

جریان (بدون بعد) است.

۲. مدل بینگهام

$$\eta_B \tau = \eta_B \gamma^{\pm} + \tau_{OB}$$

η_B را ویسکوزیته پلاستیک بینگهام (pa)، و τ_{OB} را

تنش تسلیم بینگهام (Pa) می‌گویند.

۳. مدل کاسون

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

K_{OC} ، عرض از مبدأ نمودار- $(\tau^{0.5})$ و K_C شیب

شیب نمودار ۳ است. $K_C^2 = \mu_C$ و $\tau_{OC} = K_{OC}^2$ به ترتیب عبارت‌اند از: ویسکوزیته کاسون (Pa.s) و تنش تسلیم کاسون (Pa).

ج) بافت‌سنجی

پارامترهای بافتی مانند سفتی^۱، قوام^۲، و چسبندگی^۳ نمونه‌های

3. Consistency
4. Computer vision system

1. Hardness
2. Adhesiveness

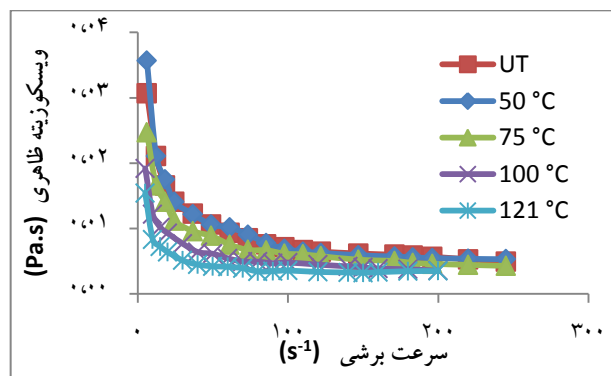
حرارت‌دهی در دمای بالای ۱۰۰ درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد، مطابقت دارد. آن‌ها بیان کردند که علت کاهش ویسکوزیته، تخریب حرارتی و شکسته شدن پیوندهای بین داخل مولکولی هیدروکلوئید است. (Shinoda et al. (1969) بیان کردند کاهش ویسکوزیته پس از اعمال حرارت می‌تواند با شکستن ساختاری مولکول‌ها و افزایش آزادی و تحرک مولکول‌ها تفسیر شود. (Ven et al. (2007) نیز گزارش کردند که با افزایش دما انرژی سینتیکی مولکول‌ها افزایش می‌یابد و شروع به جریان می‌کنند؛ در نتیجه ویسکوزیته کاهش می‌یابد. همچنین افزایش دما باعث تسریع هیدرولیز اسیدی پلی‌ساکاریدهایی همچون گزانتان، گوار، و کربوکسی متیل سلولز می‌شود و کاهش در ویسکوزیته آن‌ها دیده می‌شود.

شاخص رفتار جریان صمغ دانه بالنگو نیز با افزایش دما افزایش می‌یابد و به جز اتوکلاوگداری هیچ تغییر معنی‌داری در شاخص رفتار جریان پس از اعمال دماهای گوناگون مشاهده نشد که نشانگر پایداری شبه‌پلاستیکی صمغ در تمامی دماها به جز دمای ۱۲۱ درجه سانتیگراد است. این نتیجه مطابق با یافته‌های (Fereitas et al. (2009) برای محلول صمغ سودوموناس اولیوورانس^۱ است که شاهد ثبات سودوپلاستیسیته محلول‌های این صمغ پس از اعمال حرارت بودند. در دمای ۱۲۱ درجه سانتیگراد، میزان شاخص جریان صمغ دانه بالنگو به ۰/۷۷ رسیده است که سبب عدم پایداری صمغ دانه بالنگو در این دما شده است و هرچه مقدار شاخص جریان بیشتر باشد، باعث ایجاد احساس دهانی لزج بیشتری می‌شود (Szczesniak & Farkas, 1962). نتایج برازش داده‌ها حاکی از این بود که نمونه‌ها با ضریب همبستگی بالایی ($R^2=0.99$) از مدل قانون توان تبعیت می‌کنند.

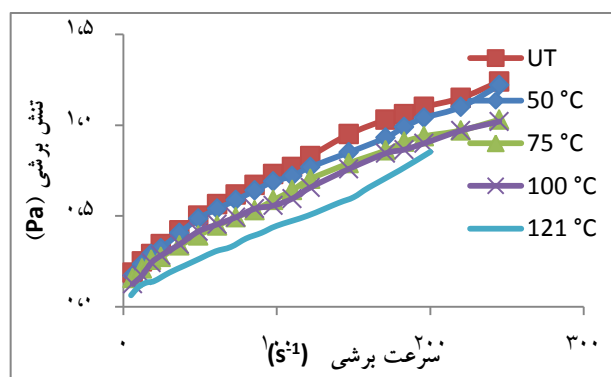
(ب) مدل‌های رئولوژیکی دارای تنش تسلیم بینگهام و کاسون همانطور که در جداول ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، مدل‌های بینگهام و کاسون قادر به پیشگویی رفتار رئولوژیکی صمغ دانه بالنگو با ضریب تبیین بالا هستند. پارامترهای حاصل از مدل بینگهام در جدول ۲ گزارش شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود تمامی محلول‌ها در همه شرایط تنش تسلیم دارند. ویسکوزیته و تنش تسلیم بینگهام پس از حرارت‌دهی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابند که در دماهای بالاتر این کاهش بیشتر است. در جدول ۳ مشاهده می‌شود که مدل کاسون به‌خوبی رفتار صمغ دانه بالنگو را در شرایط گوناگون توصیف می‌کند. تنش تسلیم و

صمغ دانه بالنگو است که میزان آن $10^6 \times 3/65$ است (Mohammad amini & Razavi, 2012).

در صمغ گزانتان نیز رفتار شبه‌پلاستیک مشاهده شده است، که محققان ساختار پلیمری و وزن مولکولی بالای صمغ گزانتان و واکنش‌های بین‌مولکولی ناشی از تجمع باندهای هیدروژنی و درگیری‌های پلیمری را مسبب آن می‌دانند (Sworn, 2002).



شکل ۱. تأثیر دماهای گوناگون بر ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ دانه بالنگو (۲/۰ درصد وزنی-وزنی)



شکل ۲. رابطه سرعت برشی-تنش برشی در محلول صمغ دانه بالنگو (۲/۰ درصد در شرایط گرم کردن در دماهای متفاوت)

مدل‌سازی

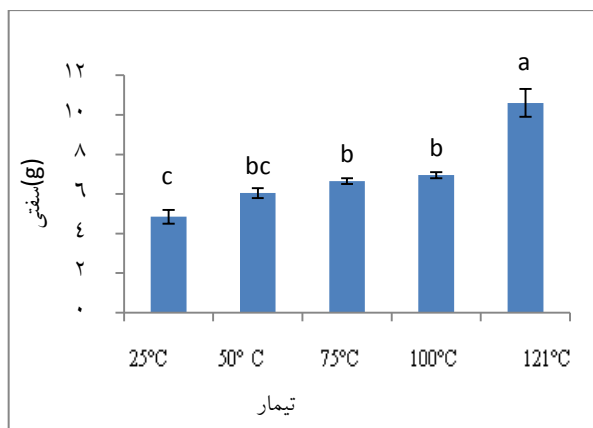
الف) قانون توان

طبق جدول ۱ داده‌های ضریب قوام مدل قانون توان نشان می‌دهند که دماهای گوناگون تأثیر معنی‌داری بر ویسکوزیته ظاهری صمغ دانه بالنگو دارد و کاهش مشهودی در ویسکوزیته با افزایش دما مشاهده می‌شود ($P < 0.05$). اتوکلاوگداری بیشترین کاهش را در ویسکوزیته محلول‌های صمغ دانه بالنگو ایجاد می‌کند. نتایج بیانگر این است که صمغ دانه بالنگو نسبت به دما حساس است و تحمل دماهای بالا را ندارد. این نتایج با یافته‌های (Yamazaky et al. (2009) که گزارش کردند ویسکوزیته هیدروکلوئید *Corchoruse olerorius L.* پس از

1. *Pseudomonas oleovorans*

سفتی عموماً برای بیان قدرت شبکه ژل اندازه‌گیری می‌شود و بسته به نوع سیستم غذایی می‌تواند پارامتری بسیار مهم باشد (Damasio & Fiszman, 2000). براساس نتایج آزمون نفوذ که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، میزان سفتی نمونه شاهد ۴/۸۵ گرم است. حرارت‌دهی میزان سفتی را افزایش می‌دهد و در دمای ۱۲۱ درجه سانتیگراد میزان سفتی ژل به ۱۰/۶ گرم می‌رسد. بین دماهای ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ درجه سانتیگراد و دماهای ۲۵ و ۵۰ درجه سانتیگراد اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. در شکل ۴ نیز دمای ۱۲۱ درجه سانتیگراد با میزان سفتی ۱۲/۲ گرم بیشترین مقدار را دارد. بین دماهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درجه سانتیگراد و همچنین دماهای ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۱ درجه سانتیگراد اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. همانطور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود میزان سفتی در تمام دماها در غلظت ۴ درصد بیشتر از غلظت ۳ درصد است و در هر دو ژل (۳ و ۴ درصد) با افزایش دما، سفتی افزایش یافته است. این رفتار مبین این است که دماهای اتوکلاوی به تشکیل شبکه ژلی قوی‌تری می‌انجامد.

نقاط اتصال نقش بسیار مهمی در فرایند ژل‌شدن ایفا می‌کنند. آن‌ها نیز به‌طور شایان توجهی ویژگی‌های عملکردی یک ژل خاص را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. تعداد مولکول‌هایی که در مناطق اتصال هستند برای تعیین ویژگی‌های ژل اهمیت دارند. تعداد بیشتر مولکول‌ها در نقاط اتصال، باعث سفت و سخت‌تر شدن ژل می‌شود. افزایش سختی ژل دانه بالنگو پس از افزایش دما ممکن است به‌دلیل تشکیل نقاط اتصال قوی بین مولکول‌های صمغ باشد (Saha & Bhattachaya, 2010).



شکل ۳. تأثیر دماهای گوناگون بر سفتی ژل صمغ دانه بالنگو (۴ درصد وزنی-وزنی)

ویسکوزیته نیز با اعمال دماهای گوناگون به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد که این کاهش در دمای ۱۲۱ درجه سانتیگراد بیشتر است.

تنش تسلیم از پارامترهای رئولوژیکی مهم برای پیشگویی فرایندکردن محصولات و یا کارایی محصول نهایی است. مقدار تنش لازم برای جریان اولیه معمولاً تنش تسلیم بوده و در ارتباط با ساختار اولیه مواد است که باید قبل از ایجاد جریان کاهش یابد. وجود تنش تسلیم برای محلول‌های صمغ‌های مذکور به‌دلیل تعداد زیاد باندهای هیدروژنی در ساختار مارپیچ آن‌هاست. وجود تنش تسلیم در محلول‌های صمغ زمانی که به‌عنوان اتصال‌دهنده برای حفظ ترکیبات فرمولاسیون در کنار هم استفاده می‌شود، بسیار حائز اهمیت است (Keney & Rao, 1975).

جدول ۱. پارامترهای رئولوژیکی مدل قانون توان برای محلول‌های صمغ دانه بالنگو ۲/۰ درصد وزنی-وزنی در دماهای متفاوت

دماها	R^2	n_p	k_p (Pa.s ⁿ)
۲۵ درجه	۰/۹۹۰	۰/۵۴ ^b	۰/۰۵۶ ^a
۵۰ درجه	۰/۹۹۹	۰/۵۵ ^b	۰/۰۵۳ ^b
۷۵ درجه	۰/۹۹۷	۰/۵۷ ^b	۰/۰۴۲ ^c
۱۰۰ درجه	۰/۹۹۸	۰/۵۹ ^b	۰/۰۳۸ ^d
۱۲۱ درجه	۰/۹۹۴	۰/۷۷ ^a	۰/۰۰۹ ^e

جدول ۲. پارامترهای رئولوژیکی مدل قانون بینگهام برای محلول‌های صمغ دانه بالنگو ۲/۰ درصد وزنی-وزنی در دماهای متفاوت

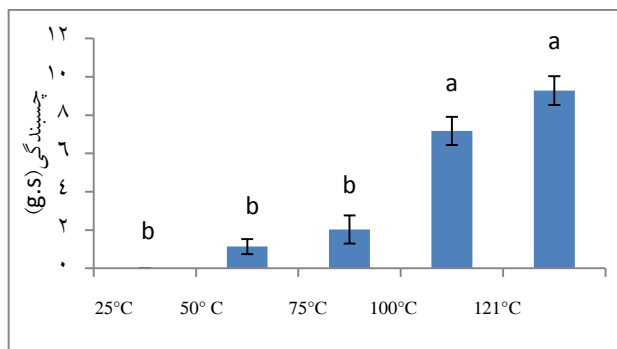
دماها	R^2	η_B (Pa.s)	T_{OB} (Pa)
۲۵ درجه	۰/۹۹۱	۰/۰۰۴۴۵ ^a	۰/۲۶ ^a
۵۰ درجه	۰/۹۸۹	۰/۰۰۴۲ ^a	۰/۲۳ ^{ab}
۷۵ درجه	۰/۹۹۱	۰/۰۰۳۸ ^b	۰/۲۱ ^{bc}
۱۰۰ درجه	۰/۹۹۰	۰/۰۰۳۵ ^{bc}	۰/۲۰ ^c
۱۲۱ درجه	۰/۹۸۴	۰/۰۰۳۱ ^c	۰/۰۶۹ ^d

جدول ۳. پارامترهای رئولوژیکی مدل قانون کاسون برای محلول‌های صمغ دانه بالنگو ۲/۰ درصد وزنی-وزنی در دماهای متفاوت

دماها	R^2	K_C^2	T_{oc}
۲۵ درجه	۰/۹۸۰	۰/۰۳۶ ^a	۰/۰۳۸ ^a
۵۰ درجه	۰/۹۷۹	۰/۰۳۵ ^a	۰/۰۳۸ ^a
۷۵ درجه	۰/۹۷۷	۰/۰۳۵ ^a	۰/۰۱۱ ^c
۱۰۰ درجه	۰/۹۶۸	۰/۰۳۵ ^a	۰/۰۰۵۲ ^d
۱۲۱ درجه	۰/۹۶۸	۰/۰۲۹ ^b	-۰/۰۷۷ ^c

تأثیر دماهای گوناگون بر ویژگی‌های بافتی

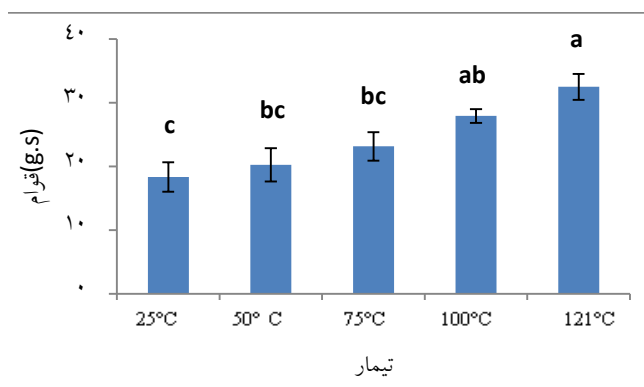
الف) پارامتر سفتی



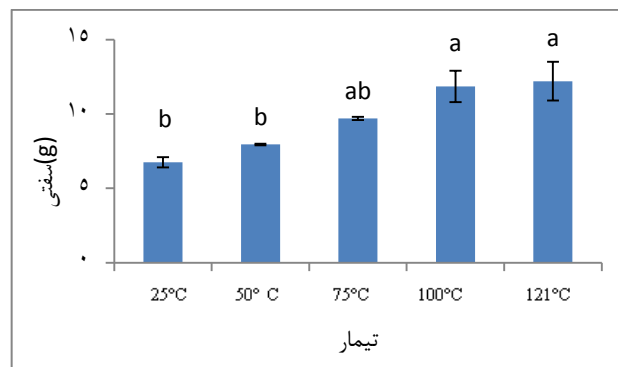
شکل ۵. تأثیر دماهای گوناگون بر چسبندگی ژل صمغ دانه بالنگو (۴درصد وزنی-وزنی)

ج) پارامتر قوام

قوام به‌عنوان کار لازم برای رسیدن به تغییر شکلی که نشانگر قدرت داخلی باندها در محصول است به‌کار می‌رود (Ahmeda, et al., 2005). در شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب تأثیر دماهای گوناگون بر قوام ژل ۳ و ۴درصد صمغ دانه بالنگو نشان داده شده است. میزان قوام صمغ دانه بالنگو پس از افزایش دما در هر دو غلظت افزایش می‌یابد که بیشترین میزان قوام در دمای ۱۲۱ درجه سانتیگراد و به‌مدت ۲۰ دقیقه مشاهده می‌شود. میزان قوام در غلظت ۳درصد از ۱۸/۳۱ به ۳۲/۴۸ (گرم.ثانیه) و در غلظت ۴درصد از ۲۴/۲۶ به ۵۷/۴۵ (گرم.ثانیه) افزایش می‌یابد. نتایج گویای این مطلب است که به قدرت شبکه ژلی پس از حرارت‌دهی افزوده می‌شود، در نتیجه نیروی لازم برای غلبه بر نقاط اتصال افزایش می‌یابد. این نتایج، افزایش نقاط اتصال را طی دماها تأیید می‌کند که علت آن، وجود مقادیر بالایی نواحی غیراستخلاف‌یافته مانوز است (Naje et al., 2012). (Naji et al., 2012) گزارش کردند که ژل ۷درصد وزنی-وزنی صمغ دانه شاهی در ۲۵ درجه سانتیگراد قوام بالایی دارد (۷۷ گرم.ثانیه) و این پارامتر پس از قرارگرفتن در معرض دماهای حرارتی افزایش می‌یابد.



شکل ۶. تأثیر دماهای گوناگون بر قوام ژل صمغ دانه بالنگو (۳درصد وزنی-وزنی)



شکل ۴. تأثیر دماهای گوناگون بر سفتی ژل صمغ دانه بالنگو (۴درصد وزنی-وزنی)

ب) پارامتر چسبندگی

چسبندگی به کار لازم برای غلبه بر نیروهای جاذب بین سطح ماده غذایی و موادی که در تماس با آن هستند اشاره می‌کند (Adhikari et al., 2010). این پارامتر بسیار اهمیت دارد، زیرا بر ویژگی‌های کلی، ظاهر، و مدت زمان نگهداری تأثیرگذار است. چسبندگی به دو روش گوناگون قابل مشاهده است: چسبندگی به تجهیزات تولید یا چسبیدن به انگشتان دست و دهان که ممکن است این حالت برای محصولاتی مانند سس سالاد، پودینگ، محصولات قنادی، و محصولات نانویی مناسب باشد و برای محصولاتی مانند ماکارونی، پاستا، مغز نان، و برخی محصولات گوشتی یک ویژگی منفی تلقی شود (Williams et al., 2009).

براساس نتایج آزمون نفوذ ژل ۳درصد صمغ دانه بالنگو در تمامی دماها فاقد چسبندگی است. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود در غلظت ۴درصد از ژل صمغ دانه بالنگو، چسبندگی با افزایش دما افزایش می‌یابد. دمای ۲۵ درجه سانتیگراد فاقد چسبندگی است در حالی که دمای ۱۲۱ درجه سانتیگراد با میزان ۹/۲۸ (گرم.ثانیه) بیشترین چسبندگی را دارد.

(Naji et al., 2012) گزارش کردند که ژل ۷درصد وزنی-وزنی صمغ دانه شاهی در ۲۵ درجه سانتیگراد چسبندگی بالایی دارد (۹/۲ گرم.ثانیه) و این پارامتر پس از قرارگرفتن در معرض دماهای حرارتی افزایش می‌یابد. هرگونه تغییری ممکن است در چسبندگی محصولات تأثیرات نامطلوبی به دنبال داشته باشد، بنابراین انتخاب بهینه عامل ژل‌دهنده مناسب برای کنترل پدیده چسبندگی ضروری است. بالا بودن چسبندگی ژل صمغ دانه بالنگو حاکی از آن است که می‌توان آن‌ها را به‌عنوان اصلاح‌کننده بافت در محصولات غذایی که تحت عملیات حرارتی قرار می‌گیرند و پارامتر چسبندگی در آن‌ها حائز اهمیت است، استفاده کرد.

صمغ دانهٔ بالنگو را در بازه دمایی ۴۰ تا ۸۰ درجهٔ سانتیگراد مطالعه کردند، آن‌ها دریافتند که با افزایش دما از ۴۰ به ۸۰ درجهٔ سانتیگراد میزان روشنایی کاهش می‌یابد. شکل و اندازهٔ ذرات و میزان همگن بودن و نوع ساختار (در مورد مایعات، بیشتر میزان قوام) از عوامل مؤثر بر رنگ محصول محسوب می‌شوند (McClements, 2002). با توجه به همبستگی موجود بین غلظت صمغ و شاخص‌های توصیف‌کنندهٔ اندازه، ضریب قوام، رنگ، و تفاوت بین اندازهٔ ذرات در نمونه‌ها می‌توان نتیجه گرفت کاهش شاخص روشنایی در صمغ دانهٔ بالنگو به دلیل برهمکنش پلی‌ساکاریدهای مربوط با پروتئین‌هاست که باعث تأثیر بر تفرق نور و در نهایت ایجاد تفاوت در رنگ می‌شوند (et al., 2002, Yanes).

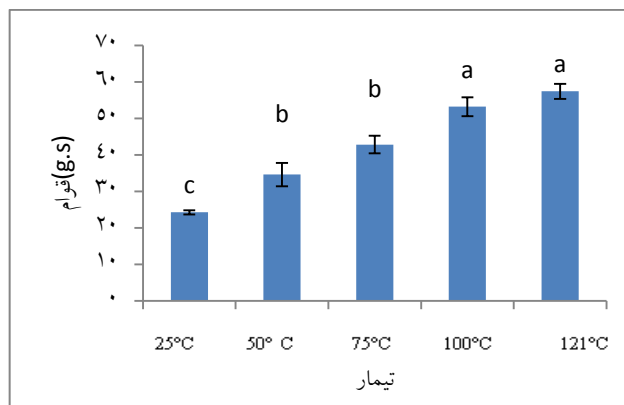
نتیجه‌گیری

صمغ دانهٔ بالنگو به‌عنوان منبع جدید هیدروکلوئیدی خصوصیات عملکردی مطلوبی دارد. نتایج حاکی از آن است که ویسکوزیتهٔ صمغ دانهٔ بالنگو پس از افزایش دما دچار کاهش مشهود می‌شود. صمغ دانهٔ بالنگو از نظر بافت دارای ویژگی‌های چسبندگی، سختی، و قوام مناسب است که می‌تواند در برابر دماهای گوناگون مقاومت کند و یکپارچگی خود را حفظ کند. افزایش دما باعث افزایش این پارامترها شد، که علت آن تعداد بیشتر مولکول‌ها در نقاط اتصال است. نتایج پردازش تصاویر مربوط به اثر دماهای گوناگون بر صمغ دانهٔ بالنگو حاکی از این بود که با افزایش دما، میزان روشنایی کاهش می‌یابد که دلیل آن دارابودن طیف وسیعی از اندازه‌های گوناگون ذرات در محلول‌های صمغ دانهٔ بالنگو است که هر طیف از ذرات امواج نور را به‌صورت متفاوت پراکنده می‌کنند و در پایان باعث ایجاد تفاوت در رنگ می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که صمغ دانهٔ بالنگو در شرایط دمایی متفاوت رفتار مشابهی ندارد، بنابراین بررسی اثر دماهای گوناگون بر ویژگی‌های این صمغ ضرورت دارد تا قابلیت استفاده از آن در فرمولاسیون‌های غذایی تعیین شود.

REFERENCES

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

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



شکل ۷. تأثیر دماهای گوناگون بر قوام ژل صمغ دانهٔ بالنگو (۴ درصد وزنی-وزنی)

جدول ۴. تأثیر دماهای گوناگون بر پارامترهای رنگی محلول صمغ دانهٔ بالنگو (۲/۰ درصد وزنی-وزنی)

دماها	L	a	b
۲۵ درجه	۶۷/۷۷ ^b	-۳/۲۶ ^c	۲/۵۷ ^d
۵۰ درجه	۷۰/۷۵۷ ^a	-۲/۶۳۰ ^b	۲ ^d
۷۵ درجه	۶۷/۳۵ ^{bc}	-۵/۳۷ ^d	۵/۵۴ ^b
۱۰۰ درجه	۶۶/۶۳ ^c	-۱/۶ ^a	۴/۲۱ ^c
۱۲۱ درجه	۶۵/۶۸ ^d	-۱/۹۵ ^a	۶/۳۹ ^a

تأثیر دماهای گوناگون بر رنگ صمغ دانهٔ بالنگو

رنگ غذاها اولین مولفهٔ پذیرش توسط مشتری است. رنگ سطح غذا مهمترین عامل در رد یا پذیرش غذا در تمام پروسه‌های غذایی است. بنابراین شاخصی کیفی است که بیانگر ناهنجاری یا عیوب در تمام محصولات غذایی است. معمولاً رنگ غذاها در سیستم L^*a^*b اندازه‌گیری می‌شود (Yagoobi-Soure et al., 2013). 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+) است که شامل جزء a (دارای طیف رنگی سبز تا قرمز) و جزء b (دارای طیف رنگی آبی تا زرد) است. در جدول ۴ نتایج مربوط به آنالیز رنگ صمغ دانهٔ بالنگو طی دماهای گوناگون مشاهده می‌شود. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود با افزایش دما میزان روشنایی کاهش یافته است. Salehi & Kashaninejad, (2014) نیز اثر دمای خشک‌کردن بر رنگ

- product. *Journal of Carbohydrate polymer*, 78(3), 549-556.
- 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.
- Lai, L. S., Tung, J. & Lin, P. S. (2000). Solution properties of hsian-tsoa (*Mesona procumbens Hemsl*) leaf gum. *Food Hydrocolloids*, 14, 287-294.
- Mandala, I. G., Palogou, E. D. & Kostaropoulos, A. E. (2002). Influence of preparation and storage conditions on texture of xanthan–starch mixtures. *Food Engineering*, 53(1), 27-38.
- McClements, D. J. (2002). Theoretical prediction of emulsion color. *Advances in Colloid and Interface Science*, 97, 63-89.
- Mohammad Amini A. (2007). Extraction optimization of Balangu seed gum and effect of Balangu seed gum on the rheological and sensory properties of Iranian flat bread, MSc thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
- 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.
- Naghibi, F., Mosaddegh, M., Mohammadi Motamed, S. & Gorbani, A. (2005). Labiatae family in folk medicine in Iran: from ethnobotany to pharmacology. *Iranian Phamaceutical Research*, 2, 63-79.
- Naji, S., Razavi, S. M. A. & Karazhiyan, H. (2012). Effect of thermal treatments on functional properties of cress seed (*Lepidium sativum*) and xanthan gums: A comparative study. *Food Hydrocolloids*, 28,75-81.
- Naji, S., Razavi, S. M. A., Karazhiyan, H. & Koocheki, A. (2012). Influence of thermal treatments on textural characteristics of cress seed. *Electronic environmental, agricultur and food chemistry*, 11(3), 222-237.
- Rao, M. A. & Keney, J. F. (1975). Flow properties of selected food gums. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 8, 142-148.
- Razavi, S. M. A. & Mohammadi Moghaddam, T. (2011). Influence of different substitution levels of lallemantia royleana seed gum on textural characteristics of selected hydrocolloids. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural & Food Chemist*, 10(8), 2826-2837.
- Razavi, S. M. A., Mortazavi, S. A., Matia-Merino, L., Hosseini-Parvar, S. H., Motamedzadegan, A. & Khanipou, E. 2009. Optimisation study of gum extraction from Basil seeds (*Ocimum basilicum* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, 44,1755-1762.
- Saha, D. & Bhattachaya S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *Food Science and Technology*, 47(6),587-597.
- Salehi, F., Kashaninejad, M. & Behshad, V. (2014). Effect of sugars and salts on rheological properties of Balangu seed (*Lallemantia royleana*) gum. *International Journal of Biol Macromol*, 67,16-21.
- Salehi, F., Kashaninejad, M. (2014). Effect of Different Drying Methods on Rheological and Textural Properties of Balangu Seed Gum. *Drying Technology: An International Journal*, 32:6, 720-727.
- Schmidt, K. A., Smith, D. E. (1999). Rheological properties of gum and milk protein interactions. *Dairy Science*, 75(1), 36-42.
- Shinoda, K. & Saito, H. (1969). The stability of O/W type emulsions as functions of temperature and the HLB of emulsifiers: The emulsification by PIT- meth. *Colloid and Interface Science*, 30, 258-263
- Sworn, G. (2000). Xantan gum. In: G. O. Philips, &P. A. WILLIAMS (Eds), *Handbook of Hydrocolloids*. (pp. 103-115) Cambridge: Woodhead Publishing
- Szczesniak, A. S. & Farkas, E. (1962). Objective characterization of the mouth feel of gum solutions. *Food Science*, 27, 381-385.
- Ven, C. V. d. & Courvoisier, C. (2007). High pressure versus heat treatments for pasteurization and sterilization of model emulsions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8, 232-236.
- Williams, D.P., Sadar, L.N. & Lo, Y.M. (2009). Texture stability of hydrogel complex containing curdlan gum over multiple freeze-thaw cycles. *Food Processing and preservation*, 33,126-139.
- Yadav, M. P., Johnston, D. B., Hotchkiss, A. T. & Hicks, K. B. (2007). Corn fiber gum a potential gum Arabic replacer for beverage flavor emulsification. *Food Hydrocolloids*, 21, 1022–1024
- Yagoobi-Soure, A., Alizadeh-Khaled, M. & Rezaad Bari, M. (2013). Application of image processing for determination of L*, a*andb*indices in color measurementof foods. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology(In Farsi)*. 23:3, 412-421
- Yamazaki, E., Kurita, O. & Matsumura, Y. (2009). High viscosity of hydrocolloid from leaves of *Corchoruse olitorius* L. *Food Hydrocolloids*, 23, 655-660.
- Yanes, M., Duran, L. and Costell, E. (2002). Effect of hydrocolloid type and concentration on flow behavior and sensory properties of milk beverages model systems. *Food Hydrocolloids*, 16(6), 605-611.