

اثر روش تغلیظ بر ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و رفتار جریان‌ی کنسانتره نارنگی

علی معتمدزادگان^۱، سید احمد شهیدی^{۲*}، نادیا شکرانه^۳، سمیرا صباغ پور^۳، فرزانه حسن نیا^۳، تندیس خسروی راد^۴، شبنم حمزه^۵

تاریخ دریافت: ۹۴/۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۲۴

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

^۲استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت‌الله آملی

^۳دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت‌الله آملی

^۴دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری

^۵مربی، گروه علوم و صنایع غذایی، موسسه آموزش عالی تجن، قائم‌شهر

*مسئول مکاتبه: Email: a.shahidi@iauamol.ac.ir

چکیده

نوع میوه، مقدار و ویژگی ترکیبات تشکیل‌دهنده آب‌میوه و تیمارهای بکار رفته در تولید آن در رفتار رئولوژیکی محصول نهایی تأثیر دارد. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر روش‌های متفاوت تغلیظ کنسانتره نارنگی بر ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و رئولوژی محصول انجام گرفت. برای این منظور، چهار روش متفاوت تغلیظ (تحت خلأ، حرارت مستقیم در شرایط اتمسفر، بن ماری و ماکروویو) با درجه بریکس ۲۵، ۳۵ و ۵۵ بررسی شدند. ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی (ویتامین ث، رنگ، pH و درجه بریکس) و رفتار جریان‌ی نمونه‌ها توسط دستگاه رئومتر ارزیابی شده و به‌منظور شناسایی مدل قابل برازش، مدل‌های مختلف نیوتنی و غیر نیوتنی مورد بررسی قرار گرفتند. خواص رئولوژیکی کنسانتره آب نارنگی وابسته به غلظت کنسانتره و روش تغلیظ بوده است. به‌طوری‌که با افزایش غلظت، ویسکوزیته نمونه‌ها افزایش یافته و نمونه‌ها رفتار کواسی‌پلاستیک (پلاستیک رقیق شونده با برش) از خود نشان دادند. میزان ویتامین ث موجود در آب نارنگی در اثر تغلیظ کاهش یافت. رنگ فرآورده نیز متأثر از غلظت و روش تغلیظ بود. رفتار جریان‌ی کنسانتره آب نارنگی با مدل کاسون و ضریب تبیین ۰/۹۸۷۶ برازش گردید و از نظر میزان حفظ ویتامین ث، روش تغلیظ ماکروویو و از نظر رنگ، روش تغلیظ تحت خلأ بهترین روش ارزیابی شدند.

واژگان کلیدی: رئولوژی، رفتار جریان‌ی، کنسانتره، نارنگی، ویتامین ث

مقدمه

یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان مرکبات به شمار می‌آید. نارنگی میوه تازه رقم‌های گوناگون درخت نارنگی *Citrus reticulata Blanco* از خانواده *Rutaceae* می‌باشد که بخش بزرگی از تولیدات مرکبات ایران را شامل می‌شود، طبق آمار ارائه‌شده توسط وزارت جهاد کشاورزی در سال ۹۳ شش‌صد و هفتاد هزار تن نارنگی

مرکبات از جمله محصول‌های مهم باغی هستند که از دیرباز به‌عنوان بخشی از رژیم غذایی، دارای ارزش فراوانی بوده‌اند. مهم‌ترین انواع مرکبات پرتقال‌ها، نارنگی‌ها، لیموها و گریپ‌فروت‌ها هستند. بر اساس آخرین آمار ارائه‌شده توسط فائو (۲۰۱۳)، کشور ایران

تجزیه اسید آسکوربیک و واکنش قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی از مهم‌ترین واکنش‌های تخریبی هستند که طی فرآیند، بسته‌بندی و نگهداری آب مرکبات اتفاق می‌افتند و عاملی مهم درافت میزان ویتامین ث و رنگ محصول تلقی می‌شوند. به دلیل اهمیت رنگ محصول به‌عنوان یک پارامتر کیفی مهم برای مصرف‌کننده (کالو و همکاران ۲۰۰۱ و چان و کین-مارتینلی ۱۹۹۷)، مطالعات متعددی جهت بررسی تأثیر روش‌های مختلف تغلیظ بر از بین رفتن رنگ انجام شده است، در مطالعه‌ای تومپانوارت و جیتانیت (۲۰۱۲) تأثیر روش‌های متفاوت انتقال حرارت (روش جابجایی و اهمیک) در تهیه کنسانتره، آب‌میوه و پوره حاصل از پرتقال و آناناس بررسی نمودند. مطالعه مسکن (۲۰۰۶) بر روی تغییرات رنگ کنسانتره آب انار تغلیظ شده به روش‌های تحت خلأ، شرایط اتمسفر و ماکروویو نشان داد که تغییرات کلی رنگ بر اساس مدل درجه اول و مدل سینتیک مرکب است و از بین رفتن رنگ در روش تحت خلأ بیشتر از روش‌های دیگر است. مطالعات مشابهی نیز در این رابطه بر روی کنسانتره آناناس و عصاره میوه توت انجام‌گرفته است (آساوارچان و نومهورم ۲۰۱۰ و سوح و همکاران ۲۰۰۳).

با توجه به تأثیرگذاری روش فرآوری حرارتی آب‌میوه‌ها بر خواص ارگانولپتیکی و تغذیه‌ای آن‌ها (هانگوالرات و همکاران ۲۰۰۸) و وجود مطالعات محدود بر روی کنسانتره نارنگی (ایلانگان‌تیلیک و همکاران ۱۹۹۱)، در این پژوهش از چهار روش متفاوت تغلیظ (تحت خلأ، حرارت مستقیم در شرایط اتمسفر، بن ماری و ماکروویو) جهت تهیه کنسانتره نارنگی به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های متفاوت تغلیظ بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی نمونه‌ها استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

تهیه کنسانتره آب نارنگی: میوه نارنگی واریته انشو (*unshiu*) از بازار محلی شهرستان بابل خریداری شد.

در سطح چهل‌وسه هزار هکتار برداشت شده است (احمدی و همکاران ۱۳۹۴). نوشیدنی‌های بر پایه مرکبات از پرطرفدارترین نوشیدنی‌های میوه‌ای هستند که ۵۰٪ درآمد حاصل از فروش نوشیدنی‌ها را در دنیا به خود اختصاص می‌دهند (تیواری و همکاران ۲۰۰۹). از این رو اطلاع از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن‌ها امری مهم محسوب می‌شود (کورتس و همکاران ۲۰۰۵ و وندرسن و همکاران ۲۰۰۹).

از آنجائی که نوع میوه، مقدار و ویژگی ترکیبات تشکیل‌دهنده آب‌میوه‌ها و تیمارهای انجام‌شده بر روی آن‌ها در رفتار رئولوژیکی محصولات تولیدشده تأثیر به‌سزایی دارد، بنابراین مطالعه رفتار رئولوژیکی این محصولات نه‌تنها از جهت ارزیابی کیفی فرآورده‌ها مهم است، بلکه به‌منظور طراحی مراحل فرآوری همچون پمپ کردن، هم زدن، انتقال به‌وسیله خطوط لوله، تغلیظ و سایر مراحل حائز اهمیت می‌باشد (گمبل و همکاران؛ ۲۰۰۶ و کورتکس و همکاران ۲۰۰۵ و وندرسن و همکاران ۲۰۰۹). مدل‌های رئولوژیکی متعددی جهت توصیف رفتار جریان مواد غذایی همچون مدل‌های نیوتونی، قانون توان، بینگهام و کاسون و هرشل - بالکی مورد استفاده قرارگرفته است (چین و همکاران ۲۰۰۹). به‌طورکلی اغلب مواد غذایی مایع رفتار نیوتونی نشان نمی‌دهند. مدل قانون توان به‌طور گسترده‌ای برای توصیف رفتار رئولوژیکی اغلب آب‌میوه‌ها طی عملیات جابجایی، حرارت و سرد کردن استفاده می‌شود، زیرا استفاده از آن مناسب، ساده و آسان می‌باشد (گراتاو و همکاران ۲۰۰۷ و استف ۱۹۹۶). به‌طوری‌که مطالعات چین و همکارانش در سال ۲۰۰۹ بر روی کنسانتره پوملو حاکی از این امر بود که کنسانتره پوملو رفتاری رقیق شونده با برش از خود نشان می‌دهد و ضریب قوام با افزایش مواد جامد کل و دما به ترتیب رابطه مستقیم و عکس دارد. نتایج مشابهی در مطالعات کابرال و همکاران (۲۰۰۷) بر روی کنسانتره آب انگور و داک و همکاران (۲۰۰۷) بر روی آب انبه به‌دست آمده است.

آزمون رفتار جریانی: به منظور بررسی رفتار جریانی نمونه‌ها از دستگاه رئومتر (Physica MCR301, Anton Paar, Australia) و پروب با قطر ۵۰ میلی‌متر و از نوع هندسه مخروط و صفحه استفاده گردید. دمای آزمون 20°C ، زاویه مخروط 2° درجه، زمان استراحت ۵ دقیقه، دامنه سرعت برشی برای مرحله اول (s^{-1}) $0.1-300$ و مرحله دوم (s^{-1}) $0.1-300$ در نظر گرفته شد (آساوارچان و نومهورم، ۲۰۱۰). نرم‌افزار مورد استفاده جهت اندازه‌گیری پارامترهای مدل‌های مختلف نیوتنی و غیر نیوتنی (Rheo plus (Version 3.40) بود.

اندازه‌گیری ویتامین ث: میزان ویتامین ث آب نارنگی تازه و بازسازی شده از کنسانتره آب نارنگی، به روش تیتراسیون یدی انجام پذیرفت. مقدار ویتامین ث نیز به صورت mg/L گزارش گردید (باباشاهی-کوهستانی و همکاران ۲۰۱۴).

تجزیه و تحلیل آماری: آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) برای نشان دادن اثر چهار روش تغلیظ بر ویژگی‌های رئولوژیکی، با استفاده از نرم‌افزار آماری Minitab (Version 16) در سطح اطمینان ۹۵ درصد صورت گرفت. هر اندازه‌گیری در سه تکرار انجام شد.

نتایج و بحث

اثر روش تغلیظ بر میزان ویتامین ث: میزان ویتامین ث در آب نارنگی تازه $25/18 \text{ mg/L}$ بود. همان‌گونه که نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد، با افزایش مدت زمان حرارت دهی و افزایش غلظت نمونه‌ها، مقدار ویتامین ث در کلیه نمونه‌ها کاهش یافته است، به طوری که در غلظت‌های متفاوت اختلاف معنی‌داری بین روش‌های مختلف تغلیظ مشاهده می‌گردد. تنها در غلظت ۵۵ درصد بین نمونه‌های تغلیظ شده به روش‌های بن ماری و تحت خلأ اختلاف معناداری ($P > 0.05$) مشاهده نگردید.

اسید آسکوربیک (ویتامین ث) ترکیبی ناپایدار است و به راحتی در حضور و عدم حضور اکسیژن تجزیه می‌شود و فاکتورهایی همچون اکسیژن، حرارت، نور،

میوه‌ها در آب سرد شسته و خشک شدند. پوست میوه‌ها جدا شد و آب آن‌ها به وسیله یک آب‌میوه‌گیری (ناسیونال، ژاپن) استخراج شد و آبمیوه به مدت یک‌شب در بطری‌های از جنس پلی‌اتیلن ترفتالات (PET, IV80) در یخچال با دمای 4°C نگهداری شد تا ذرات معلق ته‌نشین شوند، سپس از یک صافی خانگی برای صاف کردن آب‌میوه استفاده شد. به منظور تهیه کنسانتره آب نارنگی، از اواپراتور چرخان تحت خلأ (Re300/MS, UK) با دور ۶، بن ماری (شیمی فن، ایران)، ماکروویو (LG, MC-8087NR, Korea) با توان ۴۵۰ وات و حرارت دهی بر روی هیتر الکترومغناطیسی (MS-300HS, Korea) استفاده شد. فرآیند تغلیظ تحت دمای 80°C تا غلظت ۲۵، ۳۵، ۵۵ درجه بریکس انجام گردید. کنسانتره‌های تولید شده تا زمان انجام آزمایش‌ها، در یخچال با دمای 4°C درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

اندازه‌گیری مقدار ماده جامد محلول: در طول مرحله تغلیظ مقدار ماده جامد محلول از نمونه آب‌میوه توسط رفرکتومتر (RMT, Italia) در دمای 20°C اندازه‌گیری شده و تحت عنوان درجه بریکس بیان شد.

تعیین رنگ: اندازه‌گیری رنگ با استفاده از هانتز لب (Colour Flex, model 45/0, U.S.A) انجام شد. در هر مرحله دستگاه با استفاده از کاشی سفید و سیاه ($L^*=10/91$ ، $a^*=-12/1$ ، $b^*=26/1$) مقادیر رنگ با استفاده از پارامترهای L^* (تاریکی/روشنایی)، a^* (قرمزی/سبزی) و b^* (زردی/آبی) در هر مرحله بیان شدند (آساوارچان و نومهورم ۲۰۱۰). تغییرات کلی رنگ با استفاده از فرمول $\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{0.5}$ محاسبه شد که در آن:

$$\Delta b = b - b_0, \Delta a = a - a_0, \Delta L = L - L_0$$

اندازه‌گیری pH: pH نمونه‌ها طی تغلیظ با استفاده از pH متر (Istek, Korea) اندازه‌گیری شد. پیش از اندازه‌گیری pH، pH متر توسط بافرهای استاندارد (pH7 و pH4) کالیبره شد (کونزک و همکاران ۱۹۹۹).

دما و مدت‌زمان نگهداری در این واکنش مؤثرند. در این میان اکسیژن و حرارت بیشترین تأثیر را دارند (بوردورلو و کارادنیز ۲۰۰۶). همان‌گونه که بررسی نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد روش تغلیظ اثر معنی‌داری بر میزان کاهش ویتامین ث دارد. به‌طوری‌که حداکثر کاهش ویتامین ث، در نمونه‌های حرارت داده‌شده تحت شرایط اتمسفری مشاهده می‌گردد. درصد افت ویتامین ث برای غلظت‌های ۲۵، ۳۵ و ۵۵ درصد به ترتیب معادل ۲۷/۲۹، ۵۲/۱۶ و ۶۴/۳۵ درصد بوده است. همچنین نمونه‌های تغلیظ شده به روش ماکروویو، حاوی بیشترین سطح از ویتامین ث در مقایسه با سایر روش‌ها بوده‌اند. چنین روند کاهش در نتایج ارائه‌شده در مطالعات نصیری و همکاران (۱۳۹۳) بر روی آب‌نارنج، ان‌جوکو و همکاران (۲۰۱۱) بر روی آب‌انگور، پرتقال و لیموترش و الزوبیدی و خلیل (۲۰۰۷) بر روی آب‌لیمو مشاهده‌شده است.

تغییرات رنگ: در برخی کشورها، رنگ آب مرکبات یکی از پارامترهای کیفی مورد ارزیابی، برای طبقه‌بندی

تجاری محصول می‌باشد (تپر ۱۹۹۳). رنگ مرکبات عمدتاً به دلیل حضور رنگ‌دانه‌های کاروتنوئیدی است (لی و کواتس ۲۰۰۳ و ملندز-مارتینز و همکاران ۲۰۰۵ و ملندز-مارتینز و همکاران ۲۰۰۳ و ویکرام و همکاران ۲۰۰۵) و با رسیدن محصول، حضور ناخالصی‌ها، فرآوری، شرایط ذخیره‌سازی، تغییرات میکروارگانسیم‌ها، واکنش‌های قهوه‌ای شدن و غیره مرتبط خواهد بود (کورتس و همکاران ۲۰۰۸). نتایج تجزیه‌وتحلیل آماری پارامترهای رنگ در جدول ۲ نشان داده‌شده است.

L^* نشان‌دهنده تاریکی و روشنایی در نمونه‌ها می‌باشد. مقدار L^* در طول فرآیندهای مختلف حرارتی با افزایش غلظت کاهش یافت که کمترین کاهش روشنایی را نمونه تغلیظ شده به روش تحت خلأ و سپس روش ماکروویو داشت که این روند به‌ویژه در بریکس ۵۰ مشهودتر می‌باشد، اما در نمونه تغلیظ شده با هیتز، روشنایی در غلظت ۳۵ افزایش و مجدداً در غلظت ۵۰ کاهش‌یافته است.

جدول ۱ - تغییرات ویتامین ث (mg/L) موجود در آب نارنگی بازسازی‌شده از کنسانتره آب نارنگی با بریکس‌های مختلف در دمای ۸۰°C

روش تغلیظ	ویتامین ث (mg/L)		
	بریکس ۲۵	بریکس ۳۵	بریکس ۵۵
اتمسفری	۲۵/۵۸ ± ۰/۲۳ ^e	۱۶/۸۳ ± ۰/۰۳ ^e	۱۲/۵۴ ± ۰/۰۱ ^d
بن ماری	۲۷/۶۳ ± ۰/۰۸ ^d	۲۱/۱۰ ± ۰/۰۶ ^d	۲۶/۷۶ ± ۰/۱۰ ^c
ماکروویو	۳۲/۲۳ ± ۰/۳۴ ^b	۳۱/۶۴ ± ۰/۰۲ ^b	۳۲/۸۴ ± ۰/۵۶ ^b
تحت خلأ	۲۹/۳۶ ± ۰/۳۶ ^c	۲۷/۶۴ ± ۰/۰۶ ^c	۲۶/۹۹ ± ۰/۵۵ ^c

۱. اعداد موجود در جدول میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند.

۲. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ است.

ماکروویو بالاترین و بن ماری کمترین مقدار a^* را نشان داد. b^* نشان‌دهنده تغییر رنگ در محدوده زرد و آبی می‌باشد، فاکتور b^* با افزایش درجه غلظت کاهش یافت و روش تحت خلأ کمترین کاهش را نسبت به روش‌های دیگر تغلیظ داشت. بررسی نتایج آنالیز آماری نشان داد

مقدار مثبت a^* نشان‌دهنده قرمزی و مقدار منفی آن نشان‌دهنده سبزی می‌باشد. مقدار a^* یا قرمزی در روش‌ها و در غلظت‌های مختلف مقادیر متغیری را نشان داد به‌طوری‌که در بریکس ۲۵ بالاترین مقدار a^* را نمونه تغلیظ شده به روش اتمسفری و کمترین مقدار مربوط به نمونه تغلیظ شده به روش تحت خلأ بود و در غلظت ۵۰

همچنین بررسی نتایج ΔE نشان می‌دهد که تغییرات رنگ در غلظت ۳۵ بیشتر اتفاق افتاده است. در حین تخریب ویتامین ث چند ترکیب مختلف تولید می‌شود که می‌تواند با اسیدهای آمینه موجود در ماده غذایی ترکیب و منجر به تولید پیگمان‌های قهوه‌ای شود (پوردورلو و کارادنیز ۲۰۰۶). هیدروکسی متیل فورفورال یکی از این ترکیبات است؛ که می‌تواند دلیلی برای کاهش پارامتر L^* در نتیجه حرارت دهی به روش‌های مختلف باشد. همچنین نتایج مطالعات نصیری و همکاران (۱۳۹۳) بر روی آب‌نارنج، مؤید این امر است که پارامتر L^* متأثر از دما و زمان حرارت دهی می‌باشد.

که ΔE کنسانتره‌ی حاصل از روش‌های مختلف حرارتی اختلاف معنی‌داری باهم دارند ($P < 0/05$). بررسی نتایج تغییرات رنگ در جدول ۲ نشان می‌دهد، در نمونه‌های حاصل از روش‌های مختلف تغلیظ با افزایش غلظت کاهش‌یافته است. تنها در مورد نمونه حاصل از روش تغلیظ تحت خلأ در غلظت ۳۵ درجه بریکس، یک افزایش در L^* مشاهده گردید. بنابراین با در نظر گرفتن این‌که نمونه تغلیظ شده به روش تبخیرکننده چرخشی، مقدار فاکتور روشنایی و زردی بیشتری نسبت به نمونه‌های دیگر داشت، روش مناسبی در بهبود رنگ نارنگی، در مقایسه با روش‌های مختلف فرایند تغلیظ می‌باشد.

جدول ۲- اثر روش تغلیظ بر روی ویژگی‌های رنگ کنسانتره نارنگی

روش تغلیظ				پارامتر رنگ	بریکس
تحت خلأ	ماکروویو	بن ماری	اتمسفری		
$47/63 \pm 0/03^b$	$48/74 \pm 0/01^a$	$45/65 \pm 0/04^d$	$46/97 \pm 0/02^c$	L^*	۲۵
$16/18 \pm 0/15^c$	$16/76 \pm 0/02^b$	$16/81 \pm 0/01^b$	$18/54 \pm 0/01^a$	a^*	
$52/97 \pm 0/02^c$	$57/88 \pm 0/01^a$	$49/53 \pm 0/02^d$	$56/49 \pm 0/02^b$	b^*	
$17/06 \pm 0/10^c$	$22/04 \pm 0/01^a$	$13/40 \pm 0/02^d$	$20/51 \pm 0/23^b$	ΔE	
$47/57 \pm 0/02^b$	$41/34 \pm 0/01^c$	$44/28 \pm 0/02^c$	$48/31 \pm 0/01^a$	L^*	۳۵
$19/58 \pm 0/01^a$	$17/21 \pm 0/04^b$	$17/88 \pm 0/03^b$	$17/40 \pm 0/57^b$	a^*	
$57/50 \pm 0/07^b$	$48/22 \pm 0/02^d$	$59/25 \pm 0/01^c$	$58/81 \pm 0/11^a$	b^*	
$22/03 \pm 0/07^b$	$11/77 \pm 0/03^d$	$14/98 \pm 0/01^c$	$22/90 \pm 0/01^a$	ΔE	
$44/45 \pm 0/04^a$	$35/97 \pm 0/09^c$	$28/08 \pm 0/03^b$	$36/04 \pm 0/03^c$	L^*	۵۵
$18/73 \pm 0/01^b$	$19/56 \pm 0/02^a$	$16/34 \pm 0/03^d$	$17/14 \pm 0/01^c$	a^*	
$53/30 \pm 0/01^a$	$47/24 \pm 0/01^b$	$44/91 \pm 0/01^c$	$47/27 \pm 0/03^b$	b^*	
$17/20 \pm 0/01^a$	$10/56 \pm 0/05^b$	$7/51 \pm 0/04^d$	$9/26 \pm 0/03^c$	ΔE	

۱. اعداد موجود در جدول میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار هستند.

۲. حروف متفاوت در هر سطر نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ است.

کاسون) مورد ارزیابی قرار گرفتند و مبنای ارزیابی ضریب تبیین R^2 قرار داده شد. مدل هرشل بالکی: مدل هرشل بالکی به‌طور معمول برای سیال‌های غیر نیوتنی بکار می‌رود. این مدل برای بسیاری از مواد غذایی سیال مناسب است (احمد ۲۰۰۴). رئوگرام به‌دست‌آمده در این مدل بالاتر از نقطه تسلیم

رفتار رئولوژیکی کنسانتره نارنگی: بررسی رفتار رئولوژیکی کنسانتره در بریکس‌ها و روش‌های مختلف در جدول ۳ نشان می‌دهد که کنسانتره نارنگی در هیچ‌کدام از غلظت‌ها و روش‌های تغلیظ، رفتار نیوتنی از خود نشان نداده است ($R^2 < 0/73$). لذا رفتار جریان‌ی نمونه‌ها با مدل‌های مختلف غیر نیوتنی (هرشل بالکی و

نمودارهای تغییرات تنش برشی نسبت به سرعت برشی بیانگر رفتار غیر نیوتنی کلیه نمونه با یک تنش تسلیم بود (شکل ۱). مقادیر این تنش تسلیم در جدول ۳ آمده است. همچنین مقایسه بین ضریب تبیین R^2 جدول ۳ نشان داد که کلیه نمونه‌های حاصل از روش‌های مختلف تغلیظ با مدل کاسون تطابق بیشتری داشته و تنها نمونه‌های تهیه‌شده به روش اتمسفری است که هم با مدل کاسون و هم هرشل بالکی قابل برازش است. میانگین ضریب همبستگی برای مدل کاسون و هرشل بالکی برای نمونه‌های به‌دست‌آمده از روش اتمسفری به ترتیب معادل ۰/۹۸۴۵ و ۰/۹۷۱۴۶ بود. این تنش تسلیم در نتیجه واکنش ذره به ذره و عمل تجمع به وجود می‌آید (کوئک و همکاران ۲۰۱۳ و کایرم و همکاران ۱۹۹۹) که با افزایش غلظت یک‌روند افزایشی در ارتباط با این فراسنجه مشاهده گردید.

این روند با نتایج ارائه‌شده در مطالعات هرناندز و همکاران (۱۹۹۵) بر روی آب‌پرتقال و کشانی و همکاران (۲۰۱۲) بر روی آب دارابی تأیید می‌گردد، زیرا ترکیباتی همچون کربوهیدرات‌ها، فیبر و پکتین در واکنش بین ذرات و تجمع آن‌ها نقش اساسی داشته و منجر به افزایش ویسکوزیته به موازات افزایش درجه بریکس در طول زمان حرارت دهی می‌شود (هرناندز و همکاران ۱۹۹۵ و کشانی و همکاران ۲۰۱۲).

قرار داشته و غیرخطی است. همچنین می‌تواند رفتاری رقیق شونده با برش و یا غلیظ شونده با برش داشته باشد (کشانی و همکاران ۲۰۱۲). پارامترهای این مدل از طریق رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$\tau = \tau_0 + k' \dot{\gamma}^n \quad \text{رابطه ۱}$$

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که نمونه‌های ارزیابی‌شده (غلظت‌ها و روش‌های مختلف تغلیظ) با این مدل قابل برازش می‌باشند ($R^2=0.92-0.99$) و نمونه‌های تغلیظ شده به روش اتمسفری دارای همبستگی بیشتری با این مدل می‌باشد (میانگین R^2 برابر ۰/۹۷۱).

مدل کاسون: کاربرد مدل کاسون برای مواد غذایی متنوعی از جمله شکلات ذوب‌شده، پوره میوه، صمغ‌ها، کنسانتره آب‌میوه و فرآورده‌های حاصل از گوجه‌فرنگی گزارش شده است (رائو ۱۹۹۹). پارامترهای محاسبه‌شده برای این مدل از رابطه زیر به‌دست‌آمده و نتایج در جدول ۴ آورده شده است.

$$\tau^{0.5} = k_0^{0.5} + k_1 \dot{\gamma}^{0.5} \quad \text{رابطه ۱}$$

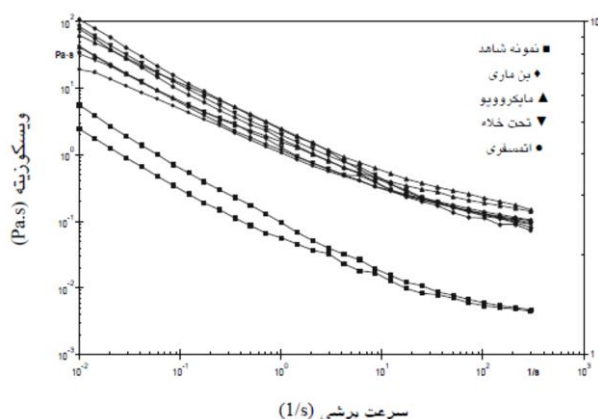
نتایج نشان می‌دهد، مقادیر بالاتری از ضریب همبستگی برای مدل کاسون، نسبت به مدل‌های دیگر به‌دست‌آمده است.

جدول ۳ - پارامترهای محاسبه‌شده برای مدل نیوتنی

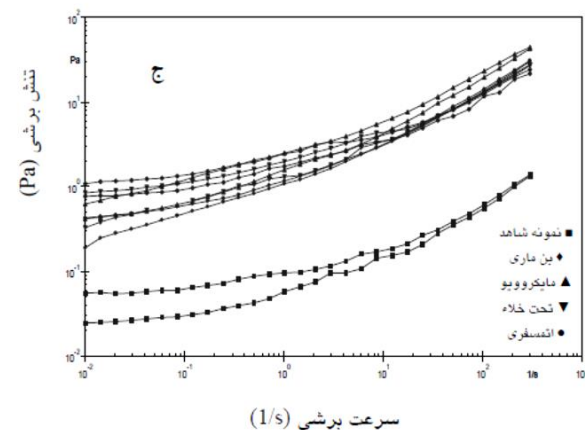
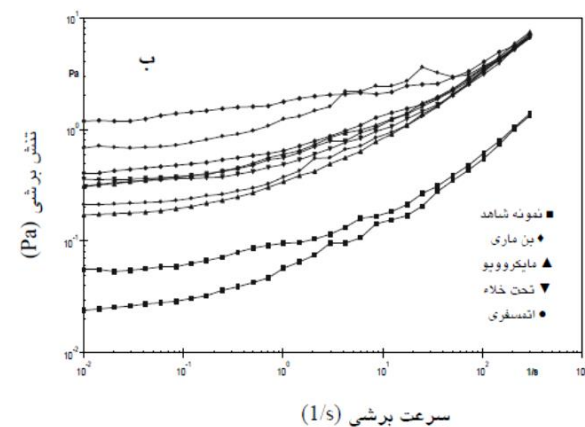
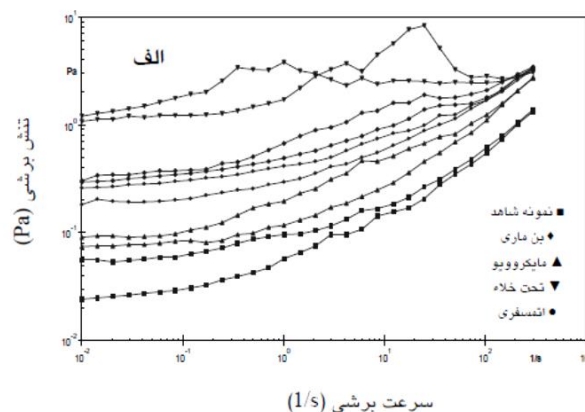
روش تغلیظ	درجه بریکس	ویسکوزیته (Pa.s) μ	R^2
اتمسفری	۲۵	۰/۰۱۷۹۱۹	۰/۵۲۳۷۷
	۳۵	۰/۰۳۵۳۳۳	۰/۰۱۸۴۴۳
	۵۵	۰/۰۱۷۰۶۳	۰/۶۲۷۴
بن ماری	۲۵	۰/۰۱۹۰۷۲	۰/۵۲۳۱۸
	۳۵	۰/۰۳۷۲۱۹	۰/۵۶۲۸۴
	۵۵	۰/۰۱۳۳۹۲	۰/۵۵۳۱۷
ماکروویو	۲۵	۰/۰۱۴۱۳۶	۰/۶۱۱۴۳
	۳۵	۰/۰۲۹۵۶۵	۰/۶۰۳۷۴
	۵۵	۰/۰۲۵۶۶۶	۰/۵۸۶۴۵
تحت خلأ	۲۵	۰/۰۱۶۱۳۷	۰/۵۸۹۳۵
	۳۵	۰/۰۳۶۴۱۵	۰/۵۶۳۱۷
	۵۵	۰/۰۱۵۱۸۴	۰/۶۳۰۹۹

جریانی به سمت نیوتنی تمایل پیدا می‌کند و اندیس جریان افزایش می‌یابد. در نمونه‌های حاصل از روش اتمسفری و تحت خلأ و بریکس ۳۵ کاهش در اندیس جریان و سپس افزایش در بریکس ۵۵ دیده شد. به نظر می‌رسد این امر می‌تواند به دلیل دگرگاداسیون ترکیبات موجود در کنسانتره نارنگی از جمله پکتین در بریکس ۲۵ رخ داده باشد که با افزایش زمان حرارت دهی این ترکیبات تجزیه شده و اندیس جریان مجدداً افزایش یافته است (آساوارچان و نومهورم ۲۰۱۰).

بررسی تغییرات ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های حاصل از روش‌های مختلف تغلیظ در سرعت برشی‌های مختلف در کلیه غلظت‌ها (۲۵، ۳۵ و ۵۵ درجه بریکس) (شکل ۲) نشان‌دهنده یک روند نزولی ویسکوزیته با افزایش سرعت برشی می‌باشد که بیانگر رفتار رقیق شونده با برش (کوآسی پلاستیک) کنسانتره‌ها در کلیه غلظت‌ها است. نتایج اندیس جریان محاسبه شده نیز تأییدکننده این رفتار می‌باشد ($0 < n < 1$). این رفتار در اثر شکست ساختار اجزاء ماده غذایی در نتیجه نیروهای هیدرودینامیکی به وجود آمده در طول برش به وجود می‌آید (ارسلان و همکاران ۲۰۰۵ و چوآ و همکاران ۲۰۰۸ و نیندو و همکاران ۲۰۰۷).



شکل ۲- منحنی‌های ویسکوزیته ظاهری در برابر سرعت برشی کنسانتره آب نارنگی با غلظت ۵۵ درجه بریکس



شکل ۳- منحنی‌های تنش برشی در برابر سرعت برشی در روش‌های مختلف تغلیظ

الف- درجه بریکس ۲۵، ب- درجه بریکس ۳۵ و ج- درجه بریکس ۵۵

همچنین در ارتباط با اندیس جریان در مدل کاسون برای نمونه‌های حاصل از روش تغلیظ بن ماری و مایکروویو یک روند صعودی مشاهده شد. این رفتار بیانگر این است که با افزایش زمان حرارت دهی (دما 80°C) رفتار

جدول ۴- پارامترها و آنالیز رگرسیون محاسبه‌شده برای مدل‌های کاسون و هرشل بالکلی

مدل Casson					
R ²	تنش	اندیس	ضریب	درجه	روش
	تسلیم τ_0 (Pa)	جریان n	قوام $K_c(\text{Pa}\cdot\text{s}^n)$	بریکس	تغلیظ
۰/۹۹۹۳۲	۰/۱۵۴۸۴	۰/۱۳۵۸	۰/۵۲۲۰۹	۲۵	اتمسفری
۰/۹۵۶۸۸	۰/۲۰۷۶۶	۰/۲۱۴۳۲	۰/۸۱۵۱۷	۳۵	
۰/۹۹۷۳۴	۰/۰۸۱۸۹	۰/۴۴۱۹۵	۰/۵۷۰۶۳	۵۵	
۰/۹۷۲۱	۰/۰۲۸۴۵۷	۰/۲۲۵۸۷	۰/۷۴۳۸۹	۲۵	
۰/۹۶۹۴۴	۱/۱۵۵۲	۰/۱۱۸۱۹	۱/۰۴۶۱	۳۵	بن ماری
۰/۹۹۳۱۸	۰/۷۸۳۱۷	۰/۲۹۶۴۳	۰/۹۳۷۱۳	۵۵	
۰/۹۹۰۰۸	۰/۰۴۰۳۱۴	۰/۲۰۸۰۶	۰/۴۹۵۴۹	۲۵	
۰/۹۹۵۶۹	۰/۲۵۱۲۱	۰/۱۹۶۲۳	۰/۶۴۲۵۶	۳۵	ماکروویو
۰/۹۹۷۰۷	۰/۲۵۶۹۹	۰/۴۳۸۳۱	۰/۷۵۵۱۶	۵۵	
۰/۹۸۹۶۹	۰/۱۹۰۷	۰/۱۵۵۲۴	۰/۵۵۱۹۱	۲۵	
۰/۹۹۹۶۷	۰/۲۹۴۵۱	۰/۱۶۹۱۳	۰/۶۴۰۰۳	۳۵	تحت خلأ
۰/۹۹۶۷۱	۰/۲۴۳۵۹	۰/۳۷۵۴۷	۰/۶۹۵۳۸	۵۵	
مدل Herschel-Bulkley					
R ²	تنش	اندیس	ضریب	درجه	روش
	تسلیم τ_0 (Pa)	جریان n	قوام K (Pa.s ⁿ)	بریکس	تغلیظ
۰/۹۹۴۸۷	۰/۱۷۹۶۵	۰/۱۱۱۰۱	۰/۱۷۹۶۵	۲۵	
۰/۹۵۲۲۱	۰/۴۴۰۱۵	۰/۷۷۶۹۷	۰/۴۴۰۱۵	۳۵	اتمسفری
۰/۹۶۷۳	۰/۱۹۰۲۷	۰/۸۵۷۵	۰/۱۹۰۲۷	۵۵	
۰/۹۷۲۵۷	۰/۱۷۴۷	۰/۴۹۲۵۲	۰/۱۷۴۷	۲۵	
۰/۹۵۰۵۱	۱/۲۱۸۷	۰/۳۸۳۹۹	۱/۲۱۸۷	۳۵	بن ماری
۰/۹۶۷۶	۱/۰۳۷۶	۱/۱۰۱۳	۱/۰۳۷۶	۵۵	
۰/۹۷۲۳۶	۰/۰۶۹۰۸۶	۰/۱۲۶۱۸	۰/۰۶۹۰۸۶	۲۵	
۰/۹۷۷۲۴	۰/۳۰۷۵	۰/۲۵۰۵۳	۰/۳۰۵۷	۳۵	ماکروویو
۰/۹۷۴۸۶	۰/۵۸۰۵۲	۱/۷۲۲۳	۰/۵۸۰۵۲	۵۵	
۰/۹۲۶۹۶	۰/۳۸۴۶۸	۰/۲۷۹۶	۰/۲۸۴۸	۲۵	
۰/۹۹۲۳۳	۰/۳۳۸۹۸	۰/۲۰۱۱۱	۰/۳۳۸۹۶	۳۵	تحت خلأ
۰/۹۶۴۹۷	۰/۳۴۹۱۱	۰/۹۰۷۹	۰/۳۴۹۱۱	۵۵	

کایا و بلیباقلی ۲۰۰۲ و چوآ و همکاران ۲۰۰۸). نکته حائز اهمیت این است که در غلظت ۵۵ (حداقل غلظت عنوان‌شده در استاندارد ملی ایران برای کنسانتره نارنگی) حداکثر ویسکوزیته در سرعت‌های برشی پایین برای نمونه تغلیظ شده به روش بن ماری به دست آمده

همچنین نتایج مطالعات انجام‌شده بر روی مرکباتی همچون آب‌پرتقال، آب دارابی و آب انگور نشان‌دهنده رفتار غیر نیوتنی رقیق‌شونده با برش در کنسانتره‌های حاصل بوده است که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد (هرناندز و همکاران ۱۹۹۵ و رائو ۱۹۹۹ و

برش ایجاد گردید. بهترین مدل برای برآزش داده‌ها مدل کاسون بوده است. میزان ویتامین ث موجود در آب نارنگی در اثر تغلیظ کاهش پیدا کرد و کمترین کاهش ویتامین در روش تغلیظ ماکروویو به دست آمد. رنگ فرآورده نیز متأثر از روش تغلیظ بوده است. در بررسی رنگ کنسانتره آب نارنگی، کنسانتره تهیه‌شده به روش تحت خلأ در مقایسه با سایر روش‌ها تغییرات رنگ کمتری نشان داد.

است. این امر بیانگر این است، شربت حاصل از این کنسانتره می‌تواند در طول انبارمانی کمتر دو فاز گردد که در صنعت آبمیوه سازی حائز اهمیت است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که خواص رئولوژیکی کنسانتره آب نارنگی بسیار وابسته به غلظت کنسانتره و روش تغلیظ می‌باشد. به طوری که با افزایش غلظت، ویسکوزیته نمونه‌ها افزایش یافته و رفتار رقیق شونده با

منابع مورداستفاده

- احمدی ک، قلیزاده ح، عبادزاده ح، حسین‌پور ر، حاتمی ف، عبدشاه ه، رضایی م، کاظمی‌فرد ر، فضلی استبرق م، ۱۳۹۴، آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۳، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، ۱۳۴
- نصیری م، فرحناکی ع، نیاکوثری م، مجذوبی م و مصباحی غ، ۱۳۹۳. تأثیر شرایط فرآوری بر روی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و رفتار جریان کنسانتره آب نارنج. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی. ۲: ۱۶۶-۱۵۵.
- Ahmed J, 2004. Rheological behaviour and colour changes of ginger paste during storage. *International Journal of Food Science and Technology* 39: 325-330.
- Al-Zubaidy MMI and Khalil RA, 2007. Kinetic and prediction studies of ascorbic acid degradation in normal and concentrate local lemon juice during storage. *Food Chemistry* 101: 254- 259.
- Arslan E, Yener M.E and Esin A, 2005. Rheological characterization of tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) blends. *Journal of Food Engineering* 69: 167-172.
- Assawarachan R and Noomhorm A, 2010. Change in color and rheological behavior of pineapple concentrate through various evaporation methods. *International Journal of agriculture and biology engineering* 3: 74-84.
- Babashahi Kouhanestani M, Salehi M, Mazloomi SM and Almasi-Hashyani A, 2014. Quantitative evaluation of vitamin C in industrial lemon juice by titration method. *Journal of Biology and Today's world* 3(6): 139-141.
- Burdurlu H KN and Karadeniz F, 2006. Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. *Journal of Food Engineering* 74(1): 211-6.
- Cabral RAF, Orrego-Alzate CE, Gabas AL and Telis-Romero J, 2007. Rheological and thermophysical properties of blackberry juice. *Food Science and Technology (Campinas)* 27(3): 589-595.
- Calvo C, Salvador A and Fiszman SM, 2001. Influence of colour intensity on the perception of colour and sweetness in various fruit flavoured yoghurts. *European Food Research and Technology* 213: 99-103.
- Chan MM and Kane-Martinelli C, 1997. The effect of color on perceived flavor intensity and acceptance of foods by young adults and elderly adults. *Journal of the American Dietetic Association* 97: 657-659.
- Chin NL, Chan SM, Yusof YA, Chuah TG and Talib RA. 2009. Modeling of rheological behavior of pummelo juice concentrates using master-curve. *Journal of Food Engineering* 93:134- 140.
- Chuah TG, Keshani S, Chin N.L, Lau MC and Chin DSG, 2008. Rheological Properties of Diluted Pummelo Juice as Affected by Three Different Concentrations. *International Journal of Food Engineering* 4, Art. 1.
- Cortes C, Esteve JM, Frigola A and Torregrosa F, 2005. Change in carotenoids including geometrical isomers and ascorbic acid content in orange-carrot juice during frozen storage. *European Food Research Technology* 221:125-131.

- Cortes C, Esteve MJ and Frigola A, 2008. Color of orange juice treated by High Intensity Pulsed Electric Fields during refrigerated storage and comparison with pasteurized juice. *Food Control* 19: 151–158
- Dak M, Verma RC and Jaaffray SNA, 2007. Effect of temperature and concentration on the rheological properties of "Kesar" mango juice. *Journal of Food Engineering* 80:1011-1015.
- FaoStat, F.A.O., 2013. Agriculture data. Agricultural production.
- Gamble J, Jaeger SR and Harker FR, 2006. Preferences in pear appearance and response to novelty among Australian and New Zealand consumers. *Postharvest Biology and Technology* 41(1): 38–47.
- Gratao ACA, Silveira Jr and Telis-Romero J, 2007. Laminar flow of soursop juice through concentric annuli: friction factors and rheology. *Journal of Food Engineering* 78 (4): 1343–1354.
- Hernandez E, Chen CS, Johnson J and Carter RD, 1995. Viscosity Changes in Orange Juice After Ultrafiltration and Evaporation. *Journal of Food Engineering* 25: 387-396.
- Hongvaleerat C, Cabral L, Dornier M, Reynes M and Ningsanond S, 2008. Concentration of pineapple juice by osmotic evaporation. *Journal of Food Engineering* 88:548–552.
- Ilangantileke SG, Ruba Jr AB and Joglekar HA, 1991. Boiling point rise of concentrated Thai tangerine juices. *Journal of food engineering* 15: 235-243.
- Kaya A and Belibagli KB, 2002. Rheology of solid Gaziantep Pekmez. *Journal of Food Engineering* 54:221-226.
- Keshani S, Luqman Chuah A and Russly A.R, 2012. Effect of temperature and concentration on rheological properties pomelo juice concentrates. *Journal of International Food Research Journal* 19(2): 553-562.
- Kunzek H, Kabbert R and Gloyna D, 1999. Aspects of material science in food processing: changes in plant cell walls of fruits and vegetables– a review. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A* 208: 233–250.
- Kyereme M, Hale SA and Farkas BE and 1999. Modeling the temperature effect on the flow behavior of Sweet Potato Puree. *Journal of Food Process Engineering* 22:235-247.
- Lee HS and Coates GA, 2003. Effect of thermal pasteurization on Valencia orange juice color and pigments. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 36: 153–156.
- Maskan M, 2006. Production of pomegranate (*Punica granatum L*) juice concentrate by various heating methods: colour degradation and kinetics. *Journal of Food Engineering* 72: 218–224.
- Melendez-Martinez A J, Britton G, Vicario IM and Heredia FJ, 2005. Color and carotenoid profile of Spanish Valencia late ultrafrozen orange juices. *Food Research International* 38(8-9): 931–936.
- Melendez-Martinez A J, Vicario IM and Heredia F, 2003. Application of Tristimulus Colorimetry to estimate the carotenoids content in ultrafrozen orange juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 7266–7270.
- Nindo CI, Tang J, Powers JR and Takhar PS, 2007. Rheological properties of blueberry puree for processing applications. *LWT-Food Science and Technology* 40: 292-299.
- Njoku PC, Ayak AA and Okoya CV, 2011. Temperature effects on vitamin C content in citrus fruits. *Pakistan Journal of nutrition* 10(12): 1168-1169.
- Quek, M.C., Chin, N.L. and Yusof, Y.A., 2013. Modelling of rheological behaviour of soursop juice concentrates using shear rate–temperature–concentration superposition. *Journal of Food Engineering* 118(4): 380-386.
- Rao M A, 1999. Flow and Functional Models for rheological Properties of Fluid Foods. In *Rheology of Fluid and Semisolid Foods Principles and Applications* P.25-59.USA: Aspen Publishers, Inc.
- Steffe JF, 1996. *Rheological Methods in Food Process Engineering*. Freeman Press, MI, USA.
- Suh HJ, Noh DO, Kang CS, Kim JM and Lee SW, 2003. Thermal kinetics of color degradation of mulberry fruit extract. *Molecular Nutrition & Food Research* 47: 132-135.
- Tepper BJ, 1993. Effects of a slight color variation on consumer acceptance of orange juice. *Journal of Sensory Study* 8: 145–154.

- Tiwari BK, O'Donnell CP, Muthukumarappan K and Cullen PJ, 2009. Ascorbic acid degradation kinetics of sonicated orange juice during storage and comparison with thermally pasteurised juice, *LWT - Food Science and Technology* 42:700–704.
- Tumpanuvatr T and Jittanit W, 2012. The temperature prediction of some botanical beverages concentrated juices and purees of orange and pineapple during ohmic heating. *Journal of food engineering* 113: 226-233.
- Vandraseen S, Quadri MGN, Souza JAR and Hotza D, 2009. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. *Journal of Food Engineering* 92:269-274.
- Vikram, VB, Ramesh, MN and Prapulla SG, 2005. Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. *Journal of Food Engineering* 69(1): 31–40.

Evaluation of concentrating method on physicochemical properties and flow behavior of tangerine juice concentrate

A Motamedzadegan¹, SA Shahidi^{2*}, N Shokraneh³, S Sabaghpour³, Fh Hassannia³, T Khosravi⁴ and Sh Hamzeh⁵

Received: April 12, 2015

Accepted: August 14, 2016

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

²Assistant Professor, Department of Food Science and Technology Faculty of Agriculture and Food Science, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University Amol, Amol, Iran

³PhD Student, Department of Food Science and Technology Faculty of Agriculture and Food Science, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University Amol, Amol, Iran

⁴ MSc Graduated Student, Department of Food Science and Technology Faculty of Agriculture and Food Science, Sari Branch, Islamic Azad University Sari, Sari, Iran

⁵ Lecturer, Tajan High Education Institute, Ghaemshahr, Iran

*Corresponding author: Email: a.shahidi@iauamol.ac.ir

Abstract

Type of fruit, amount and characteristics of ingredients in fruit juice, and treatments used in its production affect in product rheological behavior. This research with aim to investigate the effect of different methods of tangerine concentrate was carry out on physicochemical and rheological properties of product. For this purpose, four methods of condensation (under vacuum, direct heat in atmosphere condition, Banmary, and microwave) with Brix degrees of 25, 35, and 55 were examined. physicochemical properties (vitamin c, color, pH and Brix degree) and flow behavior of samples were evaluated by rheometer. In order to identify a practical model, different Newton and non-Newton models were investigated. Rheological features of tangerine juice concentrate depend on viscosity of concentrate and methods of condensation. With increasing the concentration, viscosity of samples increases, and samples showed coasi plastic behavior (plastic of shear thinning). The degree of the vitamin c existing in tangerine juice decreased as a result of condensation. The color of the product is influenced by viscosity and condensation method. Flow behavior of tangerine juice concentrate was fitted by CASSON model and regression coefficient 0.9876. The preservation of maintaining vitamin c, microwave condensation method and color, under vacuum condensation method, the best of method was evaluated.

Key words: Concentrate, Flow behavior, Rheology, Tangerine, Vitamin C