

تأثیر فشار و درجه تغلیظ بر روی خواص رئولوژی کنسانتره انار ترش

علی معتمد زادگان^۱، آسیه حسن زاده^{۲*}، تندیس خسروی^۳

۱- استادیار گروه صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- دانشجوی دوره دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، مرکز رشد واحدهای فناوری طبستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۵/۳۱)

چکیده

در این تحقیق به بررسی رفتار رئولوژی کنسانتره انار ترش پرداخته شد به این منظور آب انار تحت حرارت دهی در دو فشار مختلف، فشار اتمسفری در دمای ۹۰-۹۵°C و تحت خلا (۰/۱ اتمسفر) در دمای ۷۵°C در سه سطح ۱۵، ۲۵ و ۴۵ درصد مواد جامد محلول تغلیظ شد و اثر این تیمارها روی pH، اسیدیته، رنگ و چگالی و خواص رئولوژی آب انار تغلیظ شده شامل مدولهای افت و ذخیره مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که مقادیر pH و اسیدیته نمونه ها تغییر معنی داری طی تغلیظ حرارتی داشتند و کاهش pH و افزایش اسیدیته در هر دو روش تغلیظ مشاهده شد. همچنین یک رابطه خطی با ضریب همبستگی ۰/۹۲ بین چگالی و درجه تغلیظ نمونه ها نشان داده شد. گرانروی نمونه ها وابسته به فشار و درجه تغلیظ بود (P-value < ۰/۰۵). سنتتیک که برای توصیف رفتار کنسانتره انار ترش به دست آمد، با مدل های توان (با ضریب همبستگی ۰/۸۸) و هرشل بالکی (با ضریب همبستگی ۰/۹۱) تطبیق داشت. این اطلاعات می تواند جهت مطالعات آینده روی ویژگی های کنسانتره ها و طراحی فرایندها مفید باشد.

کلید واژگان: انار ترش، تغلیظ، خلا، رئولوژی.

*مسئول مکاتبات: asiehhasanzadeh@gmail.com

۱- مقدمه

انار با نام علمی *Punica granatum* متعلق به خانواده *Punicacea*، یکی از قدیمی ترین میوه های شناخته شده می باشد که به طور وسیعی در کشورهای مدیترانه ای نظیر ترکیه، مصر، تونس، اسپانیا، مراکش، ایران، افغانستان، هند و تا اندازه ای در چین، ژاپن و روسیه کشت می شود [۱].

بر اساس آمار سال ۱۳۹۰ وزارت جهاد کشاورزی، ایران با تولید سالانه ۷۰۰ هزار تن انار از ۶۴ هزار هکتار زمین زراعی به عنوان بزرگترین تولید کننده انار در جهان شناخته شده است. میوه انار که بیشتر به صورت تازه یا فرآوری شده (رب انار، آب انار، شربت انار و انار دانه) مصرف یا صادر می گردد، بخشی از منابع اقتصادی جهان را به خود اختصاص داده است [۱، ۲ و ۳].

بخش خوراکی میوه (Ari) حدود ۵۲ درصد وزن میوه را تشکیل می دهد، که شامل ۷۸ درصد آب میوه و ۲۲ درصد بذر می باشد [۴]. آنتوسیانین های موجود در آب انار عبارتند از: سیانیدین-۳-گلوکوزید، دلفینیدین-۳-گلوکوزید، سیانیدین-۳ و ۵ دی گلوکوزید، دلفینیدین-۳ و ۵ دی گلوکوزید، پلارگونیدین-۳-گلوکوزید و پلارگونیدین-۳ و ۵ دی گلوکوزید. با توجه به مشخص شدن خواص دارویی ویژه ترکیبات ذکر شده، همچنین بالا رفتن سطح رفاه جوامع و به موازات آن افزایش میزان مصرف سالیانه آب میوه به ازای هر نفر و از همه مهم تر نظر به این موضوع که کشور ما یکی از تولیدکنندگان عمده انار با کیفیت عالی است، لذا توجه به تولید و صادرات آب میوه و کنسانتره انار با کیفیت مناسب و قابل رقابت با سایر تولید کنندگان باید مورد توجه قرارگیرد [۵، ۶ و ۷].

همه ساله درصد قابل توجهی از محصول انار ترش جنگلی مازندران، به علت های ریز بودن، ترک خوردگی، آفت زدگی و آفتاب سوختگی در باغها از بین می رود و یا به قیمت ناچیز به بازار عرضه می شود و مقدار مختصری نیز با روش سنتی به رب انار تبدیل می گردد. رب انار تولید شده به روش سنتی، کیفیت مناسبی ندارد و به دلیل کاربرد و مصرف محدود، از بازار خوبی نیز برخوردار نیست. در صورت بهبود بخشیدن روش تولید کنسانتره و رب این نوع انار و فراهم نمودن موارد استفاده بهتر و

بیشتر این فرآورده، می توان بازار مصرف آن را بهبود بخشید [۲، ۸].

با توجه به موارد ذکر شده در بالا و ارزش تغذیه ای بالای انار، روشی که بتواند محصولی از آن تولید نماید که مواد مغذی آن حفظ شده و در همه سال و در همه جا در دسترس باشد، بسیار مفید است. یکی از روش های به کارگرفته شده برای نگهداری طولانی مدت آب میوه ها تغلیظ می باشد و بدیهی است که شرایط انجام تغلیظ بخصوصیات کیفی محصول نهایی بسیار موثر است. تغلیظ اتمسفری یک روش متداول برای تغلیظ آب میوه ها است که در آن آب اضافی را با تبخیر از مایع جدا می کنند. مشخص شده که حرارت دهی در دمای بالا برای مدت طولانی باعث تغییر رنگ، طعم و کیفیت نهایی محصول به دلیل احتمال واکنش های قهوه ای شدن آنزیمی و یا میلارد و نیز اکسید شدن آسکوربیک اسید می شود [۶، ۱۰ و ۱۱] و از آنجاییکه رنگ یک فاکتور مهم در پذیرش آب میوه است باید میزان تغییرات رنگی را به حداقل رساند [۱۲]. داشتن اطلاعات صحیح و قابل اعتماد در زمینه رئولوژی کنسانتره ها به طراحی و بهینه سازی عملیات واحدها کمک بسیاری می کند (پمپ کردن، مخلوط کردن، حرارت دادن و ...) که از طریق آن می توان از مقبولیت فرآورده در میان مصرف کنندگان اطمینان حاصل نمود [۱۳].

شی بینگ ژو و همکارانش؛ خواص رئولوژیکی و ساختار میکروسکوپی آب گوجه فرنگی کنسرو شده و رب گوجه فرنگی تهیه شده از چهار واریته مختلف گوجه فرنگی را در سه دمای ۸۵°C، ۹۶°C و ۱۰۷°C مورد مطالعه قرار دادند. آنها با استفاده از رئومتر ویزنبرگ دریافتند که ویسکوزیته ظاهری آب گوجه فرنگی و رب گوجه فرنگی در سرعت برشی ثابت با توجه به گونه های مختلف و شرایط فرآیند تغییر می کند. ایشان با بررسی رفتار رئولوژیکی آب گوجه فرنگی و رب گوجه فرنگی نتیجه گیری کردند که این مواد مشابه سیالات شبه پلاستیک عمل می کنند و قانون توان برای این گونه سیالات به کار می رود [۱۴، ۱۵].

اتاق تحت فشار قرار گرفته و آبگیری شد. پس از صاف کردن توسط یک فیلتر پارچه ای بلافاصله جهت عملیات بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

روش ها

تغلیظ

عملیات تغلیظ به دو روش تحت فشار اتمسفری در روی هیتر مگنت دار (IKA HB10, IKA Company, Germany) در دمای 95°C و سرعت همزنی (60rpm) و تحت خلا $0/1$ اتمسفر توسط تبخیر کننده چرخان روتاری (IKA RV10, IKA Company, Germany) در دمای 75°C تا حدی که آب انار به صورت محصولی نیمه سیال با حداقل 45% درصد ماده خشک محلول در آب در آید، حرارت داده شد. سپس با رقیق سازی آن توسط آب مقطر، دو سطح دیگر درصد ماده جامد 15% و 25% به دست آمد. مشخص شد که برای تولید یک کیلوگرم رب انار (با بریکس 45) تحت فشار اتمسفری، تقریباً $9-8$ کیلوگرم انار مورد نیاز می باشد.

اندازه گیری میزان مواد جامد محلول

میزان مواد جامد محلول به وسیله رفاکومتر دستی (Atago HSR-500, Tokyo, Japan) در 20°C اندازه گیری شد و به صورت درجه بریکس بیان گردید [۲۵].

اندازه گیری pH

pH نمونه ها به وسیله یک دستگاه pH متر (Model Metrohm-601, Switzerland) اندازه گیری شد [۲۶].

اندازه گیری اسیدیت

از روش تیتراسیون با هیدروکسید سدیم $0/1$ نرمال و معرف فنل فتالین جهت اندازه گیری اسیدیت قابل تیتراسیون آب انار بر اساس اسید غالب (اسید سیتریک) استفاده گردید. برای اینکه رنگ خود آب میوه انار نیز ارغوانی می باشد و ایجاد رنگ ارغوانی آن موقع تیترا کردن واضح نمی باشد، آب میوه را با 10cc آب مقطر رقیق می کنیم و سپس عصاره با سود $0/3$ نرمال، تیترا و پس از ایجاد تغییر رنگ ارغوانی عدد مربوطه یادداشت گردید و اسیدیت قابل تیتراسیون با جایگذاری در فرمول زیر محاسبه شد [۲۷].

بارت (۱۹۸۸) ویژگی های رئولوژیکی آب گوجه فرنگی را در تولید رب مورد ارزیابی قرار داد و نتیجه گرفته که ویژگی های رئولوژی رب گوجه فرنگی نه فقط به دما، سرعت تغییر شکل و مواد جامد محلول، بلکه به مواد جامد نا محلول نیز بستگی دارد [۱۶، ۱۷]. عواملی که بر رئولوژی کنسانتره و رب گوجه فرنگی تاثیر می گذارند شامل ترکیب، توزیع اندازه ذره، غلظت (بریکس)، درجه حرارت و شرایط برشی هستند [۱۸]. الحداد و همکاران (۲۰۱۳)، تاثیر تغلیظ تحت شرایط خلا (22mmHg) و دمای 50°C را روی ویژگی های فیزیکی شیمیایی کنسانتره زردآلو و هلو مورد بررسی قرار دادند و مشاهده کردند که pH طی تغلیظ از $4/41$ به $4/33$ کاهش یافت [۱۹].

اهمیت و نسلی (۲۰۰۵)، تاثیرات درصد ماده جامد محلول در آب و دما را روی خصوصیات رئولوژی کنسانتره انار ترش مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمون ها نشان دادند که نمونه ها رفتار جریان مشابه سیالات نیوتنی داشتند [۲۰].

مسکن (۲۰۰۶)، تغییرات رنگ آب انار را در حین تغلیظ بررسی کرد [۲۱]. تحقیق مشابهی نیز توسط آساوراچان و نومهورم (۲۰۱۱)، بر روی کنسانتره آناناس انجام گرفته که تاثیر روشهای مختلف حرارتی را بر پارامترهای رنگ مطالعه نموده است [۲۲] همچنین می توان به فرآیند حرارتی رب گوجه فرنگی [۲۳] و عصاره میوه توت [۲۴] اشاره کرد.

هدف از این تحقیق بررسی تاثیر فشار در دو سطح فشار اتمسفری و تحت خلا و درجات تغلیظ در سه سطح (15 ، 30 و 45% درصد مواد جامد محلول) روی خواص فیزیکی (pH، اسیدیت، رنگ و چگالی) و خواص رئولوژی آب انار تغلیظ شده (مدول های افت و ذخیره) می باشد.

۲- مواد و روشها

مواد

میوه تازه، تمیز، کاملاً رسیده و عاری از آلودگی درخت انار ترش جنگلی با وزن متوسط حدود 125 گرم از بازار محلی شهرستان آمل که در همین شهرستان کشت شده است، تهیه و در شرایط بهداشتی پوست کنی شده و توسط آب انار گیری دستی در دمای

\times نرمالیت سود \times سود مصرفی) = اسیدیته قابل تیتراسیون

عصاره رقیق ($100 \times 2 \times 0.64$)

شدند. برای تعیین محدوده خطی، آزمایشات در فرکانس زاویه ای ۱۰۰-۰/۱ هرتز و $\text{strain} = 0.1$ که در آن ساختارهای تشکیل شده در سیستم محفوظ می ماند، انجام شد [۲۹]. آزمون روبش فرکانس در محدوده فرکانس ۱۰۰ تا ۰/۱ Hz و کرنش ثابت ۰/۱ درصد انجام شد [۲۹، ۲۰] و پارامترهای G' (مدول ذخیره) و G'' (مدول افت) اندازه گیری شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

طرح آماری مورد استفاده کاملاً تصادفی بوده و آزمایشات در قالب فاکتوریل دو طرفه 2×3 با سه تکرار در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شدند. از نرم افزار spss (نسخه ۱۷) برای تجزیه و تحلیل داده ها و از نرم افزارهای Excell و Rheoplus برای رسم نمودارها استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱ تاثیر فرایندها روی خواص فیزیکی و

شیمیایی (رنگ، دانسیته، اسیدیته و pH):

درصد مواد جامد محلول نمونه های به دست آمده توسط دستگاه رفرکتومتر نشان داد که آب انار ترش جنگلی دارای ماده جامد محلول حدود 13.5 ± 1 درصد بود. جدول (۱) نتایج آنالیز شیمیایی نمونه های کنسانتره انار ترش با غلظت های متفاوت را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، با افزایش درصد مواد جامد محلول، چگالی نمونه ها افزایش معنی داری را نشان داد ($Pvalue < 0.05$). همچنین تغییر معنی داری در مقادیر اسیدیته و pH نمونه ها مشاهده شد ($Pvalue < 0.05$). بطوریکه با افزایش بریکس، pH کاهش و اسیدیته افزایش یافت. نتایج به دست آمده با کارهای انجام شده توسط ابراهیم (۱۹۸۵)، مصطفی (۲۰۰۲)، دیاب و همکاران (۲۰۰۳) و الحداد و همکاران (۲۰۱۳) هماهنگی داشت [۱۹، ۳۰، ۳۱ و ۳۲].

اندازه گیری چگالی

چگالی با یک پیکنومتر 25 ml در دمای 25°C سنجیده شد و به صورت g/cm^3 بیان شد [۲۵].

اندازه گیری رنگ

برای ارزیابی رنگ نمونه ها از سیستم عکس برداری با دوربین دیجیتال و رنگ سنجی مشابه با سیستم هانتر لب استفاده شد. در این روش نمونه ها درون پتری دیش های شیشه ای ریخته شده، زاویه تابش نور با سطح افقی نمونه ۲۱ درجه بوده و دوربین به موازات سطح افقی نمونه قرار گرفت. با استفاده از دوربین دیجیتال 2 مگاپیکسل (FUJIFILM, Fine Pix A202, China) از نمونه ها عکس گرفته شد و پس از آن، عکس ها با استفاده از نرم افزار فتوشاپ (Version CS 5) مورد بررسی قرار گرفته و پارامترهای L^* ، a^* و b^* آنها محاسبه گردید [۲۸].

اندازه گیری رفتار جریان آب انار تغلیظ شده

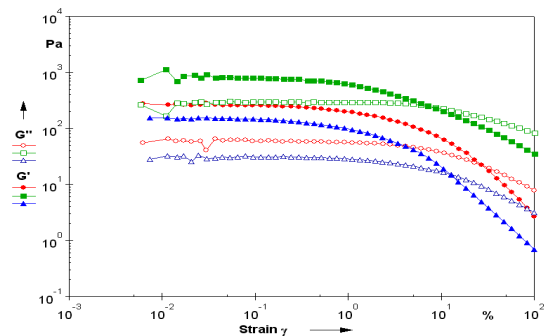
رفتار جریان نمونه ها به همراه اندازه گیری های مربوط به روبش دما و روبش زمان، با برنامه ریزی دمایی و زمانی (به این شکل که در دمای 4°C به مدت ۴۵ دقیقه در فرکانس ۱ هرتز باقی ماند و سپس از دمای 4°C تا 60°C با سرعت 1°C در دقیقه، دما افزایش یابد و مجدداً در دمای 60°C به مدت ۴۵ دقیقه ثابت باقی بماند) تعیین گردید. همچنین روبش کرنش و روبش فرکانس توسط دستگاه رئومتر (MC301, Anton Paar, Austria) انجام شد. برای آزمون از سیستم مخروط و صفحه با قطر $49/980$ میلیمتر و زاویه $2/0.6$ درجه در دمای 20°C استفاده شد. در آزمون های طولانی (مانند روبش دما) جهت جلوگیری از تبخیر، نمونه ها توسط روغن معدنی پوشانده

جدول ۱ نتایج آنالیز شیمیایی نمونه های کنسانتره انار ترش با غلظت های ۱۵، ۲۵ و ۴۵ درصد مواد جامد محلول

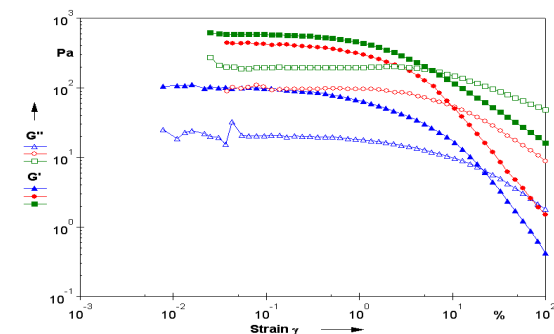
تحت فشار اتمسفر	درجه بریکس	چگالی (gr/cm ³)	اسیدیته برحسب اسید سیتریک (gr/100cc)	pH	پارامترهای رنگ سنجی		
					L*	a*	b*
تحت فشار اتمسفر	۱۵	۱/۰۴۷±۰/۰۲c	۱/۲۸±۰/۰۰۵c	۳/۱۴±۰/۰۲b	۳۰/۷۱±۱/۶۴ab	۴۱/۶۳±۰/۷۵c	۵۹/۴۰±۰/۶۱b
	۲۵	۱/۱۵±۱/۰۵b	۱/۳۱±۰/۰۰۷abc	۳/۰۴±۰/۰۲c	۲۸/۴۰±۲/۴۹b	۴۲/۸۹±۰/۳۴b	۵۸/۵۵±۰/۴۸a
	۴۵	۱/۲۸±۰/۰۴ab	۱/۳۵±۰/۰۲۳a	۳/۰۴±۰/۰۲۶c	۱۸/۸۴±۰/۳۱c	۴۹/۶۳±۰/۴۸f	۱۶/۱۶±۰/۳۰f
تحت خلا	۱۵	۱/۰۳±۰/۰۱۲c	۱/۳۱±۰/۰۱۴bc	۳/۲۰±۰/۰۲۵a	۲۹/۷۱±۰/۳۱b	۴۵/۵۹±۰/۴۲a	۴۸/۰۸±۰/۰۸۲d
	۲۵	۱/۲۱±۰/۰۰۳bc	۱/۳۳±۰/۰۰۶ab	۳/۱۸±۰/۰۱۱ab	۲۸/۴۰±۰/۳۶a	۴۷/۰۵±۰/۷۴d	۴۴/۲۶±۰/۰۱۱c
	۴۵	۱/۳۳±۰/۰۰۵a	۱/۳۵±۰/۰۱ab	۳/۰۶±۰/۰۲۳c	۱۷/۴۶±۰/۶۸c	۴۹/۰۱۶±۰/۰۷e	۳۰/۵۵±۰/۲۴e

هر عدد میانگین ۳ تکرار ± انحراف معیار می باشد. (انحراف معیار در همه موارد کمتر از ۳ بود).

ظاهری آب انار با غلظت های متفاوت را در دمای ۲۰°C و در دو حالت تحت فشار اتمسفر و تحت خلا نشان می دهد.



شکل ۱ نمودار سرعت برش-تنش برشی کنسانتره انار ترش در فشار اتمسفر و در غلظت های (▲، ۱۵٪؛ ●، ۲۵٪؛ ■، ۴۵٪)



شکل ۲ نمودار سرعت برش-تنش برشی کنسانتره انار ترش تحت خلا و در غلظت های (▲، ۱۵٪؛ ●، ۲۵٪؛ ■، ۴۵٪)

همانطور که در جدول (۲) مشاهده می گردد نقطه تقاطع مدول های G' و G'' ، با افزایش غلظت در هر دو روش در سرعت برشی بالاتری اتفاق می افتد که احتمالاً به این دلیل است که هرچه کنسانتره غلیظ تر می شود امکان نزدیک شدن مولکول ها و برخورد آنها به یکدیگر بیشتر شده و در تنش بالاتری سیالیت افزایش یافته و ساختار تغییر ماهیت می دهد [۲۰].

همچنین پارامترهای رنگ سنجی نیز دارای تغییرات معنی داری بودند، پارامترهای L^* و b^* با گذشت زمان کاهش یافتند ولی پارامتر a^* افزایش یافت و رنگ نهایی نمونه ها قهوه ای مایل به قرمز شد. روشنایی نمونه ها (L^*) در طول زمان تغلیظ کاهش یافت که بیانگر تیره تر شدن همه نمونه ها در طول مرحله تغلیظ بود. نتایج مشابهی توسط محققان مختلف بدست آمده است و گزارش شده که کاهش L^* به میزان زیادی در ارتباط با افزایش قهوه ای شدن و تخریب ساختار پیگمان های مواد غذایی است [۳۳ و ۳۴].

مقدار a^* در حین تغلیظ در هر دو روش با گذشت زمان افزایش یافت. همچنین تغییر در میزان a^* در طول عملیات حرارتی در بین نمونه های مختلف معنی دار بود ($p < 0/05$). کاهش L^* و افزایش a^* به علت محو شدن رنگ زرد مایل به قهوه ای در حین عملیات حرارتی می باشد که پیگمان های ناپایدار آب میوه را تحت تاثیر قرار می دهد [۳۵]، یا آنکه ممکن است به علت پلیمریزه شدن پیگمان ها و ترکیبات فنلی دیگر باشد [۳۶]. مقدار b^* در طول آزمایش در همه نمونه ها کاهش یافت این کاهش بیانگر از دست رفتن رنگ زرد نمونه ها بود نتایج مشابهی برای کاهش b^* در شیر انگور سیاه در طول نگهداری مشاهده شده است [۳۷].

۳-۲ آزمون روبش کرنش

آزمون های روبش کرنش در محدوده کرنش ۰/۱ تا ۱۰۰ درصد و فرکانس ۱Hz به منظور تعیین محدوده خطی انجام شد و در نهایت کرنش ثابت ۰/۱ درصد برای آزمون های بعدی انتخاب شد. شکل های ۱ و ۲ تغییرات سرعت برشی در مقابل گرانروی

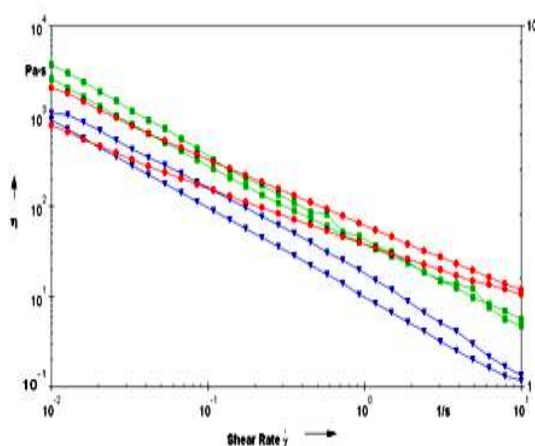
جدول ۲ نقطه تقاطع مدول های G' و G'' در آزمون روبش کرنش و مساحت حلقه هیستریزس در نمودار رفتار جریان در غلظت های

متفاوت کنسانتره انار ترش

درجه بریکس	نقطه تقاطع (pas) ($G' = G''$)	حلقه پسماند (Pa/s)
تحت فشار	۱۵	$25/11 \pm 0/01d$
اتمسفر	۲۵	$47/57 \pm 0/01cd$
	۴۵	$232201/69 \pm 1/33a$
تحت خلا	۱۵	$33/63 \pm 0/01d$
	۲۵	$483/54 \pm 0/02c$
	۴۵	$3033/46 \pm 1/01b$

هر عدد میانگین ۳ تکرار \pm انحراف معیار می باشد. (انحراف معیار در همه موارد کمتر از ۲ بود).

شدن ذرات در جهت جریان می باشد که در نتیجه، باعث کاهش گرانروی آنها با گذشت زمان می گردد. لذا، سیال در این غلظت، رفتار وابسته به زمان داشته و تیکسوتروپیک نسبی است. در مسیر برگشت نیز، به دلیل اعمال نیروهای برشی قبلی و منظم شدن ذرات، اصطکاک بین ذرات کمتر شده و به همین علت، گرانروی در مسیر برگشت کاهش یافته است [۳۸]. مقایسه گرانروی ظاهری در سه تنش برشی ۰/۰۱، ۰/۱ و ۱۰ s⁻¹ در شکل های ۳ و ۴ مشخص می کند که حرارت دهی در خلا نسبت به حرارت دهی در فشار اتمسفری، گرانروی کنسانتره را با شدت کمتری افزایش می دهد. همچنین با افزایش سرعت برشی در هر فشاری، گرانروی ظاهری کاهش می یابد و نمونه ها رفتار رقیق شونده با برش از خود نشان می دهند.



شکل ۳ نمایش رفتار جریان کنسانتره انار ترش در دمای ۲۰°C در فشار اتمسفر و در غلظت های (▲، ۱۵٪؛ ●، ۲۵٪؛ ■، ۴۵٪)

۳-۳ بررسی رفتار جریانی و تاثیر فرایندها بر

گرانروی نمونه ها

شکل های ۳ و ۴ نمودار رفتار جریانی کنسانتره انار ترش با در دمای ۲۰°C، در فشار اتمسفر و تحت خلا، در سه غلظت ۱۵، ۲۵ و ۴۵ درصد مواد جامد محلول را نشان می دهد. بررسی تغییرات گرانروی ظاهری به صورت تابعی از سرعت برشی نشان داد که در همه نمونه ها گرانروی ظاهری با افزایش سرعت برشی کاهش یافت که این نوع رفتار، وجه مشخصه سیالات شبه پلاستیک که دارای رفتار جریانی به صورت رقیق شونده با برش هستند را نشان می دهد.

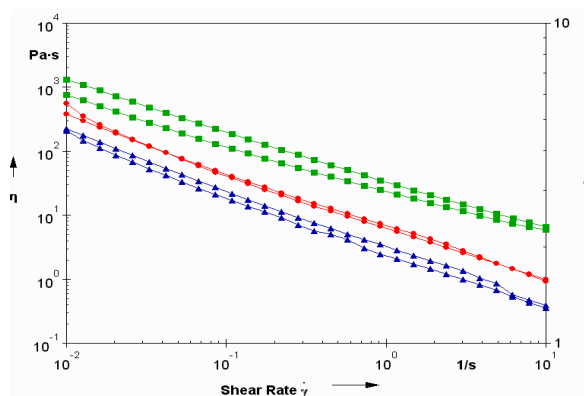
به طور کلی رفتار جریانی مستقل از روش تغلیظ و درصد مواد جامد محلول، عمل کرده اما با افزایش درصد مواد جامد محلول، گرانروی ظاهری افزایش می یابد. علت گرانروی ظاهری نهایی نسبتاً بالا در بریکس ۲۵ در روش تغلیظ در فشار اتمسفر احتمالاً مربوط به تشکیل ژل ضعیفی می باشد که سبب ایجاد مقاومت در برابر نیروی برشی گردیده است. همانگونه که در شکل های ۳ و ۴ دیده می شود منحنی های بالا رونده و پایین رونده روی هم منطبق نیستند. وجود حلقه پسماند (هیستریزس) بین مد بالا رونده و پایین رونده حاکی از وجود ویژگی تیکسوتروپیک در سیالات وابسته به زمان است [۳۸]. بررسی رفتار جریان منحنی ها در غلظت های بالا به خصوص ۴۵٪ در مسیر رفت و برگشت، یک ناحیه پسماند، را نشان می دهد و میزان گرانروی ظاهری در مسیر برگشت، کمتر از مسیر رفت است این امر، احتمالاً به دلیل اثر نیروهای برشی بر ساختمان مولکولی نمونه ها و یا کشیده

خلا باشد و هر چه تخریب ساختاری بیشتر باشد بازیابی کمتری اتفاق افتاده و مساحت حلقه افزایش می یابد [۳۸].

نتایج حاصل از برازش مدل های قانون توان ($y = a.x^b$) و هرشل بالکی ($y = a + b.x^p$) و تعیین ضرایب قوام و اندیس جریان برای توصیف رفتار جریانی نمونه ها در جدول (۳) آمده است. چنانچه ملاحظه می شود با افزایش بریکس، شاخص جریان و ضریب قوام تغییرات معنی داری داشته اند و روند این تغییرات در هر دو روش تغلیظ به صورت افزایشی می باشد. همانطور که مشاهده می شود شاخص رفتار جریان (شاخص قانون توان) برای تمامی نمونه ها کمتر از ۱ بود که این مطلب تایید کننده وجود نوعی رفتار شبه پلاستیکی است. باید توجه داشت که در این حالت، هر چه n به ۱ نزدیک تر باشد تمایل سیال به جریان نیوتنی و تمایل به صفر نشانگر جریان های غیر نیوتنی است [۳۸] که نمونه ها تمایل بیشتری به جریان نیوتنی را از خود نشان دادند. با توجه به ضریب رگرسیون، کنسانتره انار ترش در بریکس های متفاوت با ضریب همبستگی بالایی از قانون های توان و هرشل بالکی پیروی می کنند که با نتایج به دست آمده توسط اهمیت و نسلی هماهنگی دارد [۲۰]، از آنجاییکه ضریب همبستگی مدول هرشل بالکی بالاتر از مدول توان است می توان مدول هرشل بالکی را جهت تفسیر نمودارها ترجیح داد.

جدول ۳ مقایسه پارامترهای رئولوژیکی در دو مدل رئولوژیکی: مدل توان و مدل هرشل بالکی

R^2	p	b	a	مدل	بریکس	
۰/۹۶۹۶	-	۰/۱۳۹	۲/۰۱۸۶	قانون توان	۱۵	
۰/۹۹۴۲۸	۰/۲۶۴۵۱	۱/۷۳۵۷	۰/۴۶۷۵۷	هرشل بالکی		
۰/۹۷۲۴۷	-	۰/۱۴۰۲	۰/۸۱۹۲	قانون توان	۲۵	تحت فشار اتمسفر
۰/۹۹۴۱۹	۰/۲۵۹۲۳	۰/۷۶۵۱۴	۰/۱۷۲۸۵	هرشل بالکی		
۰/۸۸۲۰۱	-	۰/۳۱۵۱۵	۴۹/۰۸۱	قانون توان	۴۵	
۰/۸۶۲۰۸	۰/۴۱۶۳۶	۴۰/۶۰۲	۳/۳۳۵۶	هرشل بالکی		
۰/۷۰۹۶۶	-	۰/۱۰۴۸۸	۲/۸۴۰۹	قانون توان	۱۵	
۰/۷۰۸۹۷	۰/۳۷۲۸۹	۰/۹۴۶۳۱	۱/۷۰۲۳	هرشل بالکی		
۰/۹۱۷۷۲	-	۰/۱۴۳۶۷	۶/۵۴۴	قانون توان	۲۵	تحت خلا
۰/۹۴۱۱۳	۰/۱۳۷۷۹۲	۳/۰۰۷۵	۳/۱۸۵۸	هرشل بالکی		
۰/۸۹۵۷۸	-	۰/۲۶۲۱۴	۲۹/۲۳	قانون توان	۴۵	
۰/۹۰۷۵۴	۰/۴۲۶۸۳	۲۰/۴۰۸	۶/۱۱۵۳	هرشل بالکی		



شکل ۴ نمایش رفتار جریانی کنسانتره انار ترش در دمای ۲۰°C در

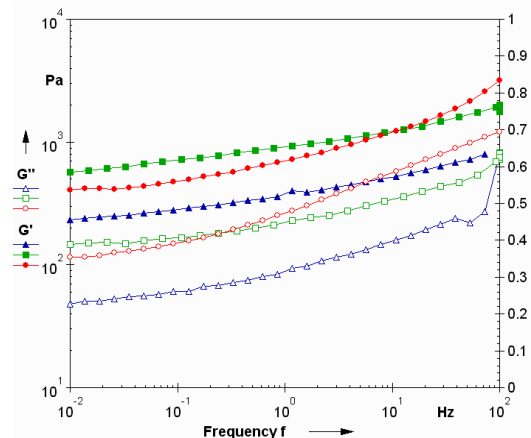
خلا و در غلظت های (▲، ●، ■؛ ۰/۱۵، ۰/۲۵، ۰/۴۵)

همانگونه که در جدول (۲) مشاهده می گردد با افزایش بریکس، مساحت حلقه پسماند افزایش می یابد که احتمالاً در اثر تغلیظ بیشتر شاهد افزایش گرانیوی همزمان با افزایش محتوی مواد جامد محلول هستیم که توسط مطالعات Cabral و همکاران (۲۰۰۷) بر روی کنسانتره آب بلک بری و Dak و همکاران (۲۰۰۷) بر روی کنسانتره آب انبه نیز تایید شده است [۳۹، ۴۰]. مساحت حلقه ها در تمامی بریکس ها در حالت تحت خلا کمتر از حالت فشار اتمسفری می باشد. این موضوع احتمالاً می تواند به دلیل تخریب ساختاری بیشتر در حالت حرارت دهی در فشار اتمسفری نسبت به حرارت دهی تحت

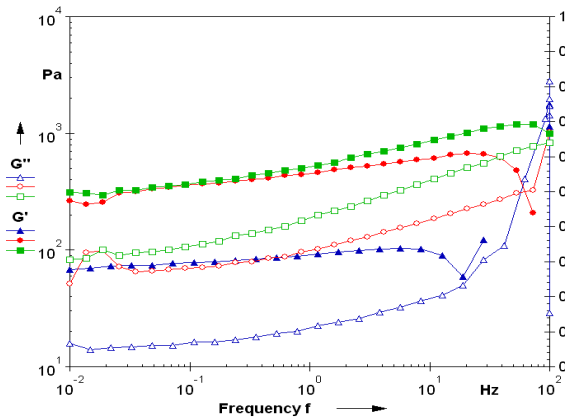
۳-۴ آزمون روبش فرکانس

شکل های ۵ و ۶ تغییرات سرعت برشی در مقابل تنش برشی آب انار با غلظت های متفاوت را در دمای 20°C و در دو حالت فشار اتمسفر و تحت خلا در محدوده فرکانس ۰/۰۱ الی ۱۰۰ هرتز نشان می دهند.

در همه محدوده های فرکانس مورد آزمون برای کلیه نمونه ها مقادیر مدول افت از مدول ذخیره بالاتر بود. هر دو مدول افت و ذخیره، به فرکانس وابسته بودند. در شکل (۵) با افزایش فرکانس، مقادیر آنها افزایش یافت اما با توجه به شکل (۶) مشاهده می شود که در بریکس های ۱۵٪ و ۲۵٪ مدول افت با شیب ثابتی افزایش یافته و سپس به تدریج از شیب آن کاسته می شود. از آنجاییکه در فرکانس های زاویه ای بالاتر امکان تخریب ساختار های تشکیل شده به خصوص ساختار های ضعیف تر بیشتر است و همانگونه که نتایج نشان می دهد در فرکانس های زاویه ای پایین تر سرعت تشکیل ساختار و شبکه زلی بیشتر بوده و بخش بزرگی از شبکه در فرکانس های زاویه ای پایین تشکیل می شود.



شکل ۵ نمایش تغییرات سرعت برشی در مقابل تنش برشی در کنسانتره انار در دمای 20°C در فشار اتمسفر و در غلظت های (▲، ۱۵٪؛ ●، ۲۵٪؛ ■، ۴۵٪)



شکل ۶ نمایش تغییرات سرعت برشی در مقابل تنش برشی در کنسانتره انار ترش در دمای 20°C تحت خلا و در غلظت های (▲، ۱۵٪؛ ●، ۲۵٪؛ ■، ۴۵٪)

۳-۵ آزمون روبش دما

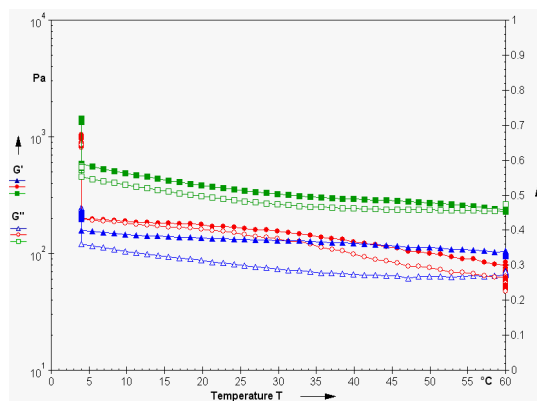
شکل های ۷ و ۸ تاثیر دما روی گرانروی ظاهری آب انار با غلظت های متفاوت را در دمای 20°C و فرکانس یک هرتز در دو حالت فشار اتمسفر و تحت خلا نشان می دهند. نتایج نشان دادند که تغییرات در هر سه غلظت تقریباً خطی است و افزایش دما تقریباً به یک نسبت گرانروی محلول های با غلظت های مختلف را کاهش داده است. کاهش گرانروی در اثر افزایش دما در بیشتر سیال ها اتفاق می افتد. این امر اغلب به دلیل کاهش میزان نیروهای داخلی و اصطکاک بین مولکولی در سیال می باشد. در دماهای بالاتر مولکول ها کمتر در هم گره می خورند. لذا، تنش برشی کمتری برای به حرکت درآوردن مولکول در محلول لازم است. همانگونه که Chin و همکاران در سال ۲۰۰۹ رفتار رقیق شونده با برش کنسانتره آب پوملو را نشان دادند، نتیجه بررسی ها حاکی از این مطلب بود که دما و غلظت در هر دو روش تاثیر مهمی بر گرانروی داشته بطوریکه گرانروی با افزایش دما کاهش و با افزایش مواد جامد محلول افزایش می یابد [۴۱، ۴۲].

۵- قدردانی

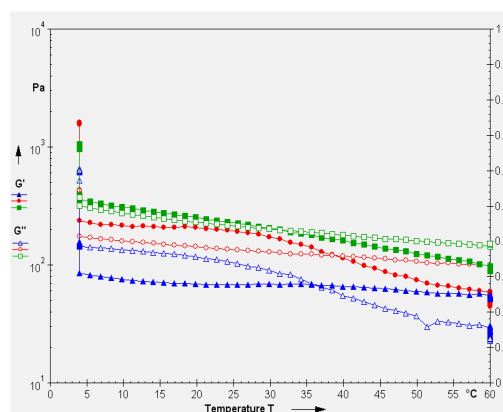
از مرکز رشد واحدهای فناوری طبستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری بابت در اختیار قرار دادن دستگاه رنومتر و سایر دستگاهها و همکاری های صمیمانه شان سپاسگذاری می شود.

۶- منابع

- [1] Pinhas, S., Elizer, E. (1996). Biology of citrus. Cambridge University Press. pp: 230
- [2] Anonymous. (2012). Available at: www.agri-jahad.ir
- [3] Onur, C., Pekmezci, M., Tibet, H., Erkan, M. Kuzu, S. (1995). Investigations on pomegranate storage. 2nd National Horticulture. Congoress. Adana, Turkey. Cukurova Univ, 1: 696 – 700.
- [4] Cam, M., Hisil, Y., Durmaz, D. (2009). Characteristion of pomegranate juices from ten cultivars grown in Turkey. International Journal of Food Properties, 12: 388-395.
- [5] Melgarejo, P., Salazar, D., Artes, F. (2000). Organic acids and sugars composition of harvested pomegranate fruits. European Food Research and Technology, 211: 185–190.
- [6] Ozkan, M. (2002). Degradation of anthocyanins in sourcherry and pomegranate juices by hydrogenperoxide in the presence of added ascorbic acid. Food Chemistry, 78: 499–504.
- [7] Anand, P., Kulkarni, A., Somaradhya, M., Aradhya, S. D. (2005). Isolation and identification of a radical scavenging antioxidant punicalagin from pith and carpellary membrane of pomegranate fruit. Food Chemistry, 87: 551-557.
- [8] Velioglu, S., Cemeroglu, B. (1997). "Chemical characterization of pomegranate juice", Fruit processong, 8: 307-310.
- [9] Maskan, M. (2006). Production of pomegranate (*Punica granatum* L.) juice concentrate by various heating methods: color degradation and kinetics. Journal of Food Engineering, 72: 218-224.
- [10] Varidi, M. J. (1992). Chemical compositions and clarification probability of



شکل ۷ نمایش تاثیر دما روی گرانیوی ظاهری کنسانتره انار ترش در فرکانس یک هرتز در فشار اتمسفر و در غلظت های (▲،●)؛ ۱۵٪؛ ۲۵٪؛ ۴۵٪



شکل ۸ نمایش تاثیر دما روی گرانیوی ظاهری کنسانتره انار ترش در فرکانس یک هرتز تحت خلا و در غلظت های (▲،●)؛ ۱۵٪؛ ۲۵٪؛ ۴۵٪

۴- نتیجه گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که خواص رئولوژیکی و فیزیکی کنسانتره انار وابسته به غلظت کنسانتره و میزان فشار اعمال شده جهت تغلیظ می باشد. بطوریکه با افزایش غلظت، گرانیوی نمونه ها افزایش یافته و نمونه ها رفتار رقیق شونده با برش از خود نشان می دهند. همچنین با افزایش سرعت برشی، گرانیوی کاهش می یابد و شاخص رفتار جریان افزایش می یابد. بطور کلی تغلیظ آب انار تحت خلا ویژگی های کیفی بهتری از کنسانتره را سبب می شود. این یافته ها برای طراحی مراحل فراوری شامل پمپ کردن، همزدن، انتقال به وسیله خطوط لوله، تغلیظ و سایر مراحل حائز اهمیت است.

- microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48: 169–175.
- [22] Assawarachan, R., Noomhorm, N. (2011). Changes in color and rheological behavior of pineapple concentrate through various evaporation methods. *International journal of agricultural and biological engineering*, 3(1): 45-60.
- [23] Barreiro, J. A., Milano, M., Sandoval, A. J. (1997). Kinetics of color change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. *Journal of Food Engineering*, 33: 359–371.
- [24] Suh, H. J., Noh, D. O., Kang, C. S., Kim, J. M., Lee, S. W. (2003). Thermal kinetics of color degradation of mulberry fruit extract. *Nahrung*, 47(2): 132–135.
- [25] AOAC. (2000). Official Methods of Analysis. 17th Ed. of AOAC. International Gaithersburg, Maryland USA.
- [26] AOAC. (1990). Official Methods of Analysis, 15th edn. Method Numbers 932.12; 942.15; 981.12. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- [27] AOCS. (1993). Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, 4th Edn. Champaign, IL: AOCS Press.
- [28] Yam, K. L., Papadakis, S. E. (2004). A digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces, *Journal of Food Engineering*, 61: 137 – 142.
- [29] Andrade Pereira, E., Martins, E. (2007). Effect of Xanthan Gum Addition on The rheological Properties of UMBU Fruit Pulp. *CEPPA, Curitiba v. 25(2): 285-294.*
- [30] Ibrahim, M. M. (1985). Studies on production of concentrates for carbonated beverages. Ph.D. Faculty of Agriculture Theses, Cairo Univ., Egypt.
- [31] Mostafa, B. E. M. (2002). Chemical and technological studies on some vegetable and fruits juice. Ph.D. Faculty of Agriculture Theses, Moshtohor, Zagazig Univ., Egypt.
- [32] Dyab, A. S., EL-Desouky, A. I., Bahlol, H. E. M., Soliman, S. A. (2003). Production of concentrated apricot and peach juice. *Journal of Agriculture Science*, 28 (6): 4741-4756.
- [33] Ibarz, A., Pagan, J., Garza, S. (1999). Kinetic models for color changes in pear puree pomegranate extract. M. Sc. Thesis of Food Industry, Tarbiat Modarres University.
- [11] Al-Maiman, S. A., Ahmad, D. (2002). Changes in physical and chemical properties during pomegranate (*Punica granatum L.*) fruit maturation. *Food Chemistry*, 76: 437-441.
- [12] Vadivambal, R., Jayas, D. S. (2008). Changes in quality of microwave treated agricultural products-a review. *Biosystem Engineering*, 1 – 16.
- [13] Bayod, E. (2008). Microstructural and Rheological Properties of Concentrated Tomato Suspensions during Processing . Printed in Sweden by Media-Tryck, Lund University, 76 pages.
- [14] Shi-Ying, X., Shoemaker, C. F., Luh, B. S. (1986). Effect of break temperature on rheological properties and microstructure of tomato juices and pastes. *Journal of food science*, 51(2): 399–402.
- [15] Ahmed, J., Ramaswamy, H. S., Sashidhar, K. C. (2007). Rheological characteristics of tamarind (*Tamarindus indica L.*) juice concentrates. *LWT*, 40: 225–231.
- [16] Barrette, D. M., Garcia, E., Wayne, J. E. (1998). Textural modification of processing tomatoes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(3): 173-258.
- [17] Augusto, E. D., Falguera, V., Cristianini, M. P., Ibarz, A. (2011). Viscoelastic properties of tomato juice *Procedia, Journal of food science*, 1: 589 – 593.
- [18] Lee, Y., Bobroff, S., McCarthy, K. L. (2002). Rheological characterization of tomato concentrates and the effect on uniformity of processing. *Chemical Engineering Communications*, 189 (3): 339-351.
- [19] Elhadad, A. S., Alwakdi, O. M., Abusheta, A., Abdulsalam, F. (2013). Effect of Vacuum Concentration on the Properties of Apricot and Peach Juices. 3rd International Conference on Ecological, Environmental and Biological Sciences, Hong Kong (China).
- [20] Kaya, A., Sozer, N. (2005). Rheological behavior of sour pomegranate juice concentrates (*Punica granatum L.*) *International Journal of Food Science and Technology*, 40: 223–227.
- [21] Maskan, M. (2001). Kinetics of color change of kiwifruits during hot air and

- [38] Barnes, H. A., Hutton, J. F., Walters, K. (1989). An introduction to rheology. Elsevier, Amsterdam. PP: 115-139.
- [39] Dak, M., Verma, R., Jaaffray, S. (2007). Effect of temperature and concentration on the rheological properties of "Kesar" mango juice, *Journal of Food Engineering*, 80: 1011-1015.
- [40] Cabral, R., Orrego-Alzate, C., Gabas, A., Telis-Romero, J. (2007). Rheological and thermo physical properties of blackberry juice, *Food Technology*, 27: 589-595.
- [41] Chin, N., Chan, S., Yusof, Y., Chuah, T., Talib, R. (2009). Modeling of rheological behavior of pummelo juice concentrates using master -curve, *Food Engineering*, 93: 134-140.
- [42] Saracavos, G. D. (1970). Effect of temperature on viscosity of fruit juices and purees. *Journal of Food Science*, 35: 122-125.
- during heating at relatively high temperatures. *Journal of Food Engineering*, 39: 415-422.
- [34] Ahmed, J., Shivhare, U. S., Raghavan, G. S. V. (2004). Thermal degradation kinetics of anthocyanin and visual colour of plum puree. *European Food Research and Technology*, 218: 525-528.
- [35] Rhim, J. W., Nunes, R. V., Jones, V. A., Swartzel, K. R. (1989). Kinetics of color change of grape juice generated using linearly increasing temperature. *Journal of Food Science*, 54: 776-777.
- [36] Garcia-Viguera, C., Zafrilla, P., Romero, F., Abellan, P., Artes, F., Tomas- Barberan, F. A. (1999). Color stability of strawberry jam as affected by cultivar and storage temperature. *Journal of Food Science*, 64: 243-247.
- [37] Skrede, G. (1985). Color quality of blackcurrant syrups during storage evaluated by Hunter L, a, b values. *Journal of Food Science*, 50: 514-517, 525.

Effect of pressure and soluble solids concentration on Rheological behavior of sour pomegranate juice concentrates (Punica granatum L.)

Motamedzadegan, A. ¹, Hassan-zade, A. ^{2*}, Khosravi, T. ³

1. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Sari, University of Agriculture and Natural Resources.
2. PhD. Student, Department of Food Science and Technology, Sari, University of Agriculture and Natural Resources.
3. MSc. Graduate, Food Science and Technology, Markaze roshde vahedhaye fanavari tabarestan. Sari, Agricultural and Natural Resources University.

(Received: 93/2/31 Accepted: 94/5/31)

The aim of this work was to assess rheological behavior of sour pomegranate juice concentrates. Pomegranate juice was concentrated by heating at two pressure levels, atmospheric at 90-95⁰C and vacuum (0.1 atm) at 75⁰C, in three soluble solid concentrations 15%, 25% and 45%. The effect of these operating parameters on pH, acidity, density, color and rheological behavior (storage modulus and loss modulus) of pomegranate juice concentrate versus time of concentration was evaluated. The results showed that by increasing heating pH decreased and acidity of samples increased. There was a linear correlation between density and concentration degree of samples ($R^2 = 0.92$). Also, viscosity of samples is dependent on operational pressure and concentration degree ($p\text{-value} < 0.05$). Sour pomegranate concentrates display kinetics described by the Ostwald ($R^2 = 0.88$) and Herschel-Bulkley models ($R^2 = 0.91$). The obtained data are potentially useful for future studies on concentrates properties and process design.

Key word: Sour Pomegranate, Concentration, Vacuum, Rheology.

* Corresponding Author E-Mail Address: asiehhasanzadeh@gmail.com