مطالعه رفتار تغییر خواص ترمومکانیکی و شاخصه‌های رنگی آب آلبالو در فرایند تغلیظ حرارتی

علی حاجی احمد [۱،*]، امیرحسین میرزابه [۲]

۱. استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران (hajiahmad@ut.ac.ir)
۲. دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران (a_h_mirzabe@ut.ac.ir)

چکیده

مصرف تازه خوری آلبالو به علت فسادپذیری زیاد، محدود بوده و تولید فراورده‌های بر پایه آلبالو یک روش مهم در کاهش ضایعات این محصول است. نوشیدنی‌های بر پایه آلبالو از پرطرفدارترین نوشیدنی‌های میوه‌ای در ایران هستند. در پژوهش حاضر با توجه به اهمیت خواص ترمومکانیکی در طراحی مراحل فرآوری شامل پمپ کردن، هم زدن، انتقال به‌وسیله خطوط لوله، تغلیظ، سرد کردن و ...، ویسکوزیته، ظرفیت گرمایی ویژه، ضریب جابجایی گرمایی، چگالی، درصد جرمی ماده خشک و تغییر شاخصه‌های رنگی عصاره آلبالو 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 افزایش درصد تغلیظ عصاره آب‌میوه از صفر به ۷۵٪ مقادیر چگالی، ظرفیت گرمایی ویژه، ضریب جابجایی گرمایی و جرم ماده خشک به ترتیب از ۱۰۳۳ به ۱۱۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش، از ٤١٤٦/١ به ٣١٤٢/٩ ژول بر کیلوگرم کلوین کاهش، از ۰/۵۸٤ به ۰/٤٣١ وات بر متر مربع کلوین کاهش، از ٦/١٨ به ٢٢/٥٦ درصد افزایش یافتند. همچنین نتایج بدست امده از محاسبه شاخص‌های رنگی به کمک پردازش تصویر با استفاده از نرم افزار پایتون نشان داد که شاخص قهوه‌ای شدن و شاخص کروما به ترتیب از ۲۸۵/٤٧ به ۳۵/۲۱- و از ۹۵/۹ به ۸/۱ کاهش یافتند.

کلمات کلیدی:

ویسکوزیته، ظرفیت گرمایی ویژه، ضریب جابجایی گرما، شاخص کروما، چگالی، پردازش تصویر

***نویسنده مسئول**
hajiahmad@ut.ac.ir

مطالعه رفتار تغییر خواص ترمومکانیکی و شاخصه‌های رنگی آب آلبالو در فرایند تغلیظ حرارتی

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 . 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 به صورت صنعتی درآمده است.

آلبالو (*Prunus cerasus* L.) **متعلق به خانواده** *Rosaceae* **می‌باشد که در مناطق معتدل امکان پرورش آن وجود دارد. تولید سالانه آلبالو در جهان برابر با ۱/۲ میلیون تن و در ایران برابر با ۱۱۶ هزار تن بوده است** (FAO, 2019)**. ایران ۹/۶۶ ٪ کل تولید جهانی را به خود اختصاص داده و پنجمین تولیدکننده آلبالو در جهان است** [1]**. آلبالو یکی از میوه‌هایی است که مصرف تازه خوری آن به علت فسادپذیری زیاد، محدود بوده و سهم کمی از مصرف را شامل می‌شود. میوه آلبالو سرشار از انواع آنتی‌اکسیدان است و به پیشگیری و درمان بیماری‌های قلبی** [2–5]**، غلظت خون و چربی خون** [6–9]**، التهاب کلیه، ناراحتی‌های کبد، معده، روده و نیز بیماری‌های تب‌دار کمک می کند** [10]**.**

بسیاری از محصولات کشاورزی دارای زمان تولید و مصرف متفاوتی هستند. تولید یا برداشت آن‌ها معمولاً در یک‌زمان مشخص و کوتاه، ولی مصرف در زمان طولانی‌تری صورت می‌گیرد. صنایع تبدیلی می تواند با حفظ و نگهداری محصولات، در آن‌ها به‌گونه‌ای تغییر و تبدیل ایجاد نماید که امکان مصرفشان در طی سال میسر باشد. آب‌میوه‌ها جزء اساسی و مهم رژیم غذایی به شمار می‌روند. طبق تعریف، آب‌میوه‌ها مایع استخراج شده از میوه‌ها هستند که مورد تخمیر قرار نگرفته‌اند و شامل فرآوری‌های اصلی مانند پیش تیمار، استخراج عصاره‌ها و تیمارهای پس از پرس می‌باشند. نوشیدنی‌های بر پایه آلبالو از پرطرفدارترین نوشیدنی‌های میوه‌ای هستند . اگرچه استخراج آب آلبالو تا حدود زیادی مشکلات مربوط به تولید مازاد بر مصرف این محصول را کاهش داده و منجر به کاهش ضایعات در این حوزه شده است، معمولاً آب‌میوه‌ها به‌صورت کنسانتره درآمده تا هزینه حمل‌ونقل محصول کاهش و مدت‌زمان نگهداری آن افزایش یابد [11]**. کنسانتره آسان‌تر از خود میوه‌ها برای فرآوری هستند چراکه آب کمتری به آن‌ها اضافه شده و نیز آن‌ها انعطاف‌پذیری بیشتری برای فرمولاسیون دارند** [12]**.**

با توسعه انواع آب‌میوه‌ها و محصولات مشتق شده از آن‌ها نظیر کنسانتره‌ها و نکتارها، اطلاع از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن‌ها امر مهمی محسوب می‌شود [13]**. ازآنجایی‌که 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 نه‌تنها از جهت ارزیابی کیفی فرآورده‌ها مهم است، بلکه به‌منظور طراحی مراحل فرآوری شامل پمپ کردن، هم زدن، انتقال به‌وسیله خطوط لوله، تغلیظ، سرد کردن و سایر مراحل، حائز اهمیت است** [14–16]**.**

در فراوری مواد غذایی از پدیده تغلیظ به‌طور گسترده برای ایجاد کریستال، خشک‌کردن و پالایش غشایی استفاده می‌شود. در تغلیظ مواد غذایی عواملی نظیر کاهش میزان انرژی مصرفی، نگهداری مواد مغذی وعطر و طعم اولیه ماده غذایی، افزایش کارایی فرایند و کاهش افت فرآورده از اهمیت فراوانی برخوردار است.گستردگی و نیاز فراوان به تغلیظ، منجر به ایجاد و توسعه روش‌های مختلف به‌منظور تغلیظ مواد غذایی شده است که از متداول‌ترین

روش‌های موجود می‌توان به پدیده تغلیظ با استفاده از تبخیر اشاره نمود. مهم‌ترین عیب روش تبخیر مصرف نسبتاً زیاد انرژی است. بااین‌حال امکان دست‌یابی به غلظت‌های بالا (مواد جامد محلول بیش از ۵۰ ٪) توسط فرآیند تبخیر وجود دارد [17]. دستیابی به غلظت‌های بالا می‌تواند موجب افزایش زمان نگهداری و کاهش حجم و در نتیجه کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل شود.

با توجه به تولید سالانه مازاد بر مصرف آلبالو در کشور و نیز اهمیت برآورده شدن نیاز علاقه‌مندان به فرآورده‌های این محصول در کل طول سال، تولید صنعتی فرآورده‌های آلبالو ضروری به نظر می‌رسد. بررسی منابع انجام‌شده نشان داد که اگرچه پژوهش‌های پراکنده‌ای در زمینه بررسی ویژگی‌های عصاره سایر میوه ها (مخصوصا مرکبات) در مراحل مختلف تغلیظ (عموماً غیرحرارتی) صورت گرفته است، لکن تا کنون مطالعه ای در این زمینه در رابطه با عصاره میوه آلبالو صورت نگرفته است، ضمن اینکه در آن‌ها رویکرد محققین تنها بر بررسی اثر این ویژگی‌ها بر کیفیت و مصرف خوراکی محصول محدود 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 ترمومکانیکی و شاخصه‌های رنگی عصاره آلبالو مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

آلبالو رقم سیگانی از باغات محلی شهرستان شهریار خریداری شد. پس از شست و شوی میوه‌ها، عمل هسته‌گیری و سپس آب‌گیری به روش فیلتر پرس 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 [13]. در صورت وجود فاصله زمانی بین فرایند آبگیری و تغلیظ حرارتی، نمونه ها در یخچال و در دمای ٤ درجه سلسیوس نگهداری شدند [18].

به‌منظور تغلیظ، نمونه‌ها درون ظرف استیل مدرج ریخته شده و ظرف استیل بر روی شعله (با نرخ انتقال حرارت تقریبی ۵۰ کیلوژول بر دقیقه) 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 شود. برای کلیه نمونه‌ها حجم ثانویه برابر با یک لیتر و حجم اولیه برای مقادیر تغلیظ ۱۵، ۳۰، ٤٥، ٦٠، ۷۵ درصد به ترتیب برابر با ۱/۱۷٦، ۱/٤۲۸، ۱/۸۱۸، ۲/۵ و ٤ لیتر بود. مدت‌زمان حرارت‌دهی برای مقادیر تغلیظ ۱۵، ۳۰، ٤٥، ٦٠، ۷۵ برابر با ۱۸، ۳۹، ٦٥، ۹۷ و ۱۳٦ 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. ویسکوزیته آب‌آلبالو در سطوح مختلف تغلیظ با استفاده از ویسکومتر Brookfield مدل DV-II+pro (شکل ۱) مجهز به سیستم اندازه‌گیری و کنترل دما تعیین شد. متغیرهای مورد نظر، غلظت عصاره آلبالو و دمای ارزیابی خواص رئولوژیکی بودند. رفتار جریان و ویژگی‌های رئولوژیکی عصاره آلبالو با استفاده از نرم‌افزار ویژه 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 هریک از نمونه ها، داده‌برداری 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 ۲۲-۲۰ 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[1] و رابطه آرنیوس اصلاح‌شده[2] که به ترتیب در رابطه‌های ۱ و ۲ بیان شده‌اند، بیان می‌شود [19].

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

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

شکل ۱- ویسکومتر بروکفیلد مورد استفاده مجهز به سیستم اندازه‌گیری و کنترل دما

در دو رابطه اخیر، T دما برحسب درجه کلوین، μ ویسکوزیته مایع در دمای مورد نظر برحسب میلی‌پاسکال ثانیه، A ضریب ثابت، R ثابت جهانی گازها معادل ۸/۳۱٤ ژول بر مول کلوین و E ضریب دما برای سیال (که واحد آن متناسب با RT است) می‌باشد [20]. 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 آلبالو برازش شده و ضریب دمایی عصاره آلبالو 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 [21].

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

در رابطه ۳، μ_m ویسکوزیته سیال ترکیب شده، μ_1 ویسکوزیته سیال اول، μ_2 ویسکوزیته سیال دوم، x_1 درصد جرمی سیال اول و x_2 درصد جرمی سیال دوم در سیال نهایی هستند. در مطالعه پیش رو با فرض اینکه در طول

[1]Arrhenius-type Equation
[2]Modified Arrhenius Equation

فرآیند حرارت‌دهی و تغلیظ عصاره آلبالو فقط تبخیر آب موجود در عصاره باعث کاهش حجم می‌شود، با بررسی بیش از ۱۰۰ مدل ریاضی، شش مدل برتر برای پیش‌بینی هم‌زمان اثر دما و ترکیب سیال پیشنهاد گردید (با توجه به بالاتر بودن مقادیر ضریب تبیین و کمتر بودن ریشه میانگین مربعات خطا بهترین مدل‌ها انتخاب شدند). بدین منظور ویسکوزیته آب و ویسکوزیته عصاره آلبالو در حالتی که حجم عصاره برابر با ۲۵ ٪ حجم اولیه بود به‌عنوان دو سیال تشکیل دهنده که با درصدهای متفاوت ترکیب شده و سیال ترکیبی (سایر غلظت‌های عصاره آلبالو) را تشکیل می‌دهند، مبنا قرار داده شدند. به‌عبارت‌دیگر، در هر غلظت از عصاره آلبالو، درصد جرمی آب و عصاره آلبالو ۲۵ ٪ به‌عنوان دو سیال تشکیل دهنده مورد محاسبه قرار گرفت. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری دما و ویسکوزیته در نرم‌افزار متلب[1] مدل‌سازی و ضرایب مدل‌ها استخراج گردید. شکل کلی شش مدل ارائه شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- شکل کلی شش مدل ارائه شده برای پیش بینی ویسکوزیته عصاره آلبالو در دما و غلظت‌های متفاوت

شماره رابطه	شکل ریاضی مدل	شماره مدل
٤	$\mu = (x_1\mu_1 + x_2\mu_2)\left[a + bT + cD + dTD + eD^2\right]$	١
٥	$\mu = (x_1\mu_1 + x_2\mu_2)\exp\left(\frac{1}{T}\right) + \left[a + bT + cD + dTD + eD^2\right]$	٢
٦	$\mu = (x_1\mu_1^{\frac{1}{4}} + x_2\mu_2^{\frac{1}{4}})^4 + \left[a + bT + cD + dTD + eD^2\right]$	٣
٧	$\mu = (x_1\mu_1 + x_2\mu_2)\left[a + bT + cD\right]$	٤
٨	$\mu = (x_1\mu_1 + x_2\mu_2)\exp\left(\frac{1}{T}\right) + \left[a + bT + cD\right]$	٥
٩	$\mu = (x_1\mu_1^{\frac{1}{4}} + x_2\mu_2^{\frac{1}{4}})^4 + \left[a + bT + cD\right]$	٦

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

به‌منظور اندازه‌گیری چگالی عصاره آلبالو از پیکنومتر با حجم ۵۰ سانتیمترمکعب استفاده گردید. برای کلیه سطوح، اندازه‌گیری چگالی با سه تکرار انجام شد. در پژوهش حاضر، به منظور تعیین ظرفیت گرمایی ویژه عصاره آلبالو از قانون سرد کردن نیوتون[2] استفاده شد. در این روش یک سیال با مقدار ظرفیت گرمایی ویژه معلوم را هم زمان با سیال با ظرفیت گرمایی نامعلوم سرد کرده و تغییرات دما با زمان را برای هر دو سیال به‌دست می‌آورند. برای هر یک از سیال‌ها، انرژی گرمایی ازدست‌رفته حین سرد شدن از رابطه ۱۰ به‌دست می‌آید [22].

$$Q = mc\Delta T \qquad (۱۰)$$

[1] Matlab
[2] Newton's law of cooling

در رابطه اخیر، Q انرژی برحسب ژول، m جرم برحسب کیلوگرم، c ظرفیت گرمایی ویژه برحسب 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:

$$\frac{m_1 c_1}{t_1}\Delta T_1 = \frac{m_2 c_2}{t_2}\Delta T_2 \qquad (11)$$

$$c_2 = \frac{m_1}{m_2}\frac{t_2}{t_1}c_1 \qquad (12)$$

بنابراین با داشتن جرم هر یک از سیال‌ها و مدت‌زمان 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 ٤١٨٢$J.kg^{-1}.K^{-1}$ استفاده شد. در هر یک از سطوح تغلیظ، دمای ۲۰۰ سانتیمتر مکعب (حجم یکسان جهت ایجاد سطح انتقال حرارت یکسان) آب مقطر و ۲۰۰ گرم عصاره آلبالو 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 ۳۰ درجه سلسیوس برسند (مدت‌زمان تقریبی هر یک از آزمایش‌ها حدود یک ساعت بود). سپس با استفاده از رابطه ۱۲ مقدار ظرفیت گرمایی عصاره آلبالو محاسبه گردید.

ضریب جابجایی گرمایی[1] از پارامترهای مهم در ترمودینامیک و انتقال حرارت بوده و خاصیتی از اجسام است که بیانگر توانایی آن‌ها در انتقال گرما می‌باشد. هنگامی‌که 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 اطرافش متناسب است. قانون سرد شدن نیوتن حل یک معادله دیفرانسیلی از قانون فوریه است. با توجه به قانون سرد شدن نیوتون و فوریه می‌توان ضریب جابجایی گرمایی را طبق رابطه ۱۳ محاسبه کرد [23].

$$T(t) = T_e + (T_i - T_e)\exp\left[\frac{hA}{cm}t\right] \qquad (13)$$

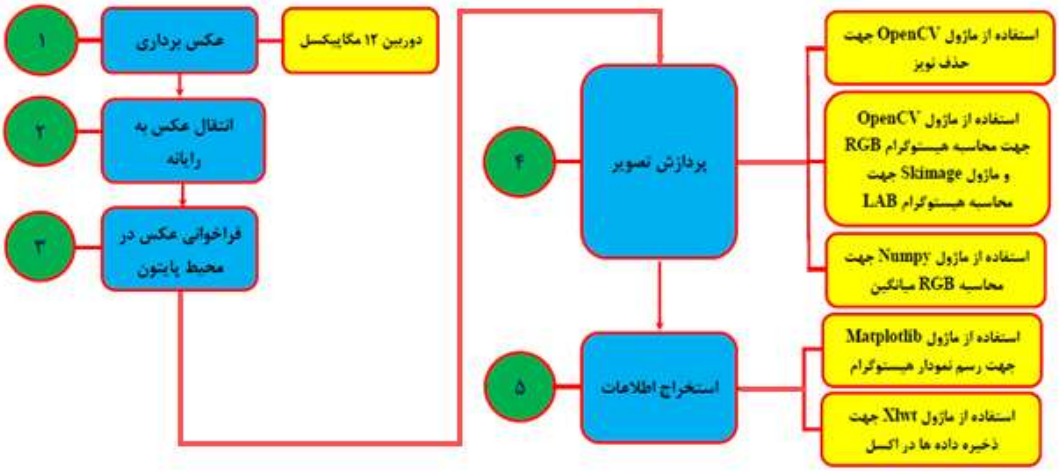
در رابطه اخیر، T(t) دمای سیال برحسب درجه سلسیوس، T_i دمای اولیه سیال داغ برحسب درجه سلسیوس، T_e دمای محیط در حین فرایند سرد شدن برحسب درجه سلسیوس، t زمان برحسب ثانیه، c ظرفیت گرمایی ویژه برحسب ژول بر کیلوگرم کلوین، m جرم سیال برحسب کیلوگرم، A مساحت سطح خارجی سیال که انتقال حرارت از آن صورت می‌گیرد برحسب مترمربع و h ضریب جابجایی گرمایی برحسب وات بر مترمربع کلوین 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

[1] Heat transfer coefficient

توجه به مخروط ناقص بودن شکل دو ظرف، سطح انتقال حرارت برابر با مساحت سطح مخروط ناقص به قطرهای داخلی فوقانی و تحتانی 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 سه ثانیه) با گذشت زمان در نرم‌افزار متلب فراخوانی و مدل نمایی طبق رابطه ۱۳ به آن‌ها برازش و از این طریق مقدار ضریب جابجایی گرمایی محاسبه شد [23].

پس از انجام آزمایش‌ها، در هر سطح درصد تغلیظ (C_e)، سه نمونه با جرم اولیه ۲۵ گرم تهیه و در موقعیت‌های مختلف درون آون قرار داده شد. مدت نگهداری در آون ٤٨ ساعت و دمای آون برابر با ۱۰۵ درجه سلسیوس تنظیم شد [24]. پس از گذشت زمان مذکور نمونه‌ها از آون خارج و بلافاصله توزین شده و جرم ثانویه آن‌ها محاسبه گردید. در نهایت درصد جرمی ماده خشک برای غلظت‌های متفاوت محاسبه شد.

یکی از روش‌های کیفیت‌سنجی محصولات کشاورزی و مواد غذایی، استفاده از روش پردازش تصویر است. از مزایای این روش می‌توان به‌سادگی، ارزان بودن و عدم تخریب نمونه اشاره کرد [25]. در پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر تغلیظ حرارتی عصاره آلبالو بر شاخصه‌های رنگی، از پردازش تصویر استفاده شد. به‌منظور ایجاد شرایط لازم برای عکس‌برداری در شرایط ایده‌آل و حذف نوفه‌های (نویزهای) محیطی، از میز نور استفاده شد. میز نور مذکور از ۳۰۰ لامپ LED و یک صفحه پخش کننده نور تشکیل شده است که نمونه‌های عصاره آلبالو درون بشر ریخته شده بر روی صفحه قرار داده شدند. حجم هر یک از نمونه‌ها برابر با ٦٠ میلی‌لیتر بود. برای جلوگیری از تأثیرگذاری نور محیط، یک مکعب چوبی بدون وجه زیرین (جهت ورود نور از صفحه پخش‌کننده و قرارگیری نمونه‌ها) بر روی صفحه پخش‌کننده نور قرار داده شد. در وجه بالایی مکعب سوراخی به قطر ۱۰ میلی‌متر جهت قرار گرفتن لنز دوربین و امکان عکس‌برداری تعبیه شده بود. پردازش تصویر با کد نویسی در محیط برنامه‌نویسی پایتون [1] صورت گرفت که مراحل و نحوه انجام آن در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲- مراحل پردازش تصویر در نرم‌افزار پایتون

به‌منظور بررسی تغییرات رنگی در اثر تغلیظ آب‌آلبالو، از سه فضای رنگی RGB، L*a*b* و HSV استفاده شد. فضای رنگی RGB از سه مؤلفه رنگی اصلی قرمز، سبز و آبی تشکیل شده است که هرکدام بین مقادیر صفر تا ۲۵۵ تغییر

[1] Python

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 برخلاف فضاهای RGB و HSL متأثر از وسیله عکس‌برداری نیست [25].

به‌منظور ارائه شاخص‌های کیفی رنگی در مراحل مختلف تغلیظ آب‌آلبالو از دو شاخص قهوه‌ای شدن[1] و کروما[2] 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 ١٤ و ١٥ محاسبه گردید [26].

$$BI = 588.235\left[\frac{a^*+1.75L^*}{5.645L^*+a^*-3.012b^*}-0.31\right] \quad (١٤)$$

$$CI = \sqrt{a^{*2}+b^{*2}} \quad (١٥)$$

در روابط ١٤ و ١٥، BI شاخص قهوه‌ای شدن و CI شاخص کروما است.

عکس‌برداری از نمونه‌های عصاره آلبالو با غلظت متفاوت در شدت نوری ۱۵۰۰ لوکس انجام گرفت. عکس‌ها با کد نویسی در محیط پایتون در سه فضای رنگی مذکور پردازش شدند. کل پیکسل‌های هر عکس آنالیز و مقدار میانگین هریک از مؤلفه‌های رنگی هر فضای رنگی مورد محاسبه قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویسکوزیته عصاره آلبالو در دماهای مختلف و برای درجات مختلف تغلیظ نشان داد که افزایش غلظت (کاهش حجم ثانویه به حجم اولیه) یا به‌عبارت‌دیگر افزایش مواد جامد در عصاره آلبالو باعث افزایش ویسکوزیته آن می‌شود. همچنین افزایش دما باعث کاهش ویسکوزیته می‌گردد. پدیده افزایش ویسکوزیته هم‌زمان با افزایش مجموع مواد جامد محلول و کاهش ویسکوزیته در اثر افزایش دما، توسط مطالعات انجام‌شده بر روی آب پرتقال [27]، کنسانتره آب خرما [28]، کنسانتره آب توت سیاه [29] و کنسانتره آب انبه [30] نیز تأیید شده است. نتیجه بررسی‌ها حاکی از این مطلب بود که دما و غلظت تأثیر مهمی بر رفتار جریان داشته است، به‌طوری‌که 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 به‌دست‌آمده منطبق بر تئوری حاکم بوده و بیانگر رفتار نیوتونی در مراحل ابتدایی تغلیظ و رفتار غیر نیوتونی در مراحل انتهایی فرایند هستند.

به‌منظور بیان معادله ویسکوزیته برحسب دما از دو تابع نمایی آرنیوس (رابطه ۱) و آرنیوس اصلاح‌شده (رابطه ۲) استفاده شد. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری تغییرات ویسکوزیته با دما به نرم‌افزار متلب انتقال داده شده و این دو

[1] Browning Index
[2] Chroma

تابع به داده‌ها برازش شدند. نتایج حاصل از برازش در جدول ۲ نشان داده‌شده است. طبق نتایج به‌دست 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 [31]. 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 فعال‌سازی به‌دست آمده توسط رابطه آرنیوس کمتر از مقادیر به‌دست‌آمده توسط رابطه آرنیوس اصلاح‌شده هستند.

جدول ۲- ضرایب توابع آرنیوس و آرنیوس اصلاح شده برای مدل‌سازی رابطه ویسکوزیته-دما در فرایند تغلیظ

تغلیظ	ضرایب معادله آرنیوس (رابطه ۱)				ضرایب معادله آرنیوس اصلاح‌شده (رابطه ۲)				
(٪)	A	E	R^2	RMSE	A	n	E	R^2	RMSE
۰	۰/۰۱۶۵	۱۱۱۴۲	۰/۹۹۱۹	۰/۰۱۷۲	۰/۰۰۲۵۵	۰/۲۷۶۵	۱۱۸۴۴	۰/۹۹۷۷	۰/۰۱۷۰
۱۵	۰/۰۳۶۵۹	۱۰۶۳۳	۰/۹۸۶۶	۰/۰۴۹۷	۰/۰۰۹۸	۰/۱۹۵۸	۱۰۹۴۳	۰/۹۸۹۹	۰/۰۴۲۱
۳۰	۰/۰۵۱۱۴	۱۰۵۰۳	۰/۹۸۷۶	۰/۰۷۸۶	۰/۰۰۵۶	۰/۳۲۶۵	۱۰۵۷۷	۰/۹۸۹۵	۰/۰۷۰۱
۴۵	۰/۱۹۲۲	۸۷۵۴	۰/۹۹۸۷	۰/۰۵۵۴	۰/۰۷۰۸	۰/۱۴۷۶	۹۱۷۴	۰/۹۹۹۸	۰/۰۵۲۳
۶۰	۰/۱۶۴۴	۹۷۷۸	۰/۹۹۴۷	۰/۰۶۵۴	۰/۰۲۳۲	۰/۲۹۲۸	۱۰۵۹۳	۰/۹۹۶۷	۰/۰۶۲۰
۷۵	۰/۰۰۵۹	۱۹۱۹۲	۰/۹۹۱۳	۰/۳۲۵۵	۰/۰۰۱۶۳	۰/۲۲۸۹	۱۹۷۸۲	۰/۹۹۳۸	۰/۳۲۲۸

در پژوهش حاضر، آب مقطر و عصاره آلبالو زمانی که نسبت حجم ثانویه به حجم اولیه آن برابر با ۲۵ ٪ بود، به‌عنوان دو سیال پایه در نظر گرفته شدند. ویسکوزیته سایر غلظت‌های عصاره آلبالو در دماهای مختلف با استفاده از این دو سیال پایه و رابطه ۳ مدل‌سازی شدند. نتایج نشان داد که اگرچه رابطه ۳ توانایی پیش‌بینی روند تغییرات دما و ویسکوزیته سیال ترکیب یافته از دو سیال دیگر را دارد اما در غلظت‌های متفاوت ضرایب متفاوت داشته و در همه موارد ضریب تبیین آن کمتر از ۰/۵۹ بود. لذا جهت پیش‌بینی مقدار ویسکوزیته سیال ترکیب یافته از دو سیال پایه و تأثیر دما و غلظت بر ویسکوزیته شش مدل جدید (جدول ۱) ارائه گردید. ضرایب محاسبه شده توسط نرم‌افزار متلب برای این مدل‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت کلیه مدل‌ها در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده و از قابلیت اطمینان بالایی برخوردارند. از بین مدل‌های ارائه‌شده، مدل شماره ٤ ساده‌ترین و مدل شماره ۱ دقیق‌ترین مدل‌ها هستند. لازم به ذکر است که مدل‌های ارائه شده فقط برای عصاره آلبالو مورد ارزیابی قرار گرفته و برای کاربرد در سایر سیالات نیاز به بررسی‌های بیشتر دارند.

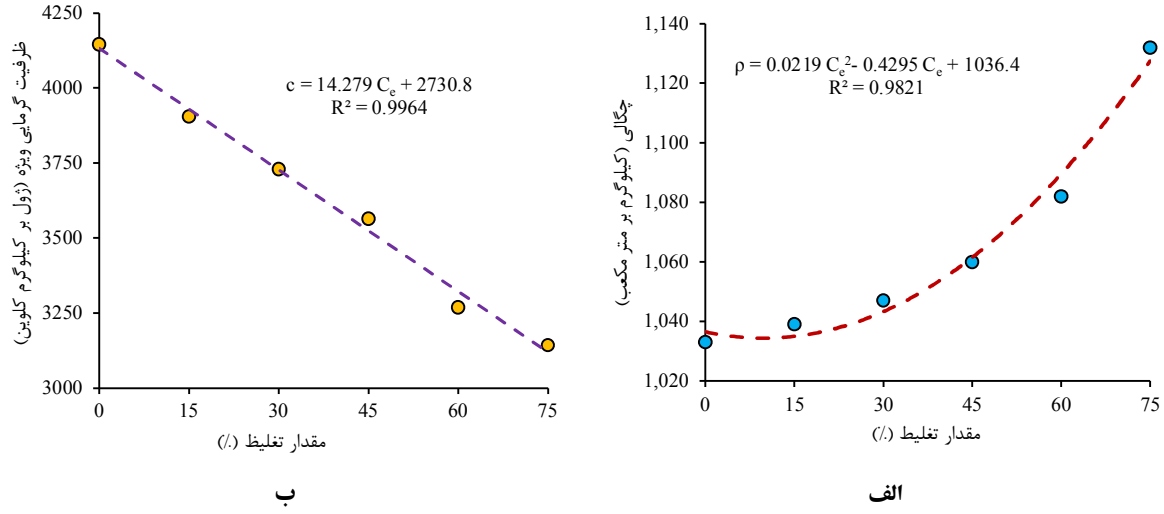
جدول ۳- ضرایب مدل‌های پیشنهادی برای پیش‌بینی رابطه ویسکوزیته-دما-غلظت بر مبنای دو سیال پایه آب و عصاره آلبالو با ۷۵ ٪ تغلیظ

شماره مدل	ضرایب ثابت مدل‌ها					شاخص‌های آماری	
	a	b	c	d	e	R^2	RMSE
۱	۰/۶۹۹	۰/۱۱۶	-۰/۲۵۰	-۰/۰۱۶	-۰/۰۲۱	۰/۹۹۴۳	۰/۰۸۱
۲	-۱/۸۱۶	۱/۲۰۷	-۰/۷۶۶	۰/۲۳۵	۰/۳۲۳	۰/۹۶۴۲	۰/۴۱۳
۳	۱/۱۷۵	۰/۰۷۸	-۱/۴۵۴	۰/۲۰۸	۰/۱۳۳	۰/۹۸۷۸	۰/۲۳۲

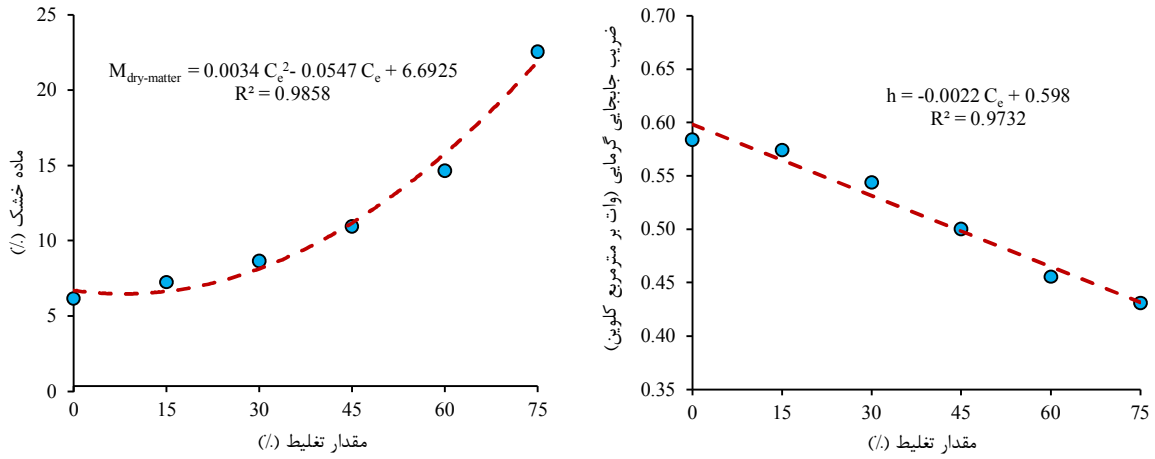
٤	۰/٦۷٥	۰/۱۱۲	-۰/۲٦٥	–	–	۰/۹۹۲٦	۰/۰۸۹
٥	-۱/٦۱۱	۱/۲۳٥	-۰/۷۲۲	–	–	۰/۹٦۸۷	۰/۳۰٥
٦	۱/۲۱۲	۰/۱۲۳	-۱/۳۱۸	–	–	۰/۹۸۹۷	۰/۱۷۷

نتایج حاصل از اندازه‌گیری چگالی، ظرفیت گرمایی ویژه، ضریب جابجایی گرمایی و درصد جرمی ماده خشک در دمای ۲۰ درجه سلسیوس در شکل ۳ نشان داده شده است. با استفاده از منحنی سرد شدن مقدار ظرفیت گرمایی ویژه عصاره آلبالو با غلظت‌های متفاوت محاسبه شد (شکل۳-ب). طبق نتایج با افزایش درصد تغلیظ (C_e)، مقدار ظرفیت گرمای ویژه کاهش پیدا می‌کند. همان‌گونه که قبلاً به آن اشاره شد، آب‌آلبالو 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 آب‌آلبالو می‌تواند باعث کاهش ظرفیت گرمایی ویژه آن شود؛ لذا مبانی تئوری کاملاً مؤید نتایج به‌دست‌آمده هستند.

با توجه به شکل ۳-الف، تغلیظ آب‌آلبالو باعث افزایش چگالی آن می‌شود. با توجه به اینکه چگالی اولیه آب‌آلبالو بیشتر از آب است، یعنی مجموع مواد جامد محلول در آب‌آلبالو 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 مومنتوم سیال است که پارامتری مهم در طراحی مخازن و لوله‌ها و خطوط انتقال است. ضریب جابجایی گرمای آب‌آلبالو طی فرایند تغلیظ کاهش پیدا می‌کند. علت کاهش ضریب جابجایی گرمایی در اثر تغلیظ را می‌توان کاهش مقدار آب نسبت به جرم ماده خشک بیان کرد.



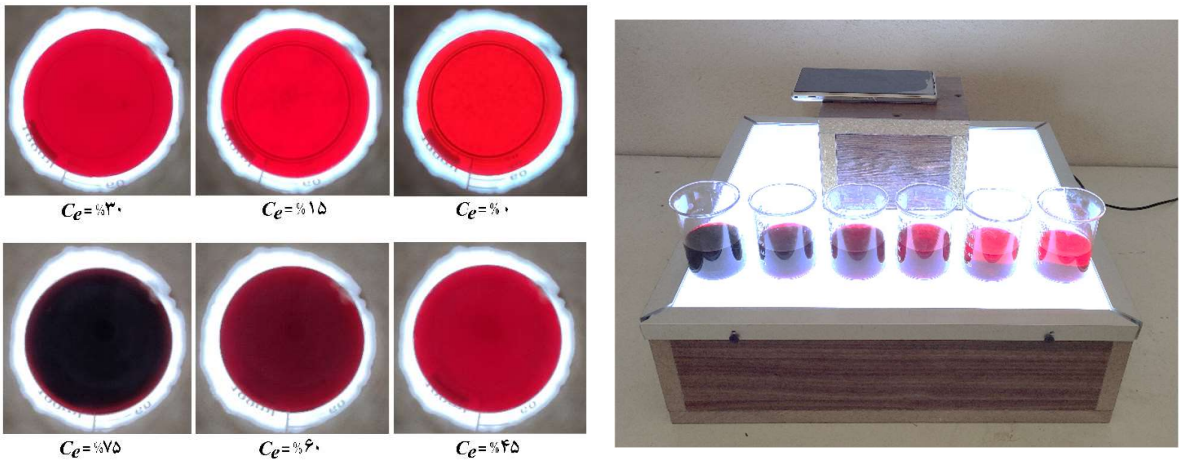
الف ب



د ج

شکل۳- اثر میزان تغلیظ بر الف) تغییرات چگالی، ب) ظرفیت گرمای ویژه، ج) ضریب رسانندگی گرمایی، و د) درصد ماده خشک عصاره آلبالو

در شکل ۳-الف، میز نور با قابلیت تنظیم شدت نور به همراه جعبه و دوربین تصویر برداری (تلفن همراه) نشان داده شده است. تصاویر اخذ شده از دوربین، نشان دهنده تغییرات رنگ عصاره آلبالو در سطوح مختلف غلظت در شدت نور ۱۵۰۰ لوکس می‌باشند (شکل ۳-ب).

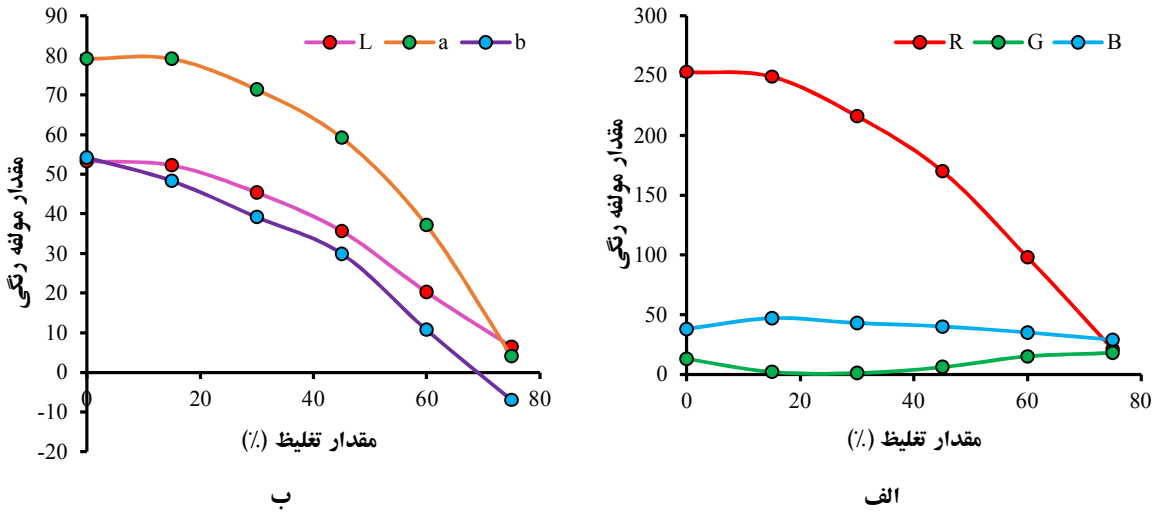


ب الف

شکل ۳- الف) میز نور با قابلیت تنظیم شدت نور ب) تغییرات رنگ عصاره نارنج طی فرایند تغلیظ حرارتی

شکل ٤ نتایج نشان می‌دهد که مقدار میانگین مؤلفه رنگ آبی در فضای رنگی RGB در مراحل اولیه تغلیظ افزایش جزئی داشته و برای مراحل پایانی کاهش پیدا می‌کند. همچنین مقدار میانگین مؤلفه رنگ سبز در فضای رنگی RGB در مراحل اولیه تغلیظ کاهش و در مراحل پایانی افزایش پیدا می‌کند. با توجه به اینکه مولفه رنگ قرمز موثرترین مولفه در نمایش رنگ آب آلبالو است، کاهش محسوس مولفه رنگ قرمز همراه با افزایش درصد تغلیظ میتواند نشان

دهنده تغییر ماهیت شیمیایی عصاره آلبالو باشد. در فضای رنگی L*a*b* کاهش هر سه مؤلفه رنگی L*، a* و b* در اثر تغلیظ مشهود است.

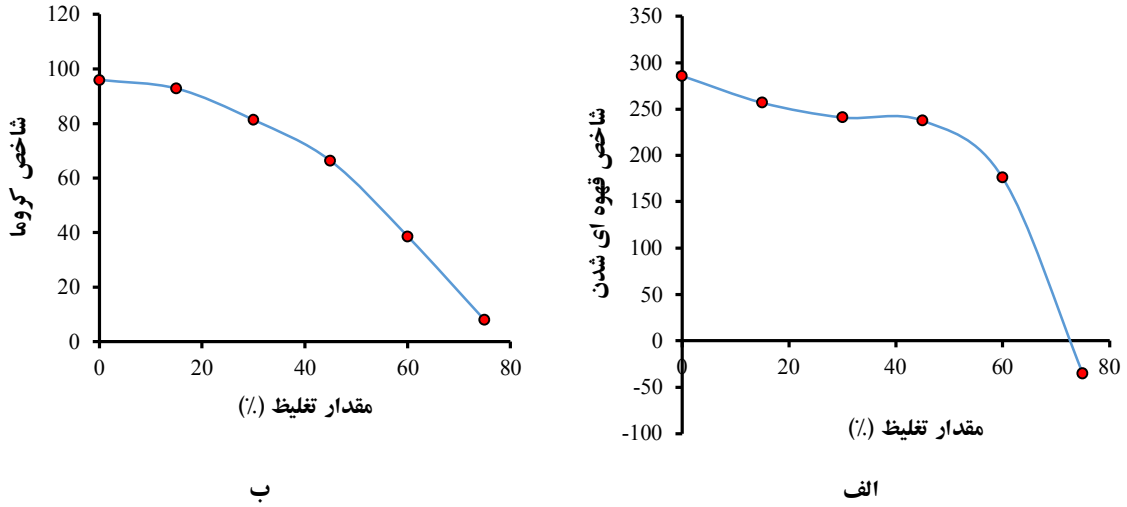


ب الف

شکل ٤- مقدار میانگین شاخصه‌های رنگی در طول فرایند تغلیظ حرارتی در شدت نور ۱۵۰۰ لوکس الف) در فضای رنگی RGB ب) در فضای رنگی L*a*b*

نتایج حاصل از محاسبه شاخص قهوه‌ای شدن و شاخص کروما در شکل ٥ نشان داده شده است. به‌طور کلی می توان گفت فرایند تغلیظ حرارتی باعث کاهش شاخص قهوه ای شدن می‌شود. می توان این امر را به علت کاهش رنگ قرمز دانست. این کاهش رنگ قرمز در اثر واکنش‌های آنزیمی و غیرآنزیمی صورت پذیرفته است. واکنش های 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 اکسیده شدن ترکیبات مونوفنولی و ایجاد کینون‌ها می‌شود [19]. کینون‌ها در نهایت باعث تولید پیگمان‌های رنگی در مواد غذایی می‌گردند. واکنش‌های غیر آنزیمی به چندین روش ممکن است رخ دهد[19]. کاراملیزاسیون یا پیرولیز قندهای موجود در مواد غذایی در اثر حرارت بالا، که باعث بروز کاهش رنگ قرمز 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 غیر آنزیمی ناشی از تجزیه گرمایی اسید اسکوربیک موجود در ماده غذایی می‌باشد که می‌تواند در حضور هوا و یا شرایط بی‌هوازی رخ دهد [19]. 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 [32]. 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 ٤ و ٥ 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 می توان نتیجه گرفت که رنگ قرمز از فضای RGB

و مؤلفه رنگ a* از فضای رنگی L*a*b* هرکدام به‌تنهایی تغییرات رنگی را به‌خوبی نشان داده و می‌توانند به‌عنوان شاخص کیفی جهت ارزیابی عصاره آلبالو مورد استفاده قرار گیرند.



الف ب

شکل ۵- تغییرات شاخصه‌های قهوه‌ای شدن و کروما در طول فرایند تغلیظ حرارتی الف) شاخص قهوه‌ای شدن ب) شاخص کروما

نتایج پژوهش‌های دیگر نشـــان دهنده تغییرات رنگی آب میوه‌ها در اثر تغلیظ آن‌ها اســـت [33,34]. 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 بسیار بالایی با یکدیگر داشـته و از این رو می‌توان روش پردازش تصـویر را به علت زمان کمتر، هزینه کمتر و عدم تخریب نمونه‌ها به‌عنوان جایگزین مناسب برای روش‌های شیمیایی مطرح نمود [18].

نتیجه‌گیری

نه تنها آب‌میوه به‌عنوان یک غذای سالم در حال حاضر توسط درصد زیادی از جمعیت جهان در حال مصرف بوده و آب‌میوه‌ها جزء اساسی و مهم رژیم غذایی به شمار می‌روند، بلکه آب میوه گیری به عنوان یکی از روش های کار امد در زمینه کاهش ضایعات محصولات کشاورزی است. در پژوهش حاضر با توجه به اهمیت آب آلبالو و ضرورت فرآوری آن و نیز اهمیت تعیین خواص ترمومکانیکی و رنگی در پیش‌بینی کیفیت و طراحی ماشین‌ها و تجهیزات لازم برای فرآوری، خواص مذکور مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که با افزایش میزان غلظت و کاهش دما، ویسکوزیته عصاره آلبالو 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 پیش بینی است، محاسبه دقیق مقدار آن به کمک مدلسازی میسر خواهد بود. لذا تعداد شش مدل برای پیش‌بینی رابطه ویسکوزیته با دما و غلظت آلبالو بر مبنای مواد تشکیل‌دهنده ارائه شد. کلیه مدل‌ها در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده و کمترین مقدار بدست آمده برای ضریب تبیین برابر با ۰/۹٦٤۲ و بیشترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا برابر با ۰/٤۱۳ 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 آلبالو طی فرایند تغلیظ بوده و می‌توانند جهت ارائه شاخص‌های کیفیت‌سنجی مورد استفاده قرار گیرند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان پژوهش حاضر کمال مراتب تشکر و قدردانی خود را از همکاری دکتر محمدحسن ترابی، شرکت فروردین آزما تجهیز، مهندس علیرضا عبدپور، مهندس امیرحسین اسداله زاده، مهندس آرش رضایی نودهی، مهندس رضا پارسایی و مهندس میثم امامیان اعلام می‌دارند.

منابع

[1] Vahid-Berimanlou R, Nadi F. Investigating the Energy Consumption and Economic Indices for Sweet-Cherry and Sour-Cherry Production in Northeastern Iran. J Agric Mach 2021;11:97–110.
[2] Zern TL, Wood RJ, Greene C, West KL, Liu Y, Aggarwal D, et al. Grape polyphenols exert a cardioprotective effect in pre-and postmenopausal women by lowering plasma lipids and reducing oxidative stress. J Nutr 2005;135:1911–7.
[3] Xu J-W, Ikeda K, Yamori Y. Upregulation of endothelial nitric oxide synthase by cyanidin-3-glucoside, a typical anthocyanin pigment. Hypertension 2004;44:217–22.
[4] Preuss HG, Wallerstedt D, Talpur N, Tutuncuoglu SO, Echard B, Myers A, et al. Effects of niacin-bound chromium and grape seed proanthocyanidin extract on the lipid profile of hypercholesterolemic subjects: a pilot study. J Med 2000;31:227–46.
[5] Sautebin L, Rossi A, Serraino I, Dugo P, Di Paola R, Mondello L, et al. Effect of anthocyanins contained in a blackberry extract on the circulatory failure and multiple organ dysfunction caused by endotoxin in the rat. Planta Med 2004;70:745–52.
[6] Arts ICW, Jacobs DR, Gross M, Harnack LJ, Folsom AR. Dietary catechins and cancer incidence among postmenopausal women: the Iowa Women's Health Study (United States). Cancer Causes Control 2002;13:373–82.
[7] Knekt P, Jarvinen R, Reunanen A, Maatela J. Flavonoid intake and coronary mortality in Finland: a cohort study. Bmj 1996;312:478–81.
[8] Ikeda I, Imasato Y, Sasaki E, Nakayama M, Nagao H, Takeo T, et al. Tea catechins decrease micellar solubility and intestinal absorption of cholesterol in rats. Biochim Biophys Acta (BBA)-Lipids Lipid Metab 1992;1127:141–6.
[9] Hertog MGL, Feskens EJM, Kromhout D, Hollman PCH, Katan MB. Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: the Zutphen Elderly Study. Lancet 1993;342:1007–11.
[10] Golabi S. hassanpour-ezati M, Rohampour K. Effect of aqueous extracts of sun-dew (Drosera spatulata) on the firing rate of PGi nucleus neurons after formalin-induced pain in rats. J Physiol Pharmacol 2010;14:282–7.
[11] Daliri S, Khorshidpour B, Pourahmad R. Investigation of the Possibility of Probiotic Juice Production Based on Mixture of Sour Cherry, Cranberry and Apple by Lactobacillus acidofilus and Lactobacillus casei. J Food Technol Nutr 2020;17:53–66.
[12] Falade KO, Babalola SO, Akinyemi SOS, Ogunlade AA. Degradation of quality attributes of sweetened Julie and Ogbomoso mango juices during storage. Eur Food Res Technol 2004;218:456–9.
[13] Agha Jan Zade Sorki S, Kashani Nejad M, Maghsoud Lo Y, Esmail Zadeh E. Degradation kinetics of ascorbic acid, total phenolic and antioxidant content of sour orange juice during thermal processing. Food Sci Technol 2016;13:1–11.
[14] Vandresen S, Quadri MGN, de Souza JAR, Hotza D. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. J Food Eng 2009;92:269–74.
[15] Cortés C, Esteve MJ, Frígola A, Torregrosa F. Changes in carotenoids including geometrical isomers and ascorbic acid content in orange–carrot juice during frozen storage. Eur Food Res Technol 2005;221:125–31.
[16] Nasiri M, Farahnaky A, Niakousari M, Majzoobi M, MESBAHI GHR. Evaluation of processing condition on physicochemical properties and flow behavior of sour orange juice concentrate 2014.
[17] Heldman DR, Lund DB. The Beginning, current, and future of food engineering: A perspective. Food Eng.

interfaces, Springer; 2010, p. 3–18.
[18] Seyyedabadi MM, Aghajanzadeh S, Kashaninejad M, Ziaiifar AM. Investigation of the effect of microwave on some physicochemical properties of sour orange juice 2017;14:1–17.
[19] Mirzabe AH, Hajiahmad A, Asadollahzadeh AH, Asgharbeigi M, Rezaei Nodehi A. Effect of thermal concentration on the physicochemical properties and color characteristics of sour orange extract. Iran J Biosyst Eng 2021;51:805–18.
[20] Quinchia LA, Delgado MA, Valencia C, Franco JM, Gallegos C. Viscosity modification of different vegetable oils with EVA copolymer for lubricant applications. Ind Crops Prod 2010;32:607–12.
[21] Gambill WR. How to estimate mixtures viscosities. Chem Eng 1959;66:151–2.
[22] Sobel M. Teaching thermodynamics and the nature of matter. Phys Teach 2007;45:511–5.
[23] Burmeister LC. Convective heat transfer. John Wiley & Sons; 1993.
[24] Mirzabe AH, Hajiahmad A, Asadollahzadeh AH. Moisture-dependent engineering properties of arugula seed relevant in mechanical processing and bulk handling. J Food Process Eng 2021:e13704.
[25] Aghajanzadeh Suraki S, Ziaiifar AM, Kashaninejad M, Maghsoudlou Y, Esmailzadeh E. Investigation of Color Changes of Sour Orange Juice During Thermal Processing. J Food Process Preserv 2016;8:1–24.
[26] Dadalı G, Kılıç Apar D, Özbek B. Color change kinetics of okra undergoing microwave drying. Dry Technol 2007;25:925–36.
[27] Ibarz A, Gonzalez C, Esplugas S. Rheology of clarified fruit juices. III: Orange juices. J Food Eng 1994;21:485–94.
[28] Hobani AI. Rheological behaviour of date-water concentrates. J Food Eng 1998;36:349–57.
[29] Cabral RAF, Orrego-Alzate CE, Gabas AL, Telis-Romero J. Rheological and thermophysical properties of blackberry juice. Food Sci Technol 2007;27:589–95.
[30] Dak M, Verma RC, Jaaffrey SNA. Effect of temperature and concentration on rheological properties of “Kesar” mango juice. J Food Eng 2007;80:1011–5.
[31] Quinchia LA, Delgado MA, Valencia C, Franco JM, Gallegos C. Viscosity modification of high-oleic sunflower oil with polymeric additives for the design of new biolubricant formulations. Environ Sci Technol 2009;43:2060–5.
[32] Yu A-N, Tan Z-W, Wang F-S. Mechanistic studies on the formation of pyrazines by Maillard reaction between L-ascorbic acid and L-glutamic acid. LWT-Food Sci Technol 2013;50:64–71.
[33] Burdurlu HS, Koca N, Karadeniz F. Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. J Food Eng 2006;74:211–6.
[34] Vikram VB, Ramesh MN, Prapulla SG. Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. J Food Eng 2005;69:31–40.

Study on changing behavior of thermo-mechanical properties and color characteristics of sour cherry juice in the thermal concentration process

Ali Hajiahmad[1,*] and Amir Hossein Mirzabe[2]

1. Assistant professor at Biosystems Engineering Department, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Ph.D. candidate at Biosystems Engineering Department, University of Tehran, Karaj, Iran

Abstract

Consumption of fresh cherries is limited due to high perishability, and the production of sour cherry-based products is an important way to reduce the waste of this product. Cherry-based drinks are one of the most popular fruit drinks in Iran. In the present study, due to the importance of thermo-mechanical properties in the design of processing steps including pumping, stirring, transmission by pipelines, concentration, cooling, etc., viscosity, specific heat capacity, heat transfer coefficient, density, the mass percentage of dry matter, and change in color characteristics of sour cherry extract during different stages of thermal concentration was investigated. Arrhenius and modified Arrhenius models were also examined to express the relationship between viscosity and temperature. With increasing the concentration of juice extract from zero to 75%, the values of density, specific heat capacity, heat transfer coefficient, and dry matter mass increased from 1033 to 1132 kg/m^3, decreased from 4146.1 to 31142.9 J/kg.K, decreased from 0.584 to 0.431 W/m^2.K, and increased from 6.18 to 22.56%, respectively. Also, the results obtained from the calculation of color indices using image processing using Python software showed that the Browning index and the Chroma index decreased from 285.47 to -35.21 and from 95.9 to 8.1, respectively.

***Keywords**:* Viscosity, Specific heat capacity, Heat transfer coefficient, Chroma index, Density, Image processing.

*Corresponding author
E-mail: hajiahmad@ut.ac.ir