

مدل سازی سینتیکی تخریب حرارتی رنگ در تولید کنسانتره آب چغندر قرمز با روش های حرارتی مختلف

آزاده قربانی حسن سرایی^{a*}، سید احمد شهیدی^a، محبت محبی^b، روژین معاذیان^c

^aاستادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آیت ا... املی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

^bاستاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

^cدانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آیت ا... املی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۹/۱۰

۸۷

چکیده

مقدمه: حفظ رنگ طبیعی، به عنوان یک ویژگی کیفی مهم در مورد کنسانتره آب چغندر لبویی، با افزایش دانش در زمینه سینتیک تغییر رنگ امکان پذیر است که در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش ها: سه فرایند مختلف حرارت-تبخیر برای تولید آب چغندر تغلیظ شده مورد استفاده قرار گرفت. آب چغندر با بریکس اولیه ۱۰ تا غلظت نهایی در حدود بریکس ۴۰ با روش های ماکروویو (توان ۴۵۰ وات)، تبخیرکننده تحت خلأ چرخان (سرعت ۶۶ دور بر دقیقه در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد) و حرارت در فشار اتمسفری (دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد) تغلیظ شد. تغییرات رنگ نیز طی فرایندهای تغلیظ بررسی شد. تغییرات کل رنگ و پارامترهای a ، b و L هانتز جهت تخمین میزان تخریب رنگ بکار گرفته شد. مدل های سینتیکی مرتبه صفر، مرتبه یک و مرکب برای بیان تغییر در پارامترهای رنگ مورد استفاده قرار گرفتند.

یافته ها: غلظت نهایی آب چغندر لبویی با بریکس ۴۰ در زمان های ۴۰، ۴۳ و ۷۰ دقیقه به ترتیب با استفاده از ماکروویو، تبخیرکننده دوار تحت خلأ و فرایند گرمایی در فشار اتمسفری به دست آمد. همه پارامترهای هانتز طی زمان کاهش یافتند. مشاهده شد که همه فرایندهای تغلیظ در آب چغندر پارامترهای رنگ (a ، b و L) را به صورت کاملاً مشخص تغییر می دهند و رنگ محصول قرمز مایل به قهوه ای می شود. **نتیجه گیری:** نتایج نشان داد که تغییر در مقدار تغییرات کلی رنگ هم از سینتیک مرتبه یک و از مدل مرکب پیروی می کند و پارامترهای a ، b و L تنها از مدل مرکب پیروی می کنند. این مدل بیان می کند که تشکیل رنگ و نابودی رنگ دانه در حین فرایندهای تغلیظ آب چغندر اتفاق می افتند.

واژه های کلیدی: آب چغندر لبویی، تغلیظ، رنگ، سینتیک

مقدمه

بتالاین‌ها رنگ‌دانه‌های محلول در آب و حاوی نیتروژن هستند و در کنار داشتن منافع سلامت بخشی، به‌عنوان یک رنگ خوراکی و افزودنی غذایی استفاده می‌شوند (Raupp et al., 2011). رنگ‌دانه بتالاین از دو زیر واحد بتاسیانین (رنگ‌دانه قرمز) و بتاگزانتین (رنگ‌دانه زرد) تشکیل شده است (Delgado-Vargas et al., 2000; Stintzing & Carle, 2004). در طول سالیان گذشته گزارش‌های متعددی به این اشاره کرده‌اند که این رنگ‌دانه اثرات ضد میکروبی و ضد ویروسی دارد و همچنین می‌تواند رشد سلول‌های سرطانی را مهار کند (Katsube, et al., 2003). استفاده از بتالاین به‌عنوان رنگ در مواد غذایی توسط اتحادیه اروپا با عنوان E-162 تصویب شده است (Von Elbe et al., 1974). بتالاین نسبت به سایر رنگ‌دانه‌های قرمز مانند آنتوسیانین‌ها در برابر pH و دما پایدارتر است و در گستره وسیعی از pH پایدار است و بیش‌تر برای مواد غذایی کم اسید استفاده می‌شود. برای رنگ زرد متمایل به نارنجی کاروتنوئیدها رنگ‌دانه‌های طبیعی هستند اما به علت حلالیت کم در آب، بتاگزانتین می‌تواند به‌عنوان جایگزین در غذاهای با رنگ نارنجی استفاده شود (Stintzing & Carle, 2004).

از منابع طبیعی سرشار از رنگ قرمز که برای تولید رنگ قرمز خوراکی استفاده می‌شود، می‌توان به چغندر قرمز (*Beta vulgaris*) اشاره کرد. به‌طور کلی ریشه چغندر قرمز محبوب‌ترین رنگ غذایی مبتنی بر بتالاین است. میزان بتالاین چغندر قرمز در حدود ۱۰۰۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده جامد و یا ۱۲۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه برآورد شده است. پایداری حرارتی بتالاین به شرایط فیزیکی‌وشیمیایی متعددی بستگی دارد که شرایط حرارت دادن از مهم‌ترین عوامل است (مشرف بروجنی، ۱۳۷۶).

یکی از راه‌های مناسب برای استفاده از چغندر قرمز به‌عنوان رنگ خوراکی تغلیظ آب آن است. تغلیظ خوب و صحیح آبمیوه به‌منزله حذف مقدار زیادی از آب آن بدون ایجاد تغییر در ترکیبات جامد میوه است. همچنین سعی می‌شود تمام ترکیبات جامد آبمیوه مانند قندها، مواد معدنی و ویتامین‌ها در داخل کنسانتره باقی بماند (Toribo & Lozano, 1986). تغلیظ آبمیوه‌ها که یک عملیات واحد مهم در صنعت فرآوری میوه محسوب می‌شود نقشی حیاتی

مدل‌سازی سینتیکی تخریب حرارتی رنگ در تولید کنسانتره آب چغندر قرمز

در کیفیت فرآورده نهایی از نظر طعم، رنگ، آروما، ظاهر و مزه دارد (Jiao et al., 2004; Ramteke et al., 1993). با توجه به اینکه کنسانتره میوه‌ها می‌تواند به‌عنوان یکی از اجزا در تولید بسیاری از فرآورده‌ها مانند بستنی، شربت میوه، ژله‌ها و آبمیوه مورد استفاده قرار گیرد، تهیه کنسانتره در مقیاس صنعتی مورد توجه قرار گرفته است (Cassano et al., 2004). مشخص شده است که تهیه کنسانتره میوه‌ها با روش‌های سنتی تبخیر منجر به تخریب رنگ و از دست رفتن بسیاری از ترکیبات فرار با کیفیت به دلیل اثرات حرارت خواهد شد (Cassano et al., 2004; Jiao et al., 2004). رنگ ظاهری یک ویژگی بسیار مهم است زیرا اولین خاصیتی است که مصرف‌کننده با آن مواجه می‌شود. گزارش شده است که واکنش‌های بسیاری حین فرایند حرارتی اتفاق می‌افتند که روی رنگ آبمیوه اثر می‌گذارند (Barreiro et al., 1997; Suh et al., 2003). در بین این واکنش‌ها، متداول‌ترین واکنش تخریب رنگ‌دانه به‌ویژه کاروتنوئیدها (لیکوپن، گزانتوفین و ...)، آنتوسیانین و کلروفیل و همچنین واکنش‌های قهوه‌ای شدن مانند واکنش میلارد، قهوه‌ای شدن آنزیمی و اکسیداسیون اسید آسکوربیک است (Barreiro et al., 1997; Ibarz et al., 1999; Lozano & Ibarz, 1997). فراسنجه‌های رنگ هانتز شامل L, a و b به‌طور وسیعی برای تشریح تغییرات رنگ طی فرآوری حرارتی میوه‌ها و سبزی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در پژوهش‌های مختلف طی خشک کردن موز، کیوی و انگور و همچنین تولید کنسانتره انگور گزارش شده است که مقادیر پارامترهای رنگ هانتز حین حرارت دادن تغییر می‌کنند (Maskan, 2000; Maskan, 2001; Maskan et al., 2002). بسیاری از پژوهشگران نتایج مشابهی را هنگام مطالعه روی رفتارهای حرارتی کنسانتره رب گوجه‌فرنگی (Barreiro et al., 1997)، پوره هلو (Avila & Silva, 1999)، عصاره توت (Suh et al., 2003)، کنسانتره پالپ میوه‌ها (Lozano & Ibarz, 1997)، پرتقال خونی (Remini et al., 2015) و سیب (Nadian et al., 2014) مشاهده کردند.

طی فرآوری و نگهداری، رنگ چغندر لبویی می‌تواند بسته به شرایط وارد واکنش‌های تخریبی شود. از آنجاکه تخریب رنگ بسیار پیچیده است، امکان وجود بیش از یک

زمان را داشت. حرارت زیر توان ۴۵۰ وات و همچنین بالای آن منجر به ایجاد مشکلاتی از قبیل کف کردن آب‌میوه، سوختن آن و یا طولانی شدن زمان تهیه کنسانتره می‌شد؛ بنابراین مطالعه در توان حرارتی ۴۵۰ وات انجام شد. ۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونه در یک بشر ریخته شد و در مرکز صفحه داخل ماکروویو قرار داده شد. نمونه‌ها به‌طور مرتب (هر ۴/۵ دقیقه) برای اندازه‌گیری بریکس و رنگ برداشته شدند و نمونه جدید داخل ماکروویو جایگزین شد. در این فرایند بریکس نمونه پس از ۴۰ دقیقه به ۴۰ رسید.

با استفاده از تبخیرکننده دوار تحت خلأ: ۱۰۰ میلی‌لیتر از آب‌میوه با استفاده از یک تبخیرکننده دوار تحت خلأ آزمایشگاهی (Strike 202, Italy) که با سرعت ۶۶ دور بر دقیقه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌چرخید، تغلیظ شد. نمونه‌های آب‌میوه (هر ۳/۵ دقیقه) جهت اندازه‌گیری بریکس و رنگ برداشته می‌شدند و دوباره داخل دستگاه قرار داده می‌شد. در این فرایند بریکس نمونه پس از ۴۳ دقیقه به ۴۰ رسید.

با استفاده از حرارت تحت فشار اتمسفری: آب‌میوه با استفاده از یک اجاقک الکترومغناطیسی (MS-300 HS, KOREA) تغلیظ شد. ۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونه آب‌میوه در یک بشر ریخته شد و روی اجاقک در فشار اتمسفری قرار داده شد. نمونه‌ها به‌طور مرتب حین حرارت هم زده می‌شدند. نمونه‌های آب‌میوه (هر ۷ دقیقه) جهت اندازه‌گیری بریکس و رنگ برداشته می‌شدند و دوباره داخل دستگاه قرار داده می‌شد. در این فرایند بریکس نمونه پس از ۷۰ دقیقه به ۴۰ رسید.

- اندازه‌گیری محتوای مواد جامد محلول

طی فرایندهای تغلیظ، محتوای مواد جامد محلول در نمونه‌های آب‌میوه با استفاده از یک رفاکتومتر رومیزی (RMT, Italy) در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده و برحسب بریکس بیان شد.

- اندازه‌گیری رنگ

اندازه‌گیری رنگ با استفاده از دستگاه هانتر لب (Colour Flex, model 45/0, U.S.A) انجام شد. در هر مرحله دستگاه با استفاده از سفال مرجع (a=-, L=91.10) 1.12 و b=1.26 تنظیم شد. مقادیر رنگ با استفاده از

مکانیسم درگیر برای تغییرات رنگ وجود دارد. از یک طرف، کم‌رنگ شدن رنگ موجود ناشی از رنگ‌دانه بتالائین طبیعی و از سوی دیگر، ایجاد ترکیبات رنگی به علت واکنش‌های آنزیمی و یا غیر آنزیمی تأثیرگذار است (Wibowo et al., 2015). در بهینه‌سازی فرایند حرارتی برای بهبود رنگ فرآورده به اطلاعات در مورد سینتیک تخریب رنگ و وابستگی به دما نیاز است. مدل‌های سینتیکی مرتبه اول و مرتبه صفر برای ارزیابی تخریب رنگ و قهوه‌ای شدن قابل استفاده است (Chutintrasri & Noomhorm, 2007). مدل‌سازی سینتیکی تخریب رنگ یک گام مهم برای کنترل و پیش‌بینی تغییرات پارامترهای فیزیکوشیمیایی طی فرآوری و نگهداری است (Remini et al., 2015).

از آنجا که اطلاع دقیق از پارامترهای سینتیک برای پیش‌بینی تغییرات کیفیت رخ داده طی فرآوری‌های حرارتی ضروری است و تاکنون مطالعه‌ای در این زمینه در مورد چغندر لبویی انجام نشده است، در این مقاله، به تعیین پارامترهای سینتیکی تخریب رنگ چغندر لبویی با استفاده از پارامترهای هانتر (L, a و b) طی فرایند تغلیظ به‌وسیله حرارت (ماکروویو، تحت خلأ و اتمسفری) پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

- تهیه آب میوه تازه

چغندر قرمز (*Beta vulgaris*) تازه از بازار آمل تهیه شد. چغندرها در آب سرد شسته و خشک شدند. پوست چغندرها جدا شده و آب آن‌ها به‌وسیله یک آب‌میوه‌گیری خانگی استخراج شد. آب چغندر به مدت یک‌شب در ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد تا ذرات معلق ته‌نشین شوند و سپس صاف شد.

- تولید کنسانتره چغندر

سه فرایند مختلف حرارت-تبخیر برای تولید آب چغندر تغلیظ شده مورد استفاده قرار گرفت. آب چغندر با بریکس اولیه ۱۰ تا غلظت نهایی در بریکس 40 ± 1 با روش‌های زیر به دست آمد:

با حرارت ماکروویو: از یک ماکروویو قابل‌برنامه‌ریزی خانگی با توان خروجی حداکثر ۷۰۰ وات در ۲۴۵۰ مگاهرتز استفاده شد. ماکروویو قابلیت تنظیم توان (برحسب وات) و

توسعه داده شد. مرحله اول تشکیل یک ترکیب پلیمری رنگی که از سینتیک مرتبه صفر پیروی می کند و مرحله دوم که تجزیه پلیمرهای رنگی را به ترکیب فاقد رنگ پیشنهاد می کند و از سینتیک مرتبه اول پیروی می کند. طبق این مدل سینتیکی مرکب، تغییر رنگ می تواند به وسیله معادله ۴ بیان شود:

$$C = \frac{k_0}{k_1} - \left[\frac{k_0}{k_1} - C_0 \right] * \exp(\pm k_1 * t) \quad (4)$$

که C و C_0 به ترتیب غلظت پارامترهای رنگ در زمان t و در غلظت اولیه هستند، k_0 ثابت سینتیک مرتبه صفر و k_1 ثابت سینتیک مرتبه اول هستند. یک مدل مفید دیگر، تغییرات رنگ کل (TCD) است که ترکیبی از مقادیر پارامترهای L ، a و b است. این پارامتر رنگی به طور وسیعی برای تشخیص تغییر رنگ مواد غذایی حین فرآیندهای مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. TCD به وسیله معادله ۵ محاسبه می شود.

$$TCD = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2} \quad (5)$$

در اینجا L_0 ، a_0 و b_0 مقادیر مرجع یعنی پارامترهای رنگی آبمیوه تازه هستند و L ، a و b مقادیر رنگ در زمان های مختلف حین تغلیظ هستند.

- تجزیه و تحلیل آماری

برای بررسی اثر سه فرآیند تولید کنسانتره بر بریکس و پارامترهای رنگ از آنالیز واریانس یک طرفه استفاده شد. آزمایش ها با سه تکرار انجام شدند. برای مقایسه میانگین ها از آزمون توکی در سطح ۹۵ درصد استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری توسط نرم افزار مینی تب انجام شد. پارامترهای مدل سینتیکی با استفاده از روش رگرسیون غیرخطی و توسط نرم افزار سیگما پلات (Sigma-Plot) تخمین زده شدند.

یافته ها

- تغییر در غلظت و فراسنجه های رنگ طی فرآیند تبخیر

پارامترهای L (تاریکی یا روشنایی)، a (قرمزی/سبزی) و b (زردی/آبی) در هر مرحله بیان شدند. L ارزیابی تقریبی روشنایی است و مقادیر پایین L نشان دهنده تیرگی رنگ است. پارامتر a یکی دیگر از فاکتورهای تعیین رنگ در فضای رنگی Lab است که در دامنه ۱۲۰- تا ۱۲۰ متغیر است. مقادیر مثبت و منفی a به ترتیب معادل رنگ قرمز و رنگ سبز می باشند. پارامتر b نشان دهنده تغییرات رنگ از آبی تا زرد است. مقادیر مثبت معادل رنگ زرد و مقادیر منفی b نشانگر رنگ آبی می باشند.

- سینتیک تغییرات رنگ

تغییرات در غلظت نمونه ها (برحسب بریکس) در برابر زمان با یک معادله نمایی سه پارامتری (معادله ۱) برازش شد.

$$B = B_0 + B_1 * \exp(k * t) \quad (1)$$

که B_0 و B به ترتیب غلظت مواد جامد حل شده در نمونه ها در زمان t و غلظت اولیه (برحسب بریکس) هستند و B_1 یک ثابت است و k ثابت سرعت تبخیر برحسب (بر دقیقه) است.

پیچیدگی ترکیبات آمیوه ها و مشتقات آن ها باعث ایجاد محدوده وسیعی از واکنش های قهوه ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی در اثر حرارت دادن می شود. در نتیجه ارائه یک مکانیسم واکنشی برای توضیح مدل سینتیکی که با کل فرآیندها سازگاری داشته باشد مشکل است (Ibarz et al., 1999). مراجع زیادی برای سینتیک رنگ مواد غذایی وجود دارد. بیشتر پژوهش ها مدل سینتیکی مرتبه صفر (معادله ۲) یا مرتبه یک (معادله ۳) را برای واکنش های سینتیکی گزارش کرده اند.

$$C = C_0 \pm k_0 * t \quad (2)$$

$$C = C_0 * \exp(\pm k_1 * t) \quad (3)$$

در اینجا (+) و (-) به ترتیب تشکیل و تخریب پارامترهای کیفی را نشان می دهند.

از طرف دیگر گاهی اوقات مدل های نسبتاً ساده مانند معادلات (۲) و (۳) با تغییرات رنگ سازگار نیستند؛ بنابراین یک مدل سینتیکی مرکب با تکیه بر این الگو که واکنش های تغییر رنگ از دو مرحله تشکیل می شوند،

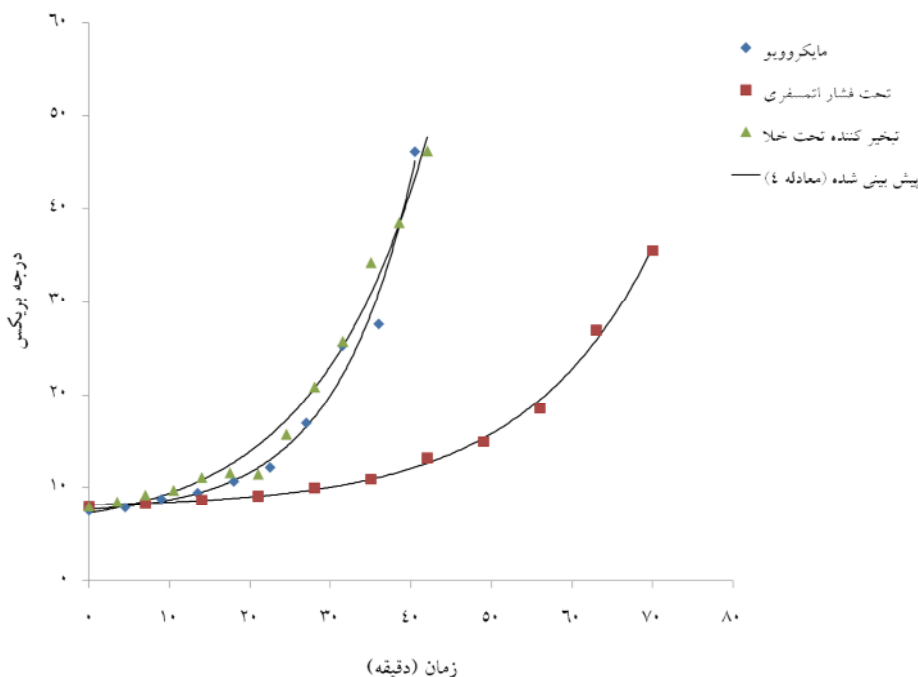
می‌شود (شکل‌های ۲ تا ۵). روشنایی (مقدار L هانتر) با زمان فرایند کاهش می‌یابد (شکل ۲). کاهش در مقدار L به ترتیب ۳۵/۹۹ درصد، ۶۷/۱۶ درصد و ۴۸/۸۰ درصد برای ماکروویو، تبخیرکننده دوار تحت خلأ و فرایند حرارت تحت فشار اتمسفر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود کاهش مقادیر L در تبخیر حرارتی تحت خلأ بزرگ‌تر است. به‌هرحال تفاوت آماری معنی‌داری بین مقادیر میانگین L برای فرایندهای مختلف تبخیری وجود نداشت.

شکل ۳ تغییرات در مقادیر پارامتر a هانتر برای آب چغندر در حین فرایندهای تغلیظ را نشان می‌دهد. کاهش در مقادیر a برابر ۸۰/۳ درصد، ۶۹/۹ درصد و ۳۹/۶ درصد به ترتیب برای ماکروویو، تبخیرکننده دوار تحت خلأ و فرایند تغلیظ تحت فشار اتمسفر بود. تغلیظ آب چغندر با روش‌های مختلف اثر معنی‌داری بر مقادیر پارامتر a داشت ($P < 0.05$).

شکل ۱ غلظت مواد محلول (برحسب بریکس) را در برابر زمان برای آبمیوه چغندر در فرایند تغلیظ برای سه روش تبخیر نشان می‌دهد. زمان لازم برای دستیابی به غلظت مطلوب (بریکس ۴۰) برای ماکروویو، تبخیرکننده دوار تحت خلأ و حرارت تحت فشار اتمسفر به ترتیب ۴۰، ۴۳ و ۷۰ دقیقه مشاهده شد.

داده‌های آزمایشگاهی با یک معادله سه پارامتری ساده و نمایی برازش شدند. پارامترهای برازش شده با معادله (۱) و مقادیر ضرایب تعیین وابسته به آن (R^2) برای تغییر در غلظت آب چغندر قرمز طی فرایندهای تغلیظ در جدول ۱ گزارش شده است. مقادیر R^2 در همه بالا بود (نشانه برازش خوب مدل).

مشاهده شد که همه فرایندهای تغلیظ در آب چغندر پارامترهای رنگ (L، a و b) را به‌صورت کاملاً مشخص تغییر می‌دهند و رنگ محصول قرمز مایل به قهوه‌ای



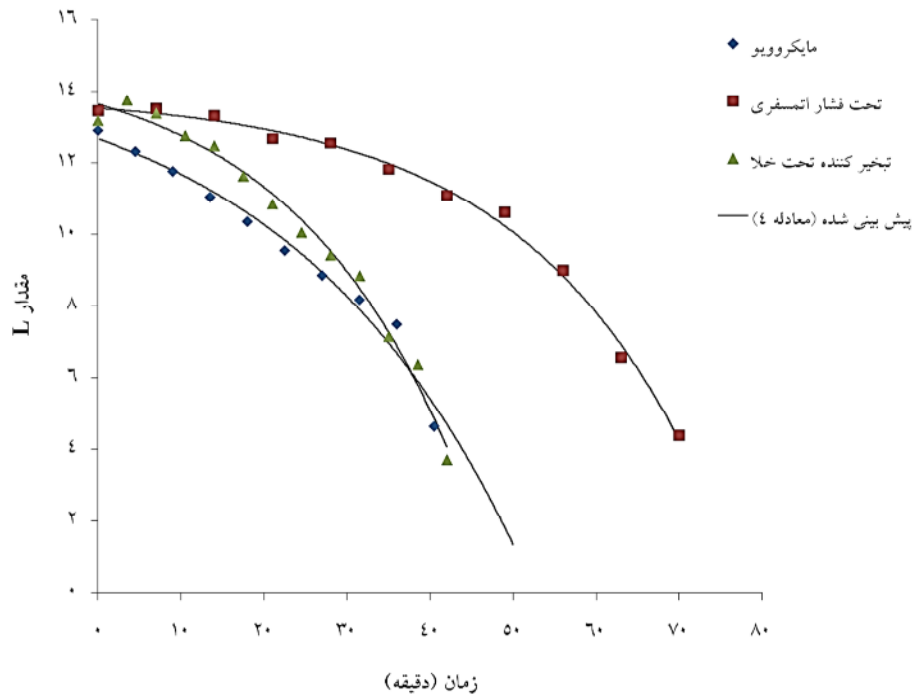
شکل ۱- تغییر در بریکس کنسانتره آب چغندر تولیدشده توسط فرایندهای مختلف تغلیظ

جدول ۱- فراسنجه‌های سینتیک معادله (۱) برای تغییر در غلظت (بریکس) آب چغندر طی فرایند تغلیظ

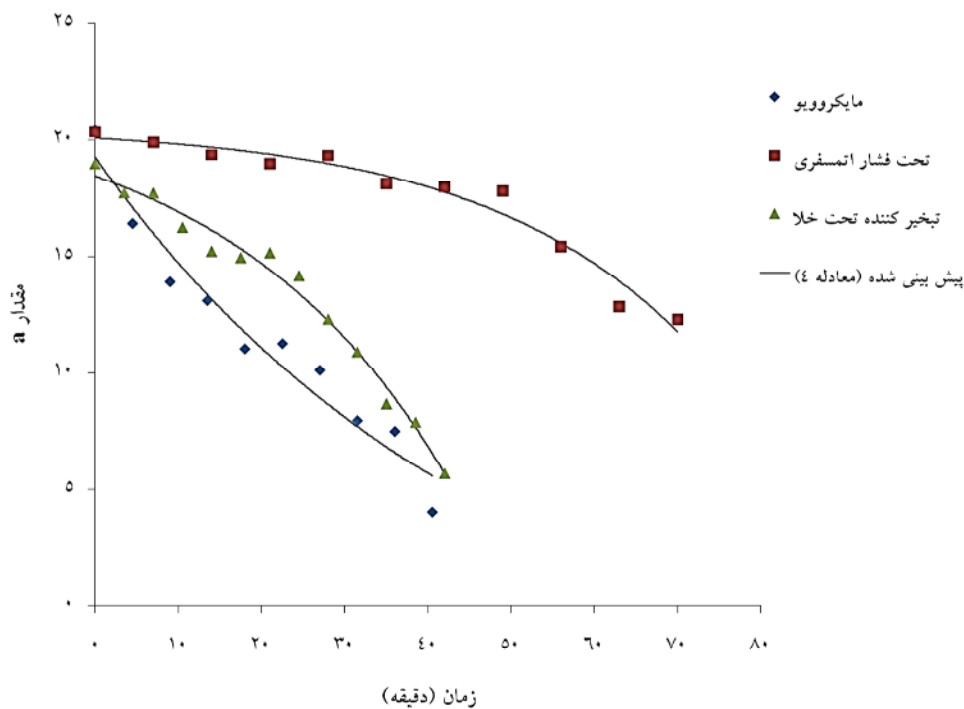
فرایند تغلیظ	$B_0 \pm SE$	$B_1 \pm SE$	$k \pm SE$	R^2
ماکروویو	$7/045 \pm 0/9478$	$0/5877 \pm 0/2379$	$0/1030 \pm 0/09887$	۰/۹۶۳۸
شرایط اتمسفری	$7/771 \pm 0/7168$	$0/3523 \pm 0/1593$	$0/06247 \pm 0/0641$	۰/۹۵۲۵
تحت خلأ چرخان	$5/153 \pm 2/638$	$2/079 \pm 1/260$	$0/07190 \pm 0/01925$	۰/۹۱۳۶

SE: انحراف استاندارد، R^2 : ضریب تعیین

مدل سازی سینتیکی تخریب حرارتی رنگ در تولید کنسانتره آب چغندر قرمز



شکل ۲- تغییرات L هانتر آب چغندر تولیدشده توسط فرآیندهای مختلف تغلیظ



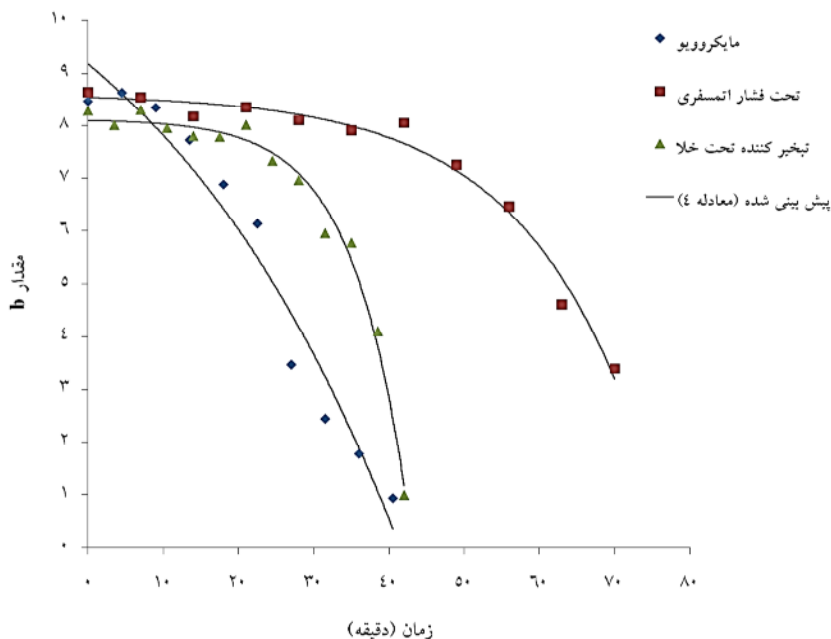
شکل ۳- تغییرات a هانتر آب چغندر تولیدشده توسط فرآیندهای مختلف تغلیظ

به ترتیب برای مایکروبیو، تبخیر کننده دوار تحت خلأ و فرآیندهای حرارتی تحت فشار اتمسفر کاهش یافت. این کاهشها در پارامتر b از دست رفتن رنگ زرد نمونهها را تأیید می کنند.

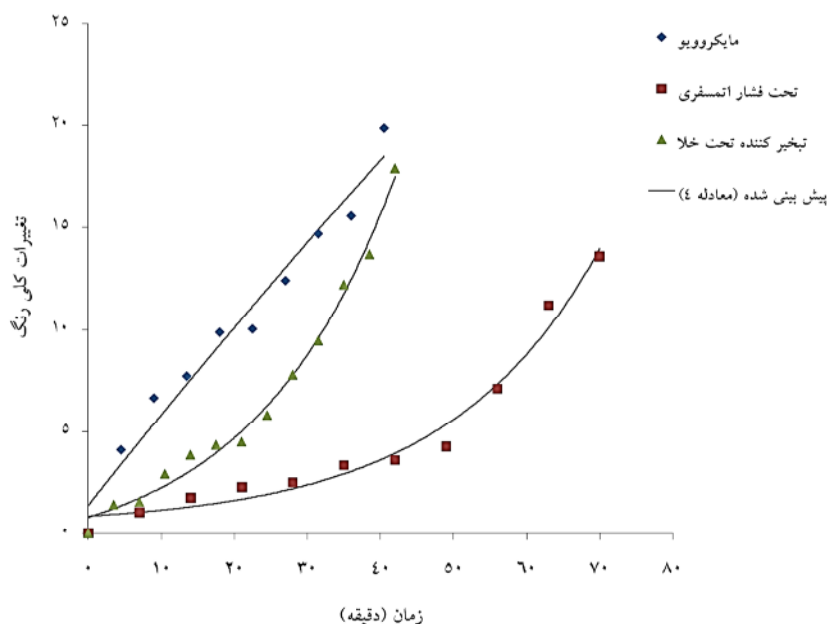
مقادیر فراسنجه b هانتر در حین فرایندهای مختلف تغلیظ کمی نوسان داشت (شکل ۴). داده های آزمایشگاهی یک توزیع پراکنده با روندی کاهشی بروز دادند. پارامتر b از یک مقدار اولیه ۸/۲۹ تا ۸/۴۷ به مقادیر ۰/۹۳ و ۳/۹۳

۱۳/۵۹ بود. بیشترین تغییر کلی رنگ در فرایند تغلیظ با ماکروویو مشاهده شد که نشان می‌دهد تغییر رنگ بیشتری در این فرایند روی می‌دهد. هرچند که تفاوت آماری معنی‌داری بین تغلیظ با ماکروویو و تغلیظ با تبخیرکننده دوار تحت خلأ وجود نداشت. به‌رحال نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌دار آماری بین مقادیر میانگین تغییرات کلی رنگ در سه روش بکار رفته وجود داشت ($P < 0.05$).

همچنین پارامترهای a ، b و L هانت برای محاسبه تغییرات کلی رنگ طی فرآیندهای تغلیظ مورد استفاده قرار گرفتند که تغییر زیادی در آب چغندر تغلیظ شده نسبت به رنگ آب چغندر تازه مشاهده شد. مقادیر تغییرات کلی رنگ طی فرآیندهای تغلیظ با زمان افزایش یافت (شکل ۵). مقادیر تغییرات کلی رنگ در غلظت نهایی (بریکس ۴۰) به ترتیب برای ماکروویو، تبخیرکننده دوار تحت خلأ و فرایند تغلیظ حرارتی تحت فشار اتمسفر برابر ۱۹/۸۷، ۱۷/۸۹ و



شکل ۴- تغییرات b هانت آب چغندر تولیدشده توسط فرآیندهای مختلف تغلیظ



شکل ۵- تغییرات کلی رنگ آب چغندر تولیدشده توسط فرآیندهای مختلف تغلیظ

مدل سازی سینتیکی تخریب حرارتی رنگ در تولید کنسانتره آب چغندر قرمز

- بررسی سینتیکی پارامترهای رنگ

نشان داده شده‌اند. ثابت‌های سینتیک به دست آمده برای تخریب رنگ از مدل‌های مختلف در سه روش متفاوت تغلیظ مقادیر متفاوتی داشتند ($P < 0.05$). به عنوان مثال در استفاده از ماکروویو مقادیر ثابت برای L به دست آمده از مدل سینتیکی مرتبه صفر و مرتبه یک به ترتیب 0.1798 و 0.177 بر دقیقه بود (جدول ۲ و ۳). روند مشابهی برای دیگر پارامترهای رنگ آب چغندر برای فرایندهای مختلف مشاهده شد.

در این مطالعه تغییر در پارامترهای رنگ L، a، b و تغییرات کلی رنگ با زمان با مدل‌های سینتیکی مرتبه صفر، مرتبه یک و مرکب و با استفاده از رگرسیون غیرخطی برازش شدند. ضرایب همبستگی و مقادیر اولیه پارامترها برای انتخاب یک مدل که به بهترین شکل داده‌های آزمایشگاهی را توصیف کند تخمین زده شدند. مقادیر پارامترهای تخمینی ناشی از برازش در جدول‌های ۲-۴

جدول ۲- فراسنجه‌های سینتیک مدل مرتبه صفر (معادله ۲) برای مقادیر L، a، b و تغییرات کلی رنگ طی فرایند تغلیظ

R^2	$k_T \pm SE$	$C_0 \pm SE$	فرایند تغلیظ	فراسنجه رنگ
۰/۹۲۸۴	-۰/۱۷۹۸ ± ۰/۰۹۴۳	۱۳/۳۶ ± ۰/۲۲۶۵	ماکروویو	
۰/۸۲۶۰	-۰/۱۱۹۱ ± ۰/۰۹۸	۱۴/۹۸۴ ± ۰/۴۰۶۴	شرایط اتمسفری	L
۰/۹۱۳۱	-۰/۲۱۶۵ ± ۰/۰۱۳۶	۱۴/۸۱۸۴ ± ۰/۳۳۷۴	تحت خلأ چرخان	
۰/۸۶۴۷	-۰/۳۳۴۸ ± ۰/۰۲۵۰	۱۸/۳۴۸۳ ± ۰/۶۰۱۳	ماکروویو	
۰/۵۲۶۱	-۰/۱۰۹۲ ± ۰/۰۱۸۶	۲۱/۳۱۲۱ ± ۰/۷۷۰۹	شرایط اتمسفری	a
۰/۹۱۸۹	-۰/۲۹۴۸ ± ۰/۰۱۷۹	۱۹/۷۱۹۵ ± ۰/۴۴۲۴	تحت خلأ چرخان	
۰/۸۷۴۸	-۰/۲۱۴۲ ± ۰/۰۱۵۳	۹/۸۲۱۸ ± ۰/۳۶۷۹	ماکروویو	
۰/۶۳۲۹	-۰/۰۶۴۲ ± ۰/۰۰۸۸	۹/۴۷۵۹ ± ۰/۳۶۳۶	شرایط اتمسفری	b
۰/۶۶۲۶	-۰/۱۲۸۱ ± ۰/۰۱۸۷	۹/۴۰۶۸ ± ۰/۴۶۱۶	تحت خلأ چرخان	
۰/۹۲۴۳	-۰/۴۲۲۲ ± ۰/۰۲۲۸	۱/۵۴۹۶ ± ۰/۵۴۸۵	ماکروویو	
۰/۷۷۰۶	-۰/۱۶۸۵ ± ۰/۰۱۶۵	-۱/۲۹۲۳ ± ۰/۶۸۳۸	شرایط اتمسفری	تغییرات کلی رنگ
۰/۹۰۸۳	-۰/۳۷۷۲ ± ۰/۰۲۴۵	-۱/۳۴۸۹ ± ۰/۶۰۵۳	تحت خلأ چرخان	

SE: انحراف استاندارد، R^2 : ضریب تعیین

جدول ۳- فراسنجه‌های سینتیک مدل مرتبه یک (معادله ۳) برای مقادیر L، a، b و تغییرات کلی رنگ طی فرایند تغلیظ

R^2	$k_T \pm SE$	$C_0 \pm SE$	فرایند تغلیظ	فراسنجه رنگ
۰/۸۸۸۵	-۰/۰۱۷۷ ± ۰/۰۰۱۳	۱۳/۵۷۰۳ ± ۰/۳۲۳۰	ماکروویو	
۰/۷۵۳۲	-۰/۰۱۰۰ ± ۰/۰۰۱۱	۱۵/۰۳۱۰ ± ۰/۵۵۳۲	شرایط اتمسفری	L
۰/۸۴۵۰	-۰/۰۱۹۵ ± ۰/۰۰۱۸	۱۵/۰۱۳۰ ± ۰/۵۲۷۹	تحت خلأ چرخان	
۰/۸۷۲۶	-۰/۰۲۹۳ ± ۰/۰۰۲۳	۱۹/۵۳۳۹ ± ۰/۷۱۵۴	ماکروویو	
۰/۵۰۲۱	-۰/۰۰۶۰ ± ۰/۰۰۱۱	۲۱/۳۶۹۷ ± ۰/۸۵۸۸	شرایط اتمسفری	a
۰/۸۶۳۸	-۰/۰۲۰۵ ± ۰/۰۰۱۸	۲۰/۱۱۷۱ ± ۰/۶۷۶۱	تحت خلأ چرخان	
۰/۷۷۱۸	-۰/۰۳۳۹ ± ۰/۰۰۴۲	۱۰/۰۸۸۴ ± ۰/۶۲۴۲	ماکروویو	
۰/۵۷۷۰	-۰/۰۰۸۱ ± ۰/۰۰۱۳	۹/۴۵۹۷ ± ۰/۴۳۵۸	شرایط اتمسفری	b
۰/۵۸۲۶	-۰/۰۱۶۷ ± ۰/۰۰۳۲	۹/۳۵۵۲ ± ۰/۵۸۹۶	تحت خلأ چرخان	
۰/۸۸۱۰	-۰/۰۳۹۷ ± ۰/۰۰۳۳	۴/۰۱۵۳ ± ۰/۴۳۴۷	ماکروویو	
۰/۹۰۹۸	-۰/۰۴۴۲ ± ۰/۰۰۳۴	۰/۶۲۷۵ ± ۰/۱۳۵۹	شرایط اتمسفری	تغییرات کلی رنگ
۰/۹۷۸۴	-۰/۰۶۱۷ ± ۰/۰۰۲۵	۱/۳۳۴۳ ± ۰/۱۲۰۲	تحت خلأ چرخان	

SE: انحراف استاندارد، R^2 : ضریب تعیین

جدول ۴- فرا سنج‌های سینتیک مدل مرکب (معادله ۴) برای مقادیر a ، b و تغییرات کلی رنگ طی فرایند تغلیظ

R^2	$k_f \pm SE$	$k_d \pm SE$	$C_0 \pm SE$	فرایند تغلیظ	فرا سنج رنگ
۰/۹۶۰	۰/۰۳۵±۰/۰۰۷	۰/۵۳۱±۰/۰۷۳	۱۲/۶۷۱±۰/۲۰۶	ماکروویو	
۰/۹۷۷	۰/۰۴۶±۰/۰۰۴	۰/۶۳۹±۰/۰۴۳	۱۳/۵۲۲±۰/۱۵۴	شرایط اتمسفری	L
۰/۹۸۵	۰/۰۵۰±۰/۰۰۵	۰/۷۴۳±۰/۰۵۳	۱۳/۶۳۶±۰/۱۶۳	تحت خلأ چرخان	
۰/۸۷۴	-۰/۰۲۱±۰/۰۱۳	۰/۰۹۴±۰/۱۵۱	۱۹/۲۴۹±۰/۸۳۵	ماکروویو	
۰/۶۰۳	۰/۰۴۰±۰/۰۱۹	۰/۸۲۹±۰/۳۳۵	۲۰/۰۸۹±۰/۷۶۲	شرایط اتمسفری	a
۰/۹۵۹	۰/۰۳۷±۰/۰۰۸	۰/۸۱۱±۰/۱۱۲	۱۸/۴۳۹±۰/۳۸۶	تحت خلأ چرخان	
۰/۹۰۱	۰/۰۲۸±۰/۰۱۲	۰/۳۷۲±۰/۰۶۸	۹/۱۸۰±۰/۴۰۹	ماکروویو	
۰/۸۳۹	۰/۰۶۲±۰/۰۱۳	۰/۵۳۵±۰/۰۹۵	۸/۵۴۵±۰/۲۲۶	شرایط اتمسفری	b
۰/۹۶۰	۰/۱۳۶±۰/۰۱۴	۱/۱۰۶±۰/۰۹۸	۸/۱۰۴±۰/۱۳۵	تحت خلأ چرخان	
۰/۹۲۵	-۰/۰۰۳±۰/۰۱۰	-۰/۴۵۵±۰/۱۰۱	۱/۳۸۰±۰/۷۵۳	ماکروویو	
۰/۹۱۱	۰/۰۴۸±۰/۰۰۸	۰/۰۱۸±۰/۰۳۴	۰/۸۵۰±۰/۴۳۹	شرایط اتمسفری	تغییرات کلی رنگ
۰/۹۸۱	۰/۰۵۲±۰/۰۰۶	-۰/۰۷۰±۰/۰۳۶	۰/۷۹۵±۰/۳۱۸	تحت خلأ چرخان	

SE: انحراف استاندارد، R^2 : ضریب تعیین

بحث

- تغییر در غلظت و فراسنج‌های رنگ طی فرایند تبخیر

همانگونه که مشاهده شد در معادله سه پارامتری ساده و نمایی برازش شده در زمینه تغییر غلظت، ثابت سرعت تبخیر (k) برای فرایند حرارت دادن توسط ماکروویو به ترتیب $۱/۴۳$ و $۱/۶۵$ مرتبه بزرگ‌تر از ثابت سرعت تبخیر برای تبخیرکننده دوار تحت خلأ و حرارت در فشار اتمسفری بود. این به دلیل سرعت گرما دادن و شاید اثر آب تبخیری در فرایند ماکروویو باشد.

رنگ چغندر قرمز ناشی از رنگ‌دانه بتالائین است و از صورتی روشن تا قرمز متغیر است. کارشناسان تغذیه توصیه می‌کنند که این ترکیبات طی فرایندهای تهیه آبمیوه حفظ شوند زیرا در حفظ سلامتی انسان مؤثرند (Vardin & Fenercioglu, 2003). وسعت تخریب رنگ‌دانه با افزایش مقدار مواد جامد محلول افزایش می‌یابد. قندها و محصولات ناشی از تخریب قندها نیز شکستن آنتوسیانین‌ها را سرعت می‌بخشد و قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی را طی فرایندهای گرمایی افزایش می‌دهند (Cemeroglu et al., 1994; Suh et al., 2003).

از آنجاکه مقادیر L مقدار رنگ را از نظر روشنی و تیرگی نشان می‌دهد، کاهش مقادیر L نشان‌دهنده تیره شدن نمونه‌ها می‌باشد. نتایج مشابهی به‌وسیله محققان دیگر

به‌دست‌آمده است و گزارش شده است که کاهش در مقادیر L وابسته به افزایش قهوه‌ای شدن مواد غذایی و تخریب رنگ‌دانه‌ها است (Ahmed et al., 2004; Ibarz et al., 2003; Suh et al., 2003; Maskan et al., 1999). مقدار a در حین فرایند با هرکدام از روش‌ها برحسب زمان کاهش می‌یابد و رفتار مشابهی برای این پارامترها به‌وسیله نویسندگان دیگر برای شربت انگور سیاه (Skrede, 1985)، آب انگور (Rhim et al., 1989)، آب‌پرتقال خونی (Arena et al., 2000) و هویج سیاه (Uyan et al., 2004) گزارش شده است. در فرآوری با ماکروویو کاهش مقدار a در ابتدای فرایند با سرعت بیشتری اتفاق می‌افتد و در انتها کندتر می‌شود درحالی‌که در فرآوری در شرایط اتمسفری و همچنین تحت خلأ چرخان، کاهش این فراسنج در ابتدا با شیب کمتری اتفاق می‌افتد و با گذشت زمان شیب، افزایش می‌یابد. ممکن است این شیب سریع اولیه در ماکروویو می‌تواند به عدم تأثیر سریع بر آنزیم‌های اکسندنده باشد که این آنزیم‌ها باعث تغییر رنگ سریع حین فرآوری می‌شوند. می‌توان بیان کرد کاهش در پارامترهای L و a هائتر به دلیل محو شدن رنگ قرمز است که بر اثر تخریب گرمایی رنگ‌دانه‌ها روی می‌دهد که در آبمیوه ناپایدار است (Rhim et al., 1989).

شبیه روند تغییرات فراسنج b در این گزارش به‌وسیله Garza و همکاران (۱۹۹۹) در پوره هلو حین حرارت تا

استفاده از ماکروویو کمتر از دیگر روش‌ها است این نتایج منطقی به نظر می‌رسد.

آنالیز رگرسیون مشخص کرد که مدل مختلط سینتیکی توصیف بهتری برای داده‌های آزمایشگاهی در مورد پارامترهای L ، a ، b و تغییرات کلی رنگ نسبت به مدل‌های سینتیکی مرتبه صفر و مرتبه یک ارائه می‌کند و این ناشی از ضریب همبستگی خوب و مقدار منطقی C_0 به دست آمده است (جدول ۴). یک همبستگی فوق‌العاده بین پارامترهای رنگ و زمان تغلیظ در همه فرایندها وجود دارد. می‌توان مشاهده کرد که هر دو مدل سینتیکی مرتبه اول و مدل مختلط مقادیر تغییرات کلی رنگ را به خوبی تشریح می‌کنند؛ بنابراین فقط نمودارهای مربوط به مدل مختلط در شکل‌های ۲ تا ۵ نمایش داده شده‌اند.

با مقایسه هر دو ثابت در مدل مختلط (جدول ۴) مشاهده می‌شود که مقدار k_0 به طور قابل ملاحظه‌ای بزرگ‌تر از k_1 برای پارامترهای L ، a و b است که فرض وجود دو مرحله (تشکیل رنگ و تخریب رنگ‌دانه) در مدل مختلط وجود دارد. این مشخص می‌کند که سرعت تشکیل رنگ در همه فرایندها بزرگ‌تر از سرعت تخریب و نابودی رنگ‌دانه است. این نتایج با گزارش موجود Garza و همکاران (۱۹۹۹) سازگار بود.

نتیجه گیری

مطابق نتایج به دست آمده، انرژی ماکروویو می‌تواند به طور موفقیت آمیزی برای تهیه آب چغندر تغلیظ شده (کنسانتره) بکار گرفته شود. همانگونه که مشاهده شد ضریب تعیین در مدل مرکب سینتیکی برای هر سه روش فرآوری مورد استفاده از مدل‌های دیگر بالاتر است و لذا مدل مرکب سینتیکی بهتر از مدل‌های سینتیکی مرتبه صفر و مرتبه یک، پارامترهای رنگ آزمایشگاهی را تشریح می‌کند. این مدل بیان می‌کند که تشکیل رنگ و نابودی رنگ‌دانه در حین فرایندهای تغلیظ آب چغندر اتفاق می‌افتند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت ... آملی و تأمین امکانات جهت انجام طرح پژوهشی خاتمه یافته) که نتایج آن در مقاله حاضر آمده است،

دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. همچنین نتایج مشابهی برای کاهش مقادیر پارامتر b توسط بسیاری از پژوهشگران دیگر طی ذخیره شربت انگور سیاه (Skrede, 1985)، خشک کردن موز با ماکروویو (Maskan, 2000)، خشک کردن میوه کیوی (Maskan, 2001)، پوره هلو (Avila & Silva, 1999; Garza et al., 1999) و پوره گوجه طی حرارت (Ahmed et al., 2004) مشاهده شد.

مقایسه نتایج این گزارش در زمینه تغییرات کلی رنگ با نتایج گزارش شده توسط سایر پژوهشگران برای حرارت در دمای بالای پوره گلابی (Ibarz et al., 1999)، حرارت پوره هلو در ۱۱۰-۱۳۵ درجه سانتی‌گراد (Avila & Silva, 1999) و خشک کردن موز با هوای داغ- ماکروویو (Maskan, 2000) و میوه کیوی (Maskan, 2001) نشان می‌دهد که با وجود اینکه سامانه‌های مختلفی برای حرارت دادن مورد استفاده قرار گرفته است، مقادیر تغییرات کلی رنگ در این مطالعه کاملاً مشابه مواد گزارش شده قبلی است.

از بررسی فراسنجه‌های رنگ (فراسنجه‌های L ، a و b هانت و تغییرات کلی رنگ) مشخص می‌شود که کاهش رنگ در فرایند تغلیظ با ماکروویو بیشتر از دو روش دیگر است و این ممکن است به این دلیل باشد که این فرایند نمی‌تواند آنزیم‌های اکسنده را غیرفعال کند که این آنزیم‌ها باعث تغییر رنگ حین فرآوری می‌شود (Avila & Silva, 1989; Rhim et al., 1999; Palou et al., 1999).

- بررسی سینتیکی پارامترهای رنگ

در زمینه روند پارامترهای رنگ آب چغندر در فرایندهای مختلف، ثابت سینتیکی مدل مرتبه صفر (k_0) در تمام موارد به لحاظ عددی بزرگ‌تر از ثابت سینتیکی مدل مرتبه ۱ (k_1) بود. این مسئله با نتایج Garza و همکاران (۱۹۹۹) و Maskan (۲۰۰۱) سازگار نیست. می‌توان از جدول‌های ۲ و ۳ محاسبه کرد زمانی که از ماکروویو برای حرارت دادن استفاده می‌شود صرف‌نظر از نوع مدل سینتیکی مرتبه صفر و یا مرتبه اول، مقدار L در حدود ۱/۵ تا ۱/۷ برابر بزرگ‌تر از مقدار آن برای حرارت تحت فشار اتمسفر است. الگوی مشابهی نیز برای سایر پارامترها به دست آمد. این امر تخریب فراسنجه‌ها را می‌رساند؛ اما از آنجایی که زمان دستیابی به غلظت نهایی بریکس ۴۰ برای آب چغندر با

temperatures. *Journal of Food Engineering*, 39, 415-422.

Jiao, B., Cassano, A. & Drioli, E. (2004). Recent advances on membrane processes for the concentration of fruit juices: a review. *Journal of Food Engineering*, 63, 303-324.

Katsube, N., Iwashita, K., Tsushida, T., Yamaki, K. & Kobori, M. (2003). Induction of apoptosis in cancer cells by bilberry (*Vaccinium myrtillus*) and the anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(1), 68-75.

Lozano, J. E. & Ibarz, A. (1997). Colour changes in concentrated fruit pulp during heating at high temperatures. *Journal of Food Engineering*, 31, 365-373.

Maskan, A., Kaya, S. & Maskan, M. (2002). Effect of concentration and drying processes on color change of grape juice and leather (pestil). *Journal of Food Engineering*, 54, 75-80.

Maskan, M. (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 44, 71-78.

Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48, 169-175.

Nadian, M. H., Rafiee, S., Aghbashlo, M., Hosseinpour, S. & Mohtasebi, S. S. (2014). Continuous real-time monitoring and neural network modeling of apple slices color changes during hot air drying. *Food and Bioprocess Processing*.

Palou, E., Lopez-Malo, A., Barbosa-Canovas, G. V., Welti-Chanes, J. & Swanson, B. G. (1999). Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. *Journal of Food Science*, 64, 42-45.

Ramteke, R. S., Singh, N. I., Rekha, M. N. & Eipeson, W. E. (1993). Methods for concentration of fruit juices-a critical evaluation. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 30, 391-402.

Raupp, D. D. S., Rodrigues, E., Rockenbach, I. I., Carbonar, A., Campos, P. F. D. & Borsato, A. I. V. (2011). Effect of processing on antioxidant potential and total phenolics content in beet (*Beta vulgaris* L.). *Food Science and Technology (Campinas)*, 31, 688-693.

Remini, H., Mertz, C., Belbahi, A., Achir, N., Dornier, M. & Madani, K. (2015).

منابع

مشرف بروجنی، ل. (۱۳۷۶). بررسی تولید رنگ خوراکی قرمز از چغندر لبویی و پایداری آن در خلال فرآیندهای غذایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده‌ی کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان.

Ahmed, J., Shivhare, U. S. & Raghavan, G. S. V. (2004). Thermal degradation kinetics of anthocyanin and visual colour of plum puree. *European Food Research and Technology*, 218, 525-528.

Arena, E., Fallico, B. & Maccarone, E. (2000). Influence of carotenoids and pulps on the color modification of blood orange juice. *Journal of Food Science*, 65, 458-460.

Avila, I. M. L. B. & Silva, C. L. M. (1999). Modelling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree. *Journal of Food Engineering*, 39, 161-166.

Barreiro, J. A., Milano, M. & Sandoval, A. J. (1997). Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. *Journal of Food Engineering*, 33, 359-371.

Cassano, A., Jioa, B. & Drioli, E. (2004). Production of concentrated kiwifruit juice by integrated membrane process. *Food Research International*, 37, 139-148.

Cemeroglu, B., Velioglu, S. & Isik, S. (1994). Degradation kinetics of anthocyanins in sour cherry juice and concentrate. *Journal of Food Science*, 59, 1216-1218.

Chutintrasri, B. & Noomhorm, A. (2007). Color degradation kinetics of pineapple puree during thermal processing. *LWT-Food Science and Technology*, 40, 300-306.

Delgado-Vargas, F., Jiménez, A. R. & ParedesLópez, O. (2000). Natural pigments: Carotenoids, anthocyanins, and betalains characteristics, biosynthesis, processing, and stability. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40, 173-289.

Garza, S., Ibarz, A., Pagan, J. & Giner, J. (1999). Non-enzymatic browning in peach puree during heating. *Food Research International*, 32, 335-343.

Ibarz, A., Pagan, J. & Garza, S. (1999). Kinetic models for colour changes in pear puree during heating at relatively high

Degradation kinetic modelling of ascorbic acid and colour intensity in pasteurised blood orange juice during storage. *Food Chemistry*, 173, 665-673.

Rhim, J. W., Nunes, R. V., Jones, V. A. & Swartzel, K. R. (1989). Kinetics of colour change of grape juice generated using linearly increasing temperature. *Journal of Food Science*, 54, 776-777.

Skrede, G. (1985). Color quality of blackcurrant syrups during storage evaluated by Hunter L, a, b values. *Journal of Food Science*, 50, 514-517, 525.

Stintzing, F. C. & Carle, R. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food and in human nutrition. *Trends in Food Science and Technology*, 15, 19-38.

Suh, H. J., Noh, D. O., Kang, C. S., Kim, J. M. & Lee, S. W. (2003). Thermal kinetics of color degradation of mulberry fruit extract. *Nahrung*, 47, 132-135.

Toribo, J. L. & Lozano, J. E. (1986). Heat induced browning of clarified apple juice at high temperatures. *Journal of Food Science*, 51, 172-175, 179.

Uyan, S. E., Baysal, T., Yurdagel, U. & El, S. N. (2004). Effects of drying on antioxidant activity of purple carrots. *Nahrung*, 48, 57-60.

Vardin, H. & Fenercioglu, H. (2003). Study on the development of pomegranate juice processing technology: clarification of pomegranate juice. *Nahrung*, 47, 300-303.

Von Elbe, J. H., Maing, I. & Amundson, C. H. (1974). Colour stability of betanin. *Journal of Food Science*, 39, 334-337.

Wibowo, S., Vervoort, L., Tomic, J., Santiago, J. S., Lemmens, L., Panozzo, A., Grauwet, T., Hendrickx, M. & Van Loey, A. (2015). Colour and carotenoid changes of pasteurised orange juice during storage. *Food Chemistry*, 171, 330-340.