

بررسی خصوصیات رئولوژیکی و آنتی‌اکسیدانی کنسانتره آب انار رقم رباب

مریم فرهمند^۱، محمدتقی گلمکانی^{۲*}، عسگر فرحناکی^۳، غلامرضا مصباحی^۲

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، بخش علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

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

۳- استاد بخش علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز و دانشکده علوم بیومدیكال دانشگاه چارلز استورت استرالیا

(تاریخ دریافت: ۹۴/۰۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۶/۱۳)

چکیده

انار (*Punica granatum L.*) به دلیل وجود مقادیر فراوان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، دارای خصوصیات تغذیه‌ای و درمانی گسترده ای می‌باشد. توجه به خصوصیات رئولوژیکی کنسانتره آب انار به منظور طراحی شرایط فراوری و تعیین ویژگی‌های آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از این پژوهش بررسی اثر دما (۵ و ۱۵ و ۲۵ درجه سلسیوس) و غلظت مواد جامد محلول مختلف (۵۵، ۶۰ و ۶۵ درجه بریکس) بر خصوصیات رئولوژیکی کنسانتره آب انار رقم رباب تازه و همچنین خصوصیات آنتی‌اکسیدانی و رئولوژیکی کنسانتره آب انار پس از ۲۰ هفته نگهداری در دماهای مختلف (۸۰-، ۲۰-، ۴، ۲۰ و ۳۵ درجه سلسیوس) می‌باشد. اگرچه گرانیوی ظاهری کنسانتره آب انار تازه با افزایش سرعت برشی کاهش یافت و رفتار غیرنیوتنی رقیق‌شونده با برش و منطبق با مدل هرشل بالکلی (به ویژه در بریکس ۶۵ و دمای ۵ درجه سلسیوس) از خود نشان داد، اما پس از نگهداری رفتار غلیظ‌شونده با برش از خود نشان داد. همچنین، اگرچه پس از ۲۰ هفته نگهداری، شاخص FRAP کاهش و شاخص DPPH افزایش یافت، اما شاخص‌های CUPRAC و FIC ثابت باقی ماندند. شاخص‌های نظیر اثر آنتی‌اکسیدانی و خصوصیات رئولوژیکی (گرانیوی ظاهری و تنش برشی) نمونه‌های نگهداری‌شده در دمای ۴ درجه سلسیوس طی ۱۴ هفته اول نگهداری مقادیر مشابهی با نمونه منجمد (نگهداری‌شده در دمای ۲۰- درجه سلسیوس) داشتند. به شکل کلی، بهترین دمای نگهداری برای حفظ کیفیت و کاهش هزینه‌ها دمای ۴ درجه می‌باشد.

کلید واژگان: خصوصیات رئولوژیکی، شاخص رفتار جریان، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، شاخص قوام، کنسانتره آب انار

*مسئول مکاتبات: golmakani@shirazu.ac.ir

۱- مقدمه

انار با نام علمی پونیکا گراناتوم^۱ میوه‌ای از خانواده پونیکاسه^۲ است که در اقلیم‌های خشک، نیمه گرمسیری و مدیترانه‌ای مانند ایران، کالیفرنیا، ترکیه، مصر، ایتالیا، هند و اسپانیا کشت می‌شود. سالانه نزدیک به ۱/۵ میلیون تن انار در جهان برداشت می‌شود که ۴۷٪ آن مربوط به ایران است. ایران از نظر میزان صادرات انار در رتبه اول جهان قرار دارد. انار رقم رباب نیریز فارس یکی از ارقام تجاری، عمده و برتر موجود در مناطق مختلف ایران است که دارای پوست کلفت و قرمز و دانه قرمز می‌باشد [۱]. میزان مصرف انار در سال‌های اخیر افزایش یافته است که این مهم می‌تواند به دلیل افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان از خصوصیات تغذیه‌ای انار باشد [۲]. بسیاری از مطالعات اپیدمیولوژی نشان داده است که میوه انار حاوی ترکیبات با ارزشی با خصوصیات دارویی و درمانی (آنتی‌اکسیدانی، ضدسرطانی، ضدتصلب شریانی و غیره) است. این ویژگی‌های تغذیه‌ای ارزشمند بیشتر مربوط به حضور ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند ترکیبات فنولی، آنتوسیانین‌ها، الازیک‌اسید، فلاونوئیدها و تانن‌ها می‌باشد [۳].

آب انار به منظور جلوگیری از فساد، کاهش هزینه حمل و نقل و نگهداری و غیره تغلیظ می‌شود. بدلیل حفظ کیفیت پس از فرایند تغلیظ، کنسانتره آب انار در سردخانه ۱۸- درجه سلسیوس به صورت منجمد نگهداری می‌گردد. که این نگهداری هزینه‌های زیادی برای تولیدکنندگان در بر دارد. نگهداری مواد غذایی فرایندشده (کنسرو شده، منجمد شده و آبمیوه‌ها) می‌تواند کیفیت و خصوصیات فیزیوشیمیایی آنها را تحت تأثیر قرار دهد.

خصوصیات رئولوژیکی به خصوصیات ماکروسکوپی ترکیبات بستگی داشته که تغییر در این خصوصیات نشان-دهنده منظم تر شدن ساختار یا بی‌نظمی شبکه پلیمری در اثر واکنش متقابل بین ترکیبات سیستم است. رئولوژی محصول تحت تأثیر عوامل متعددی مانند درصد مواد جامد محلول، دمای کنسانتره کردن و دمای فرایندها قرار می‌گیرد [۴]. برای آگاهی از طراحی و عملکرد دستگاه‌ها، تعیین نوع جریان و رفتار رئولوژیکی بسیار مهم است. Quek و همکاران در

3. Source sopo

4. Pummelo

5. 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

6. Ferrous ion reducing antioxidant power

1. *Punica granatum* L.

2. Punicaceae

سال ۲۰۱۳ اثر دما و غلظت مواد جامد محلول بر خصوصیات رئولوژیکی عصاره تغلیظ شده سورس سوپ^۳ را در سرعت‌های برشی ۴۰۰-۰ بر ثانیه در محدوده وسیعی از دما (۷۰-۱۰ درجه سلسیوس) و غلظت مواد جامد محلول (۵۰-۱۰ درجه بریکس) را مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که کنسانتره رفتار رقیق‌شونده با برش دارد [۵]. Chin و همکاران در سال ۲۰۰۹ خصوصیات رئولوژیکی کنسانتره آب پاملو^۴ را به منظور بررسی اثر دما (۶ تا ۷۵ درجه سلسیوس) و غلظت مواد جامد محلول (۲۰، ۵۰ و ۶۰ درجه بریکس) بر نوع جریان و گرانروی مورد بررسی قرار دادند. نتیجه بررسی‌ها نشان داد که دما و غلظت مواد جامد محلول، اثر مهمی بر شاخص قوام و رفتار جریان دارد. گرانروی با افزایش دما کاهش و با افزایش مواد جامد محلول افزایش یافت، همچنین، کنسانتره آب پاملو رفتار غیر نیوتنی رقیق شونده با برش از خود نشان داد [۴]. Vandresen و همکاران در تحقیقی در سال ۲۰۰۹ به مطالعه تأثیر دما بر خصوصیات رئولوژیکی آب هویج در دو حالت پاستوریزه شده و غیرپاستوریزه پرداختند. اگرچه آب هویج قبل از تیمار حرارتی رفتار نیوتنی از خود نشان داد، اما آب هویج پاستوریزه شده رفتار رقیق‌شونده با برش از خود نشان داد و با تمامی مدل‌ها بجز مدل نیوتنی منطبق بود [۶].

ترکیبات زیست‌فعال و خصوصیات آنتی‌اکسیدانی آبمیوه‌ها طی دوره نگهداری تحت تأثیر عوامل خارجی متعددی قرار می‌گیرند. Klimczak و همکاران در سال ۲۰۰۷، تأثیر دما و زمان نگهداری بر میزان فنول کل و خصوصیات آنتی-اکسیدانی دو وارسته مختلف آب پرتقال صنعتی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میزان فنول کل و آنتی-اکسیدانی اندازه‌گیری شده به دو روش DPPH^۵ و FRAP^۶ پس از ۶ ماه نگهداری در دماهای ۱۸، ۲۸ و ۳۸ درجه سلسیوس کاهش معنی‌داری از خود نشان دادند [۷]. Van der Sluis و همکاران در سال ۲۰۰۵ میزان ترکیبات فنولی را بعد از ۱۱ ماه نگهداری در دمای اتاق مورد بررسی قرار

۲-۲- خصوصیات فیزیکوشیمیایی

مواد جامد محلول (TSS) با استفاده از رفاکتومتر دیجیتال (Carl Zeiss, Germany) در ۲۱ درجه سلسیوس و مواد جامد نامحلول با استفاده از سانتریفیوژ (Froilabo, SW14R, France) با سرعت بالا ($5,000 \times g$) اندازه‌گیری و نتایج بر حسب گرم ماده جامد نامحلول در ۱۰۰ گرم نمونه محاسبه شد [۹]. اندازه‌گیری بقیه شاخص-های فیزیکوشیمیایی مانند pH، اسیدیته، دانسیته، رطوبت، محتوای خاکستر، پروتئین و چربی کنسانتره آب انار بر اساس روش‌های Horwitz در سال ۲۰۰۶ اندازه‌گیری شد [۱۰].

۲-۳- بررسی خصوصیات رئولوژیک

خصوصیات رئولوژیک (گرانروی ظاهری و تنش برشی در مقابل سرعت برشی) کنسانتره تازه آب انار در بریکس‌ها (۵، ۶۰ و ۶۵ درجه بریکس) و دماهای مختلف (۵، ۱۵ و ۲۵ درجه سلسیوس) و همچنین نمونه‌های کنسانتره نگهداری‌شده در دماهای مختلف (۸۰-، ۲۰-، ۳۵ و ۳۵ درجه سلسیوس) در دمای ثابت ۲۵ درجه سلسیوس با تزریق ۰/۵ میلی‌لیتر از نمونه‌ها در ویسکومتر چرخشی صفحه‌ای و مخروطی بروکفیلد مجهز به سیستم کنترل دما (DVII pro Brook field ساخت آمریکا) و اسپیندل CP51 در سرعت‌های برشی ۰/۵ تا ۲۰۰ (برثانیه) بر اساس روش Goycoolea و همکاران در سال ۲۰۰۷ مورد بررسی قرار گرفت [۱۱].

۲-۴- فعالیت مهارکنندگی رادیکال آزاد

رادیکال آزاد DPPH^o (DPPH^o) یک ترکیب رنگی پایدار است که توانایی بالایی در جذب اتم‌های هیدروژن از آنتی‌اکسیدان‌ها و تشکیل کمپلکس بی رنگ DPPH را دارد. فعالیت مهارکنندگی کنسانتره آب انار پس از رساندن به درجه بریکس ۱۲ و با استفاده از DPPH^o اندازه‌گیری شد. یک میلی‌لیتر محلول متانولی نمونه در غلظت‌های ۱، ۱۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر متانول به ۱۹ میلی‌لیتر محلول متانولی ۰/۱ میلی مولار DPPH^o اضافه و به مدت ۶۰ دقیقه در تاریکی نگهداری شد. سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر در برابر نمونه شاهد خوانده شد.

داده و گزارش کردند که میزان ترکیبات فنولی به شکل چشمگیری کاهش یافت [۸].

هدف از این پژوهش: ۱- بررسی دما و غلظت مواد جامد محلول بر نوع رفتار جریان و گرانروی ظاهری کنسانتره آب انار، ۲- بررسی تغییر در خصوصیات رئولوژیک غلظت‌های مختلف مواد جامد محلول کنسانتره آب انار طی دوره نگهداری در دماهای مختلف و ۳- بررسی خصوصیات آنتی-اکسیدانی آب انار پس از دوره در دماهای مختلف نگهداری می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده‌سازی نمونه‌ها و شرایط نگهداری

معرف‌های ۲۰- دی فنیل ۱- پیکروهیدرازیل (DPPH) و فولین سیوکالتیو از شرکت سیگما آلدردیج (St. Louis, MO, USA) و بقیه مواد شیمیایی از شرکت مرک (Darmstadt, Germany) خریداری شدند. کنسانتره آب انار (*Punica granatum L. cv. Rabab*) مورد استفاده در پژوهش حاضر از کارخانه نارنی (مزرعه سبز) تهیه گردید. انار ورودی این کارخانه از روستای رودخور واقع در ۱۰۰ کیلومتری شهر نیریز (استان فارس، ایران) در اواخر مهر ماه برداشت شد. کنسانتره آب انار برای انجام آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی در ۵ دمای مختلف نگهداری شدند. نمونه‌ها در فریزر ۲۰- درجه سلسیوس (General Electric Co, USA)، گرمخانه یخچال‌دار ۴ درجه سلسیوس (Sanyo Electric Co., Japan)، گرمخانه‌های ۲۰ و ۳۵ درجه سلسیوس (Parsian Teb Co., Iran) و همچنین فریزر ۸۰- درجه سلسیوس (Jal Tajhiz Co., Iran) عنوان نمونه‌های شاهد قرار گرفتند. آزمون رئولوژی بر روی نمونه‌های کنسانتره تازه آب انار در غلظت‌های مختلف مواد جامد محلول (۵، ۶۰ و ۶۵ درجه بریکس) و دماهای مختلف (۵ و ۱۵، ۲۵ درجه سلسیوس) انجام شد. آزمون‌های آنتی‌اکسیدانی (DPPH, FRAP, CUPRAC, FIC) خصوصیات رئولوژیک بر روی نمونه‌های نگهداری‌شده در دماهای مختلف پس از ۲۰ هفته نگهداری در مقابل نمونه شاهد (نگهداری‌شده در دمای ۸۰- درجه سلسیوس) مورد بررسی قرار گرفت.

نهایی در طول موج ۴۵۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. ویتامین C در غلظت‌های ۱، ۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به عنوان استاندارد استفاده شد [۱۴].

۷-۲- درصد کلاته کنندگی یون آهن

درصد کلاته کنندگی یون آهن^۲ (FIC) مطابق روش Ponmozhi و همکاران در سال ۲۰۱۱ با اندکی اصلاحات انجام شد. به ۱۰۰ میکرولیتر نمونه ۱۰۰ میکرولیتر فریک کلرید یک میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر فروزین یک میلی-مولار اضافه و با متانول به حجم ۱/۳ میلی‌لیتر رسانده شد. مخلوط حاصل به خوبی همزده شد و پس از ۱۰ دقیقه نگهداری در دمای اتاق، جذب نهایی در طول موج ۵۶۲ نانومتر اندازه‌گیری گردید. درصد کلاته کنندگی از رابطه (۲) محاسبه شد [۱۵].

رابطه (۲) کلاته‌کنندگی یون آهن (%) = $100 \times \frac{(Ab-As)}{Ab}$ در این رابطه Ab جذب نمونه شاهد (بدون نمونه یا EDTA) و As جذب در حضور نمونه یا EDTA بود.

۸-۲- آنالیز آماری

کلیه آزمایشات این پژوهش در ۳ تکرار انجام شدند. برای تجزیه و تحلیل نتایج حاصل، از طرح کاملاً تصادفی و نرم افزار SAS 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) استفاده شد. به منظور آنالیز میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال $P < 0.05$ استفاده گردید. رسم منحنی‌ها با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Office Excel 2013 انجام پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ترکیبات کنسانتره آب انار

نتایج حاصل از بررسی ترکیبات کنسانتره آب انار در جدول ۱ آورده شده است نتایج بدست آمده با نتایج پژوهش Kaya & Sözer بر روی کنسانتره آب انار در مورد شاخص‌هایی نظیر pH، اسیدیته کل و درصد مواد جامد محلول همخوانی دارد [۱۶].

درصد بازدارندگی DPPH^o (%) بر اساس رابطه (۱) اندازه‌گیری شد.

$$\text{رابطه (۱)} \quad (\% \text{ بازدارندگی } -Ac) \\ = 100 \times \frac{As}{Ac}$$

Ac جذب نمونه بدون آنتی‌اکسیدان و As جذب نمونه‌ها پس از ۶۰ دقیقه می‌باشد. IC₅₀ از درون یابی منحنی غلظت-جذب محاسبه گردید. IC₅₀ غلظتی از نمونه است که ۵۰ درصد از DPPH^o مهار (غیرفعال) شده باشد [۱۲].

۲-۵- قدرت احیاکنندگی یون آهن

قدرت احیاکنندگی یون آهن (FRAP) نمونه‌ها با استفاده از روش رنگ‌سنجی تعیین گردید. یک میلی‌لیتر از نمونه (کنسانتره آب انار با درجه بریکس ۱۲) با ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات (۰/۲ مولار با pH ۶/۶) و ۲/۵ میلی‌لیتر پتاسیم فری سیانید یک درصد مخلوط و به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سلسیوس گرمخانه‌گذاری گردید. سپس، ۲/۵ میلی‌لیتر تری کلرو استیک اسید ده درصد به مخلوط اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه همزده شد. در ادامه، ۲/۵ میلی‌لیتر آب مقطر و ۰/۵ میلی‌لیتر کلرید آهن ۰/۱ درصد به مخلوط اضافه و جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۰۰ نانومتر خوانده شد. میزان جذب بیانگر قدرت احیاکنندگی نمونه‌ها بود. از ویتامین C در غلظت‌های ۱، ۱۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به عنوان استاندارد استفاده شد [۱۳].

۲-۶- قدرت احیاکنندگی یون مس

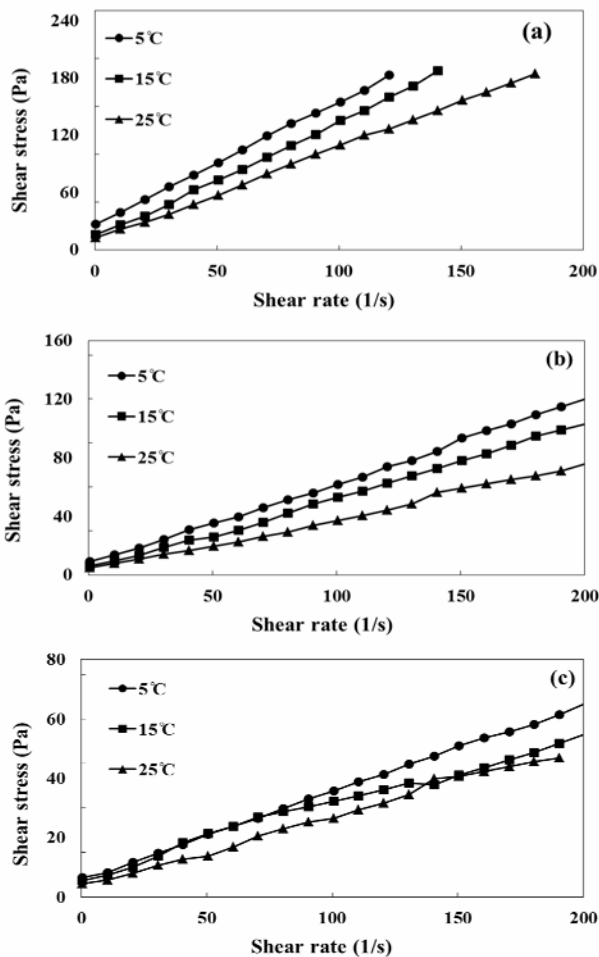
ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از طریق احیای یون مس^۱ (CUPRAC) بر اساس روش گزارش شده توسط Apak و همکاران در سال ۲۰۰۶ اندازه‌گیری شد. یک میلی‌لیتر از محلول ۰/۰۱ مولار Cu²⁺ با یک میلی‌لیتر محلول ۰/۷۵ میلی‌مولار نئوکوپرین و یک میلی‌لیتر محلول یک مولار آمونیوم استات مخلوط شد. سپس، ۰/۶ میلی‌لیتر از نمونه به همراه ۰/۵ میلی‌لیتر آب مقطر به مخلوط اضافه و جذب

2. Ferrous ion chelating

1. Cupric ion reducing antioxidant capacity

Table 1 Physicochemical properties of pomegranate juice concentrate

Physicochemical properties	Amount
Total soluble solid (TSS)	65.0±0.0
Total insoluble solid (TIS)	0.0±0.0
Protein (%)	1.7±0.2
Moisture content	34.4±0.3
Ash (%)	1.7±0.3
Fat (%)	1.1±0.2
Carbohydrate (%)	60.7±0.2
pH	2.7± 0.0
Density (g/cm ³)	1.3±0.0
Acidity (% citric acid)	6.3±0.0

**Fig 1** Shear stress-shear rate data of pomegranate juice concentrate at different temperatures and total soluble solids of (a) 65, (b) 60, and (c) 55 °Brix.**۳-۲- بررسی تغییرات تنش برشی در****برابر سرعت برشی**

بررسی تغییرات تنش برشی در برابر سرعت برشی کنسانتره تازه آب انار در غلظت‌های مختلفی از مواد جامد محلول و دماهای مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است. منحنی‌های رسم شده خصوصاً در مورد نمونه های ۶۵ درجه بریکس با ضریب همبستگی بیش از ۰/۹۸ با مدل Hershel- Bulkly مطابقت دارند. مقادیر تنش تسلیم نمونه‌ها در جدول ۲ آورده شده اند. مشابه نتایج این پژوهش، Ahmed و همکاران در سال ۲۰۰۵، خصوصیات رئولوژیکی کنسانتره آب تمبر هندی (در دماهای مختلف ۹۰-۱۰ درجه سلسیوس) را با استفاده از رئومتر با قابلیت کنترل تنش مورد بررسی قرار دادند. نتایج تنش برشی - سرعت برشی در دماهای پایین (۳۰-۱۰ درجه سلسیوس) کاملاً منطبق بر مدل Hershel- Bulkly بود [۱۷].

Table 2 Yield stress of the samples at different temperatures and total soluble solids.

Temperature (°C)	Total soluble solid (°Brix)		
	65	60	55
5	26.65	9.13	6.52
15	15.66	6.12	5.40
25	12.49	4.85	4.47

۳-۳- بررسی اثر دما و غلظت‌های مختلف

مواد جامد محلول بر شاخص قوام و شاخص

رفتار جریان

مقادیر شاخص قوام (k) با ضریب همبستگی بیش از $0/98$ (جدول ۳) نشان داده شده است. شاخص قوام کنسانتره آب انار با افزایش بریکس، افزایش یافت. همانطور که مشاهده می‌شود دما تأثیر معکوسی بر شاخص‌های قانون توان داشته و افزایش دما در غلظت‌های مختلف مواد جامد محلول $0/55$ و $0/65$ درجه بریکس (به استثنای درجه بریکس $0/60$ که تفاوت معنی‌داری نشان نداد)، شاخص قوام کاهش پیدا کرد. نتایج حاصل از مطالعات Chin و همکاران در سال 2009 نیز حاکی از این مطلب بود که دما و غلظت مواد جامد محلول به شکل معنی‌داری بر شاخص قوام مؤثر بوده و با افزایش دما و کاهش مواد جامد محلول، شاخص قوام کاهش می‌یابد [۴]. علاوه بر این مطالعاتی که روی کنسانتره شیر خرمای [۱۸]، کنسانتره آب شاه توت [۱۹]، و کنسانتره آب انبه [۲۰] انجام شده بود نیز مؤید یافته‌های این تحقیق می‌باشند.

مقادیر شاخص رفتار جریان (n) با ضریب همبستگی بیش از $0/98$ (جدول ۳) نشان داد که کنسانتره آب انار در غلظت مواد جامد محلول $0/65$ درجه بریکس و دماهای پایین‌تر، به ویژه در $0/5$ درجه سلسیوس، رفتار غیرنیوتنی رقیق‌شونده با برش ($n < 1$) از خود نشان می‌دهد. البته، در نمونه‌های با غلظت‌های پایین‌تر که رفتار رئولوژیکی آن‌ها در دماهای بالاتر بررسی شده بود، رفتار جریان مشابه رفتار نیوتنی بود. در غلظت‌های بالای مواد جامد محلول و دمای پایین، ملکول‌ها به دلیل تراکم در مقابل تنش برشی به صورت نامنظم آرایش پیدا می‌کنند. به همین دلیل همراستایی جزئی رفتار رقیق‌شوندگی با برش ($n < 1$) در این نمونه‌ها بیشتر است [۲۱]. Chin و همکاران در سال 2009 نیز در مورد کنسانتره آب پاملو گزارش کرده بودند، با افزایش غلظت مواد جامد محلول، رفتار رقیق‌شوندگی با برش افزایش می‌یابد، در

حالی‌که افزایش دما سبب کاهش رفتار رقیق‌شوندگی در کلیه غلظت‌های مواد جامد محلول گردید [۴]. همچنین، Oomah و همکاران در سال 1999 در بررسی آب باک تورن^۱ به این نتیجه رسیدند که در دماهای زیر 10 درجه سلسیوس، نمونه‌ها رفتار رقیق‌شونده با برش از خود نشان داده و شاخص رفتار جریان در دماهای بالاتر از 10 درجه سلسیوس، بالاتر از یک بود. در مورد کنسانتره آب انار نیز هنگام بررسی نمونه‌ها در غلظت‌های پایین مواد جامد محلول و دماهای بالا، رفتار رئولوژیکی مشابه رفتار نیوتنی ($n = 1$) بود [۲۲].

۳-۴- بررسی گرانروی ظاهری در مقابل

سرعت برشی

تغییرات گرانروی ظاهری در مقابل سرعت برشی نمونه‌ها در دماهای مختلف، نشان‌دهنده غیرنیوتنی بودن رفتار آن‌ها می‌باشد (شکل ۲). نمونه‌ها در سرعت‌های برشی پایین‌تر از 50 بر ثانیه رفتار رقیق‌شونده با برش و در سرعت‌های برشی بالاتر رفتار نیوتنی از خود نشان دادند. این نتایج نشان دادند که کنسانتره آب انار نیز مانند اغلب سیستم‌های غذایی رفتار رقیق‌شونده با برش از خود نشان می‌دهد. این پدیده بدین شکل قابل توضیح است که ملکول‌ها در درجه برش‌های پایین به صورت نامنظم آرایش پیدا کرده و تنها به صورت جزئی هم راستا شده که این امر به گرانروی ظاهری بالا منجر گردیده و با افزایش سرعت برشی هم‌راستایی ملکول‌ها بیشتر می‌شود [۲۱]. Dak و همکاران در سال 2007 ویژگی‌های رئولوژیکی آب انبه را مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند با افزایش سرعت برشی، گرانروی آب انبه کاهش می‌یابد [۲۰]. در پژوهش حاضر ماهیت رقیق‌شونده با برش در غلظت‌های بالاتر مواد جامد محلول بیشتر از غلظت‌های پایین‌تر بود.

1. Sea buck thorn

Table 3 Consistency coefficients (k) and flow behavior index (n) of fresh pomegranate juice concentrate in different temperature and total soluble solid.

Rheological properties	Total soluble solid (°Brix)	Temperature (°C)		
		5	15	25
Consistency coefficient (k; mPa.s)	55	*33 ^{a,C} ±2	25 ^{a,C} ±3	20 ^{b,C} ±5
	60	216 ^{a,B} ±11	53 ^{b,B} ±1	40 ^{c,B} ±1
	65	600 ^{a,A} ±55	128 ^{b,A} ±5	63 ^{c,A} ±5
Flow behavior index (n)	55	1.02 ^{a,A} ±0.05	1.05 ^{a,A} ±0.02	1.00 ^{a,B} ±0.02
	60	1.01 ^{a,A} ±0.01	1.03 ^{a,A} ±0.03	1.06 ^{a,A} ±0.01
	65	0.84 ^{c,C} ±0.02	0.96 ^{b,B} ±0.01	1.06 ^{a,A} ±0.03

* Mean ± standard deviation (n=3). In each row and column, means with different small and capital letters are significantly different, respectively ($P < 0.05$).

۳-۵- تغییر خصوصیات رئولوژیکی پس از دوره نگهداری

شکل ۳ تغییرات گرانروی ظاهری و تنش برشی نمونه‌های نگهداری‌شده در دماهای مختلف را در برابر سرعت برشی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج نمونه شاهد (نگهداری‌شده در دمای ۸۰- درجه سلسیوس) رفتار رئولوژیک رقیق‌شونده با برش (منطبق با مدل هرشل باکلی) از خود نشان داد. این امر به دلیل پایین بودن سرعت تغییرات بیوشیمیایی و عدم تشکیل ذرات بهم پیوسته در این دمای خیلی پایین است، اما نمونه‌های نگهداری‌شده در دیگر دماها (۲۰-، ۴، ۲۰ و ۳۵ درجه سلسیوس) رفتار غلیظ‌شونده با برش از خود نشان دادند. رفتار غلیظ‌شونده با برش در نمونه‌های نگهداری‌شده در دمای ۳۵ درجه سلسیوس مشهودتر از نمونه‌های نگهداری‌شده در دماهای ۲۰-، ۴ و ۲۰ درجه سلسیوس بود. نمونه‌های نگهداری‌شده در دماهای ۲۰-، ۴ و ۲۰ درجه سلسیوس، در سرعت‌های برشی ۵۰ - ۰/۵ بر ثانیه و نمونه نگهداری‌شده در دمای ۳۵ درجه سلسیوس، در سرعت‌های برشی ۱۵۰ - ۰/۵ بر ثانیه رفتار غیرنیوتنی غلیظ‌شونده با برش از خود نشان دادند. تغییر رفتار کنسانتره آب انار طی دوره نگهداری به تجمع برخی مواد دارای وزن مولکولی بالا و ایجاد ذرات نسبتاً بزرگ تر مرتبط می‌باشد. اصطکاک بین این ذرات نسبتاً بزرگ با افزایش نیروی برشی افزایش یافته و در نتیجه رفتار غلیظ‌شونده با برش مشاهده می‌گردد. این رفتار غیرنیوتنی می‌تواند مربوط به شکل‌گیری واحدهای مولکولی سنگین وزن تشکیل شده مانند ساختارهای پروتئین- پلی فنول طی دوره نگهداری باشد [۲۳ و ۲۴].

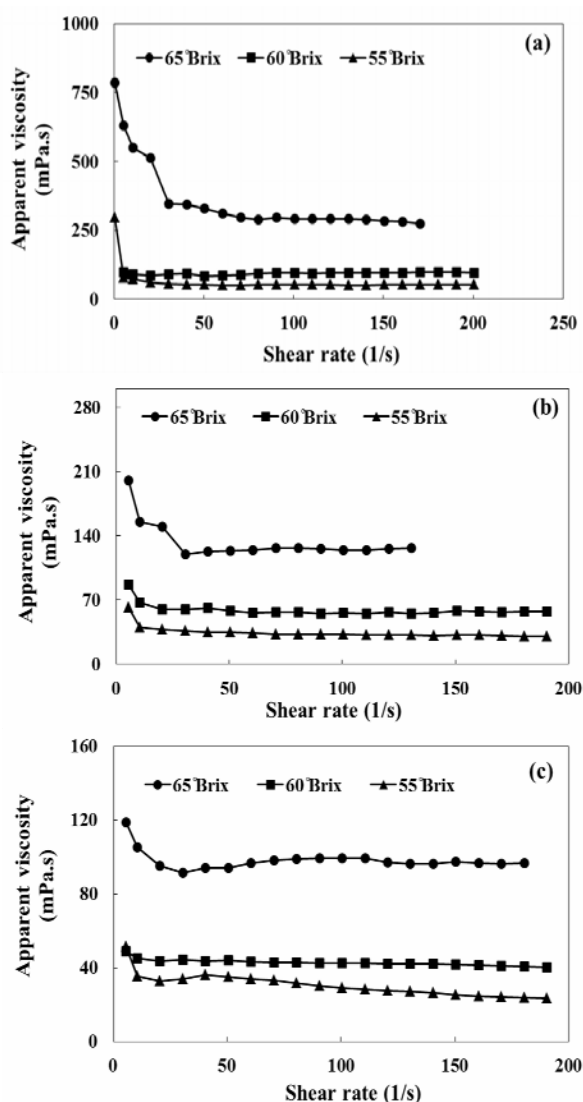


Fig 2 Apparent viscosity-shear rate data of pomegranate juice concentrate at different total soluble solids and temperatures of (a) 5, (b) 15, and (c) 25 °C.

شاهد مشاهده نگردید. مشابه نتایج تحقیق حاضر، Klimczak و همکاران در سال ۲۰۰۷ گزارش کردند که خاصیت مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH در آب پرتقال طی ۶ ماه نگهداری در دمای ۳۸ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد. این کاهش عمدتاً مربوط به از دست رفتن ویتامین C طی دوره نگهداری می‌باشد [۷]. همچنین، Igual و همکاران در سال ۲۰۱۱ آب انگور را به مدت ۲ ماه در دو دمای ۴ و ۱۸- درجه سلسیوس نگهداری و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها را به روش DPPH اندازه‌گیری کردند. نتایج بیانگر آن بود که فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های نگهداری‌شده در دمای ۱۸- درجه سلسیوس بیشتر از نمونه‌های نگهداری‌شده در ۴- درجه سلسیوس بود [۲۵]. Rababah و همکاران در سال ۲۰۰۴ گزارش کردند که قابلیت مهارکنندگی رادیکال آزاد تحت تأثیر ساختار اسیدهای فنولیک و فلاونوئیدها و همچنین مشتقات آن‌ها (مانند تعداد گروه‌های هیدروکسیل در ملکول) می‌باشد [۲۶].

نتایج حاصل از بررسی ارزش FRAP نشان داد که میزان این شاخص در نمونه‌های نگهداری‌شده در دماهای ۴، ۲۰ و ۳۵ درجه سلسیوس کمتر از نمونه شاهد بود (جدول ۴). مشابه با نتایج تحقیق حاضر، Piljac-Zegara و همکاران در سال ۲۰۱۱، میوه گیلاس را ۴ و ۱۷ روز به ترتیب در دماهای ۴ و ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری و مشاهده کردند که ارزش FRAP در هر دو دما کاهش می‌یابد [۲۷].

همچنین، Klimczak و همکاران در سال ۲۰۰۷، ارزش FRAP آب پرتقال را پس از ۶ ماه نگهداری در دماهای ۱۸، ۲۸ و ۳۸ درجه سلسیوس مورد ارزیابی قرار داده و مشاهده کردند که ارزش FRAP پس از دوره نگهداری کاهش می‌یابد. این کاهش عمدتاً بدلیل کاهش میزان ترکیبات فنولی و ویتامین C می‌باشد [۷]. Shakeri و همکاران در سال ۲۰۱۶ پس از ۶ ماه نگهداری آبغوره در دمای ۴ درجه سلسیوس کاهش چشمگیری را در محتوای ترکیبات فنولی گزارش کرده و علت آن را به انجام واکنش‌های اکسیداسیون طی دوره نگهداری نسبت دادند [۲۸]. روش FRAP فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها و آب میوه‌ها را بر اساس توانایی احیا کنندگی آهن می‌سنجد. Deepa و همکاران در سال ۲۰۰۷ نشان دادند که کاهش ارزش FRAP بیانگر کاهش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی قابل حل در آب می‌باشد [۲۹].

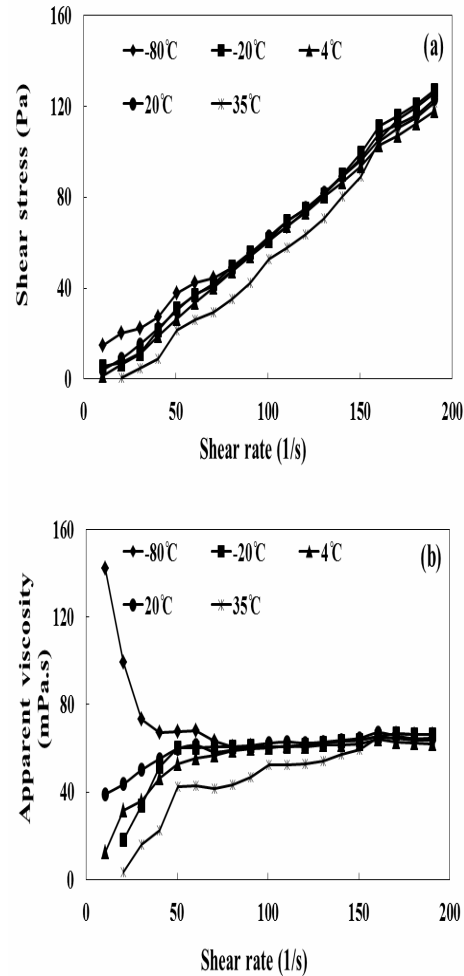


Fig 3 (a) Shear stress-shear rate and (b) apparent viscosity-shear rate of pomegranate juice concentrate (65 °Brix) at different temperatures.

۳-۶- تأثیر نگهداری بر خصوصیات آنتی

اکسیدانی

اثر دوره نگهداری بر خصوصیات آنتی‌اکسیدانی کنسانتره آب انار در جدول ۴ نشان داده شده است. میزان IC_{50} نمونه کنسانتره آب انار با افزایش دمای نگهداری افزایش و در نتیجه فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاهش یافت. تفاوت معنی‌داری بین IC_{50} نمونه‌های نگهداری‌شده در دماهای ۴ و ۲۰ درجه سلسیوس (۰/۵۴ و ۰/۵۳ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) در مقایسه با نمونه شاهد (۰/۴۷ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) مشاهده گردید. بیشترین میزان IC_{50} و کمترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۰/۶۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) مربوط به نمونه نگهداری‌شده در دمای ۳۵ درجه سلسیوس بود. تفاوت معنی‌داری بین میزان IC_{50} نمونه نگهداری‌شده در دمای ۲۰- درجه سلسیوس با نمونه

این روش یک روش انتخابی سریع برای تشخیص حضور آنتی‌اکسیدان‌ها بدون در نظر گرفتن نوع ترکیب شیمیایی و قابلیت انحلال آن‌ها در آب می‌باشد. این روش قادر به اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدان‌های گروه تیول همانند گلوکوتایون و تیول‌های غیرپروتئینی می‌باشد [۳۱].

Gardner و همکاران در سال ۲۰۰۰ پس از بررسی محتوای آسکوربیک اسید و ارزش FRAP نمونه‌های آب پرتقال، ارتباط مستقیمی بین محتوای آسکوربیک اسید و ارزش FRAP گزارش کردند [۳۰]. روش احیای مس به منظور ارزیابی توان آنتی‌اکسیدانی ترکیبات مختلف به کار می‌رود.

Table 4 Antioxidant properties of pomegranate juice concentrate after 20 weeks storage at different temperatures

Antioxidant index	Storage temperature (°C)				
	-80	-20	4	20	35
IC50 (mg/ml)	0.47 ^c ±0.00	0.45 ^c ±0.00	0.54 ^b ±0.00	0.53 ^b ±0.00	0.61 ^a ±0.00
FRAP value (g ascorbic acid/ L)	1.27 ^a ±0.02	1.27 ^a ±0.01	1.13 ^b ±0.03	1.16 ^b ±0.02	1.09 ^b ±0.02
CUPRAC value (g ascorbic acid/ L)	1.8 ^a ±0.1	1.8 ^a ±0.1	1.8 ^a ±0.2	1.8 ^a ±0.2	1.7 ^a ±0.3
FIC value (%)	20 ^a ±2	20 ^a ±1	20 ^a ±2	21 ^a ±1	22 ^a ±1

۵- منابع

- [1] Ahmadi, N., Noorbakhsh, R., Faraji, M., & Fadavi, Gh. 2013. Iranian Journal of Nutrition Science & Food Technology, 7, 77-82.
- [2] Fischer, U. A., Carle, R., & Kammerer, D. R. 2011. Identification and quantification of phenolic compounds from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel, mesocarp, aril and differently produced juices by HPLC-DAD-ESI/MS n. Food Chemistry, 127, 807-821.
- [3] Mousavinejad, G., Emam-Djomeh, Z., Rezaei, K., & Khodaparast, M. H. H. 2009. Identification and quantification of phenolic compounds and their effects on antioxidant activity in pomegranate juices of eight Iranian cultivars. Food Chemistry, 115, 1274-1278.
- [4] Chin, N.L., Chan, S.M., Yusof, Y.A., Chuah, T.G., & Talib, R.A. 2009. Modelling of rheological behaviour of pummelo juice concentrates using master – curve. Journal of Food Engineering, 93, 134-140.
- [5] Quek, M. C., Chin, N. L., & Yusof, Y. A. 2013. Modelling of rheological behaviour of soursop juice concentrates using shear rate–temperature–concentration superposition. Journal of Food Engineering, 118, 380-386.
- [6] Vandresen, S., Quadri, M. G., de Souza, J. A., & Hotza, D. 2009. Temperature effect on the rheological behaviour of carrot

۴- نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش خصوصیات رئولوژیکی کنسانتره تازه آب انار در غلظت‌های مختلف مواد جامد محلول و دماهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت نتایج نشان داد که کنسانتره آب انار در غلظت ۶۵ درجه بریکس و دمای ۵ درجه سلسیوس رفتار رقیق شونده با برش از خود نشان داد. همچنین اثر دماهای مختلف طی دوره نگهداری کنسانتره آب انار صنعتی بر خصوصیات آنتی‌اکسیدانی و رئولوژیکی و به منظور تخمین شرایط مناسب برای کاهش هزینه‌های نگهداری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر آن بود که کیفیت کنسانتره آب انار تحت تأثیر شرایط نگهداری (دما و مدت زمان نگهداری) قرار دارد. شاخص‌های کیفی نمونه‌های نگهداری شده در دماهای ۴ و ۲۰- درجه سلسیوس تا هفته چهاردهم مشابه بودند در نتیجه، نگهداری در دمای یخچالی می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای مناسب جهت کاهش هزینه‌های نگهداری مطرح باشد. علاوه بر این تمامی، نمونه‌های نگهداری شده در دماهای مختلف (۲۰- تا ۳۵ درجه سلسیوس)، پس از ۲۰ هفته نگهداری همچنان فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی از خود نشان دادند. در نتیجه، با وجود از دست رفتن بخشی از ترکیبات زیست‌فعال، همچنان کنسانتره آب انار به عنوان منبعی غنی از ترکیبات زیست‌فعال مطرح می‌باشد.

- [16] Kaya, A., & Sözer, N. 2005. Rheological behaviour of sour pomegranate juice concentrates (*Punica granatum* L.). *International Journal of Food Science & Technology*, 40, 223-227.
- [17] Ahmed, J., Ramaswamy, H., & Sashidhar, K. 2007. Rheological characteristics of tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice concentrates. *LWT-Food Science and Technology*, 40, 225-231.
- [18] Hobani, A. I. 1998. Rheological behavior of date- water concentrates. *Journal of Food Engineering*, 25, 357-396.
- [19] Cabral, R. A. F., Orrego-Alzate, C. E., Gabas, A. L., & Telis-Romero, J. 2007. Rheological and thermophysical properties of blackberry juice. *Food Science and Technology*, 27, 589-595.
- [20] Dak, M., Verma, R.C., & Sharma, G.P. 2006. Flow characteristics of juice of Totapuri mangoes. *Journal of Food Engineering*, 76, 557-561.
- [21] Omidbakhsh, E., Nayebzade, K., Mohammadifar, M. A., & Amiri, Z. 2013. Effects of combined modified starch and xanthan gum on the stability and rheological and sensory characteristics of tomato sauce. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 8, 145-158.
- [22] Oomah, B. D., Séry, G., Godfrey, D. V., & Beveridge, T. H. 1999. Rheology of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 3546-3550.
- [23] Pinelo, M., Zeuner, B., & Meyer, A. S. 2010. Juice clarification by protease and pectinase treatments indicates new roles of pectin and protein in cherry juice turbidity. *Food and Bioprocess Processing*, 88, 259-265.
- [24] Fang, Z., Zhang, M., Tao, G., Sun, Y., & Sun, J. 2006. Chemical composition of clarified bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) juice sediment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 7710-7716.
- [25] Igual, M., García-Martínez, E., Camacho, M., & Martínez-Navarrete, N. 2011. Changes in flavonoid content of grapefruit juice caused by thermal treatment and storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12, 153-162.
- [26] Rababah, T.M., Hettiarachchy, N.S., & Horax, R. 2004. Total phenolics and juices. *Journal of Food Engineering*, 92, 269-274.
- [7] Klimeczak, I., Małecka, M., Szlachta, M., & Gliszczynska-Świgło, A. 2007. Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20, 313-322.
- [8] Van der Sluis, A. A., Dekker, M., & van Boekel, M. A. 2005. Activity and concentration of polyphenolic antioxidants in apple juice. 3. Stability during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1073-1080.
- [9] Ibarz, A., Garza, S., Garvin, A., & Pagan, J. 2011. Degradation of mandarin juice concentrates treated at high temperatures. *Journal of Food Process Engineering*, 34, 682-696.
- [10] Horwitz, W., & Albert, R. 2006. The Horwitz ratio (HorRat): a useful index of method performance with respect to precision. *Journal of AOAC International*, 89, 1095-1109.
- [11] Goycoolea, F.M., Nieblas, J. M., Noriega, L. O., & Higuera Ciapara, I. 1997. Temperature and concentration effect on the flow behavior of stick water. *Bioresource Technology*, 59, 217-225.
- [12] Mazidi, S., Rezaei, K., Golmakani, M., Sharifan, A., & Rezazadeh, S. 2012. Antioxidant activity of essential oil from Black Zira (*Bunium persicum* Boiss.) obtained by microwave-assisted hydrodistillation. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14, 1013-1022.
- [13] Fawole, O. A., & Opara, U. L. 2013. Changes in physical properties, chemical and elemental composition and antioxidant capacity of pomegranate (cv. Ruby) fruit at five maturity stages. *Scientia Horticulturae*, 150, 37-46.
- [14] Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., Esin Karademir, S., & Ercag, E. 2006. The cupric ion reducing antioxidant capacity and polyphenolic content of some herbal teas. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 57, 292-304.
- [15] Ponmozhi, P., Geetha, M., Kumar, D. M. S., & Suganya Devi, P. 2011. Extraction of Anthocyanin and analyzing its antioxidant properties from *Pithecellobium Dulce* fruit pericarp. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 4, 41-45.

- Iranian Journal of Food Science and Technology, 13, 137-148.
- [29] Deepa, N., Kaura, Ch., Georgea, B., Singhb, B., & Kapoor, H. C. 2007. Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotyps during maturity. LWT-Food Science and Technology, 40, 121-129.
- [30] Gardner, P.T., White, T.A.C., McPhail, D.B., & Duthie, G.C. 2000. The relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. Food Chemistry, 68, 471-474.
- [31] Koksai, E., & Gulcin, I. 2008. Antioxidant activity of cauliflower. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 32, 65-78.
- antioxidant activities of fenugreek, green tea, black tea, grape seed, ginger, rosemary, gotu kola, and ginkgo extracts, vitamin E, and tert-butylhydroquinone. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52, 5183-5186.
- [27] Piljac-Žegarac, J., & Šamec, D. 2011. Antioxidant stability of small fruits in postharvest storage at room and refrigerator temperatures. Food Research International, 44, 345-350.
- [28] Shakeri, Sh., Mesbahi, Gh., & Niakousari, M. 2016. Characterization of fresh unripe grape juice (verjuice) and evaluation of some physicochemical properties changes of pasteurized unripe grape concentrate juice during storage.

Investigation the Rheological and Antioxidant Properties of Pomegranate (*Punica granatum* (L.) cv. Rabab) Juice Concentrate

Farahmand, M. ^{1*}, Golmakani, M. T. ^{2*}, Farahnaky, A. ³, Mesbahi, Gh. R. ²

1. Graduated MSc Student of Food Science and Technology Department, School of Agriculture, Shiraz University
 2. Assistant Professor of Food Science and Technology Department, School of Agriculture, Shiraz University
 3. Professor of Food Science and Technology Department, School of Agriculture, Shiraz University and of School of Biomedical Sciences, Charles Sturt University, Australia
- (Received: 2015/11/13 Accepted: 2016/09/03)

Owing to presence of large amounts of antioxidants, pomegranate (*Punica granatum* L.) reveals great nutritional properties. Study on rheological properties of fruit juice concentrates in order to appropriate design of manufacturing processes and to determine the nutritional values is of importance. The objectives of this study were investigating the effects of different total soluble solids (55, 60, and 65 °Brix) and temperatures (5, 15, and 25 °C) on rheological properties of fresh pomegranate juice concentrate as well as on antioxidant and rheological properties during 20-week storage. The concentrated pomegranate juice samples were stored at different temperatures namely -80 (control), -20, 4, 20, and 35 °C for measuring their rheological and antioxidant properties. Although, the viscosity of fresh pomegranate juice concentrate (particularly at 65 °Brix performed at 5 °C) decreased by increasing the shear rate and exhibited a typical non-Newtonian shear thinning behaviour (fitted to Herschel-Bulkley model), its storage led to shear thickening behaviour. After 20 weeks storage at different temperatures, FRAP value decreased and IC₅₀ one increased; however, FIC and CUPRAC values remained constant. The samples stored at 4°C for 14 weeks revealed similar rheological (viscosity and shear stress) and antioxidant properties to those stored at -20 °C. Taking into account the minimum cost, the best storage to yield high quality product was 4°C.

Keywords: Rheological characteristics, Flow behavior index, Antioxidant activity, Consistency index, Pomegranate juice concentrate

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