



اثر فرایند تغلیظ بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی آب گریپ فروت (*Citrus paradise*)

علی معتمدزادگان^{۱*}، مهدی پورشایگان^۲، عبدالخالق گل کار^۲، سارا مقصودی^۲، حدیثه باقری^۳

^۱دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، مازندران

^۲دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، مازندران

^۳کارشناس آزمایشگاه، پارک علم و فناوری مازندران، ساری، مازندران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۸

چکیده

سابقه و هدف: گریپ فروت، مشابه سبزیجات و مرکبات دیگر در فصول خاصی از سال رشد می‌کند. آب گریپ فروت دارای اثرات درمانی است. گریپ فروت دارای ۸۰ تا ۹۰ درصد آب است، اقتصادی ترین روش نگهداری، تبدیل آب گریپ فروت به فرم کنسانتره می باشد. در این مطالعه، اثر فرایند تغلیظ بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و خصوصیات رئولوژیکی کنسانتره گریپ فروت با چندین بریکس مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: گریپ فروت وارینه دانکن از بازار داخلی تهیه شد. بعد از آبگیری، تغلیظ آب گریپ فروت تا رسیدن به چندین بریکس مختلف (۹/۵، ۲۲، ۳۴/۵، ۴۷ و ۵۹/۵) با دستگاه تبخیر کننده چرخشی تحت خلاء (دمای ۶۰°C و سرعت ۶۰ دور بر دقیقه) انجام گرفت. مواد جامد محلول (Brix°)، pH، دانسیته، کدورت، پارامترهای رنگی و خصوصیات رئولوژیکی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: pH آب گریپ فروت تازه 2.77 ± 0.07 (بریکس ۹/۵) بود که طی تغلیظ به 2.26 ± 0.05 (بریکس ۵۹/۵) کاهش ($P < 0.05$) یافت. دانسیته و کدورت نمونه‌ها با پیشرفت فرایند تغلیظ و افزایش مواد جامد محلول افزایش معنی‌دار یافت ($P < 0.05$). کدورت در نمونه بریکس ۵۹/۵ در مقایسه با بریکس ۴۷ کاهش یافت که ناشی از تشکیل ترکیبات با وزن مولکول بالا در زمان طولانی حرارت دهی است. میزان روشنایی نمونه‌ها با فرایند تغلیظ، کاهش ($P < 0.05$)، شاخص قرمزی (a^*) افزایش و شاخص زردی (b^*) نمونه‌ها نیز کاهش معنی‌دار ($P < 0.05$) یافت. بررسی خصوصیات رئولوژیکی نمونه‌ها نشان داد که تمامی کنسانتره‌های گریپ فروت در محدوده فرکانس ۱۰-۰/۱ هرتز رفتار ژل گونه ($G' > G''$) داشته اند، به گونه‌ای که حتی در بریکس‌های پایین (بریکس ۹/۵) هم چنین رفتاری مشاهده شد. روند مدول کمپلکس یا G^* نمونه‌ها با افزایش مواد جامد محلول افزایش یافت. در حقیقت، با افزایش بریکس کنسانتره‌ها، رفتار نمونه‌ها از حالت شبه ژل به سمت مایع پیش می‌رود که مهمترین دلیل این پارامتر می‌تواند ناشی از تخریب حرارتی پکتین طی فرایند تغلیظ کنسانتره‌ها باشد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج بالا، فرایند تغلیظ تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی آب گریپ فروت داشت. خصوصیات رئولوژیکی کنسانتره گریپ فروت با ویژگی ذرات موجود در کنسانتره‌های گریپ فروت در ارتباط است. در تحقیقات بعدی، ارتباط بین توزیع اندازه ذرات با خصوصیات رئولوژیکی کنسانتره‌ها پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آب گریپ فروت، کنسانتره، خواص فیزیکوشیمیایی، خواص رئولوژیکی، پارامترهای رنگ

*مسئول مکاتبه: amotgan@yahoo.com

مقدمه

به‌طور کلی، مصرف آب میوه‌جات در اروپا، استرالیا، نیوزلند و آمریکا در سال‌های اخیر افزایش یافته که ناشی از آگاهی‌های مردم در خصوص منبع طبیعی مواد مغذی و افزایش سلامت جامعه است. آب مرکبات از جمله آب میوه‌های پر طرفدار است و بیش از ۵۰٪ تجارت بین‌المللی را به خود اختصاص داده است (۱۰). کیفیت آب مرکبات استخراج شده نه تنها به کیفیت میوه، بلکه به شرایط نگهداری و فرایندهایی که واکنش‌های آنزیمی، ارگانولپتیک، تغذیه‌ای و خصوصیات عملکردی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، هم بستگی دارد. طعم، رنگ، پایداری حالت و کدورت از جمله مواردی هستند که از نظر مصرف‌کنندگان مورد توجه می‌باشد. به علاوه رفتار جریان آب میوه‌جات بیانگر تجربه مصرف‌کننده در خصوص ویسکوزیته، اندزه ذرات و احساس دهانی است (۱۰). آب میوه‌جات زمان ماندگاری کوتاهی دارند و حساس به آلودگی‌های میکروبی و فعالیت آنزیم‌ها هستند. از اینرو، نیازمند تیمارهای خاصی به خصوص تیمار حرارتی برای غیر فعال کردن میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌هاست. ویسکوزیته آب میوه انتخاب تبخیر کننده را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ اما به‌طور معمول اواپراتورهای از نوع فیلمی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵).

توسعه یک فرایند مطمئن و قابل اطمینان نیازمند اطلاعاتی در خصوص رفتار جریان سیال‌ها است. اطلاع در خصوص رفتار جریان نوشیدنی‌ها برای کنترل کیفیت، کنترل فرایند، محاسبه مصرف انرژی و انتخاب تجهیزات مناسب، سودمند است. رفتار رئولوژیکی سیالات به ساختارهای مولکولی‌شان بستگی دارد. رفتار جریان نوشیدنی‌های میوه‌ای بسته به طبیعت نوشیدنی با مدل‌های رئولوژیکی مختلفی بیان می‌شود (۵). محاسبات رئولوژیکی ابزاری جهت

فراهم آوردن بینش پایه‌ای در خصوص ساختار مواد غذایی است و نقش مهمی در انتقال حرارت در سیالات غذایی دارد. ویژگی‌های رئولوژیکی محصولات غذایی تحت تأثیر دما، غلظت و حالت فیزیکی پراکنش^۱ است (۱). مطالعات متعددی در خصوص بررسی خصوصیات رئولوژیکی کنسانتره آب توت‌فرنگی (۱۱)، آب انار (۲)، گیلاس ترش (۵)، طالبی (۱۸)، آلوئه‌ورا (۲۳) و کیوی (۷) در دماها و غلظت‌های مختلف انجام شده است. در مطالعه‌ای تغییرات بافتی و خصوصیات رئولوژیکی واریته‌های مختلف انبه طی دوره رسیدن بررسی شد. مدل هرشل-بالکلی برای مطالعه رفتار رئولوژیکی پالپ محصول استفاده شد. نتایج نشان داد که در طی رسیدن محصول، اندیس رفتار جریان و تنش تسلیم کاهش و ضریب قوام افزایش یافت. پالپ انبه کاملاً رسیده، رفتار الاستیک بیشتری در مقایسه با رفتار ویسکوز از خود نشان داد و زاویه فازی (δ) کمتر از ۰/۵ تعیین شد (۸).

گریپ فروت، مشابه سبزیجات و مرکبات دیگر در فصول خاصی از سال رشد می‌کنند. آنها در شرایط آب و هوایی مشخصی کشت می‌شوند. از جمله در نواحی گرمسیری و نیمه گرمسیری که به صورت تازه در ماه‌های خاصی از سال در دسترس هستند. از اینرو، جهت اینکه آب گریپ فروت با کیفیت مناسب در دیگر ماه‌های سال هم وجود داشته باشد، آب گریپ فروت باید برای نگهداری و توزیع فرایند شود. از آنجایی که آب مرکبات دارای ۸۰ تا ۹۰ درصد آب است، اقتصادی‌ترین روش، تبدیل آن به فرم کنسانتره است (۲۲). گریپ فروت کالری زایی پایینی دارد؛ اما سرشار از مواد مغذی است. گریپ فروت حاوی ترکیباتی همچون نیاسین، آسکوربیک اسید، ویتامین آ، پتاسیم، فسفر، کلسیم، کربوهیدرات، پروتئین، چربی،

در استان گرگان خریداری شد. آبگیری از گریپ فروت با دستگاه آمیوه‌گیری (مدل تایگر^۳، پارس خزر، ایران) انجام و سپس آب گریپ فروت از فیلتر پارچه‌ای عبور داده شد تا پالپ و کلیه مواد خارجی از آن جدا گردد. آب گریپ فروت در دمای ۹۰°C به مدت ۱۵ ثانیه حرارت دهی شد. تغلیظ آب گریپ فروت با دستگاه تبخیر کننده چرخشی تحت خلاء (TAT-94-1046، شرکت طیف آزما طب، ایران) در دمای ۶۰°C و سرعت ۶۰ دور بر دقیقه انجام گرفت. بدین صورت، کنسانتره گریپ فروت با بریکس‌های ۹/۵ (بریکس اولیه آب گریپ فروت)، ۲۲، ۳۴/۵، ۴۷ و ۵۹/۵ تهیه شدند (۱۰ و ۱۸).

اندازه‌گیری مواد جامد محلول (Brix): میزان مواد جامد محلول با استفاده از رفراکتومتر (A-کروئس، مدل DR 301-95، آلمان) در دمای ۲۲±۱°C اندازه‌گیری شد و به صورت درجه بریکس گزارش گردید (۵).

اندازه‌گیری pH: اندازه‌گیری pH نمونه‌ها به کمک pH متر (سنا / pH، دماسنج، ایران) و در دمای ۲۲±۱°C انجام شد (۵).

اندازه‌گیری دانسیته به روش پیکنومتری: دانسیته نمونه‌ها با استفاده از پیکنومتر (۲۵ میلی‌لیتر) در دمای ۲۲±۱°C انجام شد (۲).

اندازه‌گیری کدورت نمونه‌ها: جهت اندازه‌گیری کدورت نمونه‌ها، ابتدا میزان مواد جامد محلول تمامی نمونه‌ها به میزان آب گریپ فروت اولیه رقیق سازی شد. سپس، نمونه‌ها در ۳۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (سانتریفیوژ یونیورسال، پکو، ایران) شدند. جذب قسمت رویی نمونه‌ها در ۶۶۰ نانومتر در برابر آب مقطر قرائت شد (مدل UV-2100،

آهن، سدیم، ریبوفلاوین و تیامین است. این میوه خطر ابتلا به بسیاری از بیماری‌ها را کاهش می‌دهد و نقش مهمی در کاهش وزن دارد (۲۱). به علاوه، آب گریپ فروت عملکرد برخی استاتین‌ها^۱ را در کاهش کلسترول لیپوپروتئین با دانسیته پایین و بیماری‌های قلبی افزایش داد. آب گریپ فروت دارای اثرات درمانی در کاهش ابتلا به سرطان است (۱۵). در تحقیقات قبلی، تغییرات رنگ کنسانتره آب گریپ فروت منجمد طی نگهداری (در دمای ۲۳°C- به مدت ۱۲ ماه) مورد بررسی قرار گرفت (۱۴). به علاوه، اخیراً پارامترهای فیزیکی (توزیع اندازه ذرات دانسیته، کدورت و رنگ)، رفتار جریان و ارزیابی حسی آب گریپ فروت تازه (تولید شده تحت فشار) با نمونه‌های پاستوریزه شده آن‌ها با استفاده از امواج مایکروویو و روش حرارت‌دهی معمول مقایسه شد و در نهایت، حرارت دهی به روش مایکروویو به عنوان یک روش برای پاستوریزاسیون آب گریپ‌فروت پیشنهاد شد (۱۰). براساس مطالعات صورت گرفته، تاکنون تحقیقی در خصوص بررسی خصوصیات جریانی کنسانتره گریپ فروت و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن صورت نگرفته است. از اینرو، هدف از این تحقیق بررسی اثر فرایند تغلیظ بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (pH، دانسیته، کدورت و رنگ سنجی) و خصوصیات رئولوژیکی کنسانتره گریپ فروت با بریکس‌های مختلف (۹/۵، ۲۲، ۳۴/۵، ۴۷ و ۵۹/۵) است.

مواد و روش‌ها

تهیه مواد اولیه و نحوه تغلیظ آب گریپ فروت: گریپ فروت (۱۹۰±۱۵/۳ گرم) واریته دانکن^۲ (*Citrus paradise var. Macfadyen*) از بازار داخلی

1. Statins
2. Duncan

$$G^* = \sqrt{G'^2 + G''^2} \quad \text{فرمول ۲:}$$

آنالیز آماری داده‌ها

کلیه آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شدند. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، از رویه تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.0 استفاده گردید. تمامی مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD (حدافل تفاوت معنی‌دار) در سطح معنی‌دار ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی: pH: تغییرات pH طی فرایند تغلیظ (از بریکس ۹/۵ به ۵۹/۵) در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطوری که مشاهده می‌شود، pH آب گریپ فروت طبیعی 2.77 ± 0.07 و تغییرات آن طی فرایند تغلیظ کاهش معنی‌داری نشان داد. کاهش pH طی فرایند تغلیظ ناشی از تغلیظ اسیدهای آلی آب گریپ فروت است که اسید آلی شاخص آن هم اسید سیتریک است. در مطالعه قبلی pH آب گریپ فروت واریته رابی رد^۲، ۳/۳ گزارش شد (۱۳). همچنین در مطالعه دیگری، pH کنسانتره آب گریپ فروت ۲/۵۶ گزارش شد (۶).

دانسیته: جدول ۱ نشان می‌دهد که دانسیته نمونه‌های کنسانتره گریپ فروت با افزایش مواد جامد محلول، به طور پیوسته افزایش یافت و این میزان افزایش در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود. در حقیقت، این نتایج نشان می‌دهد که دانسیته کنسانتره گریپ فروت شدیداً تحت تأثیر مواد جامد محلول در نمونه قرار می‌گیرد. نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از تحقیقات قبلی در خصوص آب پرتقال، هلو (۲۰)، آب انگور (۲۴) و طالبی (۱۸) همخوانی دارد.

یونیکو، انگلستان) و کدورت نهایی از معادله ۱ محاسبه شد (۱۹).

$$T = 100 - (100 \times 10^{-A}) \quad \text{معادله ۱:}$$

A نشان‌دهنده جذب نمونه است.

اندازه‌گیری پارامترهای رنگی: به منظور بررسی پارامترهای رنگی نمونه‌ها از دستگاه رنگ سنج (شرکت ابزارکاران فن پویای شمال، ایران) استفاده شد. *L بیانگر میزان روشنایی و دامنه آن از صفر تا ۱۰۰ متغیر می‌باشد، *a بیانگر قرمزی (+: قرمزی و -: سبزی) و *b شاخص زردی (+: زردی و -: آبی) می‌باشد که دامنه آنها از ۱۲۰- تا ۱۲۰+ است (۱۰).

بررسی خصوصیات رئولوژیکی: بررسی رفتار رئولوژیکی کنسانتره‌های گریپ فروت توسط دستگاه رئومتر (مدل فزیکا MCR 301، شرکت آنتون پار، کشور اتریش) انجام شد. تمامی آزمون‌ها در دمای کنترل شده ۲۰ °C انجام شد. سیستم رئومتری مجهز به سیرکولاتور آب برای کنترل دمایی با حساسیت ۰/۰۱ درجه سانتی‌گراد بود.

آزمون نوسانی: این آزمون با ژئومتری استوانه‌های متحدالمرکز با قطر ۵۰ و فاصله بین صفحات ۱ میلی‌متر انجام گرفت (۸). در این آزمون، ابتدا برای یافتن ناحیه ویسکوالاستیک خطی، هر نمونه تحت کرنش ۰/۰۱ تا ۱۰۰ درصد در فرکانس ثابت ۱ هرتز قرار گرفت. مقدار کرنش ۰/۱ درصد به عنوان کرنشی انتخاب شد که ساختار ماده در آن تخریب نمی‌گردد. سپس نمونه‌ها تحت کرنش ثابت از فرکانس ۰/۱ تا ۱۰۰ هرتز بررسی شدند. تغییرات مدول‌های ذخیره یا الاستیک (G') و افت یا گرانرو (G'') در مقابل تغییرات فرکانس رسم شدند. همچنین، تغییرات مدول کمپلکس^۱ (G^*) هم بررسی شد که از فرمول ۲ محاسبه شد:

رنگ سنجی: رنگ یکی از عوامل مهم در پذیرش محصولات مختلف غذایی توسط مصرف کننده است. با توجه به داده‌های رنگ سنجی در جدول ۱، اثر فرایند تغلیظ بر میزان روشنایی کنسانتره‌های گریپ فروت نشان داد که میزان این پارامتر با افزایش فرایند تغلیظ کاهش یافته ($P < 0/05$) و در حقیقت نمونه‌ها تیره‌تر می‌گردند. قرمزی نمونه‌ها نیز طی فرایند تغلیظ معنی‌دار بوده و روند افزایشی ($P < 0/05$) نشان داد و در انتهای فرایند از بریکس $34/5$ تا $59/5$ کاهش یافت که می‌تواند ناشی از تیرگی بیش از حد کنسانتره نهایی باشد که بر پارامتر قرمز غلبه کرده است. همچنین، شاخص زردی (b^*) نمونه‌ها نیز با طی تغلیظ، کاهش معنی‌دار ($P < 0/05$) داشت. برای مشاهده بهتر تغییرات رنگ نمونه‌ها، تصویر ظاهری از نمونه‌های کنسانتره گریپ فروت در شکل ۱ نشان داده شده است. تغییرات مشابه توسط اگوال و همکاران (۲۰۱۴) مشاهده شد. آنها گزارش کردند که فرایند پاستوریزاسیون ($80 \pm 2/5^\circ C$ به مدت ۸۰ ثانیه) آب گریپ فروت به طور معنی‌داری ($P < 0/05$) فاکتور روشنایی را کاهش؛ اما فاکتور b^* را افزایش می‌دهد (۱۰). به‌طور کلی، فرایند حرارتی منجر به افت محتوای اسید آسکوربیک و افزایش هیدروکسی متیل فورفورال^۱ در آب میوه شد که این فرایند در pH اسیدی شدیدتر انجام می‌گیرد (۶). تشکیل این ترکیب منجر به تیره شدن رنگ محصول می‌گردد؛ اگرچه افزایش مواد جامد محلول و کاهش میزان رطوبت خود دلیلی بر تیرگی رنگ کنسانتره گریپ فروت است.

کدورت: از آنجایی که ویژگی‌های نوری در آب مرکبات اهمیت دارد؛ از اینرو، کدورت به عنوان خصوصیت مناسبی در آب گریپ فروت مدنظر قرار گرفت. در طی استخراج آبمیوه، سلول‌ها در هم شکسته و ترکیبات کلوییدی همچون پروتئین‌ها، هیسپریدین، سلولز، همی سلولز و پکتین در آبمیوه معلق می‌گردند. این ترکیبات که در آب مرکبات کدورت ایجاد می‌کنند، مستقیماً با خصوصیت کدورت محصول نهایی در ارتباط هستند (۱۰). در جدول ۱ مشاهده می‌شود که کدورت آب گریپ فروت با پیشرفت فرایند تغلیظ و افزایش مواد جامد محلول افزایش یافت. همچنین، اختلاف معنی‌دار ($P < 0/05$) بین کدورت آب گریپ فروت اولیه و کنسانتره‌های با بریکس بالاتر وجود دارد. در حقیقت، طی تیمار حرارتی به واسطه ترکیب شدن پکتین با پروتئین‌ها کدورت آبمیوه افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که در نمونه با بریکس $59/5$ ، میزان کدورت در مقایسه با نمونه‌های با بریکس پایین‌تر، کمتر اندازه‌گیری شد که احتمالاً مربوط به پیشرفت بیشتر واکنش‌ها و شکل‌گیری ترکیبات رنگی با وزن مولکولی بالاتر است که در مرحله سانتریفیوژ کردن (قبل از اندازه‌گیری کدورت) رسوب کرده‌اند. چنین روند افزایش کدورت برای آب پرتقال هم مشاهده شده است (۱۲). به علاوه، گزارش شد که پاستوریزاسیون کدورت آب گریپ فروت را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (۱۰). افزایش کدورت با پیشرفت فرایند حرارتی می‌تواند ناشی از غیرفعال‌سازی آنزیم پکتین متیل استراز هم باشد.

جدول ۱: برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب و کنسانتره گریپ فروت

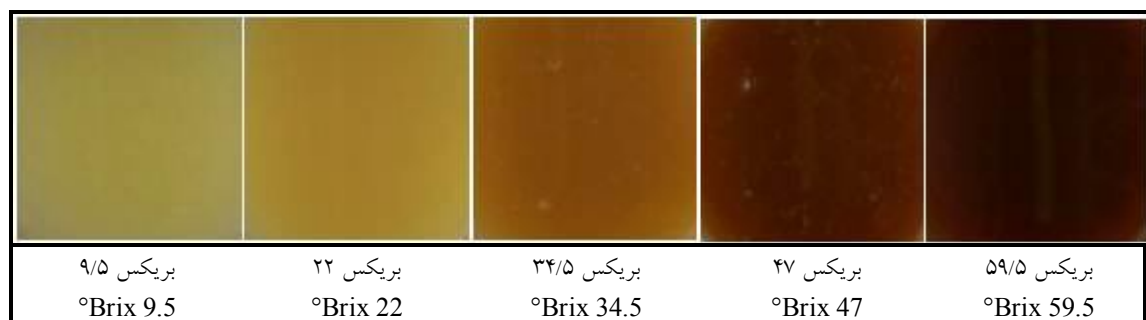
Table 1. Some of physicochemical properties of grapefruit juice and concentrates

نمونه‌های آب و کنسانتره گریپ فروت					ویژگی‌ها Properties
Grapefruit juice and concentrate samples					
بریکس ۵۹/۵ °Brix 59.5	بریکس ۴۷ °Brix 47	بریکس ۳۴/۵ °Brix 34.5	بریکس ۲۲ °Brix 22	بریکس ۹/۵ °Brix 9.5	
2.26±0.05 ^d	2.42±0.07 ^c	2.54±0.01 ^b	2.59±0.03 ^b	2.77±0.07 ^a	بی‌اج pH
1.31±0.01 ^a	1.24±0.01 ^b	1.17±0.01 ^c	1.12±0.02 ^d	1.04±0.01 ^e	دانسیته (gmL ⁻¹)
86.13±0.08 ^a	89.07±0.10 ^a	88.60±0.08 ^a	89.28±0.10 ^a	76.81±4.67 ^b	Density کدورت (-)
8.97±1.16 ^e	13.93±1.23 ^d	30.78±1.16 ^c	47.58±1.40 ^b	51.16±1.83 ^a	Turbidity L*
5.99±1.33 ^c	9.32±0.95 ^b	11.63±1.51 ^a	2.07±1.26 ^d	- 6.96±1.19 ^e	a*
5.46±0.56 ^e	8.66±0.63 ^d	18.54±0.73 ^c	26.65±0.79 ^a	24.37±1.72 ^b	b*

- نتایج به صورت میانگین سه تکرار ± انحراف از میانگین گزارش شده است. (Mean ± standard deviation)

- حروف غیر مشترک در هر ردیف بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵٪ است.

In each row, values with different letters are significantly different



شکل ۱: رنگ ظاهری آب و کنسانتره گریپ فروت

Figure 1. The apparent color of the grapefruit juice and concentrates

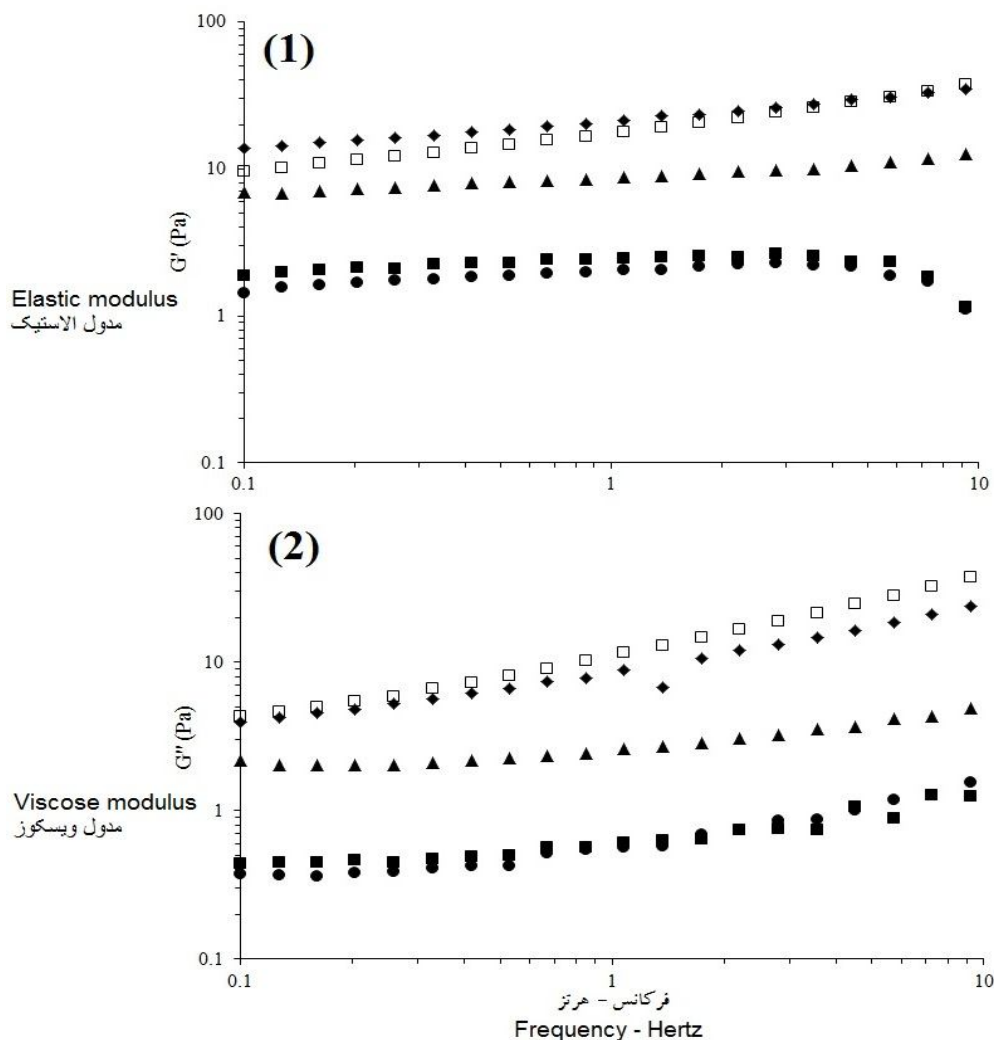
۲-۲، مقادیر G' و G'' نمونه‌ها با افزایش بریکس، افزایش نشان داد. در تمامی محدوده‌های فرکانس مورد آزمون برای کلیه نمونه‌ها، مقادیر مدول الاستیک از ویسکوز بالاتر بود ($G'' < G'$). هر دو پارامتر بیان شده به فرکانس وابسته بوده، به گونه‌ای که با افزایش فرکانس، مقادیر آنها افزایش یافت (بجز G' نمونه‌های با بریکس ۹/۵ و ۲۲ که در فرکانس بالا افت نشان داد). این موضوع ماهیت جامد ویسکوالاستیک نمونه‌ها را نشان می‌دهد. به علاوه، این رفتار از لحاظ رئولوژیکی به عنوان ژل ضعیف شناخته می‌شود.

خصوصیات رئولوژیکی

آزمون نوسانی: این آزمون، کاربردهای متعددی در اندازه‌گیری خواص ویسکوالاستیک مواد غذایی دارد. مدول الاستیک (G') بیانگر میزان انرژی ذخیره شده در ماده بوده، که در هر دوره از تغییر شکل بازیابی می‌گردد. مدول ویسکوز (G'') میزان انرژی از دست رفته است که به‌عنوان افت ویسکوز در هر دوره تغییر شکل اندازه‌گیری می‌گردد (قنبرزاده، ۱۳۸۸). نمودارهای نوسانی نمونه‌های کنسانتره گریپ فروت در شکل ۲ و ۳ نشان داده است. مطابق شکل ۲-۱ و

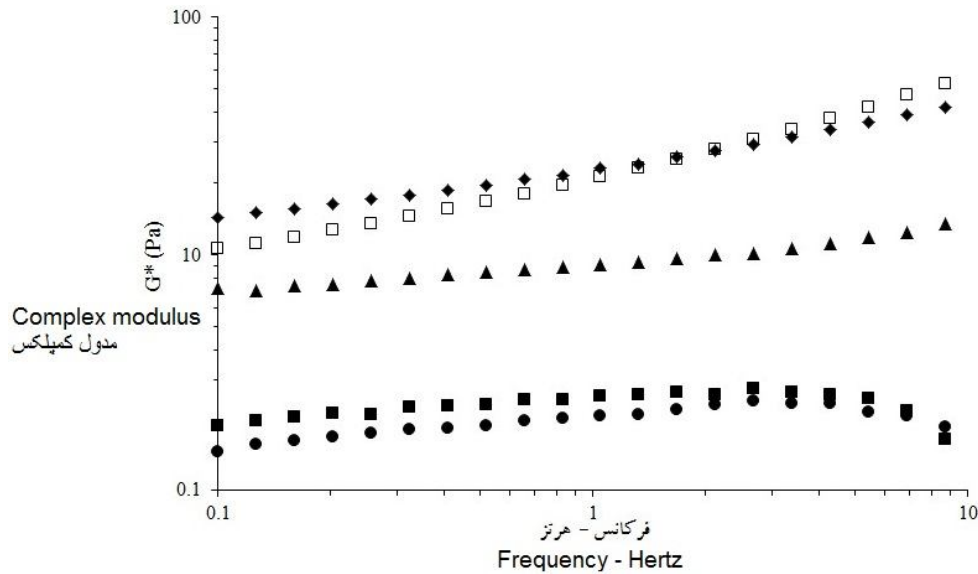
در شکل ۳، نمودار مدول کمپلکس یا G^* به فرکانس نشان داده شده است. مدول کمپلکس (G^*)، سفتی کلی را نشان می‌دهد، که شامل سفتی الاستیک و سفتی ویسکوز است. با توجه به شکل ۲، مدول کمپلکس یا G^* با افزایش مواد جامد محلول افزایش یافت. بنابراین با افزایش بریکس کنسانتره‌ها، رفتار نمونه‌ها از حالت شبه ژل به سمت مایع پیش می‌رود. همانگونه که قبلاً هم عنوان شد، مهمترین دلیل این پارامتر می‌تواند ناشی از تخریب حرارتی پکتین طی فرایند تغلیظ کنسانتره‌ها باشد.

حضور ترکیبات پکتینی می‌تواند دلیل بر بروز چنین رفتاری در نمونه‌ها باشد. تمامی کنسانتره‌های گریپ فروت رفتار ژل گونه ($G' > G''$) از خود نشان دادند، به گونه‌ای که حتی در بریکس‌های پایین (۹/۵) هم چنین رفتاری مشاهده شد. چنین رفتاری ناشی از وجود شبکه در ساختار سوسپانسیون است و ساختار ژل ضعیف را از خود نشان می‌دهد. چنین رفتاری برای سوسپانسیون گوجه فرنگی در غلظت‌های پایین (۱۰٪) هم گزارش شد (۴).



شکل ۲: نمودار نوسانی مدول الاستیک یا G' (۱) و مدول ویسکوز یا G'' (۲) به فرکانس نمونه‌های آب گریپ فروت و کنسانتره آنها با بریکس‌های مختلف (■: بریکس ۹/۵، ●: بریکس ۲۲، ▲: بریکس ۳۴/۵، ◆: ۴۷، □: ۵۹/۵)

Figure 2. Oscillatory curves of elastic modulus or G' (1) and viscous modulus or G'' (2) as function of frequency for the grapefruit juice and concentrates (■: Brix 9.5; ●: Brix 22; ▲: Brix 34.5; ◆: Brix 47; □: Brix 59.5)



شکل ۳: نمودار نوسانی مدول کمپلکس یا G^* به فرکانس نمونه‌های آب گریپ فروت و کنسانتره آنها با بریکس‌های مختلف (■): بریکس ۹/۵ (●): بریکس ۲۲ (▲): بریکس ۳۴/۵ (◆): بریکس ۴۷ (□): بریکس ۵۹/۵

Figure 3. Oscillatory curves of complex modulus or G^* as function of frequency for the grapefruit juice and concentrates (■: Brix 9.5; ●: Brix 22; ▲: Brix 34.5; ◆: Brix 47; □: Brix 59.5)

دادند. روند مدول کمپلکس یا G^* با افزایش مواد جامد محلول افزایش یافت. ویژگی‌های رئولوژیکی که طی فرایند تغلیظ صورت گرفته، به نظر می‌رسد که با ویژگی ذرات موجود در کنسانتره‌های گریپ فروت در ارتباط است. به طور کلی، فرایند تغلیظ تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی آب گریپ فروت داشت.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از همکاری و حمایت‌های مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و کارکنان مرکز رشد واحدهای فناوری طبرستان در طی انجام این پژوهش تشکر و سپاسگزاری نمایند.

منابع

1. Ahmed, J., Ramaswamy, H., and Sashidhar, K. 2007. Rheological characteristics of tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice concentrates. LWT-

نتیجه گیری کلی

تغلیظ آب گریپ فروت تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی نمونه‌ها داشت. pH آب گریپ فروت طی فرایند تغلیظ کاهش ($P < 0.05$)؛ اما دانسیته و کدورت نمونه‌ها با پیشرفت فرایند تغلیظ و افزایش مواد جامد محلول افزایش یافت. میزان روشنایی نمونه‌ها با افزایش فرایند تغلیظ، کاهش ($P < 0.05$) یافت. شاخص قرمزی (a^*) و شاخص زردی (b^*) نمونه‌ها نیز طی فرایند تغلیظ، افزایش داشت. تمامی نمونه‌ها رفتار رقیق شونده با برش داشتند و مدل هرشل بالکلی با رفتار نمونه‌های کنسانتره گریپ فروت همخوانی داشت. تمامی کنسانتره‌های گریپ فروت، حتی در بریکس‌های پایین ($9/5$)، هم رفتار ژل گونه ($G' > G''$) از خود نشان

Food Science and Technology. 40: 225-231.

2. Altan, A., and Maskan, M. 2005. Rheological behavior of pomegranate (*Punica granatum* L.) juice and

- concentrate. *Journal of Texture studies*. 36: 68-77.
3. Anthon, G.E., Diaz, J.V., and Barrett, D.M. 2008. Changes in pectins and product consistency during the concentration of tomato juice to paste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56: 7100-7105.
 4. Bayod, E. 2008. Microstructural and rheological properties of concentrated tomato suspensions during processing. PhD thesis. Institute of Food Science and Nutrition, Zurich, Switzerland.
 5. Belibağlı K.B., and Dalgic, A.C. 2007. Rheological properties of sour-cherry juice and concentrate. *International Journal of Food Science and Technology*. 42: 773-776.
 6. Burdurlu, H. S., Koca N., and Karadeniz, F. 2006. Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. *Journal of Food Engineering*. 74: 211-216.
 7. Diamante, LM. and Liu, H. 2016. Rheological properties of green and gold kiwifruit purees at different temperatures. *Journal of Food Chemistry and Nanotechnology*. 2: 50-56.
 8. Eyarkai Nambi, V., Thangavel, K., Ambika Rajeswari, K., Manickavasagan, A., and Geetha, V. 2016. Texture and rheological changes of Indian mango cultivars during ripening. *Postharvest Biology and Technology*. 117: 152-160.
 9. Ghanbarzadeh, B. 2009. Principales of food and food biopolymer rheology. Tehran Univ. Press, 392p. (In Persian).
 10. Igual, M., Contreras, C., Camacho, M., and Martínez-Navarrete, N. 2014. Effect of thermal treatment and storage conditions on the physical and sensory properties of grapefruit juice. *Food and Bioprocess Technology*. 7: 191-203.
 11. Juszczak, L. and Fortuna, T. 2003. Viscosity of concentrated strawberry juice: Effect of temperature and soluble solids content. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*. 6: 1-7.
 12. Klavons, J.A., Bennett, R.D. and Vannier, S.H. 1994. Physical/chemical nature of pectin associated with commercial orange juice cloud. *Journal of Food Science*. 59: 399-401.
 13. Lee, H., and Kim, J. 2003. Effects of debittering on red grapefruit juice concentrate. *Food Chemistry*. 82: 177-180.
 14. Lee, H.S., and Coates, G.A. 2002. Characterization of color fade during frozen storage of red grapefruit juice concentrates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50: 3988-3991.
 15. Lee, J.W., Morris, J.K., and Wald, N.J. 2015. Grapefruit juice and Statins. *The American Journal of Medicine*. 129: 26-29.
 16. Moelants, K.R., Cardinaels, R., Jolie, R.P., Verrijssen, T.A., Van Buggenhout, S., Van Loey, A.M., Moldenaers P., and Hendrickx. M.E. 2014. Rheology of concentrated tomato-derived suspensions: effects of particle characteristics. *Food and Bioprocess Technology*. 7: 248-264.
 17. Moelants, K., Cardinaels, R., Buggenhout, S., Loey, A.M., Moldenaers, P. and Hendrickx, M.E. 2014. A Review on the Relationships between Processing, Food Structure, and Rheological Properties of Plant-Tissue-Based Food Suspensions. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 13: 241-260.
 18. Mohamadi Sani, A., Hedayati, G., and Arianfar, A. 2014. Effect of temperature and concentration on density and rheological properties of melon (*Cucumis melo* L. var. *Inodorus*) juice. *Nutrition & Food Science*. 44: 168-178.
 19. Nicolau, K., Andrey, J., Vitoriano, P., and Cecilia C. 2008. Inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase in green coconut water by microwave processing. *Journal of Food Engineering*. 88: 169-176.
 20. Ramos, A., and Ibarz, A. 1998. Density of juice and fruit puree as a function of soluble solids content and temperature. *Journal of Food Engineering*. 35: 57-63.
 21. Sarker, S.K., Tun, K.K., Eva, E.O., and Paul, R. 2015. Grapefruit juice: nutritional Values and drug interactions. *International Journal of Integrative Medical Sciences*. 2: 186-189.

22. Strobel, R.G. 1986. Grapefruit juice concentrate. Google Patents 4569853.
23. Swami Hulle, N.R., Patruni, K., and Rao, P.S. 2014. Rheological properties of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller.) juice concentrates. Journal of Food Process Engineering. 37: 375-386.
24. Zuritz, C., Puentes, E.M., Mathey, H., Pérez, E., Gascon, A., Rubio, L., Carullo, C., Chernikoff, R., and Cabeza, M. 2005. Density, viscosity and coefficient of thermal expansion of clear grape juice at different soluble solid concentrations and temperatures. Journal of Food Engineering. 71: 143-149.

Effect of Concentration on the Physicochemical and Rheological Properties of Grapefruit Juice (*Citrus paradise*)

A. Motamedzadegan^{1*}, M. Porshayegan², A. Golkar², S. Maghsodi², H. Bagheri³

¹Associate Professor, Department of Food Science and Technology,
Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

²Ph.D student of Food Science and Technology, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources
University, Sari, Iran

³Laboratory Assistant, Mazandaran Science and Technology Park, Sari, Iran

Received: 2016/07/03; Accepted: 2017/12/09

Abstract

Background and objectives: Grapefruit, like other vegetables and citrus fruits, grows during certain seasons of the years. Grapefruit juice has a therapeutic effect. Water content of grapefruit is about 80 to 90%. The concentration of the grapefruit juice is the most economic processing method. In the current study, the effect of concentration on the physicochemical properties and rheological characteristics of concentrated grapefruit juice at several Brix levels were investigated.

Materials and methods: Grapefruit (Duncan varieties) was purchased from local markets. After juice extraction, the grapefruit juice was concentrated using vacuum rotary evaporator (60 °C and 60 rpm) in several °Brix (9.5, 22, 34.5, 47, and 59.5). Soluble solids (°Brix), pH, density, opacity, color parameters and rheological properties of the samples were measured.

Results: pH value of the fresh juice was 2.77 ± 0.07 (Brix 9.5), which reduced to 2.26 ± 0.05 (°Brix 59.5) after concentration ($p < 0.05$). Density and turbidity of the samples increased with the increasing of soluble solid materials via concentration ($p < 0.05$). The turbidity of °Brix 59.5 concentrate decreased compared to the °Brix 47 concentrate due to the formation of the higher molecular weight compounds after a long heating time. By concentration, lightness (L^*) of samples decreased, but both of redness (a^*) and yellowness index (b^*) were increased significantly ($p < 0.05$). Based on rheological properties, all samples showed gel-like behavior ($G' > G''$) in the frequency range of 0.1-10 Hz. Even at low Brix (9.5) similar behavior observed. The complex modulus (G^*) of all samples increased with an increase in solid soluble material contents. In fact, at first rheological behaviors of samples were gel-like and after concentration was liquid behavior. This change may be related to the pectin degradation after thermal treatment of grapefruit juice.

Conclusion: According to the above results, the concentration had a significant effect on physicochemical parameters and rheological properties of grapefruit juice. These rheological properties could be associated with the particle size distribution of the grapefruit concentrates. In subsequent studies, the study of the relationship between particle size distribution and rheological properties of grapefruit concentrate is recommended.

Keywords: Grapefruit juice, concentrate, physicochemical properties, rheological properties, colorimetric parameters

* Corresponding author: amotgan@yahoo.com

