Archive of SID

علوم و فناوری غذایی / پائیز ۱۳۸۸ / سال اول / شماره ی دوم
Food science and technology /Fall 2009 / No2 / Vol 1

بررسی خصوصیات جریان پذیری خمیر خرما

حجت کاراژیان [۱] ، محمد علی رضوی [۲]

[۱] عضو هیات علمی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تربت حیدریه(مسوول مکاتبات)

پست الکترونیک: hojjat_karazhiyan@yahoo.com

[۲] دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۸۸/۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۸۸/۳/۲۶

چکیده

نوع خرمای ایران درمیان تعداداندک کشورهای تولیدکننده بی نظیر است ویکی از فرآورده های صادراتی به شمار می رود. باهسته گیری و درادامه اکسترود کردن خرماهای نرم شده می توان یک محصول نیمه جامد به نام خمیر خرما تهیه کرد. از خواص مهم فیزیکوشیمیایی این محصول ویژگی های رئولوژیکی و جریان پذیری این فرآورده می باشد. هدف از این تحقیق بررسی خواص جریان پذیری خمیر خرمای تولیدی در کشورمان می باشد.ویژگی‌های جریان و پارامترهای رئولوژیکی با استفاده از ویسکومتر دورانی مجهز به یک سیرکولاتور حرارتی انجام پذیرفت. داده های تنش برشی در برابر سرعت برشی با ۶ مدل مشهور به نام های قانون توان (Power law) ، پلاستیک بینگهام(Bingham plastic) ، مدل هرشل بالکلی (Herschel-Bulkley) ، مدل کاسون(Casson) ، مدل سیسکو(Sisko) و مدل ووکادلو(Vocadlo) برازش شدند.وابستگی ویسکوزیته به دما با استفاده از مدل آرنیوس مورد بررسی قرار گرفت. خمیر خرما یک رفتار غیر نیوتنی مشخصا شل شونده با برش از خود نشان داد. ویسکوزیته با افزایش دما کاهش پیدا کرد. همچنین بهترین مدلی که در تمام دماها نمونه‌ها را توصیف کرد مدل کاسون بود.

واژه های کلیدی: خمیر خرما ، رفتار جربان ، خواص رئولوژیکی ، مدل آرنیوس

۱-مقدمه

خواص رئولوژیکی مواد غذایی برپایه ی تغییر شکل یا جریان یافتن آن ها به هنگامی که در معرض تنش قرار می‌گیرند ، استوار می‌باشد (۸) . مواد غذایی را می‌توان براساس حالت آن ها به جامد ، نیمه‌جامد و مایع تقسیم‌بندی نمود. مواد غذایی مایع و نیمه‌جامد ، گستره ی وسیعی از محصولات غذایی را با رفتارهای رئولوژیکی گوناگون تحت پوشش قرار می‌دهند (۴) .داده‌های رئولوژیکی در عرصه‌های مختلف صنعت مواد غذایی استفاده می‌شود که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (۹).

۱ـ محاسبات مهندسی فرآیند شامل دامنه ی گسترده‌ای از تجهیزات نظیر لوله‌ها ، پمپ‌ها، اکسترودرها ، همزن‌ها ، مبدل‌های حرارتی ، هموژنایزرها و غیره

www.SID.ir

Archive of SID

۲ـ تعیین عملکرد اجزای موادغذایی در تولید محصول جدید

۳ـ کنترل کیفیت محصول میانی یا نهایی

۴ـ تعیین زمان ماندگاری مواد غذایی

۵ـ ارزیابی بافت مواد غذایی براساس همبستگی با داده‌های حسی

در بسیاری از عملیات فرآوری مواد غذایی ، دانستن ویسکوزیته ی سیال در حال فرآوری ضروری است. چون با دانستن آن می‌توان مناسب ترین دستگاه را انتخاب کرد. ویسکوزیته طی برخی عملیات فرآوری ممکن است به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر یابد. این موضوع در فرآیندهای صنعتی مانند گرمایش ، سرمایش ، هموژنیزاسیون ، تغلیظ و همچنین در بسیاری از تخمیرهای صنعتی توسط قارچ‌ها مشاهده می‌شود. بنابراین باید در طراحی این فرآیندها تغییرات ویسکوزیته در نظر گرفته شود. از دیدگاه کنترل کیفی، اندازه‌گیری ویسکوزیته ی مواد غذایی بو یژه آن هایی که ما انتظار داریم دارای قوام ویژه‌ای باشند ، از اهمیت بسزایی برخوردار است. به عنوان مثال در این مورد می‌توان از خامه ، ماست ، رب گوجه‌فرنگی و سس خردل نام برد (۴) .

خواص رئولوژیکی پالپ خمیرخرما در بریکس‌های ۱۵و ۴۵ درجه و کنسانتره خرما در بریکس ۷۳ درجه آنالیز شد. پارامترهای رفتار جریان با مدل‌های رئولوژیکی مختلفی از قبیل مدل قانون توان ومدل بینگهام تعیین شدند. همچنین اثر دمابر روی خواص رئولوژیکی کنسانتره و پالپ خرما هم بررسی شد و انرژی فعال‌سازی برطبق مدل آرنیوس محاسبه شد. نتایج تحقیقات نشان داد که پالپ خرما رفتار سودوپلاستیکی از خود نشان می‌دهدو شاخص رفتار جریان آن بین ۰ و ۱ است و ضریب ثابت K با افزایش مواد جامد محلول به طور نمایی افزایش می‌یابد و در دماهای بالاتر به سرعت کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده شد که درجه حرارت اثر نسبتا کمی بر شاخص رفتار جریان سیالات غیرنیوتنی سودوپلاستیک دارد. همچنین نتایج تحقیقات در زمینه ی کنسانتره خرما با بریکس ۷۳ ، نشان داد که مقادیر K (شاخص قوام) و n (اندیس رفتار جریان) به تدریج با افزایش دما کاهش می‌یابند و همچنین مقادیر ویسکوزیته ی پلاستیک و تنش تسلیم با افزایش دما کاهش پیدا می‌کنند. همچنین نتایج حاصل از مدل آرنیوس نشان داد که با افزایش مواد جامد محلول پالپ خرما، انرژی فعال‌سازی هم افزایش می‌یابد .(۳)خواص فیزیکوشیمیایی خمیرهای خرما هم توسط احمد و راماسوامی ارزیابی شد. آن ها پارامترهای مختلفی را مورد بررسی قرار دادند. اندازه‌گیری های رئولوژیکی بیانگر طبیعت ویسکوالاستیک خمیر خرما بود (۱) .

نتایج حاصل از بررسی منابع بیانگر این مطلب است که اطلاعات کمی در زمینه خصوصیات رئولوژیکی و خمیر خرما وجود دارد.هدف کلی از اجرای این پژوهش بررسی رفتار رئولوژیکی خمیر خرمای ایرانی و تعیین مدل رئولوژیکی مناسب

www.SID.ir

Archive of SID

برای توصیف رفتار آن می‌باشد که می‌تواند در مباحث مهندسی تولید و نگه داری صحیح و مناسب این محصول مفید باشد. به طور دقیق‌تر اهداف موردانتظار از این پژوهش عبارتند از:

۱ـ بررسی رفتار مستقل از زمان خمیر خرما به کمک مدل‌های رئولوژیکی مختلف و تعیین مناسب ترین مدل جهت توصیف این رفتار.

۲ـ بررسی رفتار جریان و اثر دما بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر خرما و مطالعه ی وابستگی دمایی نمونه‌ها

۲-مواد و روش ها

۲ـ۱ـ مواد

واریته ی خرما به نام مرداب سنگ از استان کرمان ایران جمع‌آوری شده و خمیرآن توسط شرکت صابری در مشهد تولید شد.

۲ـ۲ـ آزمون‌ها

۲ـ۲ـ۱ـ آزمون‌های شیمیایی

مواد جامد محلول (بریکس) توسط یک رفراکتومتر دستی (مدل $PAL-\alpha$ آتاگو کره) و مواد جامد کل (TS) توسط روش خشک کردن تحت خلأ در دمای $70^{\circ}C$ درجه ی سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت و در فشار ۲۵ میلیمتر جیوه اندازه‌گیری شد. pH نمونه‌ها هم توسط یک pH متر (مدل جنوی3020 انگلستان) آنالیز شدند.

۲ـ۲ـ۲ـ اندازه‌گیری ویژگی‌های جریان

اندازه‌گیری پارامترهای رئولوژیکی با استفاده از ویسکومتر دورانی (مدل بوهلین، ویسکو ۸۸ ، بریتانیا) مجهز به یک سیرکولاتور حرارتی (جولابو، مدل F12-MC، آلمان) انجام پذیرفت. برای تمام نمونه‌ها و در تمامی سطوح دمایی از هندسه نوع مخروط و صفحه (مخروط به قطر ۳۰ میلیمتر و زاویه 5°) استفاده گردید. نوع پروب مورد استفاده با توجه به دامنه ی ویسکوزیته ی نمونه انتخاب گردید. لازم به ذکر است که دستگاه ویسکومتر مجهز به نرم‌افزار کامپیوتری بوده ، شرایط کاری دستگاه کاملا قابل کنترل می باشد. از قابلیت های دستگاه ویسکومتر بوهلین می توان به ترسیم همزمان منحنی های سرعت برشی ـ تنش برشی و سرعت برشی ـ ویسکوزیته ی ظاهری اشاره نمود. همچنین دستگاه مذکور این قابلیت را دارد که آزمون ویسکومتری را در سرعت برشی ثابت با زمان اعمال برش متغیر و یا در دامنه‌های مختلفی از

www.SID.ir

Archive of SID

سرعت برشی و با فواصل زمانی ثابت انجام دهد. همزمان با انجام آزمون ویسکومتری ، تمامی داده‌های مربوطه از جمله سرعت برشی ، تنش برشی ، ویسکوزیته ی ظاهری ، دمای آزمون ، سرعت دورانی پروب اندازه‌گیری و همچنین تعداد نقاط آزمایشی (تعداد دفعات اعمال نیروی برشی) توسط دستگاه بر روی صفحه ی نمایش قابل پیگیری می‌باشد.

منحنی های جریان در ۴ سطح دمایی ۲۰،۴۰،۶۰ و ۷۰ درجه ی سانتیگراد با افزایش سرعت برشی از ۱۴ به ۵۰۰ S-1 تعیین شدند. سپس داده های تنش برشی در برابر سرعت برشی با ۶ مدل مشهور به نام های قانون توان (Power law) (معادله ۱) ، پلاستیک بینگهام(Bingham plastic) (معادله ۲) ، مدل هرشل بالکلی (Herschel-Bulkley) (معادله ۳) ، مدل کاسون(Casson) (معادله ۴) ، مدل سیسکو(Sisko)(معادله ۵) و مدل ووکادلو(Vocadlo)(معادله ۶) برازش شدند (۸) .

جهت تعیین بهترین مدلی که قادر به توصیف ویژگی های جریان مستقل از زمان نمونه های خمیرهای خرما می باشد از ضریب تعیین (R2) به دست آمده از مدل های رئولوژیکی فوق الذکر استفاده شد.

$$\tau = k\dot{\gamma}^{n} \quad (۱)$$

که τ تنش برشی (Pa) است و $\dot{\gamma}$ سرعت برشی (S-1) و k ضریب قوام (Pa.sn) وn شاخص رفتار جریان (بدون بعد) است.

$$\tau = \tau_{0B} + \eta_B \dot{\gamma} \quad (۲)$$

که τoB تنش تسلیم بینگهام(Pa) وηB ویسکوزیته ی پلاستیک بینگهام (Pa.s) است.

$$\tau = \tau_{0H} + k_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (۳)$$

کهτ0H تنش تسلیم هرشل بالکلی ، kH شاخص قوام مدل هرشل بالکلی وnH شاخص رفتار جریان این مدل می باشد.

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{k_{0C}} + k_C \sqrt{\dot{\gamma}} \quad (۴)$$

کهk0C وkC به ترتیب عرض از مبدا وشیب منحنی $(\dot{\gamma})^{0.5}$ در برابر $(\tau)^{0.5}$ می باشند. از این رو تنش تسلیم کاسون (τ0C, Pa) و ویسکوزیته ی کاسون (ηC, Pa.s) به ترتیب از مجذور عرض از مبدا و شیب خط محاسبه شدند [τ0C=(k0C)2, ηC=(kC)2].

$$\eta = \eta_\infty + k\dot{\gamma}^{n-1} \quad (۵)$$

کهη ویسکوزیته ظاهری(Pa.s)وη∞ ویسکوزیته در سرعت برشی بالا است . (Pa.s)

$$\tau = \left(\tau_0^{\frac{1}{n_v}} + k_v\dot{\gamma}\right)^{n_v} \quad (۶)$$

کهkv شاخص قوام برای مدل ووکادلو است وnv شاخص رفتار جریان این مدل می باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین بررسی تاثیر دما بر ویسکوزیته ی مواد غذایی نیمه جامد می تواند با مدل آرنیوس به خوبی قابل توصیف باشد:

$$\eta = \eta_0 \exp(E_a / RT) \quad (۷)$$

که$\eta 0$ ضریب ثابت یا ویسکوزیته در دمای بینهایت (Pa.s) است، Ea انرژی فعال سازی (KJ/Kmol)وTدمای مطلق(K)وR ثابت عمومی گازها(KJ/Kmol.K) می باشد.

۳-نتایج و بحث

۳-۱- ویژگیهای شیمیایی خمیرخرما

نتایج ویژگی های شیمیایی نمونه های خمیر خرما در جدول ۱ آورده شده است.

۳ـ۲ـ رفتار جریان

پارامترهای رئولوژیکی خمیرخرما در دماهای مختلف اندازه‌گیری و داده‌های تنش برشی ـ سرعت برشی خمیرهای خرما با مدل‌های رئولوژیکی مختلف بررسی شد (جدول۲) . از جدول مشاهده می‌شود که مدل سیسکو و ووکادلو برای خمیر خرما در دماهای مختلف و در داده‌های رئولوژیکی قابل برازش نیستند. مدل‌های قانون توان و بینگهام در دماهای پایین به خوبی داده‌های رفتار جریان را برازش کردند ولی در دماهای بالا نمی‌توانند رفتار جریان را توصیف کنند. مدل هرش ـ بالکلی برای توصیف خمیر خرما در دماهای بالامناسب نبود. در حالی که مدل کاسون به خوبی داده‌های به دست آمده تنش برشی ـ سرعت برشی خمیر خرما را توصیف می‌کند . تنش تسلیم کاسون $(\tau_{\circ C})$ با افزایش دما کاهش پیدا کرد. افزایش دما ، تنش تسلیم بینگهام ($(\tau_{\circ B})$ و ویسکوزیته ی بینگهام (η_B) را برای خمیر خرما کاهش داد (جدول ۲).

مقادیر ویسکوزیته ی ظاهری نمونه ی خمیر خرما در سرعت‌های برشی مختلف در شکل ۱ به عنوان تابعی از دما نشان داده شده است. این شکل مبین رفتار رقیق‌شونده با برش (شل‌شونده یا سودوپلاستیک) خمیرخرما است. ویسکوزیته نمونه خمیر خرما با افزایش سرعت برشی کاهش یافت. کاهش ویسکوزیته با افزایش سرعت برشی به عدم درگیری زنجیره‌های ماکرومولکولی تحت اثر میدان برشی(هم راستا شدن با جهت برش) و همچنین شکستن احتمالی ساختار در محلول بستگی دارد. مقدار ویسکوزیته در سرعت برش پایین مسوول ایجاد قوام در فرآورده غذایی است(۶). در حالی که مقدار ویسکوزیته در سرعت برش بالا بیانگر ویسکوزیته ی فرآورده در مراحل مختلف فرایند است. از آن جا که ویسکوزیته ی محلول با افزایش سرعت برشی کاهش می‌یابد ، کارآیی پمپ کردن این گونه سیالات با افزایش سرعت جریان پمپ افزایش می‌یابد (۷). در شکل ، کاهشی در ویسکوزیته با افزایش دما مشاهده می‌شود. این رفتار ممکن است به دلیل افزایش در تحرک و جنبش ماکرومولکول‌ها در صمغ دانه شاهی باشد که مقاومت کم تری به جریان را نشان می‌دهند.

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین سست شدن اتصالات بین مولکول‌های موجود در محلول در دماهای بالا نیز می تواند دلیل دیگری برای توضیح این رفتار باشد.

ال سماهی و همکاران (۲۰۰۶) ویژگی‌های رئولوژیکی پالپ خرما و کنسانتره خرما را آنالیز کردند. آن ها گزارش کردند که پالپ خرما یک سیال سودوپلاستیک است و نشان دادند که شاخص قوام K با افزایش میزان مواد جامد محلول عصاره به طور نمایی افزایش پیدا می‌کند و در دماهای بالاتر به سرعت کاهش می‌یابد. دما اثر کمی بر شاخص رفتار جریان (n) نمونه‌های پالپ خرما می‌گذارد (۳) . وابستگی ویسکوزیته به دما با استفاده از مدل آرنیوس مورد بررسی قرار گرفت . شکل ۲ رفتار مدل آرنیوس را بین داده‌های ویسکوزیته ی ظاهری و عکس دمای مطلق نشان می‌دهد. شکل نشان می‌دهد که تغییر در ویسکوزیته ی ظاهری با دما از مدل آرنیوس تبعیت می‌کند. پذیرش خوبی (R۲)همراه با رابطه ی خطی ملاحظه شد. انرژی فعال‌سازی نشان دهنده ی مانع (سد) انرژی است که باید قبل این که پروسه ی جریان ابتدایی اتفاق بیفتد ، بر آن غلبه کند (۸) . انرژی فعال‌سازی (Ea) حساسیت ویسکوزیته به تغییرات دمایی را نشان می‌دهد.

ال سماهی و همکاران (۲۰۰۶) انرژی فعال‌سازی را برای پالپ خرما و کنسانتره خرما تعیین کردند و گزارش کردند که همچنان که مواد جامد محلول پالپ‌های خرما افزایش می‌یابد ، انرژی فعال‌سازی افزایش می‌یابد. کنسانتره‌های خرما انرژی فعال‌سازی بیش تری را در مقایسه با مقادیر به دست آمده برای خمیرهای خرما نشان دادند. انرژی‌های فعال‌سازی مشاهده شده در این تحقیق بسیار بیش تر از پالپ‌های خرما در بریکس‌های ۱۵ و ۴۵ درجه و کم تر از کنسانتره‌های خرمایی بودند که توسط ال سماهی و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شده بود.

داده‌های انرژی فعال‌سازی و η_o که در این پژوهش به دست آمدند هم بیش تر از داده‌هایی بودند که برای عصاره‌های تمبر هندی گزارش شده است (۲) . به هرحال مقادیر ثابت‌ها با داده‌های حاصل از آنالیز نشاسته در غلظت ۴٪ و پکتین در غلظت ۵٪ بسیار نزدیک بودند (۵) .

جدول ۱- نتایج آنالیز مواد جامد کل، مواد جامد محلول و pH

پارامترها	خمیر خرما
مواد جامد کل	۷۰/۵
مواد جامد محلول	۶۰
pH	۴/۸

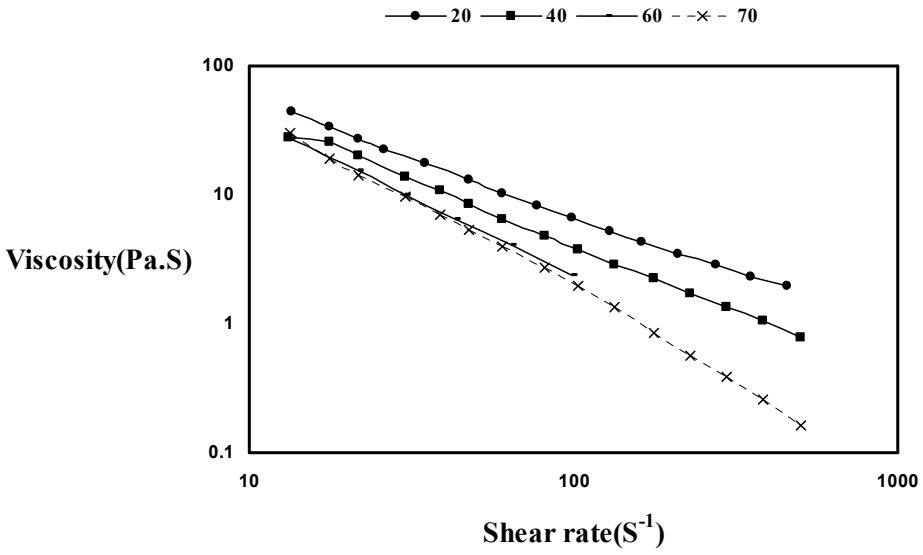
www.SID.ir

Archive of SID

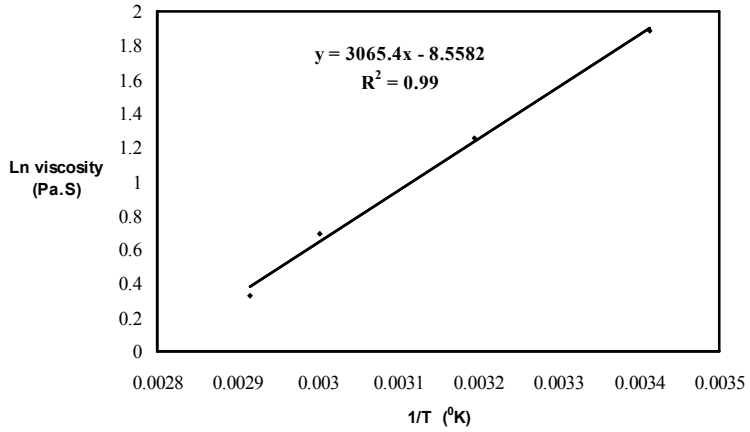
جدول۲- پارامترهای رفتار جریان خمیرخرمای به دست آمده توسط مدل‌های رئولوژیکی در دماهای مختلف

دما	مدل بینگهام			مدل کاسون			مدل هرشل-بالکلی				مدل قانون توان		
	τoB	ηB	R^2	τ0C	ηC	R^2	τ0H	kH	nH	R^2	k	n	R^2
۲۰	۵۸۳/۷	۰/۶۹	۰/۹۸	۵۱۹/۰	۰/۰۹	۰/۹۷	۵۷۴/۰۶	۱/۴۲	۰/۹۰	۰/۹۹	۴۱۷/۴	۰/۱۰۸	۰/۸۷
۴۰	۴۰۸/۱	۰/۱۹	۰/۷۷	۴۱۷/۵	۰/۰۱	۰/۶۳	۲۵۹/۵	۱/۳۴	۰/۸۱	۰/۸۱	۴۴۸/۱	۰/۰۵۵	۰/۵۸
۶۰	F	F	F	۳۶۵/۳	۰/۰۹	۰/۶۶	F	F	F	F	F	F	F
۷۰	F	F	F	۲۷۰/۶	۰/۱۹	۰/۷۸	F	F	F	F	F	F	F

F به معنای عدم توانایی توصیف مدل رئولوژیکی مورد نظر با داده های نمونه ها می باشد.



شکل ۱ـ داده‌های ویسکوزیته ی ظاهری ـ سرعت برشی خمیر خرما در دماهای مورد بررسی



شکل ۲ـ اثر دما بر ویسکوزیته ی خمیر خرما

(مقادیر انرژی فعال‌سازی در محدوده ی دمایی ۲۰ـ۷۰ $^{\circ}C$ محاسبه شده است).

www.SID.ir

Archive of SID

۴-نتیجه گیری

خمیر خرما یک رفتار غیر نیوتنی از خود نشان داد. ارتباط بین ویسکوزیته و سرعت برشی غیرخطی بود. خمیرهای خرما رفتار شل‌شونده با برش و سودوپلاستیک از خود نشان دادند. بهترین مدلی که در تمام دماها نمونه‌ها را توصیف کرد مدل کاسون بود. ویسکوزیته با افزایش دما کاهش می‌یابد.

۵-منابع

1-Ahmed, J. and Ramaswamy, H. S. 2006. Physico-chemical properties of commercial date pastes (Phoenix dactylifera). Journal of Food Engineering, 76, 348–352.
2-Ahmed, J., Ramaswamy, H. S. and Sashidhar, K. C. 2007. Rheological characteristics of tamarind (Tamarindus indica L.) juice concentrates. Lebensmittel- Wissenschaft und-Technologie (LWT), 40, 225–231.
3-El-Samahy, S.K., Abd El-Hady, E.A., Mostafa, G.A. and Youssef, K.M.2006. Rheological properties of date pulp and concentrate. Proceedings of the 4th International Symposium on Food Rheology and Structure, 583-584.
4-Lewis M.J.1990. physical properties of foods and food processing systems. Ellis Horwood limited, England
5-Marcotte, M.and Ramaswamy, H.S. 2001. Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. Food Research International, 34, 695-703.
6-Morris, E.R., and Taylor, L.J. 1982. Oral perception of fluid viscosity. Progress in Food and Nutrition Science, 6: 285-296.
7-Race, S.W. 1991. Improved product quality through viscosity measurement. Food Technology, 45: 86-88.
8-Rao, M.A., 1999. Rheology of Fluids and Semisolid Foods: Principles and Applications. Aspen Publishers. Gaithersburg. MD. USA, pp. 1-24.
9-Steffe, J.F.1996.Rheological methods in food process engineering. Freemun press, USA.

www.SID.ir