

بررسی رفتار رئولوژیک و بافتی محلول های شیر، کنسانتره و قند مایع خرما در مقایسه با محلول های شکر

ماریه مردانی^۱، عسگر فرحناکی^۲، غلامرضا مصباحی^{۳*}، محمد تقی گل‌مکانی^۳،
مهسا مجذوبی^۴

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد بخش علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

۲- استاد بخش علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

۳- استادیار بخش علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

۴- دانشیار بخش علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۵ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۱۰)

چکیده

شناخت رفتار رئولوژیک شیر، کنسانتره و قند مایع خرما می‌تواند به کاربرد صنعتی این محصولات، بویژه در جایگزینی آنها با شکر، کمک کند. در این پژوهش، رفتار رئولوژیک شیر، کنسانتره و قند مایع خرما و همچنین محلول های شکر با استفاده از ویسکومتر بروکفیلد در غلظت های ۵۰، ۵۵، ۶۰ و ۶۵ درجه بریکس در سطح دمایی ۲۵ درجه سانتی گراد در سرعت برشی $1-480-80$ مورد ارزیابی قرار گرفت. متغیر های مورد نظر شامل نوع و غلظت نمونه ها بودند. همچنین برای بررسی بافت نمونه های شیر، کنسانتره و قند مایع خرما و شکر معمولی در غلظت های ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه بریکس از دستگاه بافت سنج استفاده شد. نتایج حاصل از این پژوهش، بیانگر آن بود که در تمام غلظت های مورد بررسی، رفتار رئولوژیک نمونه ها از مدل پاورلا تبعیت می‌کند. در شیر خرما با افزایش غلظت از ۵۰ به ۶۵ درجه بریکس، شاخص قوام (K) افزایش، ضریب رفتار جریان (n) کاهش و رفتار رقیق شونده با برش، افزایش یافت، اما در نمونه های دیگر، در تمامی غلظت ها، رفتار نیوتنی مشاهده گردید. لذا می‌توان مشابهت رفتار رئولوژیک این سه محصول را در فرایندهای مختلف در کارخانه های مصرف کننده انتظار داشت. همچنین در بین غلظت های استفاده شده در ویسکومتر، غلظت ۶۵ درجه بریکس، بالاترین شاخص قوام را داشت و در بین تمامی نمونه ها، شیر خرما در همه غلظت ها، دارای بالاترین شاخص قوام بود. این خصوصیت نشان می‌دهد که با مصرف ماده قوام دهنده کمتری در غذاهای حاوی شیر خرما می‌توان به قوام مناسب دست یافت. داده های حاصل از دستگاه بافت سنج نیز تأیید کننده این نتایج بود.

کلید واژگان: شیر خرما، کنسانتره خرما، قند مایع خرما، رفتار رئولوژیک، خواص بافتی

* مسئول مکاتبات: mesbahi@shirazu.ac.ir

۱- مقدمه

خواص رئولوژیک غذاهای مایع یا نیمه جامد، از پارامترهای کلیدی برای فعالیت های صنایع غذایی مانند کنترل کیفیت، ارزیابی پذیرش مصرف کننده، ارزیابی بافت، طراحی و کنترل فرایند و روشن سازی ساختار و ترکیب غذاها می باشد [۱]. رفتار رئولوژیک فراورده های مایع و سیال خرما فاکتوری مهم و تاثیر گذار بر فرایندهایی مانند جوشاندن، کریستالیزاسیون (تبلور)، جداسازی و پمپ کردن است. خصوصیات جریان یی یک سیال را به طور معمول می توان به کمک ویسکومتر از طریق رابطه بین تنش برشی^۱ و سرعت برشی^۲ تعیین کرد. اندازه گیری ویسکوزیته (گرانروی) برای سیالات نیوتنی از نسبت تنش برشی به سرعت برشی قابل محاسبه است [۲]. رفتار نیوتنی فقط به دما و ترکیب ماده وابسته است. رابطه تنش برشی و سرعت برشی در دمای ثابت، خطی است (ویسکوزیته ثابت باقی می ماند)، در حالی که در مایعات بیولوژیک پیچیده (مانند خون، غذاها و ...) خطی نیست و تغییرات ویسکوزیته به میزان تنش برشی و سرعت برشی بستگی دارد. مایعات بیولوژیک می توانند بیش از یک نوع رفتار رئولوژیک را نشان دهند که فقط به دما و نوع ترکیبات وابسته نیست. یک راه ساده برای توصیف رفتار غیر نیوتنی مایعات در یک سرعت برشی مشخص، توسط رابطه پاورلا^۳ صورت می گیرد.

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad \text{رابطه ۱}$$

که در این رابطه τ تنش برشی (Pa)، K ضریب قوام^۴ (Pa.s)، $\dot{\gamma}$ سرعت برشی (s^{-1}) و n شاخص رفتار جریان^۵ است. از رابطه ۱ شاخص قوام و ضریب رفتار جریان قابل اندازه گیری است. K به طور تقریبی ویسکوزیته سیال را بیان می کند، در حالی که n نشان دهنده رفتار سیال است [۲]. همچنین آزمون Back extrusion برای ارزیابی و حل مشکلات رئولوژیک مواد غذایی در طول فراوری بسیار مفید است. در این آزمون که Annular Pumping نیز نامیده می شود یک پروب (پیستون) سیلندری، نیروی رو به پائین به سیال وارد می کند و سیال از فضای باقی مانده ظرف در اطراف پیستون به طرف بالا جریان می یابد [۳].

در پژوهشی که در سال ۱۹۹۸ توسط Hobani صورت گرفت رفتار رئولوژیک کنسانتره سه رقم از خرما (Khudary, Sufri و Serri) با غلظت های (درجات بریکس) ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ مورد ارزیابی قرار گرفت. کنسانتره ها در غلظت های ۲۰ و ۳۰ در محدوده دمایی ۸۵-۲۵ درجه سلسیوس، رفتار نیوتنی نشان دادند، در حالی که در دیگر غلظت ها (۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰) در دمای ۹۵-۲۵ درجه سلسیوس از مدل پاورلا تبعیت کرده و رفتار غیر نیوتنی سودوپلاستیک^۶ نشان دادند. دما تاثیر مشخصی بر ضریب قوام کنسانتره هر سه نوع واریته در غلظت ۴۰ دارد. ضریب قوام با افزایش دما، کاهش می یابد و انرژی فعال سازی با افزایش غلظت، افزایش می یابد [۴].

در پژوهشی که توسط Astolfi-Filhoa در سال ۲۰۱۱ انجام شد، رفتار رئولوژیک عصاره های نیشکر فاقد تیمار (بریکس ۱۷/۹)، شفاف سازی شده (بریکس ۱۸/۲) و مخلوط شده (بریکس ۱۸) در محدوده دمایی از ۲۷۷ °k تا ۳۷۳ °k با استفاده از ویسکومتر مطالعه شد. این سیالات، رفتار نیوتنی نشان دادند و منحنی رفتار جریان آن ها به خوبی با مدل نیوتنی مطابقت داشت. ویسکوزیته عصاره ها در محدوده Pa.s^{-۳} ۵x۱۰ تا Pa.s^{-۳} ۰/۰۴x۱۰ بود. در این تحقیق، وابستگی ویسکوزیته به دما به طور موفقیت آمیزی از طریق معادله آرنیوس مشخص شد [۵].

در پژوهشی که توسط Gabsi و همکاران در سال ۲۰۱۳ انجام شد از ویسکومتر چرخشی برای تعیین رفتار جریان محلول شیر خرما در چهار دمای متفاوت (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد) و چهار غلظت (۱۷، ۲۴، ۳۱ و ۳۹ درجه بریکس) استفاده گردید. مدل پاورلا برای داده های سرعت برشی در مقابل تنش برشی برای به دست آوردن ضریب قوام و شاخص رفتار جریان مناسب بود. هر دو فاکتور مذکور به تغییرات دما و غلظت حساس بودند. ویسکوزیته ظاهری با افزایش غلظت شیر خرما و کاهش دما، افزایش یافت [۶]. اهداف کلی پژوهش حاضر، بررسی رفتار رئولوژیک و بافتی فراورده های مایع حاصل از خرما در مقایسه با محلول های شکر می باشد که داده ها و نتایج بدست آمده، در کاربردهای صنعتی این فراورده ها می تواند مفید واقع شود.

1. Shear-stress
2. Shear-rate
3. Power law
4. Consistency coefficient
5. Flow behavior index

6. Pseudoplastic

۲- مواد و روش ها

مواد اولیه مورد نیاز شامل: شیر، کنسانتره و قند مایع خرما (گونه شاهانی جهرم) از کارخانه مینو و شکر معمولی با نام رنکس (شرکت دلین مهر) تهیه شد. تجهیزات مورد استفاده شامل: رفراکتومتر مدل CARL Zeiss ساخت آلمان، ویسکومتر نوع DVII Pro Brookfield ساخت امریکا، ترازو با دقت 0.001 g مدل D-3660 شرکت اولمن آلمان، همزن آهنربایی (Hot plate) مدل MKG شرکت Ecolab آلمان، دستگاه بافت سنج (Texture Analyser) ساخت شرکت TA-XT2i, Stable Microsystems انگلستان بود.

در این تحقیق منظور از شیر خرما، شیر استخراجی از خرما می باشد که تنها عملیات تغلیظ تحت خلأ بر روی آن انجام شده است. منظور از کنسانتره خرما، شیر استخراجی خرما است که بر روی آن عملیات آنزیم زنی، رنگبری و تغلیظ انجام شده، اما عملیات یون زدایی انجام نشده است و همچنین منظور از قند مایع خرما، شیر خرمایی است که عملیات تصفیه شامل آنزیم زنی، رنگبری و یون زدایی به صورت کامل بر روی آن انجام گرفته و در نهایت تغلیظ شده است.

۲-۱- آماده سازی محلول ها

از هر کدام از نمونه ها شامل شیر، کنسانتره و قند مایع خرما و همچنین شکر، با استفاده از مربع پیرسن و مقدار تعیین شده آب، به صورت محلول هایی با غلظت های ۵۰، ۵۵، ۶۰، ۶۵ و ۷۰ درجه بریکس تهیه گردید.

۲-۲- بررسی خواص رئولوژیک محلول ها در

مقایسه با محلول های شکر

برای تعیین رفتار رئولوژیک شیر، کنسانتره و قند مایع خرما و محلول های شکر در غلظت های ۵۰، ۵۵، ۶۰ و ۶۵ درجه بریکس، از ویسکومتر بروکفیلد Cone and plate در سطح دمایی ۲۵ درجه سانتی گراد (دمای محیط) در سرعت برشی $480-80 \text{ s}^{-1}$ استفاده شد.

۲-۳- بررسی خواص بافتی محلول ها در

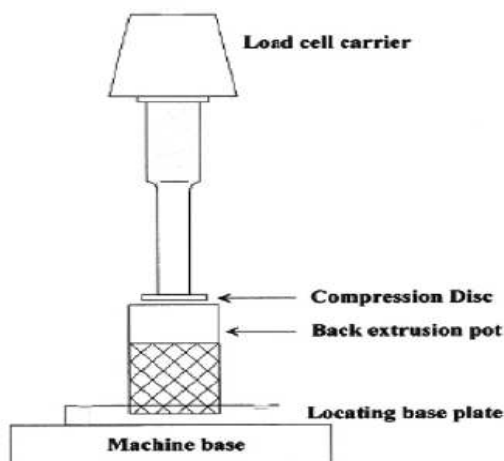
مقایسه با محلول های شکر

برای انجام آزمون بافتی Back extrusion (شکل ۱) با استفاده از دستگاه بافت سنج، از نمونه های شیر، کنسانتره و

قند مایع خرما و شکر معمولی دارای غلظت های ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه بریکس، به میزان ثابت ۵۰ میلی لیتر در بشر ۱۰۰ میلی لیتری ریخته شد. دمای انجام آزمون، ۲۰-۱۸ درجه سانتی گراد بود. برنامه ای که به دستگاه داده شد ثابت بود و شامل Pretest speed ۲ میلی متر بر ثانیه، Test speed ۲ میلی متر بر ثانیه، Post-test speed ۱۰ میلی متر بر ثانیه، Distance ۰/۸ میلی متر و Trigger force ۰/۵ گرم بود. پروب دستگاه (قطر ۴۰ میلی متر) به میزان ۸ میلی متر در بشر محتوی محلول ها فرو رفته و باعث اعمال نیرو به ماده غذایی گردید. نمونه از دو سمت پروب، بالا آمد. دستگاه پروفابلی داد که پارامتر های سفتی (Firmness)، قوام (Consistency)، پیوستگی (Cohesiveness) و شاخص ویسکوزیته (Index of viscosity) از آن قابل استخراج بودند [۷].

۲-۴- آنالیز آماری

در این پژوهش، آزمون ها حداقل در سه تکرار صورت گرفت و برای تجزیه و تحلیل نتایج از روش آنالیز واریانس و طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. مقایسه میانگین داده ها توسط آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام شد و تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS ۱۷ صورت گرفت.



شکل ۱- نمایشی از پروب دستگاه و نحوه قرار گیری نمونه زیر پروب در آزمون Back extrusion

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اثر غلظت بر خصوصیات رئولوژیک

محلول های شیر، کنسانتره و قند مایع خرما

ارقام موجود در جدول ۱ نشان دهنده این مطلب است که با افزایش غلظت شیر خرما از ۵۰ به ۶۵ در دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی گراد، شاخص قوام (K) افزایش، ضریب رفتار جریان (n) کاهش و رفتار رقیق شونده با برش افزایش یافت. گرچه این رفتار در شیر خرما بسیار مشهود است، اما در کنسانتره خرما، قند مایع خرما و محلول شکر در تمامی غلظت های ۵۰-۶۵ درجه بریکس در دمای محیط (۲۵ درجه سانتی گراد) رفتار نیوتنی مشاهده می گردد. رفتار رئولوژیک نمونه ها از مدل پاورلا تبعیت می کند. در هر دمایی، افزایش غلظت، باعث افزایش شاخص قوام می گردد. به دلیل زیاد بودن مواد مؤثر بر افزایش ویسکوزیته مانند ترکیبات پکتیکی و سلولزی در شیر، ویسکوزیته شیر به طور معناداری از کنسانتره و قند مایع خرما و محلول شکر بیشتر بود. وقتی که تصفیه و شفاف سازی صورت می گیرد و میزان مواد مؤثر بر ویسکوزیته، کاهش می یابد، شاخص قوام نیز کم می شود. خصوصیات رئولوژیک کنسانتره خرما، بسیار نزدیک به محلول شکر در بریکس های مشخص در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد است. قند مایع خرما در تمام بریکس های مطالعه شده، شاخص قوام و ویسکوزیته ای پائین تر از سه نمونه دیگر را نشان داد. در سطح آماری $p < 0/05$ نیز اختلاف معنی داری بین شاخص قوام در غلظت های مختلف مشاهده گردید، یعنی با افزایش غلظت، شاخص قوام افزایش یافت. در مطالعه ای که توسط الهی و همکاران صورت گرفت، بیان شد که ویسکوزیته قند مایع و شربت اینورت، کمتر از ویسکوزیته محلول ساکارز با مقدار ماده خشک برابر می باشد [۸]. رفتار رئولوژیک شیر خرما عاملی پر اهمیت در تولید قند مایع و فرایند های تصفیه مانند جوشاندن، تبلور، جداسازی و پمپ کردن است. در مطالعه ای که توسط Gabsi انجام شد، مدل پاورلا، مدل مناسبی برای شیر خرما بود و ویسکوزیته ظاهری با افزایش غلظت شیر خرما و کاهش در دما، افزایش یافت [۶]. در مطالعه ای که در سال ۲۰۰۷ توسط Razavi و همکاران صورت گرفت، رفتار رئولوژیک مخلوط خمیر کنجد کم چرب و شیر خرما بررسی

شد. همه مخلوط های خمیر کنجد/شیره خرما در همه دماها، رفتار غیر نیوتنی سودوپلاستیک نشان دادند. داده های تنش برشی در مقابل سرعت برشی کاملاً با مدل پاورلا مطابقت داشت [۹]. نتایج مطالعه ای که توسط Giner و همکاران بر روی عصاره گیلاس شفاف سازی شده صورت گرفت، نیز نشان دهنده رفتاری مشابه مایعات نیوتنی بود [۱۰]. طبق مطالعات Cepeda و Villaran عصاره میوه ها وقتی که پالپ پایینی دارند، رفتار نیوتنی نشان می دهند [۱۱]. در قند مایع خرما که بسیاری از ناخالصی های آن حذف گردیده، رفتار نیوتنی مشاهده می گردد و گرچه با افزایش غلظت آن، ویسکوزیته و ضریب قوام افزایش می یابد، اما رفتار آن همچنان نیوتنی باقی می ماند. در مطالعه ای که توسط Hobani انجام شد مشخص گردید که عصاره خرما با بریکس ۲۰ و ۳۰ در هر سه وارسته مورد بررسی (Sufri, Khudari و Serri) دارای رفتاری نیوتنی هستند و همان طور که انتظار می رود با افزایش میزان مواد جامد، ویسکوزیته ظاهری افزایش می یابد که با یک شیب تند در نمودار مشخص می شود. مدل پاورلا به خوبی رفتار جریان نمونه های عصاره خرما را توصیف می کند [۴]. Hassan در سال ۱۹۹۲ با بررسی عصاره خرما و وارسته Anbari، رفتاری مشابه با عصاره های وارسته های خرما مورد بررسی توسط Hobani تحت شرایط دمایی و غلظتی مشابه، مشاهده کرد [۱۲]. نتایج تحقیقات Hobani در سال ۱۹۹۸ بر روی عصاره های خرما نشان داد که ضریب قوام بر خلاف شاخص رفتار جریان، به شدت تحت تأثیر تغییرات دمایی است به طوری که این ضریب، با افزایش دما، کاهش می یابد. این تأثیر در غلظت های بالاتر ضعیف تر است که احتمالاً به علت بر هم کنش مولکول ها در نمونه هاست. چنانچه غلظت افزایش یابد، انرژی فعال سازی نیز افزایش می یابد [۴]. طبق مطالعات Cassano و همکاران، عصاره پرتقال تغلیظ شده مانند بسیاری از عصاره های تغلیظ شده میوه جات، رفتار غیر نیوتنی سودوپلاستیک نشان داده و از مدل پاورلا تبعیت می کند [۱۳]. فرایند تصفیه و شفاف سازی عصاره میوه ها، با روش های فیزیکی و شیمیایی، ویسکوزیته را کاهش می دهد و هر چه ویسکوزیته کاهش یابد، فرایند تغلیظ در مرحله آخر آسان تر و بیشتر انجام می گیرد [۱۴].

جدول ۱ مقایسه میانگین های مقادیر شاخص قوام (K) و ضریب رفتار جریان (n) بدست آمده از شیر خرمای در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و غلظت های مختلف*

R ²	n	K(mPa.s)	بریکس
۹۷/۹۰	۱/۰۵ ± ۰/۰۱ ^A	۱۱/۷۷ ± ۱/۰۶ ^D	۵۰
۹۴/۲۳	۰/۹۷ ± ۰/۰۱ ^B	۳۳/۷۳ ± ۲/۸۷ ^C	۵۵
۹۶/۸۷	۰/۹۶ ± ۰/۰۱ ^B	۶۰/۹۰ ± ۷/۶۵ ^B	۶۰
۹۹/۴۰	۰/۸۹ ± ۰/۰۱ ^C	۲۰۲/۵۰ ± ۸/۱۸ ^A	۶۵

* اعداد موجود در جدول میانگین سه تکرار ± انحراف معیار می باشند. میانگین های دارای حروف متفاوت دارای اختلاف معنی دار آماری در سطح $p < ۰/۰۵$ می باشند.

جدول ۲ مقایسه میانگین های مقادیر شاخص قوام (K) و ضریب رفتار جریان (n) بدست آمده از کنسانتره خرما در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و غلظت های مختلف*

R ²	n	K(mPa.s)	بریکس
۹۷/۷۳	۱/۰۵ ± ۰/۰۳ ^A	۸/۶۵ ± ۱/۳۸ ^D	۵۰
۹۷/۱۷	۱/۰۰ ± ۰/۰۳ ^B	۱۸/۸۰ ± ۲/۸۱ ^C	۵۵
۹۷/۳۷	۱/۰۰ ± ۰/۰۱ ^B	۳۹/۷۷ ± ۱/۸۵ ^B	۶۰
۹۸/۷۸	۰/۹۶ ± ۰/۰۱ ^C	۹۷/۲۵ ± ۴/۴۴ ^A	۶۵

* اعداد موجود در جدول میانگین سه تکرار ± انحراف معیار می باشند. میانگین های دارای حروف متفاوت دارای اختلاف معنی دار آماری در سطح $p < ۰/۰۵$ می باشند.

جدول ۳ مقایسه میانگین های مقادیر شاخص قوام (K) و ضریب رفتار جریان (n) بدست آمده از قند مایع خرما در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و غلظت های مختلف*

R ²	n	K(mPa.s)	بریکس
۹۷/۶۰	۱/۰۹ ± ۰/۰۵ ^A	۵/۹۶ ± ۰/۵۵ ^D	۵۰
۹۶/۷۸	۱/۰۸ ± ۰/۰۲ ^A	۱۰/۵۰ ± ۱/۱۰ ^C	۵۵
۹۸/۲۰	۱/۰۳ ± ۰/۰۴ ^B	۲۸/۲۷ ± ۱/۰۷ ^B	۶۰
۹۸/۶۵	۰/۹۷ ± ۰/۰۱ ^C	۷۸/۲۳ ± ۳/۸۸ ^A	۶۵

* اعداد موجود در جدول میانگین سه تکرار ± انحراف معیار می باشند. میانگین های دارای حروف متفاوت دارای اختلاف معنی دار آماری در سطح $p < ۰/۰۵$ می باشند.

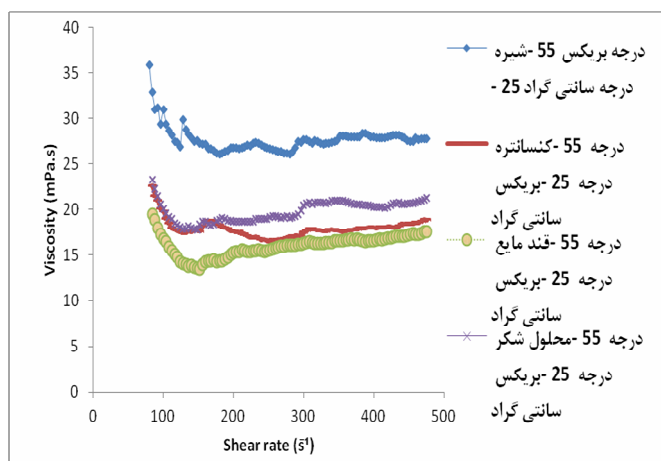
جدول ۴ مقایسه میانگین های مقادیر شاخص قوام (K) و ضریب رفتار جریان (n) بدست آمده از محلول شکر در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و غلظت های مختلف*

R ²	n	K(mPa.s)	بریکس
۹۸/۰۸	۱/۰۶ ± ۰/۰۴ ^A	۸/۳۳ ± ۰/۴۵ ^D	۵۰
۹۶/۹۳	۱/۰۵ ± ۰/۰۲ ^A	۱۵/۶۳ ± ۰/۷۶ ^C	۵۵
۹۷/۹۸	۰/۹۸ ± ۰/۰۱ ^B	۴۵/۶۳ ± ۳/۳۸ ^B	۶۰
۹۸/۶۸	۰/۹۹ ± ۰/۰۲ ^B	۹۶/۱۳ ± ۷/۳۶ ^A	۶۵

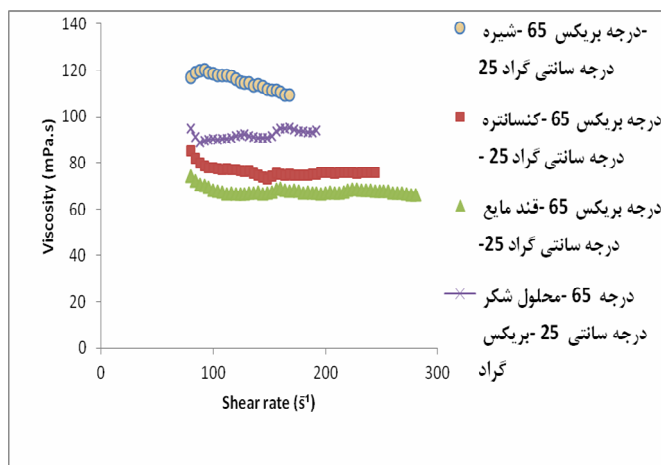
* اعداد موجود در جدول میانگین سه تکرار ± انحراف معیار می باشند. میانگین های دارای حروف متفاوت دارای اختلاف معنی دار آماری در سطح $p < ۰/۰۵$ می باشند.

۲-۳- بررسی ویسکوزیته ظاهری در مقابل سرعت برشی در نمونه ها

تغییرات تنش برشی در برابر سرعت برشی و همچنین تغییرات ویسکوزیته ظاهری در برابر سرعت برشی در نمونه های شیر، کنسانتره و قند مایع خرما و محلول شکر با ۵۰، ۵۵، ۶۰ و ۶۵ درجه بریکس در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد در شکل های ۲ تا ۵ آورده شده است. همان طور که مشاهده می گردد میزان ویسکوزیته ظاهری در نمونه ها با بالاترین درجه بریکس (۶۵ درجه)، بالاترین مقدار است که این نتایج با نتایج حاصل از پژوهش Hobani در سال ۱۹۹۸ مطابقت دارد [۴].



شکل ۴ تغییرات ویسکوزیته ظاهری در برابر سرعت برشی برای محلول های شیر، کنسانتره و قند مایع خرما و محلول شکر در بریکس ۵۵ درجه در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد

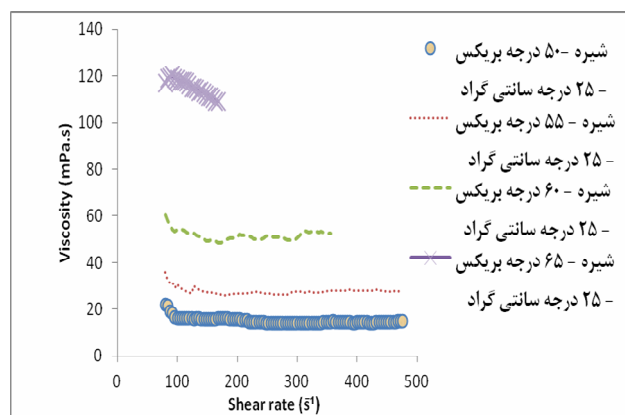


شکل ۵ تغییرات ویسکوزیته ظاهری در برابر سرعت برشی برای محلول های شیر، کنسانتره و قند مایع خرما و محلول شکر در بریکس ۶۵ درجه در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد

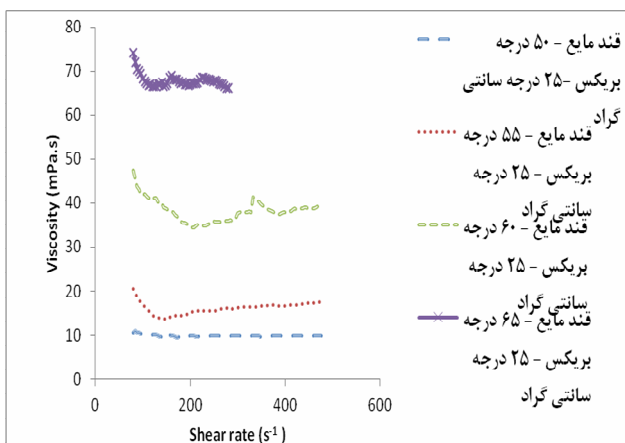
همچنین در مطابقت با مطالعات Kulkarni و همکاران در سال ۲۰۱۰ بر روی شیر خرما می باشد که در آن، فرایند تصفیه و شفاف سازی، ویسکوزیته را کاهش داده است [۱۴] و همان طور که مشاهده می شود در بریکس ثابت، شیر دارای بیشترین و قند مایع خرما دارای کمترین ویسکوزیته است.

۳-۳- بررسی خواص بافتی محلول ها در مقایسه با محلول های شکر در دمای ۲۰-۱۸ درجه سانتی گراد

بعد از تهیه محلول ها در ۳ غلظت ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه بریکس، با استفاده از دستگاه بافت سنج، آزمون Back

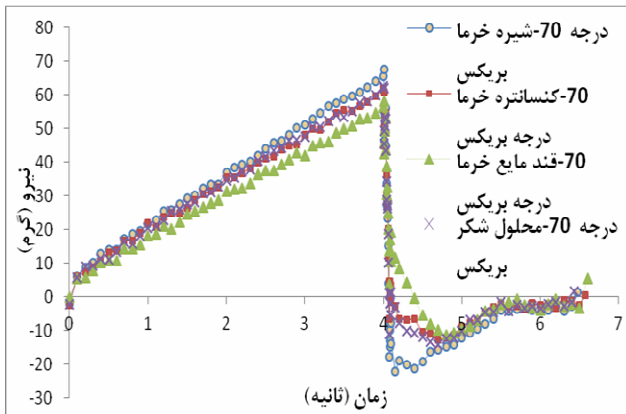


شکل ۲ تغییرات ویسکوزیته ظاهری در برابر سرعت برشی برای نمونه شیر خرما به عنوان تابعی از بریکس های متفاوت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد

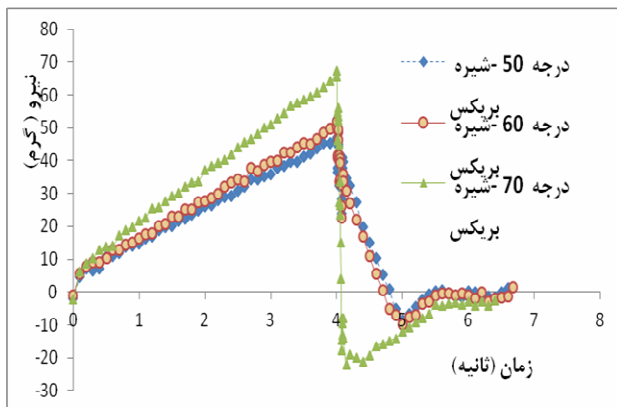


شکل ۳ تغییرات ویسکوزیته ظاهری در برابر سرعت برشی برای نمونه قند مایع خرما به عنوان تابعی از بریکس های متفاوت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد

و تفاوت معناداری بین شاخص قوام (K) آن ها نبود. قند مایع خرما دارای پایین ترین شاخص قوام (K) بود. شیره خرما در غلظت پایین و سه نمونه کنسانتره و قند مایع خرما و محلول شکر در همه غلظت ها، رفتار نیوتنی نشان دادند. بررسی خواص بافتی محلول ها، نشان دهنده این بود که هر چه غلظت افزایش یابد، سفتی و پیوستگی در محلول های مورد بررسی افزایش می یابد.



شکل ۶ بررسی تغییرات نیرو در برابر زمان در محلول های شیره، کنسانتره و قند مایع خرما و محلول شکر در بریکس ۷۰ درجه و دمای ۲۰-۱۸ درجه سانتی گراد



شکل ۷ بررسی تغییرات نیرو در برابر زمان در محلول شیره خرما در بریکس های ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه و دمای ۲۰-۱۸ درجه سانتی گراد

extrusion در حداقل ۳ تکرار انجام گرفته و نتایج در شکل های ۶ و ۷ و در جدول ۵ آورده شده است. قطر پروب استفاده شده ۴۰ میلی متر و قطر داخلی ظرف استفاده شده ۴/۸ میلی متر بوده است (شکل ۲). مطابق جدول ۵ در ۵۰ و ۶۰ درجه بریکس، نتایج به هم نزدیکند و تشخیص تفاوت بین ویسکوزیته آن ها آسان نیست، زیرا این آزمون برای ارزیابی خصوصیات رئولوژیک مایعات غلیظ و همچنین سیالات غیر نیوتنی (مثلا عصاره گوجه فرنگی) بسیار کار آمد است [۱۵]، اما در بریکس ۷۰، این تفاوت کاملاً مشهود می گردد، به این صورت که شیره دارای بیشترین و قند مایع خرما دارای کمترین سفتی (Firmness) است و اختلافات معنی دار هستند. این تفاوت در سایر پارامترها نیز به همین صورت مشاهده می شود. به طور کلی بررسی خصوصیات بافتی (سفتی، قوام، پیوستگی و شاخص ویسکوزیته) نمونه ها در جدول ۵ مشخص ساخت که در بریکس های پایین تر، مشابهت بین خصوصیات شیره، کنسانتره و قند مایع خرما در مقایسه با محلول های شکر بیشتر بوده و تفاوت ها اغلب معنی دار نیستند. برای مثال در بریکس ۵۰، بررسی شاخص ویسکوزیته در همه نمونه ها، تفاوت معنی داری را نشان نداد، در حالی که در بریکس ۷۰، شاخص ویسکوزیته شیره خرما، به صورت معنی دار بالاتر از محلول شکر است و قند مایع خرما، کمترین شاخص ویسکوزیته را در بین نمونه ها داشته است.

۴- نتیجه گیری کلی

بررسی خواص رئولوژیک نمونه ها در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و در چهار غلظت ۵۰، ۶۰، ۵۵ و ۶۵ درجه بریکس، نشان داد که بود که نمونه ها از مدل پاورلا تبعیت کرده، شیره خرما دارای بالاترین شاخص قوام (K) و پایین ترین شاخص رفتار جریان (n) بود و رفتاری رقیق شونده با برش را نشان داد. کنسانتره خرما و محلول شکر، رفتاری تقریباً مشابه نشان دادند

جدول ۵ بررسی خصوصیات بافتی شیر، کنسانتره و قند مایع خرما در مقایسه با محلول های شکر در همان غلظت ها*

	بریکس	شیره	کنسانتره	قند مایع	محلول شکر
سفتی (Firmness) g	۵۰	۴۷۶۲±۰.۲۳ ^{Ac}	۴۸۲۴±۰.۳۷ ^{Bc}	۴۷۶۱±۰.۳۳ ^{Cc}	۴۷۸۴±۰.۳۶ ^{Cc}
	۶۰	۵۱/۴۰±۰/۴۹ ^{Ab}	۴۹۹۹±۰/۸۴ ^{Ab}	۵۱/۱۰±۰/۸۱ ^{Ab}	۵۰/۵۹±۱/۴۵ ^{Ab}
	۷۰	۶۶۹۱±۰/۴۴ ^{Aa}	۶۰۹۱±۰/۵۸ ^{Ca}	۵۸/۴۳±۰/۶۴ ^{Da}	۶۱/۸۶±۰/۹۵ ^{Ba}
قوام (Consistency) g.s	۰×××××۵	۱۰۴۳۸±۰/۴۰ ^{Ac}	۱۰۲۳۷±۱/۸۷ ^{ABc}	۱۰۰/۸۱±۱/۵۵ ^{Bc}	۱۰۰/۸۵±۲/۳۷ ^{Bc}
	۶۰	۱۱۰/۰۰±۱/۳۴ ^{Ab}	۱۰۷/۲۱±۲/۴۶ ^{Ab}	۱۰۹/۱۵±۲/۸۱ ^{Ab}	۱۰۷/۸۹±۳/۷۵ ^{Ab}
	۷۰	۱۴۵/۱۳±۱/۳۰ ^{Aa}	۱۳۰/۴۵±۱/۵۱ ^{Ba}	۱۲۴/۸۲±۳/۴۵ ^{Da}	۱۲۹/۳۳±۲/۳۱ ^{Ca}
پیوستگی (Cohesiveness) g	۵۰	۹۹۴±۰.۳۰ ^{Aa}	۹/۸۴±۰.۶۴ ^{Aa}	۱۰/۱۰±۰.۳۶ ^{Aa}	۹/۷۷±۰/۱۹ ^{Ab}
	۶۰	۱۰/۹۷±۰/۲۴ ^{ABa}	۱۱/۳۳±۰/۴۴ ^{Ab}	۱۰/۴۶±۰/۶۷ ^{Ba}	۱۰/۹۰±۰/۶۴ ^{ABa}
	۷۰	۳۱/۸۳±۰/۵۴ ^{Ac}	۱۴/۸۰±۰/۸۱ ^{Cc}	۱۲/۹۸±۰/۲۹ ^{Db}	۱۶/۳۴±۰/۸۶ ^{Ba}
شاخص ویسکوزیته (Index of Viscosity) g.s	۵۰	۳/۰۸±۰/۰۹ ^{Ac}	۳/۱۲±۰/۱۳ ^{Ac}	۳/۰۲±۰/۰۸ ^{Ac}	۳/۱۳±۰/۱۱ ^{Ac}
	۶۰	۳/۸۴±۰/۱۴ ^{ABb}	۳/۸۳±۰/۰۶ ^{ABb}	۳/۶۳±۰/۱۳ ^{Bb}	۴/۱۳±۰/۴۵ ^{Ab}
	۷۰	۳۳/۴۲±۱/۲۰ ^{Aa}	۱۰/۵۴±۰/۵۰ ^{Ca}	۷/۲۲±۰.۳۳ ^{Da}	۱۲/۳۷±۰/۴۴ ^{Ba}

* اعداد موجود در جدول میانگین سه تکرار ± انحراف معیار می باشند. میانگین های دارای حروف کوچک متفاوت، دارای اختلاف معنی دار آماری در سطح $p < 0.05$ در ستون ها می باشند. میانگین های دارای حروف بزرگ متفاوت، دارای اختلاف معنی دار آماری در سطح $p < 0.05$ در ردیف ها می باشند.

[7] Jindal, M., Rana, V., Kumar, V., Singh, R. S., Kennedy, J. F., and Tiwary, A. K. (2013). Sulfation of *Aeglemarmelos* gum: Synthesis, physico-chemical and functional Characterization. *Carbohydrate Polymers*, 92: 1660-1668.

[8] Elahi, M., Razavi, M. A., Baratiangherghi, Z., Pezeshki, P. (2010). Changes in physical properties and quality invertsyrup from sucrose. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 6: 105-112.

[9] Razavi, M. A., HabibiNajafi, M. B. and Alaei, z. (2007). The time independent rheological properties of low fat sesame paste/date syrup blends as a function of fat substitutes and temperature. *Food Hydrocolloids*, 21: 198-202.

[10] Giner, J., Ibarz, A., Garza, S., and Xhian-Quan, S. (1996). Rheology of Clarified Cherry Juices. *Journal of Food Engineering*, 30: I47-I54.

[11] Cepeda, E. and Villaran, M. C. (1999). Density and viscosity of *Malus floribunda* juice as a function of concentration and temperature. *Journal of Food Engineering*, 41: 103-107.

[12] Hassan. B. H. (1992). Viscometric behaviour of single strength and

۵- منابع

[1] Brusewitz, J. H. and Yu, H. (1996). Back Extrusion Method for Determining Properties of Mustard Slurry. *Journal of Food Engineering*, 21: 259-265.

[2] Goycoolea, F. M., Nieblas, J. M., Noriega, L. O. and Higuera-Ciapara, I. 1997. Temperature and concentration effect on the flow behavior of stickwater. *Bioresource Technology*, 59: 217-225.

[3] Osorio, F. A. and Steffe, J. F. (1991). Evaluating Herschel-Bulkley fluids with the back extrusion (annular pumping) technique. *Rheologica Acta*, 30: 549-558.

[4] Hobani, A. I. (1998). Rheological behaviour of date-water concentrates. *Journal of Food Engineering*. 36: 349-357.

[5] Astolfi-Filho, Z., Regina Nicoletti Telis, V., Basilio de Oliveira, E., dos Reis Coimbra, J. S., and Telis-Romero, J. (2011). Rheology and fluid dynamics properties of sugarcane juice. *Biochemical Engineering Journal*, 53: 260-265.

[6] Gabsi, K., Trigui, M., Barrington, S., Nouredine Helal, A., and R. Taherian, A. (2013). Evaluation of rheological properties of date syrup. *Journal of Food Engineering*, 117: 165-172.

- dates into date juice concentrate and appraisal of its quality characteristics. *Journal of Food Science and Technology*, 47(2):157-161.
- [15] Alviar, M. and Reid, D. S. (1990). Determination of rheological behavior of tomato concentrates using back extrusion. *Journal of food science*, 55: 554-555.
- concentrated date water extracts. *Journal of King Saud University*, 4(1), 3- 13.
- [13] Cassano, A., Drioli, E., Galaverna, G., Marchelli, R., Di Silvestro, J. and Cagnasso, P. (2003). Clarification and concentration of citrus and carrot juices by integrated membrane processes. *Journal of Food Engineering*, 57: 153-163.
- [14] Kulkarni S. G., Vijayanand P., and Shubha L. (2010). Effect of processing of

Comparative study of rheological and textural behavior of date syrup, date concentrate, Date liquid sugar and sugar solutions

Mardani, M. ¹, Asgar Farahnaky, A. ², Mesbahi, Gh. R. ^{3*}, Golmakani, M. T. ⁴,
Majzoobi, M. ⁵

1. Former Msc. Student of Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Shiraz University
2. Professor of Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Shiraz University
3. Assistant Professor of Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Shiraz University
4. Associate Professor of Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Shiraz University

(Received: 93/3/5 Accepted: 93/9/10)

Rheological study of date syrup, date concentrate and date liquid sugar can improve their industrial applications specially for sugar (sucrose) substitution. In this research the rheological behavior of date syrup, date concentrate, date liquid sugar and sucrose solutions was investigated using a Brookfield Viscometer at 50, 55, 60 and 65 °Brix, 25 °C and shear rate of 80-480 s⁻¹. The variables were product type and concentration. Moreover, for textural evaluation a texture analyser was used to examine date syrup, date concentrate and date liquid sugar at 50, 60 and 70 °Brix. The results showed that the Power law model was suitable to the rheological behavior of all samples and all concentrations. In date syrup by increasing concentration from 50 to 65 °Brix, consistency coefficient (K) increased, flow behavior index (n) decreased and the sample became more shear thinning. However, all other samples were Newtonian. Therefore a similar flow type behavior for these three samples is expected in food processings. Among all tested concentrations, the date syrup sample with a Brix of 65 had the highest consistency coefficients. This indicates using date syrup in food formulations, usage level of hydrocolloids can be reduced. These findings were confirmed by texture data.

Keywords: Date syrup, Date concentrate, Date liquid sugar, Rheological behavior, Textural properties

* Corresponding Author E-Mail Address: mesbahi@shirazu.ac.ir