

Effect of Thermal Concentration on the Physicochemical Properties and Color Characteristics of Sour Orange Extract

AMIR HOSSEIN MIRZABE¹, ALI HAJIAHMAD^{1*}, AMIR HOSEIN ASADOLLAH ZADEH¹, MEROE ASGHAR BEYGI¹,
ARASH REZAEI NODEHI¹

1. Department of Mechanics Engineering of Agricultural Machinery, Faculty of Engineering & Technology, College of
Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: Jan. 11, 2020- Revised: Aug. 24, 2020- Accepted: Sep. 7, 2020)

ABSTRACT

Citrus-based drinks are one of the most popular fruit drinks. Juice and paste are high consumption products of sour orange. In the present study, viscosity, specific heat capacity, heat transfer coefficient, density, dry mass matter, pH, electrical conductivity, total dissolved solids, and color characteristics of sour orange extract were investigated during different steps of thermal concentration. Arrhenius and Modified Arrhenius models were also investigated to describe the relationship between viscosity and temperature. By decreasing the ratio of secondary volume of extract to primary volume of juice from 100% to 15%, the values of density, dry mass matter, and pH increased from 1035 to 1340 kg m⁻³, increasing from 6.89% to 47.45%, and decreased from 2.09 to 1.38, respectively. Also specific heat capacity and heat transfer coefficient decreased from 4146 to 2984 J kg⁻¹ K⁻¹ and decreased from 0.584 to 0.402 W m⁻² K⁻¹, respectively

Keywords: viscosity, specific heat, heat transfer coefficient, electrical conductivity, image processing

*Corresponding Author's Email: ajiahmad@ut.ac.ir

تأثیر فرایند تغلیظ حرارتی آب نارنج بر خواص فیزیکوشیمیایی و شاخصه‌های رنگی عصاره آن

امیرحسین میرزابه^۱، علی حاجی احمد^{۱*}، امیرحسین اسداله‌زاده^۱، مرثه اصغریگی^۱، آرش رضایی نودهی^۱

۱. گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه

تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۶/۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۶/۱۷)

چکیده

نوشیدنی‌های بر پایه مرکبات از پرطرفدارترین نوشیدنی‌های میوه‌ای هستند. آب و رب نارنج از فرآورده‌های پرمصرف نارنج هستند. در پژوهش حاضر، ویسکوزیته، ظرفیت گرمایی ویژه، ضریب جابجایی گرما، چگالی، pH، رسانایی الکتریکی، مجموع مواد جامد محلول و تغییر شاخصه‌های رنگی عصاره نارنج طی مراحل مختلف تغلیظ حرارتی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مدل‌های آرنیوس و آرنیوس اصلاح‌شده برای بیان ارتباط ویسکوزیته و دما مورد بررسی قرار گرفتند. با کاهش نسبت حجم ثانویه عصاره به حجم اولیه آب‌میوه از ۱۰۰٪ به ۱۵٪ مقادیر چگالی، جرم ماده خشک، pH، به ترتیب از ۱۰۳۵ به ۱۳۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش، از ۶/۸۹٪ به ۴۷/۴۵٪ افزایش و از ۲/۰۹ به ۱/۳۸ کاهش یافتند. همچنین ظرفیت گرمایی ویژه و ضریب جابجایی گرمایی از ۴۱۴۶ به ۲۹۸۴ ژول بر کیلوگرم کلون و از ۰/۵۸۴ به ۰/۴۰۲ وات بر متر مربع کلون کاهش یافتند.

واژه‌های کلیدی: ویسکوزیته، ظرفیت گرمایی ویژه، ضریب جابجایی گرما، رسانایی الکتریکی، پردازش تصویر

مقدمه

به دلیل محتوای رطوبتی و ارزش غذایی بالای میوه‌ها و سبزیجات، پس از برداشت، احتمال فساد آن‌ها بر اثر رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌ها وجود دارد. از طرفی به دلیل فصلی بودن اغلب این محصولات و همچنین امکان رویش آن‌ها در برخی از مناطق جهان تحت شرایط آب و هوایی خاص، فرآوری و تولید محصولات مختلف و متنوع از میوه‌ها و سبزیجات حائز اهمیت است (Aghajanzadeh Suraki et al., 2016). طی سال‌های گذشته تقاضا برای استفاده از مواد غذایی با منشأ گیاهی رشد چشمگیری داشته است. بنابراین به‌منظور پاسخ به تقاضای مردم، فرآوری میوه‌ها و سبزیجات به‌صورت صنعتی درآمده است. نوشیدنی‌های بر پایه مرکبات از پرطرفدارترین نوشیدنی‌های میوه‌ای هستند که ۵۸٪ درآمد حاصل از فروش نوشیدنی‌ها را در دنیا به خود اختصاص می‌دهند (Tiwari et al., 2009). آب و رب نارنج می‌توانند به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی به‌منظور حذف و یا کاهش اکسیداسیون مواد پروتئینی مورد استفاده قرار گرفته و ماندگاری این مواد را افزایش دهند (Nekuie Fard et al., 2016).

ایران با حدود ۲۹۰,۰۰۰ هکتار سطح زیر کشت مرکبات و تولید سالیانه ۴,۳۵۰,۰۰۰ تن، مقام هفتم را در بین کشورهای جهان به خود اختصاص داده است (Vaysi et al., 2017).

گونه نارنج با نام علمی *Citrus aurantium L* از تیره مرکبات و جنس *Citrus* است (Marzouk, 2013). میوه نارنج بومی جنوب غربی آسیا بوده و دارای میوه‌های گرد و اسیدی است. این میوه با نام‌های پرتقال ترش^۱، پرتقال تلخ^۲ و پرتقال سویل^۳ شناخته می‌شود (Amiri & Niakousari, 2007). مهم‌ترین ترکیبات میوه نارنج عبارتند از آلکالوئیدها (سینفرین، تیرامین، هوردنن، ویتامین C)، فلاونوئید و روغن‌های فرار. ترکیبات اصلی گیاه نارنج، دارای تأثیرات دارویی مفید روی سلامت انسان است. سینفرین موجود در گیاه نارنج به افزایش سوخت‌وساز و کاهش اشتها کمک کرده و به‌عنوان جانشین افدرین در کاهش وزن بدون تأثیرات منفی می‌تواند استفاده شود. از برگ و میوه نارنج به‌عنوان ضد یبوست، درمان بی‌خوابی، کاهش استرس، رفع دل‌درد و درمان دیابت استفاده می‌شود. مطالعات نشان داده است که مصرف روزانه یک لیوان آب‌نارنج، خطر سکت قلبی را به میزان ۲۵٪ کاهش می‌دهد و در کشورهای ساحل مدیترانه به دلیل وجود مقدار قابل توجهی نارنج در رژیم غذایی و استفاده منظم نارنج، سرطان سینه، کبد، پانکراس و روده بزرگ خیلی کمتر است (Rasam & Mashayekhian, 2013).

* نویسنده مسئول: hajiahmad@ut.ac.ir

1 Sour orange
2 Bitter orange
3 Seville orange

میزان ویتامین ث به صورت هفتگی اندازه‌گیری شد (Montazer, & Niakousari, 2012). در پژوهش دیگری، سینتیک تخریب حرارتی اسید اسکوربیک، محتوای فنول کل و ظرفیت ضد اکسایشی آب نارنج در دماها و بازه‌های زمانی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. محتوای اسید اسکوربیک و فنول کل به ترتیب به روش‌های یدومتری فولین سیوکالته اندازه‌گیری شدند. تغییرات محتوای اسید اسکوربیک و فنول کل آب نارنج طی فراوری حرارتی با استفاده از دو مدل آرنیوس و آیرینگ مورد ارزیابی قرار گرفت (Aghajanzadeh Suraki et al., 2016). در مطالعه دیگری، آب نارنج در چهار سطح توان ماکروویو ۱۷۰، ۳۶۰، ۵۱۰ و ۶۸۰ وات در بازه‌های زمانی مختلف تا رسیدن به دمای ۷۲ درجه سلسیوس فرآوری و تأثیر سطوح مختلف فرآیند حرارتی بر برخی از خصوصیات فیزیکیوشیمیایی آب نارنج مورد بررسی قرار گرفت (Seyedabadi et al., 2017). در مطالعه دیگر، قهوه‌ای شدن حین عملیات تغلیظ آب نارنج با استفاده از دو روش مختلف پردازش تصویر و طیف‌سنجی، اندازه‌گیری و محتوای اسید اسکوربیک در آب نارنج با استفاده از روش یدومتری اندازه‌گیری شد (Aghajanzadeh et al., 2017). در مطالعه دیگر، تأثیر پارامترهای غشایی دما و فشار بر ویسکوزیته، چگالی و شاخص‌های رنگی آب نارنج در طول فرآیند شفاف‌سازی به کمک اولترافیلتراسیون بررسی شد (Seyedabadi et al., 2018).

بسیاری از محصولات کشاورزی دارای زمان تولید و مصرف متفاوتی هستند. تولید یا برداشت آن‌ها معمولاً در یک زمان مشخص و کوتاه، ولی مصرف در زمان طولانی‌تری صورت می‌گیرد. صنایع تبدیلی می‌تواند با حفظ و نگهداری محصولات، در آن‌ها به گونه‌ای تغییر و تبدیل ایجاد نماید که امکان مصرفشان در طی سال میسر باشد. نارنج از محصولاتی است که در شمال و جنوب کشور تولید شده و از اواسط آبان تا اسفندماه جهت مصرف تازه‌خوری در دسترس است. تولید سالانه مازاد بر مصرف نارنج در کشور و نیز اهمیت برآورده شدن نیاز علاقه‌مندان به فرآورده‌های این محصول در کل طول سال، تولید صنعتی فرآورده‌های نارنج ضروری به نظر می‌رسد. مطالعه رفتار رئولوژیکی عصاره نارنج در سطوح مختلف غلظت، نه تنها از جهت ارزیابی کیفی فرآورده‌ها (رب، لواشک، کنسانتره و ...) حائز اهمیت است، بلکه به منظور طراحی مراحل فرآوری شامل پمپ کردن، هم زدن، انتقال به وسیله خطوط لوله، سرد کردن و سایر مراحل، ضروری است. بررسی منابع انجام‌شده نشان داد که اگرچه پژوهش‌های پراکنده‌ای در زمینه بررسی ویژگی‌های عصاره نارنج در مراحل مختلف تغلیظ (عموماً غیرحرارتی) صورت گرفته است، لکن در آن‌ها رویکرد محققین بررسی اثر این ویژگی‌ها بر کیفیت و مصرف

(Sadeghi et al., 2018). آب نارنج یکی از فرآورده‌های پرمصرف نارنج، در شمال و جنوب ایران بوده و دارای ظاهری بسیار دل‌چسب و عطر و طعمی کم‌نظیر است (Montazer, & Niakousari, 2012). به دلیل فسادپذیری و حساسیت آن نسبت به فرآیند، دوره نگهداری آن کوتاه است. به منظور افزایش مدت زمان ماندگاری، در بسیاری از موارد به جای آب نارنج از رب نارنج استفاده می‌شود. رایج‌ترین روش تولید رب نارنج در کشور ایران استفاده از تغلیظ حرارتی است. در این روش ابتدا آب نارنج گرفته شده و درون ظرف مناسب ریخته شده و در معرض حرارت مستقیم قرار می‌گیرد. حرارت دادن تا جایی ادامه پیدا می‌کند که حجم رب به حدود ۲۰٪ حجم اولیه برسد (Vaysi et al., 2017; Sadeghi et al., 2018).

با توسعه انواع آب‌میوه‌ها و محصولات مشتق شده از آن‌ها نظیر کنسانتره‌ها و نکتارها، اطلاع از ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی آن‌ها امر مهمی محسوب می‌شود. از آنجایی که رفتار رئولوژیکی محصولات تولید شده از آب‌میوه‌ها تحت تأثیر مقدار و ویژگی ترکیبات تشکیل دهنده آن‌ها بوده و به نوع میوه و تیمارهای انجام شده روی آن‌ها در طی فرآوری نیز بستگی دارد، لذا مطالعه رفتار رئولوژیکی این محصولات نه تنها از جهت ارزیابی کیفی فرآورده‌ها مهم است، بلکه به منظور طراحی مراحل فرآوری شامل پمپ کردن، هم زدن، انتقال به وسیله خطوط لوله، تغلیظ، سرد کردن و سایر مراحل، حائز اهمیت است (Cortes et al., 2005; Vandresen et al., 2009; Nasiri et al., 2014). با توجه به اهمیت آب و رب میوه نارنج در حوزه پزشکی و سلامت و نیز به عنوان طعم‌دهنده، خوش بوکننده و نگه‌دارنده طبیعی در حوزه صنایع غذایی، پژوهش‌هایی برای تعیین خواص رئولوژی، فیزیکیوشیمیایی آب و رب نارنج صورت گرفته و نیز شاخص‌هایی جهت تعیین کیفیت این فرآورده‌ها ارائه شده است.

در یک پژوهش، ویژگی‌های رئولوژیکی شامل مواد جامد کل و ویسکوزیته کنسانتره آب نارنج با روش تغلیظ تحت خلأ ۵۵ میلی‌متر جیوه و استفاده از دماهای تغلیظ ۵۰ تا ۸۰ درجه سلسیوس در شرایط مختلف، مورد بررسی قرار گرفتند (Nasiri et al., 2014). در پژوهش دیگر، دو روش تولید سنتی و صنعتی تولید آب نارنج بر روی رنگ و انتخاب بهترین شرایط نگهداری آب نارنج پس از تولید، مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور آب نارنج حاصل از سه مرحله از فرآیند جهت بررسی اثر پاستوریزاسیون و هموزنی‌زاسیون و افزودن متابی سولفیت سدیم به عنوان عامل تثبیت رنگ فرآورده، به مدت ۱۶ هفته، در چهار سطح دمایی انبارگذاری و مجموع مواد جامد محلول آب نارنج، میزان pH، هیدروکسی متیل فورفورال، شاخص قهوه‌ای شدن و

ویسکوزیته آب‌نارنج در سطوح مختلف تغلیظ با استفاده از ویسکومتر Brookfield مدل DV-II+pro مجهز به سیستم اندازه‌گیری و کنترل دما تعیین شد. متغیرهای مورد نظر، غلظت عصاره نارنج و دمای ارزیابی خواص رئولوژیکی بودند. رفتار جریان و ویژگی‌های رئولوژیکی عصاره نارنج با استفاده از نرم‌افزار دستگاه ویسکومتر تعیین گردید. جهت ذخیره داده‌های حاصل از اندازه‌گیری توسط ویسکومتر، از ارتباط سریال دستگاه ویسکومتر با رایانه استفاده و کلیه داده‌های مربوط به اندازه‌گیری ویسکوزیته، دما و گشتاور ذخیره گردیدند. برای هر یک از نمونه‌ها، داده برداری از دمای حدود ۷۵ درجه سلسیوس شروع و به مدت ۳ ساعت ادامه پیدا کرد. در طول کلیه آزمایش‌ها دمای اطراف ظرف نمونه ثابت و در محدوده ۱۷-۱۸ درجه سلسیوس تنظیم شد.

در پژوهش حاضر، تغییرات ویسکوزیته با دما مورد بررسی قرار گرفت. رابطه ویسکوزیته مایعات با دما با استفاده از رابطه آرنیوس^۱ و رابطه آرنیوس اصلاح‌شده^۲ که به ترتیب در رابطه‌های ۱ و ۲ بیان شده‌اند، بیان می‌شود (Arrhenius, 1889; Laidler, 1996).

$$\mu = A \exp\left[\frac{E}{RT}\right] \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$\mu = AT^n \exp\left[\frac{E}{RT}\right] \quad (\text{رابطه ۲})$$

در دو رابطه اخیر T دما بر حسب درجه کلونین، μ ویسکوزیته مایع در دمای مورد نظر بر حسب میلی‌پاسکال ثانیه، A ضریب ثابت، R ثابت جهانی گازها بر حسب ژول بر مول کلونین و E ضریب دما برای سیال که واحد آن متناسب با RT است (Quinchia et al., 2010). ضریب دما در واکنش‌های شیمیایی معادل انرژی فعال‌سازی سیال در نظر گرفته می‌شود. دو معادله مذکور به داده‌های اندازه‌گیری شده در سطوح مختلف غلظت عصاره نارنج برازش شده و ضریب دمایی عصاره نارنج در هر غلظت محاسبه گردید.

معادلاتی برای محاسبه ویسکوزیته یک سیال که از ترکیب دو یا چند سیال دیگر تشکیل شده است، توسط پژوهشگران ارائه شده‌اند. یکی از این معادلات که برای سیال تشکیل شده از دو سیال دیگر توسعه داده شده، در رابطه ۳ بیان شده است (Gambill, 1959).

$$\mu_m = \left[x_1 \mu_1^{\frac{1}{3}} + x_2 \mu_2^{\frac{1}{3}} \right]^3 \quad (\text{رابطه ۳})$$

در رابطه ۳، μ_m ویسکوزیته سیال ترکیب شده، μ_1 ویسکوزیته سیال اول، μ_2 ویسکوزیته سیال دوم، x_1 درصد جرمی

خوراکی محصول بوده است. در پژوهش پیش رو، رویکرد طراحی ماشین‌های فرآوری با ایجاد بستر مناسبی جهت مقایسه نتایج حاصل از به‌کارگیری فرایندهای مختلف مورد توجه قرار گرفته و اثر فرایند رایج تغلیظ حرارتی بر خواص فیزیکی‌وشیمیایی و شاخصه‌های رنگی عصاره نارنج مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی آب‌نارنج

نارنج رقم مورتون از بازار محلی شهرستان کرج خریداری و کلیه نارنج‌ها تا زمان عصاره‌گیری در اتاقک نگهداری میوه با قابلیت تنظیم دما تحت دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند. پس از شست و شوی میوه‌ها، عمل آب‌گیری با آب‌میوه‌گیر صنعتی انجام شد. به‌منظور جداسازی ذرات معلق پالپ و اجزای بافت، فیلتراسیون دو مرحله‌ای به کار گرفته شد. در مرحله اول از صافی‌هایی با اندازه منافذ ۰/۱۲۵ اینچ و در مرحله بعد از الک با مش ۱۷۰ استفاده گردید. نمونه‌ها بعد از این مرحله حرارت‌دهی شدند (Aghajanzadeh Suraki et al., 2016). در صورت وجود فاصله زمانی بین فرایند آب‌گیری و تغلیظ حرارتی، نمونه‌ها در یخچال و در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند (Seyedabadi et al., 2017).

فرآیند حرارتی

به‌منظور تغلیظ، نمونه‌ها درون ظرف استیل مدرج ریخته شده و ظرف استیل بر روی شعله قرار داده شد. حجم اولیه هر نمونه اندازه‌گیری و با توجه به آن مقدار کاهش حجم لازم جهت رسیدن به مقدار تغلیظ مورد نظر و نیز حجم ثانویه نمونه محاسبه گردید. برای هر نمونه، فرایند حرارت‌دهی تا جایی ادامه پیدا کرد که حجم ثانویه مورد نظر حاصل شد. برای کلیه نمونه‌ها حجم ثانویه برابر با یک لیتر و حجم اولیه برای مقادیر تغلیظ ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۸۵ درصد به ترتیب برابر با ۱/۱۱، ۱/۲۵، ۱/۴۳، ۱/۶۷، ۲، ۲/۵، ۳/۳۳، ۵ و ۶/۶۷ لیتر بود. مدت زمان حرارت‌دهی با توجه به حجم اولیه نمونه از ۱۱ تا ۸۸ دقیقه متفاوت بود. برای تعیین رابطه ویسکوزیته با دما و پارامترهای انتقال حرارت هر یک از سطوح تغلیظ، بلافاصله پس از اتمام فرایند تغلیظ و قبل از سرد شدن، نمونه درون ظرف شیشه‌ای ریخته و تحت اندازه‌گیری ویسکوزیته قرار گرفت.

اندازه‌گیری و محاسبه پارامترهای فیزیکی

ویسکوزیته

عصاره برابر با ۲۰٪ حجم اولیه بود به‌عنوان دو سیال تشکیل دهنده که با درصدهای متفاوت ترکیب شده و سیال ترکیبی (سایر غلظت‌های عصاره نارنج) را تشکیل می‌دهند، مبنای قرار داده شدند. به عبارت دیگر، در هر غلظت از عصاره نارنج، درصد جرمی آب و عصاره نارنج ۲۰٪ به‌عنوان دو سیال تشکیل دهنده مورد محاسبه قرار گرفت. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری دما و ویسکوزیته در نرم‌افزار متلب^۱ مدل‌سازی و ضرایب مدل‌ها استخراج گردید. شکل کلی ۱۱ مدل ارائه شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- شکل کلی ۱۱ مدل ارائه شده برای پیش‌بینی ویسکوزیته عصاره نارنج در دما و غلظت‌های متفاوت

شماره مدل	شکل ریاضی مدل
۱	$\mu = (x_1\mu_1^{\frac{1}{3}} + x_2\mu_2^{\frac{1}{3}})^3 [a + bT + cD + dTD + eD^2 + fTD^2 + gD^3]$
۲	$\mu = (x_1\mu_1 + x_2\mu_2) [a + bT + cD + dTD + eD^2 + fTD^2 + gD^3]$
۳	$\mu = (x_1\mu_1 + x_2\mu_2) \exp\left(\frac{1}{T}\right) + [a + bT + cD + dTD + eD^2 + fTD^2 + gD^3]$
۴	$\mu = (x_1\mu_1^{\frac{1}{4}} + x_2\mu_2^{\frac{1}{4}})^4 + [a + bT + cD + dTD + eD^2 + fTD^2 + gD^3]$
۵	$\mu = (x_1\mu_1^{\frac{1}{4}} + x_2\mu_2^{\frac{1}{4}})^4 [a + bT + cD + dTD + eD^2 + fTD^2 + gD^3]$
۶	$\mu = (x_1\mu_1 + x_2\mu_2) [a + bT + cD + dTD + eD^2]$
۷	$\mu = (x_1\mu_1 + x_2\mu_2) \exp\left(\frac{1}{T}\right) + [a + bT + cD + dTD + eD^2]$
۸	$\mu = (x_1\mu_1^{\frac{1}{4}} + x_2\mu_2^{\frac{1}{4}})^4 + [a + bT + cD + dTD + eD^2]$
۹	$\mu = (x_1\mu_1 + x_2\mu_2) [a + bT + cD]$
۱۰	$\mu = (x_1\mu_1 + x_2\mu_2) \exp\left(\frac{1}{T}\right) + [a + bT + cD]$
۱۱	$\mu = (x_1\mu_1^{\frac{1}{4}} + x_2\mu_2^{\frac{1}{4}})^4 + [a + bT + cD]$

D نماد درصد تغلیظ (حجم ثانویه به حجم اولیه بر حسب درصد) و T دما بر حسب درجه سلسیوس است.

انتقال حرارت است. ظرفیت گرمایی ویژه را با مشتق‌گیری از تغییرات آنتالپی سیستم نسبت به دما می‌توان نتیجه گرفت. به عبارت دیگر تغییرات آنتالپی سیستم همان انتگرال از ظرفیت گرمایی ویژه در محدوده دمایی مورد نظر است. در پژوهش حاضر از قانون سرد کردن نیوتون^۲ استفاده شد. در این روش یک سیال با مقدار ظرفیت گرمایی ویژه معلوم را هم‌زمان با سیال با ظرفیت گرمایی نامعلوم سرد کرده و تغییرات دما با زمان را برای هر دو سیال به دست می‌آورند. برای هر یک از سیال‌ها، انرژی گرمایی از دست رفته حین سرد شدن از رابطه ۴ به دست می‌آید (Sobel, 2007).

چگالی

به‌منظور اندازه‌گیری چگالی از هیدرومتر استفاده گردید. برای هر یک از سطوح تغلیظ، پس از اتمام فرآیند تغلیظ، حجم مناسب از عصاره نارنج درون استوانه مدرج شیشه‌ای به قطر ۵ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر ریخته شد و سپس هیدرومتر درون سیال فرو برده شد و به آرامی رها گردید. برای کلیه سطوح، اندازه‌گیری چگالی با سه تکرار انجام شد.

ظرفیت گرمایی ویژه

ظرفیت گرمایی ویژه یکی از کمیت‌های مهم در ترمودینامیک و

سرد شدن نیوتون و فوریه می‌توان ضریب جابجایی گرمایی را طبق رابطه ۷ محاسبه کرد (Burmeister, 1993).

$$T(t) = T_e + (T_i - T_e) \exp\left[\frac{hA}{cm} t\right] \quad (\text{رابطه ۷})$$

در رابطه اخیر، $T(t)$ دمای سیال برحسب درجه سلسیوس، T_i دمای اولیه سیال داغ برحسب درجه سلسیوس، T_e دمای محیط در حین فرایند سرد شدن بر حسب درجه سلسیوس، t زمان بر حسب ثانیه، c ظرفیت گرمایی ویژه بر حسب ژول بر کیلوگرم کلون، m جرم سیال بر حسب کیلوگرم، A مساحت سطح خارجی سیال که انتقال حرارت از آن صورت می‌گیرد بر حسب مترمربع و h ضریب جابجایی گرمایی بر حسب وات بر مترمربع کلون است. در آزمایش‌های انجام شده، با توجه به اندازه‌گیری دمای اولیه سیال در حین سرد شدن و دمای محیط، معلوم بودن سطح انتقال حرارت (با توجه به استوانه‌ای بودن شکل دو ظرف، سطح انتقال حرارت برابر با مساحت سطح استوانه‌ای به قطر داخلی ظرف و ارتفاع سیال درون ظرف است) و جرم سیال و محاسبه ظرفیت گرمایی ویژه، داده‌های حاصل از اندازه‌گیری دمای سیال (داده برداری با فواصل دو ثانیه) با گذشت زمان در نرم‌افزار متلب فراخوانی و مدل نمایی طبق رابطه ۷ به آن‌ها برازش و از این طریق مقدار ضریب جابجایی گرمایی محاسبه شد (Burmeister, 1993).

درصد جرم ماده خشک

پس از انجام آزمایش‌ها، در هر سطح غلظت، سه نمونه با جرم اولیه ۵۰ گرم تهیه و در موقعیت‌های مختلف درون آن قرار داده شد. مدت نگهداری در آن ۲۴ ساعت و دمای آن برابر با ۱۰۵ درجه سلسیوس تنظیم شد (Mirzabe *et al.*, 2016). پس از گذشت زمان مذکور نمونه‌ها از آن خارج و بلافاصله توزین شده و جرم ثانویه آن‌ها محاسبه گردید. در نهایت طبق رابطه ۸، درصد جرم ماده خشک برای غلظت‌های متفاوت محاسبه شد.

$$M_{dry-matter} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1}\right) \times 100 \quad (\text{رابطه ۸})$$

اندازه‌گیری پارامترهای شیمیایی

از جمله مهم‌ترین پارامترهای شیمیایی که در صنایع غذایی مورد بررسی قرار می‌گیرند، پتانسیل هیدروژن (pH)، رسانایی الکتریکی (EC) و مجموع مواد محلول (TDS) هستند. پتانسیل هیدروژن به معنی بررسی غلظت یون هیدروژن در مواد غذایی می‌باشد که در اواخر سده نوزدهم برای برخی از صاحبان صنایع شیمیایی و غذایی اهمیت ویژه‌ای پیدا کرد. به عنوان مثال، غلظت یون

$$Q = mc\Delta T \quad (\text{رابطه ۴})$$

در رابطه اخیر، Q انرژی برحسب ژول، m جرم بر حسب کیلوگرم، c ظرفیت گرمایی ویژه بر حسب ژول بر کیلوگرم درجه سلسیوس و ΔT تغییرات دما برحسب درجه سلسیوس است. اگر دمای اولیه دو سیال با هم برابر باشد و اجازه داده شود هر دو سیال هم‌زمان (در کنار هم تحت شرایط محیطی یکسان) سرد شده تا هر دو به یک دمای ثانویه برابر برسند، مقدار انرژی حرارتی انتقال داده شده به محیط در واحد زمان برای هر دو سیال برابر است، بنابراین:

$$\frac{m_1 c_1 \Delta T_1}{t_1} = \frac{m_2 c_2 \Delta T_2}{t_2} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$c_2 = \frac{m_1 t_2}{m_2 t_1} c_1 \quad (\text{رابطه ۶})$$

بنابراین با داشتن جرم هر یک از سیال‌ها و مدت زمان لازم برای رسیدن به دمای برابر و نیز معلوم بودن ظرفیت گرمایی ویژه یکی از سیال‌ها، ظرفیت گرمایی ویژه سیال دوم قابل محاسبه است. در پژوهش حاضر از آب مقطر به‌عنوان سیال با ظرفیت گرمایی معلوم $4182 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ استفاده شد. در هر یک از سطوح تغلیظ، دمای یک لیتر (حجم یکسان جهت ایجاد سطح انتقال حرارت یکسان) آب مقطر و یک کیلوگرم عصاره نارنج در دو ظرف کاملاً مشابه افزایش داده شده و به ۷۵ درجه سلسیوس رسید. سپس هر دو سیال سرد شده و دمای آن‌ها در مدت سرد شدن توسط دو دماسنج اندازه‌گیری و داده‌ها ذخیره شدند. فرایند سرد کردن تا جایی ادامه پیدا کرد که هر دو سیال به دمای ۲۵ درجه سلسیوس برسند (مدت زمان تقریبی برابر با سه ساعت بود). سپس با استفاده از رابطه ۶ مقدار ظرفیت گرمایی عصاره نارنج محاسبه گردید.

ضریب جابجایی گرمایی

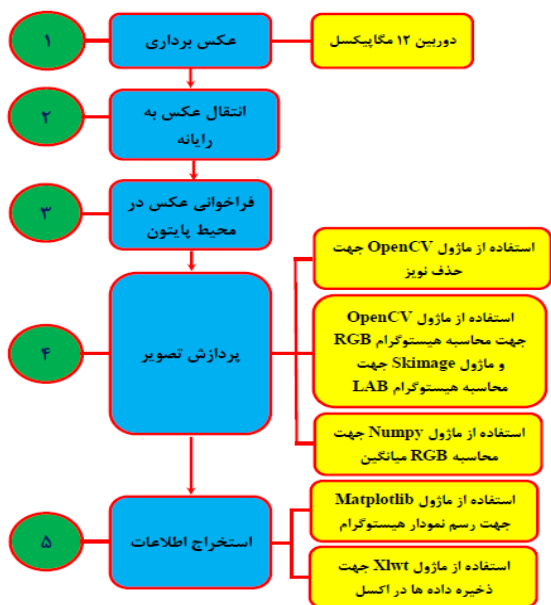
ضریب جابجایی گرمایی^۱ از پارامترهای مهم در ترمودینامیک و انتقال حرارت بوده و خاصیتی از اجسام است که بیانگر توانایی آن‌ها در انتقال گرما می‌باشد. هنگامی که اختلاف دمای جسم و محیط اطراف کم باشد، مقدار متوسط گرمایی که در اثر هدایت، همرفت و تابش بین جسم و محیط اطراف آن مبادله می‌شود، به‌صورت تقریبی متناسب با اختلاف دمای جسم و محیط اطراف است. این موضوع اولین بار توسط نیوتن کشف شد و بیان می‌کند که سرعت تغییر دمای جسم به‌صورت تقریبی با اختلاف دمای جسم و محیط اطراف متناسب است. قانون سرد شدن نیوتن حل یک معادله دیفرانسیلی از قانون فوریه است. با توجه به قانون

(Aghajanzadeh *et al.*, 2017). در پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر تغلیظ حرارتی عصاره نارنج بر شاخصه‌های رنگی، از پردازش تصویر استفاده شد. به منظور ایجاد شرایط لازم برای عکس برداری در شرایط ایده‌آل و حذف نوفه‌های (نویزهای) محیطی، از میز نور نشان داده شده در شکل ۱ استفاده شد. میز نور نشان داده شده از ۳۰۰ لامپ LED و یک صفحه پخش کننده نور تشکیل شده است که نمونه‌های عصاره نارنج درون بشر ریخته شده بر روی صفحه قرار داده شدند. حجم هر یک از نمونه‌ها برابر با ۶۰ میلی‌لیتر بود (قطر داخلی بشرها ۲۲ میلی‌متر و ارتفاع آن‌ها ۳۹/۵ میلی‌متر بود). برای جلوگیری از تأثیرگذاری نور محیط، یک مکعب چوبی بر روی صفحه پخش کننده نور قرار داده شد. وجه زیرین مکعب دارای سوراخی به قطر ۶۰ میلی‌متر جهت ورود نور از صفحه پخش کننده و قرارگیری نمونه‌ها بوده و وجه بالایی آن سوراخی به قطر ۸ میلی‌متر جهت قرار گرفتن لنز دوربین و امکان عکس برداری داشت. جهت تغییر شدت نور از یک منبع تغذیه جریان مستقیم استفاده شد که با تغییر مقدار ولتاژ ورودی با لامپ‌های LED شدت نور تغییر می‌کرد. اندازه‌گیری شدت نور و کالیبراسیون آن با مقدار ولتاژ منبع تغذیه توسط لوکس‌متر Testo-545 انجام گرفت. پردازش تصویر با کدنویسی در محیط برنامه‌نویسی پایتون^۱ صورت گرفت که مراحل و نحوه انجام آن در شکل ۱ نمایش داده شده است.

هیدروژن در طول فرایند تخمیر و فعالیت مخمرها اثر می‌گذارد و لازم است که دائماً مورد بررسی و کنترل قرار گیرد. رسانایی الکتریکی معرف قدرت یونی یک محلول برای انتقال جریان برق است. هر چقدر که میزان نمک‌های موجود در یک محلول بیشتر باشد توانایی آن برای انتقال جریان برق بیشتر بوده و در نتیجه مقدار رسانایی الکتریکی آن بیشتر است. مجموع مواد محلول یک پارامتر شیمیایی دیگر است که با رسانایی الکتریکی ارتباط دارد. با توجه به نوع محلول روابط متفاوتی بین رسانایی الکتریکی و مجموع مواد محلول وجود دارد که به طور کلی برای محلول‌های رقیق می‌توان گفت مجموع مواد محلول، نصف رسانایی الکتریکی است. در پژوهش حاضر، هر سه پارامتر شیمیایی مذکور اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری pH از دستگاه Metrohm-744 با دقت ۰/۰۱ استفاده شد. همچنین رسانایی الکتریکی با استفاده از دستگاه Istek-C65 با دقت ۰/۰۱ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر و مجموع مواد محلول توسط TDS-039 با دقت یک میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری گردید.

تغییر رنگ و پردازش تصویر

یکی از روش‌های کیفیت‌سنجی محصولات کشاورزی و مواد غذایی، استفاده از روش پردازش تصویر است. از مزایای این روش می‌توان به سادگی، ارزان بودن و عدم تخریب نمونه اشاره کرد



(ب)



(الف)

شکل ۱- تجهیزات و فرآیند پردازش تصویر (الف) میز نور با قابلیت تنظیم شدت نور (ب) مراحل پردازش تصویر در نرم‌افزار پایتون

است. با توجه به شکل، افزایش غلظت (کاهش حجم ثانویه به حجم اولیه) یا به عبارت دیگر افزایش مواد جامد در عصاره نارنج باعث افزایش ویسکوزیته آن می‌شود. همچنین افزایش دما باعث کاهش ویسکوزیته می‌گردد. این پدیده افزایش ویسکوزیته هم‌زمان با افزایش مجموع مواد جامد محلول و کاهش ویسکوزیته در اثر افزایش دما، توسط مطالعات انجام‌شده بر روی آب‌پرقال (Ibarz et al., 1994)، کنسانتره آب خرما (Hobani, 1998)، کنسانتره آب توت سیاه (Cabral et al., 2007) و کنسانتره آب انبه (Dak et al., 2007) نیز تأیید شده است. نتیجه بررسی‌ها حاکی از این مطلب بود که دما و غلظت تأثیر مهمی بر رفتار جریان داشته است، به طوری که ویسکوزیته با افزایش دما، کاهش و با افزایش مجموع مواد جامد محلول، افزایش نشان داد. همچنین از نظر تئوری، به‌صورت کلی، ویسکوزیته مایعات نیوتونی با افزایش دما، کاهش می‌یابد و ویسکوزیته گازها با افزایش دما، افزایش پیدا می‌کند. لذا نتایج به دست آمده منطبق بر تئوری حاکم بوده و بیانگر رفتار نیوتونی در مراحل ابتدایی تغلیظ و رفتار غیر نیوتونی در مراحل انتهایی فرایند هستند.

Seyedabadi et al., (2018) تأثیر فرآیند غشایی اولترافیلتراسیون بر رئولوژی آب‌نارنج مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد با افزایش دما و کاهش فشار، ویسکوزیته آب‌نارنج افزایش پیدا می‌کند. علت تفاوت رفتار ویسکوزیته تحت اثر دما در پژوهش حاضر و کار انجام شده توسط Seyedabadi et al., (2018) را می‌توان ناشی از تأثیر فرآیند غشایی اولترافیلتراسیون دانست.

به‌منظور بیان معادله ویسکوزیته بر حسب دما از دو تابع‌نمایی آرنیوس و آرنیوس اصلاح‌شده استفاده شد. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری تغییرات ویسکوزیته با دما به نرم‌افزار متلب انتقال داده شده و این دو تابع به داده‌ها برازش شدند. نتایج حاصل از برازش در جدول ۲ نشان داده شده است. طبق نتایج به دست آمده، هر دو تابع عملکرد بسیار خوبی در مدل‌سازی رفتار نشان دادند. تقریباً در همه موارد، تابع آرنیوس اصلاح‌شده عملکرد بهتری دارد (با توجه به بالاتر بودن مقادیر ضریب تبیین و کمتر بودن ریشه میانگین مربعات خطا). ضریب ثابت E در هر دو معادله نشان دهنده ضریب دمایی بوده که در فرایندهای شیمیایی و حرارتی از آن به‌عنوان انرژی فعال‌سازی یاد می‌شود (Quinchia et al., 2009). انرژی فعال‌سازی در جدول ۲ برحسب ژول بر مول بوده و مقدار آن با افزایش تغلیظ ابتدا کاهش و سپس افزایش پیدا می‌کند. همچنین برای کلیه سطوح تغلیظ، مقادیر انرژی

به‌منظور بررسی تغییرات رنگی در اثر تغلیظ آب‌نارنج، از دو فضای رنگی RGB و $L^*a^*b^*$ استفاده شد. فضای رنگی RGB از سه مؤلفه رنگی اصلی قرمز، سبز و آبی تشکیل شده است که هر کدام بین مقادیر صفر تا ۲۵۵ تغییر می‌کنند. فضای رنگی $L^*a^*b^*$ شامل سه مؤلفه L^* معادل روشنایی تصویر که بین صفر تا ۱۰۰ بوده (صفر معادل مشکی و ۱۰۰ معادل انعکاس کامل نور است)، a^* که بین ۱۲۸- تا ۱۲۷ بوده (مقادیر مثبت مربوط به رنگ قرمز و مقادیر منفی معادل رنگ سبز است) و b^* که بین ۱۲۸- تا ۱۲۷ است (مقادیر مثبت معادل رنگ زرد و مقادیر منفی معادل رنگ آبی است). این فضای رنگی عملکردی مشابه چشم انسان دارد. در اکثر موارد در پژوهش‌های صنایع غذایی از این فضای رنگی استفاده می‌گردد و بر خلاف فضاهای RGB و HSL متأثر از وسیله عکس‌برداری نیست (Aghajanzadeh et al., 2017).

به‌منظور ارائه شاخص‌های کیفی رنگی در مراحل مختلف تغلیظ آب‌نارنج از دو شاخص قهوه‌ای شدن^۱ و کروما^۲ استفاده شد. شاخص قهوه‌ای شدن که یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در ارزیابی فرایندهای حرارتی در صنایع غذایی است، خلوص رنگ قهوه‌ای را نشان می‌دهد. شاخص کروما نشان‌دهنده درجه اشباع رنگ است. شاخص‌های قهوه‌ای شدن و کروما به ترتیب توسط روابط ۹ و ۱۰ محاسبه گردید (Dadali et al., 2007).

(رابطه ۹)

$$BI = 588.235 \left[\frac{a^* + 1.75L^*}{5.645L^* + a^* - 3.012b^*} - 0.31 \right]$$

$$CI = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

در روابط ۹ و ۱۰، BI شاخص قهوه‌ای شدن و CI شاخص کروما است.

عکس‌برداری از نمونه‌های عصاره نارنج با غلظت متفاوت در چهار سطح شدت نوری ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ لوکس انجام گرفت. عکس‌ها با کدنویسی در محیط پایتون در دو فضای رنگی RGB و $L^*a^*b^*$ پردازش شدند. کل پیکسل‌های هر عکس آنالیز و مقدار میانگین هر یک از مؤلفه‌های رنگی هر فضای رنگی مورد محاسبه قرار گرفت.

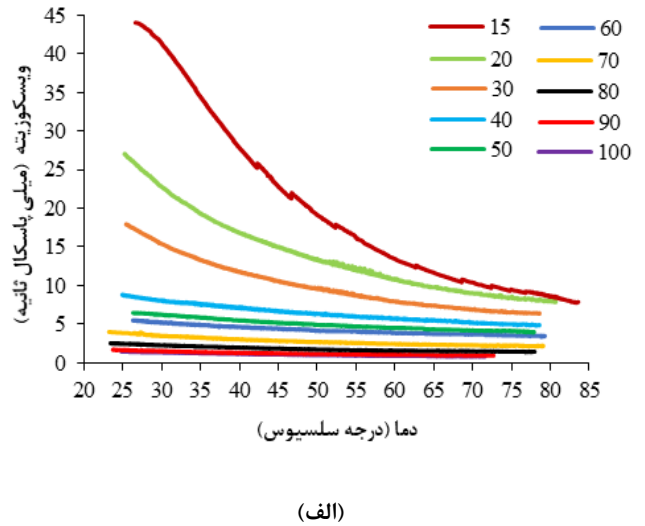
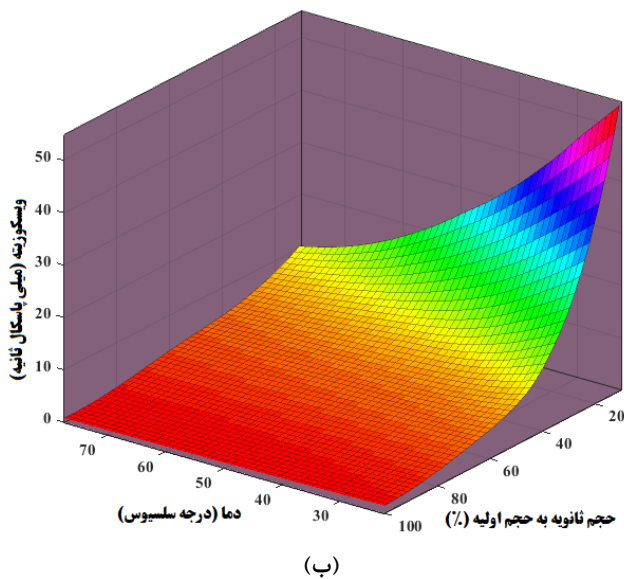
تحلیل نتایج

ویسکوزیته

نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویسکوزیته عصاره نارنج در دماهای مختلف و برای درجات مختلف تغلیظ در شکل ۲ نشان داده شده

دست آمده توسط رابطه آرنیوس اصلاح شده هستند.

فعال سازی به دست آمده توسط رابطه آرنیوس کمتر از مقادیر به



شکل ۲- تغییرات ویسکوزیته عصاره نارنج با دما و غلظت طی فرآیند تغلیظ حرارتی الف) نمودار دو بعدی که در آن مقادیر تغلیظ یا حجم ثانویه به حجم اولیه به صورت اعداد ۱۵ تا ۱۰۰ نشان داده شده است ب) رویه سه بعدی

جدول ۲- ضرایب دو تابع نمایی آرنیوس و آرنیوس اصلاح شده برای مدل سازی رابطه ویسکوزیته و دمای عصاره نارنج در فرآیند تغلیظ

حجم ثانویه به اولیه (%)	ضرایب معادله آرنیوس اصلاح شده (رابطه ۲)					ضرایب معادله آرنیوس (رابطه ۱)			
	A	n	E	R ²	RMSE	A	E	R ²	RMSE
۱۰۰	-۰/۰۲۵۵۶	-۰/۲۷۳۴	۱۱۸۵۰	-۰/۹۹۱۴	۰/۰۱۷۴	-۰/۰۱۶۲	۱۱۱۴۰	-۰/۹۹۱۳	۰/۰۱۷۵
۹۰	-۰/۰۰۷۵۹۶	-۰/۱۵۵۶	۱۱۱۲۰	-۰/۹۸۰۵	۰/۰۳۰۲	-۰/۰۲۱۷۲	۱۰۷۱۰	-۰/۹۸۰۴	۰/۰۳۰۳
۸۰	-۰/۰۰۹۸۱	-۰/۱۹۴۸	۱۰۹۴۰	-۰/۹۸۴۱	۰/۰۴۲۵	-۰/۰۳۶۵۷	۱۰۴۳۰	-۰/۹۸۳۸	۰/۰۴۲۸
۷۰	-۰/۰۰۵۶۲	-۰/۳۲۶۷	۱۱۵۶۰	-۰/۹۸۳۴	۰/۰۷۰۷	-۰/۰۵۱۰۴	۱۰۷۰۰	-۰/۹۸۳۱	۰/۰۷۱۵
۶۰	-۰/۰۱۲۵۹	-۰/۴۱۷۱	۹۱۷۵	-۰/۹۸۸۵	۰/۰۶۱۷	-۰/۲۱۱۶	۸۰۷۰	-۰/۹۸۸۰	۰/۰۶۳۱
۵۰	-۰/۰۷۰۷۹	-۰/۱۴۷۸	۹۱۴۴	-۰/۹۹۴۷	۰/۰۵۲۳	-۰/۱۹۲۴	۸۷۵۳	-۰/۹۹۴۶	۰/۰۵۲۸
۴۰	-۰/۰۲۳۱۹	-۰/۲۹۲۴	۱۰۵۵۰	-۰/۹۹۶۷	۰/۰۶۲۰	-۰/۱۶۷۴	۹۷۷۷	-۰/۹۹۶۶	۰/۰۶۳۱
۳۰	-۰/۰۰۱۶۲۸	-۰/۲۲۸۵	۱۹۷۹۰	-۰/۹۹۰۸	۰/۳۲۲۸	-۰/۰۰۷۶	۱۹۱۹۰	-۰/۹۹۰۷	۰/۳۲۴۵
۲۰	-۰/۰۰۰۵۱	-۰/۳۱۶۳	۲۲۴۵۰	-۰/۹۹۳۰	۰/۴۷۳۲	-۰/۰۰۴۲۹۶	۲۱۶۲۰	-۰/۹۹۲۹	۰/۴۷۷۱
۱۵	-۰/۰۰۰۱۰۱	-۰/۱۷۸۱	۲۹۹۵۰	-۰/۹۹۶۱	۰/۷۵۵۳	-۰/۰۰۳۳۷	۲۹۴۸۰	-۰/۹۹۶۱	۰/۷۵۴۶

در دماهای مختلف با استفاده از این دو سیال پایه و رابطه ۳ مدل سازی شدند. نتایج نشان داد که اگرچه رابطه ۳ توانایی پیش بینی روند تغییرات دما و ویسکوزیته سیال ترکیب یافته از دو سیال دیگر را دارد اما در غلظت های متفاوت ضرایب متفاوت داشته و در همه موارد ضریب تبیین آن کمتر از ۰/۶۷ بود. لذا جهت پیش بینی مقدار ویسکوزیته سیال ترکیب یافته از دو سیال پایه و تأثیر دما و غلظت بر ویسکوزیته ۱۱ مدل جدید (جدول ۱) ارائه گردید. ضرایب محاسبه شده توسط نرم افزار متلب برای این مدل ها در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت کلیه مدل ها در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بوده و از قابلیت اطمینان بالایی برخوردارند. از بین

لازم به ذکر است، برای یک مدل رگرسیونی خطی در صورتی که درجه آزادی برابر با ۳۰ باشد، اگر ضریب تبیین مدل بیشتر از ۰/۱۴۸ باشد آنگاه مدل در سطح ۱٪ معنی دار است (Snedecor & William, 1989). در پژوهش حاضر، در هر مرحله از فرآیند تغلیظ، تعداد داده ها برابر با ۵۴۰۰ بود؛ بنابراین درجه آزادی مدل آرنیوس برابر با ۵۳۹۸ و مدل آرنیوس اصلاح شده برابر با ۵۳۹۷ می باشد که قطعاً هر دو مدل در سطح احتمال ۱٪ معنی دار هستند.

در پژوهش حاضر، آب مقطر و عصاره نارنج زمانی که نسبت حجم ثانویه به حجم اولیه آن برابر با ۲۰ بود، به عنوان دو سیال پایه در نظر گرفته شدند. ویسکوزیته سایر غلظت های عصاره نارنج

فقط برای عصاره نارنج مورد ارزیابی قرار گرفته و برای کاربرد در سایر سیالات نیاز به بررسی‌های بیشتر دارند.

مدل‌های ارائه‌شده، مدل شماره ۹ ساده‌ترین و مدل شماره ۲ دقیق‌ترین مدل‌ها هستند. لازم به ذکر است که مدل‌های ارائه‌شده

جدول ۳- ضرایب مدل‌های پیشنهادی برای پیش‌بینی رابطه ویسکوزیته، دما و غلظت بر مبنای دو سیال پایه آب و عصاره نارنج با نسبت حجم ثانویه به حجم اولیه ۲۰٪

شماره مدل	ضرایب ثابت مدل‌ها							شاخص‌های آماری	
	a	b	c	d	e	f	g	R ²	RMSE
۱	۱/۴۷۲	-۰/۲۲۳	-۰/۶۰۷	۰/۰۰۲	-۰/۱۶۴	-۰/۰۶۷	۰/۱۴۹	۰/۹۷۵	۰/۰۷۴
۲	-۰/۷۰۶	-۰/۱۳۰	-۰/۳۳۹	-۰/۰۰۵	-۰/۰۱۰	-۰/۰۳۴	۰/۰۴۳	۰/۹۸۳	۰/۰۴۰
۳	-۱/۹۴۷	۱/۴۴۲	-۱/۱۶۲	-۰/۰۵۹	۰/۷۳۷	-۰/۴۴۶	۰/۴۱۳	۰/۹۲۰	۰/۴۸۹
۴	۱/۱۹۴	-۰/۱۴۱	-۱/۷۹۱	۰/۲۶۳	-۰/۱۸۲	-۰/۱۵۰	۰/۲۱۵	۰/۹۷۳	۰/۲۶۲
۵	۱/۴۷۲	-۰/۲۲۳	-۰/۶۰۷	۰/۰۰۲	-۰/۱۶۴	-۰/۰۶۷	۰/۱۴۹	۰/۹۷۵	۰/۰۷۴
۶	-۰/۶۹۸	-۰/۱۱۵	-۰/۲۵۱	-۰/۰۱۷	-۰/۰۲۳	-	-	۰/۹۲۳	۰/۰۸۴
۷	-۱/۸۱۰	۱/۲۰۵	-۰/۷۴۵	۰/۳۳۱	۰/۳۶۰	-	-	۰/۹۴۲	۰/۴۱۳
۸	۱/۱۷۲	-۰/۰۷۵	-۱/۴۲۰	۰/۲۰۷	۰/۱۱۶	-	-	۰/۹۷۸	۰/۲۳۲
۹	-۰/۶۷۷	-۰/۱۰۲	-۰/۲۵۷	-	-	-	-	۰/۹۱۱	۰/۰۸۹
۱۰	-۱/۵۹۹	۱/۲۳۴	-۰/۷۱۰	-	-	-	-	۰/۹۶۷	۰/۳۰۵
۱۱	۱/۲۰۸	-۰/۱۲۶	-۱/۳۱۴	-	-	-	-	۰/۹۸۷	۰/۱۷۷

تغییرات pH نشان‌دهنده اسیدی‌تر شدن عصاره نارنج طی فرآیند تغلیظ است. همچنین رسانایی الکتریکی و مجموع مواد جامد محلول در فرآیند تغلیظ ابتدا افزایش پیدا کرده و سپس کاهش پیدا می‌کنند. این پدیده نشان می‌دهد که فرآیند تغلیظ صرفاً فیزیکی نبوده و واکنش‌های شیمیایی درون سیال را به دنبال دارد. نصیری و همکاران تغییرات مجموع مواد جامد محلول را طی فرآیند تغلیظ با استفاده از دستگاه رفراکتومتر اندازه‌گیری کردند. نتیجه بررسی‌ها حاکی از این مطلب بود افزایش تغلیظ موجب افزایش مجموع مواد جامد محلول در عصاره نارنج می‌شود (Nasiri et al., 2014).

طبق نتایج با افزایش غلظت، مقدار ظرفیت گرمایی ویژه کاهش پیدا می‌کند. ضریب جابجایی گرمایی آب نارنج طی فرآیند تغلیظ کاهش پیدا می‌کند. علت کاهش ضریب جابجایی گرمایی در اثر تغلیظ را می‌توان کاهش مقدار آب نسبت به مجموع مواد جامد محلول بیان کرد.

شاخصه‌های رنگی

تغییرات رنگ عصاره نارنج در شدت نور ۲۰۰۰ لوکس برای نمونه در شکل ۳ نشان داده شده است.

مطابق شکل ۴ نتایج نشان می‌دهد که در کلیه سطوح شدت نور، مقدار میانگین مؤلفه رنگ قرمز در فضای رنگی RGB در مراحل اولیه تغلیظ افزایش جزئی داشته اما برای مراحل پایانی کاهش قابل ملاحظه پیدا می‌کند. همچنین مقدار میانگین مؤلفه رنگ سبز در فضای رنگی RGB در مراحل تغلیظ کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند. در فضای رنگی *a*b*L کاهش دو مؤلفه

سایر خواص فیزیکوشیمیایی

با استفاده از منحنی سرد شدن مقدار ظرفیت گرمایی ویژه عصاره نارنج با غلظت‌های متفاوت محاسبه شد (جدول ۴). طبق نتایج با افزایش غلظت، مقدار ظرفیت گرمایی ویژه کاهش پیدا می‌کند. همان‌گونه که قبلاً به آن اشاره شد، آب نارنج از لحاظ شیمیایی ترکیب پیچیده‌ای از آلکالوئیدها، فلاونوئید و روغن‌های فرار است که در آب پراکنده‌اند. ظرفیت گرمایی ویژه آب از بسیاری از مواد مذکور بیشتر است. بنابراین از نظر تئوری، تغلیظ آب نارنج می‌تواند باعث کاهش ظرفیت گرمایی ویژه آن شود؛ لذا مبانی تئوری کاملاً مؤید نتایج به دست آمده هستند.

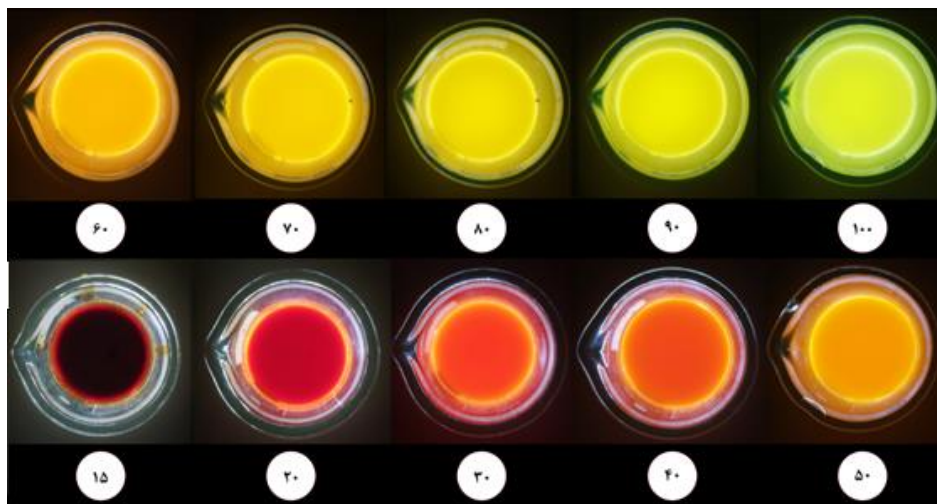
نتایج حاصل از اندازه‌گیری چگالی، درصد جرم ماده خشک، رسانایی الکتریکی، مجموع مواد محلول، ظرفیت گرمایی ویژه و ضریب جابجایی گرمایی و pH در دمای ۲۰ درجه سلسیوس در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، تغلیظ آب نارنج باعث افزایش چگالی آن می‌شود. با توجه به اینکه چگالی اولیه آب نارنج بیشتر از آب است، یعنی مجموع مواد جامد محلول در آب نارنج چگال‌تر از آب هستند. در مراحل مختلف تغلیظ درصد مواد جامد بیشتر شده و در نتیجه سیال چگال‌تر می‌شود. بنابراین نتایج حاصل از اندازه‌گیری جرم ماده خشک و چگالی با هم مطابقت دارند. لازم به ذکر است با در اختیار داشتن مقادیر چگالی و ویسکوزیته دینامیکی سیال، می‌توان ویسکوزیته سینماتیک را محاسبه کرد. ویسکوزیته سینماتیک بیانگر توانایی انتقال مومنوم سیال است که پارامتری مهم در طراحی مخازن و لوله‌ها و خطوط انتقال است.

میانگین رنگ قرمز و آبی بدون تغییر بوده اما مقادیر رنگ سبز افزایش جزئی دارد. همچنین در فضای رنگی $L^*a^*b^*$ افزایش شدت نور موجب افزایش جزئی دو مؤلفه L^* و b^* شده اما مؤلفه رنگی a^* تغییر نمی‌کند.

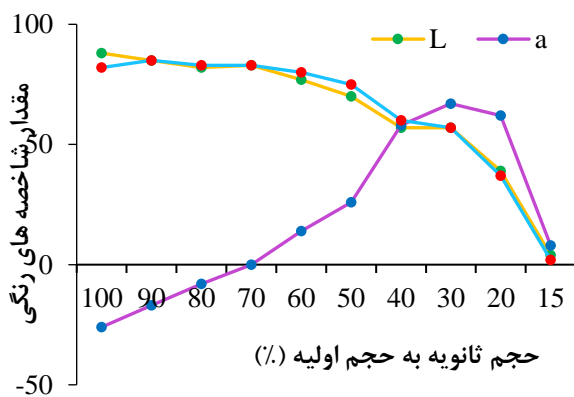
رنگی L^* و b^* در اثر تغلیظ مشهود است. همچنین مؤلفه رنگی a^* در مراحل اولیه افزایش و در مراحل پایانی تغلیظ کاهش پیدا می‌کند. اما برای تغییرات مقدار میانگین رنگ آبی روند خاصی در شدت نورهای مختلف مشاهده نشد. همچنین به طور کلی می‌توان گفت که با افزایش شدت نور از ۵۰۰ به ۲۰۰۰ لوکس مقدار

جدول ۴- تغییرات چگالی، درصد جرم ماده خشک، pH، رسانایی الکتریکی، مجموع مواد جامد محلول، ظرفیت گرمای ویژه و ضریب انتقال دمای عصاره نارنج در مراحل مختلف تغلیظ

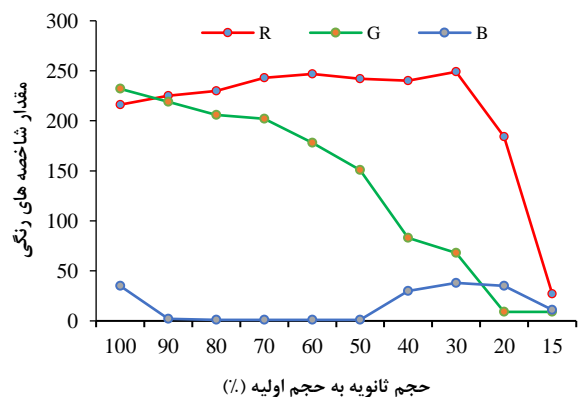
پارامتر	حجم ثانویه به حجم اولیه (%)									
	۱۰۰	۹۰	۸۰	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۵
ρ (kg m ⁻³)	۱۰۳۵	۱۰۵۵	۱۰۷۵	۱۰۹۵	۱۱۰۷	۱۱۳۰	۱۱۷۰	۱۲۱۰	۱۲۷۰	۱۳۴۰
M _{dry-matter} (%)	۶/۸۹	۸/۱۷	۹/۷۱	۱۲/۶۶	۱۵/۵۸	۱۸/۹۳	۲۶/۹۸	۳۱/۸۰	۳۸/۹۳	۴۷/۴۵
pH	۲/۰۹	۲/۰۲	۱/۹۸	۱/۹۶	۱/۹۲	۱/۸۸	۱/۷۷	۱/۶۵	۱/۵۳	۱/۳۸
EC (μ S cm ⁻¹)	۴۲۷۰	۴۸۲۰	۵۲۰۰	۵۶۴۰	۵۹۷۰	۶۰۴۰	۵۴۸۰	۵۵۶۰	۳۱۰۰	۹۰۰
TDS (PPM)	۲۱۵۰	۲۴۴۰	۲۵۶۰	۲۸۰۰	۲۹۹۰	۳۰۱۰	۲۷۷۰	۳۰۰۰	۱۶۹۰	۵۵۰
c (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	۴۱۴۶	۴۰۴۰	۳۹۰۵	۳۷۲۹	۳۵۶۵	۳۴۲۲	۳۲۶۸	۳۱۴۲	۳۰۲۷	۲۹۸۴
h (W m ⁻² K ⁻¹)	۰/۵۸۴	۰/۵۸۰	۰/۵۷۶	۰/۵۴۴	۰/۵۰۰	۰/۴۷۶	۰/۴۵۷	۰/۴۳۳	۰/۴۲۱	۰/۴۰۲



شکل ۳- تغییرات رنگ عصاره نارنج طی فرایند تغلیظ حرارتی



(ب)

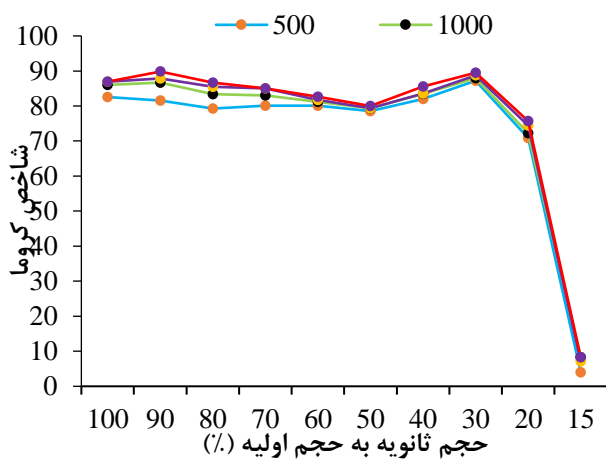


(الف)

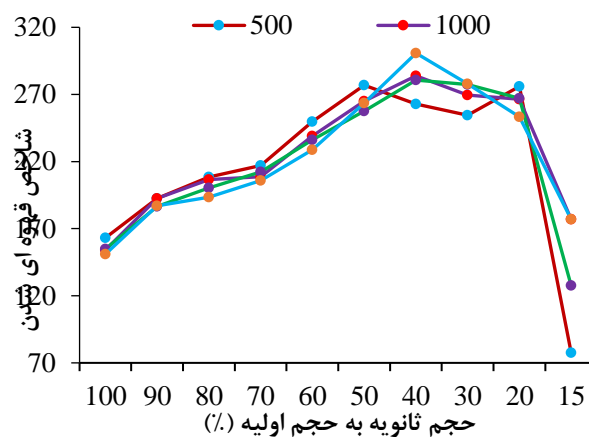
شکل ۴- مقدار میانگین شاخصه های رنگی در طول فرایند تغلیظ حرارتی در شدت نور ۱۰۰۰ لوکس الف) در فضای رنگی RGB ب) در فضای رنگی $L^*a^*b^*$

غیر آنزیمی ناشی از تجزیه گرمایی اسید اسکوربیک موجود در ماده غذایی می‌باشد که می‌تواند در حضور هوا و یا شرایط بی‌هوای رخ دهد. وقوع این واکنش باعث تخریب کامل این ویتامین ضروری می‌گردد. نوع سوم و مهمترین نوع واکنش قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی واکنش میلارد می‌باشد. این واکنش در طیف وسیعی از مواد غذایی مانند انواع نان و بیسکویت، کیک‌ها، مغزها و گوشت‌ها رخ می‌دهد و فرآورده‌های ناشی از آن وارد رژیم غذایی روزانه افراد جامعه می‌شود (Yu et al., 2013). شاخص کروما که بیانگر شدت رنگ است در مراحل ابتدایی دارای تغییرات جزئی است اما در مراحل پایانی دچار افت شدید می‌شود که علت آن کاهش رنگ قرمز است. مقایسه بین شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد که تغییرات شاخص قهوه‌ای شدن همبستگی بسیار خوبی با تغییرات مؤلفه رنگی a^* داشته و تغییرات شاخص کروما همبستگی خوبی با تغییرات رنگ قرمز دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که رنگ قرمز از فضای RGB و مؤلفه رنگ a^* از فضای رنگی $L^*a^*b^*$ هر کدام به تنهایی تغییرات رنگی را به خوبی نشان داده و می‌توانند به عنوان شاخص کیفی جهت ارزیابی عصاره نارنج مورد استفاده قرار گیرند.

نتایج حاصل از محاسبه شاخص قهوه‌ای شدن و شاخص کروما در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج حاصل از محاسبه شاخص قهوه‌ای شدن در چهار شدت نور متفاوت تقریباً مشابه هستند. به طور کلی می‌توان گفت فرآیند تغلیظ حرارتی تا رسیدن به ۴۰٪ حجم اولیه باعث افزایش شاخص قهوه‌ای شدن می‌شود. می‌توان این امر را به علت افزایش رنگ قرمز و کاهش رنگ سبز دانست. این قهوه‌ای شدن در اثر واکنش‌های آنزیمی و غیر آنزیمی صورت پذیرفته است. واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی، در محصولاتی چون زردآلو، سیب، هلو، گلابی، موز، انگور و سبزیجاتی مانند سیب‌زمینی، قارچ، کاهو و فرآورده‌های دریایی مانند میگو رخ می‌دهد. آزاد شدن آنزیم پلی‌فنولاز موجود در بافت محصولات مذکور باعث اکسید شدن ترکیبات مونوفنولی و ایجاد کینون‌ها می‌شود. کینون‌ها در نهایت باعث تولید پیگمان‌های رنگی قرمز و قهوه‌ای و رنگی شدن مواد غذایی می‌گردند. واکنش قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی به چندین روش ممکن است رخ دهد. کاراملیزاسیون یا پیرولیز قندهای موجود در مواد غذایی در اثر حرارت بالا، که باعث بروز رنگ قهوه‌ای در ماده غذایی می‌شود و ترکیب رنگی حاصله همان کارامل می‌باشد که در صنایع غذایی به عنوان رنگ دهنده کاربرد دارد. نوع دوم واکنش قهوه‌ای شدن



(ب)



(الف)

شکل ۵- تغییر شاخص‌های قهوه‌ای شدن و کروما در طول فرآیند تغلیظ حرارتی در شدت نورهای متفاوت (الف) تغییرات شاخص قهوه‌ای شدن (ب) تغییرات شاخص کروما

بسیار بالایی با یکدیگر داشته و از این رو می‌توان روش پردازش تصویر را به علت زمان کمتر، هزینه کمتر و عدم تخریب نمونه‌ها به عنوان جایگزین مناسب برای روش‌های شیمیایی مطرح نمود (Seyedabadi et al., 2017).

آقاچان زاده و همکاران ارزیابی تغییرات رنگ آب نارنج طی فراوری حرارتی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از بررسی

نتایج پژوهش‌های دیگر نشان دهنده تغییرات رنگی آب مرکبات در اثر تغلیظ آن‌ها است (Vikram et al., 2005; Burdurlu et al., 2006). نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد زمان و دمای تغلیظ می‌توانند بر کیفیت رنگ اثر داشته باشند. همچنین نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که روش پردازش تصویر و روش‌های شیمیایی در برآورد شاخص قهوه‌ای شدن همبستگی

که با افزایش غلظت و کاهش دما، ویسکوزیته عصاره نارنج افزایش پیدا کرده و در غلظت‌های بالا رفتار غیر نیوتونی از خود نشان می‌دهد. همچنین معادله آرنیوس و آرنیوس اصلاح‌شده برای مدل‌سازی اثر دما بر ویسکوزیته و محاسبه انرژی فعال‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. گرچه اثر کلی دما بر روی ویسکوزیته قابل پیش‌بینی است، محاسبه دقیق مقدار آن به کمک مدل‌سازی میسر خواهد بود. لذا تعداد ۱۱ مدل برای پیش‌بینی رابطه ویسکوزیته با دما و غلظت نارنج بر مبنای مواد تشکیل‌دهنده ارائه شد. کلیه مدل‌ها در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده و کمترین مقدار بدست آمده برای ضریب تبیین برابر با ۰/۹۱۱ و بیشترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا برابر با ۰/۴۸۹ بود. علاوه بر این، نتایج پردازش تصویر حاکی از این بود که هر دو فضای رنگی RGB و $L^*a^*b^*$ قادر به تشخیص تغییرات عصاره نارنج طی فرایند تغلیظ بوده و می‌توانند جهت ارائه شاخص‌های کیفیت‌سنجی مورد استفاده قرار گیرند.

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

REFERENCES

- Aghajanzadeh Suraki, S., Ziaifar, A. M., Kashaninejad, M., Maghsoudlou, Y., & Esmailzadeh, E. (2016). Degradation kinetics of ascorbic acid, total phenolic and antioxidant content of sour orange juice during thermal processing. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 13(57), 1-11.
- Aghajanzadeh, S. S., Ziaifar, A. M., Kashaninejad, M., Maghsoudlou, Y., & Esmailzadeh, E. (2017). Investigation of color changes in sour orange juice during thermal processing. *Electronic journal of food processing and preservation*, 8(2), 1-24.
- Amiri, S. & Niakousari, M. (2007). Shelf life of unpasteurized sour orange juice in Iran. *J Fruits* 63, 1- 13.
- Arrhenius, S. (1889). Über die Dissociationswärme und den Einfluss der Temperatur auf den Dissociationsgrad der Elektrolyte. *Zeitschrift für physikalische Chemie*, 4(1), 96-116.
- Burdurlu, H. S., Koca, N., & Karadeniz, F. (2006). Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. *Journal of Food Engineering*, 74(2), 211-216.
- Burmeister, L. C. (1993). Convective heat transfer. *John Wiley & Sons*.
- 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(3), 589-595.
- Cortés, C., Esteve, M. J., Frígola, A., & Torregrosa, F. (2005). Changes in carotenoids including geometrical isomers and ascorbic acid content in orange-carrot juice during frozen storage. *European food research and technology*, 221(1-2), 125-131.
- Dadali, G., Kılıç Apar, D., & Özbek, B. (2007). Color change kinetics of okra undergoing microwave drying. *Drying Technology*, 25(5), 925-936.
- Dak, M., Verma, R. C., & Jaaffrey, S. N. A. (2007). Effect of temperature and concentration on rheological properties of “Kesar” mango juice. *Journal of Food Engineering*, 80(4), 1011-1015.
- Gambill, W. R. (1959). How to estimate mixtures viscosities. *Chemical Engineering*, 66(5), 151-152.
- Hobani, A. I. (1998). Rheological behaviour of date-water concentrates. *Journal of Food Engineering*, 36(3), 349-357.
- Ibarz, A., Gonzalez, C., & Esplugas, S. (1994). Rheology of clarified fruit juices. III: Orange juices. *Journal of Food Engineering*, 21(4), 485-494.
- Laidler, K. J. (1996). A glossary of terms used in chemical kinetics, including reaction dynamics (IUPAC Recommendations 1996). *Pure and applied chemistry*, 68(1), 149-192.
- Marzouk, B. (2013). Characterization of bioactive compounds in Tunisian bitter orange (*Citrus aurantium L.*) peel and juice and determination of their antioxidant activities. *BioMed research international*.
- Mirzabe, A. H., Taheri, M., Pouyesh, A., & Bavani, N. B. (2016). Moisture content on some engineering properties of celery (*Apium Graveolens L*) seeds. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 18(2), 243-259.
- Montazer, Z., & Niakousari, M. (2012). Evaluation of

اثر دما و زمان حرارت‌دهی بر تغییرات شاخص کروما نشان داد که تغییرات دمایی در محدوده ۷۰ تا ۹۰ درجه سلسیوس و زمان در محدوده ۱۰ تا ۸۰ دقیقه موجب تغییر مقدار این شاخص از ۲۹ تا ۳۹ می‌گردد. همچنین افزایش دما و زمان فرآیند موجب افزایش شاخص کرما گردید (Aghajanzadeh et al., 2017). نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که محدوده تغییرات شاخص کروما، برای آب‌نارنج و عصاره نارنج با حجم ثانویه ۲۰٪ حجم اولیه، از ۷۲ تا ۹۱ می‌باشد. علت بالاتر بودن مقادیر شاخص کروما در این تحقیق نسبت به پژوهش انجام شده توسط آقاجان زاده و همکاران را می‌توان به بالاتر بودن دما و زمان حرارت‌دهی در این تحقیق نسبت داد.

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر با توجه به اهمیت نارنج و ضرورت فرآوری آن و نیز اهمیت تعیین خواص فیزیکوشیمیایی و رنگی در پیش‌بینی کیفیت و طراحی ماشین‌ها و تجهیزات لازم برای فرآوری، خواص مذکور مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج به دست آمده نشان داد

- color change of sour orange juice (from different stages of processing line) during storage. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 37(9), 109-121.
- Nasiri, M., Farahnaky, A., Niakousari, M., Majzoobi, M., & Mesbahi, G. R. (2014). Evaluation of processing condition on physicochemical properties and flow behavior of sour orange juice concentrate. *Journal of food research*. 24(2), 155-166.
- Nekuie Fard, A., Javadi, M., Noori Saeidlou, S., & Hossein Pour, S. (2016). Effect of citrus aurantium mesocarp extract on shelf life of rainbow trout. *Journal of Qazvin University of Medical Sciences*, 20(1), 21-29.
- Quinchia, L. A., Delgado, M. A., Valencia, C., Franco, J. M., & Gallegos, C. (2010). Viscosity modification of different vegetable oils with EVA copolymer for lubricant applications. *Industrial Crops and Products*, 32(3), 607-612.
- Quinchia, L. A., Delgado, M. A., Valencia, C., Franco, J. M., & Gallegos, C. (2009). Viscosity modification of high-oleic sunflower oil with polymeric additives for the design of new biolubricant formulations. *Environmental science & technology*, 43(6), 2060-2065.
- Rasam, G. & Mashayekhian A. (2013). A review on the use of sour orange (*Citrus aurantium*) in the treatment of diseases. *Second National Conference of Orange Spring and Urban Green Space*.
- Sadeghi, H., Karbalaie, A. M., & Hadizadeh, F. H. (2018). Effect of citrange, citromello and sour orange rootstocks on some morphological and physiological characteristics and minerals absorbance of limequat. *Crops Improvement*, 20(1), 101-112.
- Seyedabadi, M., Aghajanzadeh, S. S., Kashaninejad, M., & Ziaifar, A. (2017). Investigation of the effect of microwave on some physicochemical properties of sour orange juice. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 62(14), 17-29.
- Seyedabadi, M., Kashaninejad, M., Sadeghi Mahoonak, A., & Maghsoudlou, Y. (2018). Effect of ultrafiltration process on rheology and color indices of sour orange juice. *Electronic journal of food processing and preservation*, 10(2), 105-120.
- Snedecor, G. W. C., & William, G. (1989). Statistical methods. (No. QA276. 12. S6313 1989.).
- Sobel, M. (2007). Teaching thermodynamics and the nature of matter. *The Physics Teacher*, 45(8), 511-515.
- Tiwari, B. K., O'Donnell, C. P., Muthukumarappan, K., & Cullen, P. J. (2009). Ascorbic acid degradation kinetics of sonicated orange juice during storage and comparison with thermally pasteurised juice. *LWT-Food Science and Technology*, 42(3), 700-704.
- Vandresen, S., Quadri, M. G., de Souza, J. A., & Hotza, D. (2009). Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. *Journal of Food Engineering*, 92(3), 269-274.
- Vaysi, R., Nikkar, M., & Salarian, H. R. (2017). Investigation and comparison of newsprint properties from bleached CMP pulp produced using ash and sour orange tree woods. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 31(4), 569-580.
- Vikram, V. B., Ramesh, M. N., & Prapulla, S. G. (2005). Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. *Journal of Food Engineering*, 69(1), 31-40.
- Yu, A. N., Tan, Z. W., & Wang, F. S. (2013). Mechanistic studies on the formation of pyrazines by Maillard reaction between L-ascorbic acid and L-glutamic acid. *LWT-Food Science and Technology*, 50(1), 64-71.