

ارزیابی تغییرات رنگ آب نارنج طی فرآوری حرارتی

سارا آقاچانزاده سورکی^{۱*}، امان محمد ضیائی فر^۲، مهدی کاشانی نژاد^۳،

یحیی مقصدلو^۳ و ابراهیم اسماعیلزاده^۴

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۲دانشیار دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۳استاد دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۴دکتری تخصصی، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۰۷

چکیده

سابقه و هدف: آب نارنج به دلیل دارا بودن طعمی ترش به عنوان چاشنی در تهیه‌ی غذاهای مختلف به کار برده می‌شود. استفاده از تیمار حرارتی معمول‌ترین روش جهت سالم‌سازی آب نارنج است اما این روش موجب افت ترکیبات مغذی و تولید ترکیبات ناخواسته در محصول نیز می‌گردد. اغلب تغییرات شیمیایی در محصول غذایی بر رنگ آن نیز تاثیر می‌گذارد. از این رو بین رنگ و ترکیبات شیمیایی محصول ارتباط وجود دارد. با توجه به این امر هدف از این تحقیق بررسی تاثیر فرایند حرارتی (دما و زمان) بر میزان تغییرات پارامترهای مختلف رنگ و همچنین میزان تغییرات اندیس قهوه‌ای شدن آب نارنج است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه تغییرات اندیس قهوه‌ای شدن محصول با استفاده از دو روش مختلف پردازش تصویر و طیف سنجی، اندازه‌گیری شد. میزان تغییرات رنگ محصول با استفاده از روش پردازش تصویر و تعیین مولفه‌های رنگی L^* ، a^* و b^* ارزیابی گردید. همچنین محتوای اسید اسکوربیک در آب نارنج با استفاده از روش یدومتری تعیین شد.

یافته‌ها: نتایج نشان دادند که میزان روشنایی رنگ آب نارنج با افزایش دما و زمان فرایند، کاهش یافت. همچنین پارامترهای a^* (قرمزی) و b^* (زردی) طی فرایند حرارتی افزایش یافتند. تغییرات شاخص کروما، افزایش شدت رنگ محصول طی فرآوری حرارتی را نشان داد. اختلاف کل رنگ آب نارنج طی فرایند حرارتی افزایش

*مسئول مکاتبه: saraaghajanzadeh@yahoo.com

یافت. ثابت سرعت واکنش تغییرات اختلاف کل رنگ، با افزایش دمای فرایند به طور میانگین $1/66$ برابر افزایش یافت که نشان دهنده وابستگی دمایی رنگ محصول است. بالا بودن مقادیر انرژی فعال سازی نشان دهنده پایداری بالای رنگ محصول نسبت به دمای فراوری است. همچنین مشخص گردید که قهوه‌ای شدن رنگ آب نارنج به محتوای اسید اسکوربیک آن بستگی دارد. در انتها همبستگی بالایی میان دو روش مورد استفاده جهت بررسی میزان تغییرات اندیس قهوه‌ای شدن مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به اثر فرایند حرارتی بر محتوای ترکیبات موجود در آب نارنج، می‌توان بیان کرد که شدت رنگ محصول طی فراوری حرارتی در دماها و زمان‌های مختلف تغییر یافت؛ به طوری که سرعت میزان تغییرات مولفه‌های مختلف رنگ محصول با افزایش دمای فرایند، افزایش یافت. همچنین وابستگی زیادی میان قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی و محتوای اسید اسکوربیک موجود در آب نارنج مشاهده شد. با مقایسه تغییرات این اندیس نسبت به محتوای اسید اسکوربیک می‌توان بیان کرد که هر دو روش مورد استفاده (پردازش تصویر و طیف‌سنجی) در اندازه‌گیری و سنجش اندیس قهوه‌ای شدن کارآمد می‌باشند. اما به دلیل سهولت بیش‌تر، هزینه پایین‌تر و عدم تخریب نمونه، استفاده از روش پردازش تصویر در اندازه‌گیری این اندیس پیشنهاد می‌شود.

واژه‌ها کلیدی: آب نارنج، فراوری حرارتی، تغییرات رنگ، پردازش تصویر، طیف‌سنجی

مقدمه

نارنج (نام علمی: *Citrus aurantium* L.) یکی از محصولات باغی و از انواع مرکبات است که در نواحی جنوب غربی آسیا از جمله شمال ایران کشت می‌شود. با توجه به محتوای آنتی‌اکسیدانی از جمله اسید اسکوربیک، این میوه دارای ارزش غذایی بالایی است چرا که ترکیبات آنتی‌اکسیدانی با از بین بردن رادیکال‌های آزاد و اکسیژن فعال، موجب کاهش خطر ابتلا به انواع سرطان‌ها و بیماری‌های قلبی می‌شوند (۱۲ و ۱۶). قسمت‌های مختلف نارنج مانند عصاره، پوست و بافت مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به طعم ترش و تلخ بافت میوه، اغلب از عصاره‌ی نارنج به‌عنوان جایگزین آب لیمو در تهیه غذا استفاده می‌شود. معمول‌ترین روش جهت سالم‌سازی آب نارنج، استفاده از تیمار حرارتی است، اما تخریب ترکیبات مغذی و یا تولید ترکیبات ناخواسته در محصول حین پاستوریزاسیون حرارتی امری اجتناب‌ناپذیر است. جهت تعیین و پیش‌بینی میزان این تغییرات در محصول نیاز به تعیین شاخصی است که به سهولت و با استفاده از روش‌های فیزیکی و یا شیمیایی موجود قابل تشخیص و همچنین میزان افزایش و یا کاهش آن در ارتباط با میزان تغییرات کیفیت محصول باشد (۳۳). میزان حساسیت این شاخص باید جهت بیان اثر فرایند بر کیفیت محصول کفایت کند (۱۰). اگر ارتباطی میان ترکیبات رنگی موجود در ماده غذایی و ترکیب شیمیایی آن وجود داشته باشد به جای آنالیز شیمیایی می‌توان از اندازه‌گیری رنگ استفاده نمود زیرا که اندازه‌گیری رنگ نسبت به آنالیز شیمیایی روشی آسان‌تر، سریع‌تر و ارزان‌تر است.

قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی یکی از عوامل اصلی افت کیفی آب مرکبات است که می‌توان آن را به عنوان شاخصی از اثر نامطلوب دما بر محصول در نظر گرفت. واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی موجب بروز تغییرات نامطلوب در رنگ و خواص حسی محصول می‌گردد، در نتیجه بر بازارپسندی محصول تاثیر گذار است (۱۴ و ۲۲). قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی در آب مرکبات ناشی از واکنش قندها، اسیدهای آمینه و اسید اسکوربیک است که در این بین تخریب اسید اسکوربیک به عنوان مهم‌ترین عامل معرفی شده است (۱۸ و ۳۵). گرچه حضور اسیدهای آمینه در سیستم اسکوریات از طریق واکنش با ال-اسید اسکوربیک و یا محصولات حاصل از تخریب این ویتامین خود از عوامل تشدید کننده وقوع واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی است اما واکنش قند-اسید آمینه طی واکنش میلارد به دلیل pH پایین آب مرکبات تاثیر کمی در بروز قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی این دسته از محصولات دارد (۷، ۸، ۱۹، ۳۰ و ۳۵).

روش‌های اندازه‌گیری میزان تغییرات رنگ شامل روش‌های عینی و دستگامی، از جمله روش طیف‌سنجی و پردازش تصویر^۱ می‌باشد. در روش عینی شرایط محیطی مانند نور و شرایط فرد مشاهده‌کننده از قبیل سن و سلامت، در برداشت از کیفیت رنگ محصول موثر است؛ از این‌رو آزمون بررسی رنگ بر پایه‌ی نتایج حاصل از مشاهده افراد قابلیت تکرارپذیری دقیقی نخواهد داشت، همچنین برداشت افراد مختلف در این زمینه متفاوت خواهد بود و علاوه بر این به دلیل عدم امکان کمی کردن نتایج کیفی حاصل، استفاده از روش‌های دستگامی مانند طیف‌سنجی و پردازش تصویر ابداع شده‌اند. اساس بررسی رنگ به روش طیف‌سنجی، اندازه‌گیری میزان پیگمان‌های محلول و در روش پردازش تصویر استفاده از مدل‌های رنگ مانند RGB^۲ و مولفه‌های L^* ، a^* و b^* جهت بیان خواص رنگی محصول می‌باشد (۱). ابزارهای مورد نیاز در پردازش تصویر شامل نرم افزار پردازش تصویر و یک سیستم عکس‌برداری مانند دوربین و یا اسکنر است. از مزایای این روش می‌توان به سادگی، ارزان بودن و عدم تخریب نمونه اشاره کرد. در اکثر موارد در پژوهش‌های صنایع غذایی از فضای رنگی $L^* a^* b^*$ استفاده می‌شود. این فضای رنگی شامل سه مولفه L^* (معادل روشنایی تصویر که بین ۰ معادل مشکی و ۱۰۰ معادل انعکاس کامل نور)، مقادیر مولفه a^* (مقادیر مثبت معادل رنگ قرمز و مقادیر منفی معادل رنگ سبز) و مولفه b^* (مقادیر مثبت معادل رنگ زرد و مقادیر منفی معادل رنگ آبی) است. این سیستم رنگی عملکردی مشابه چشم انسان دارد. برخلاف فضای RGB و HSI^۳ متاثر از وسیله عکس‌برداری نیست.

آویلا و سیلوا (۱۹۹۹)، ارحیم و همکاران (۱۹۸۹)، راتانادانالرک و همکاران (۲۰۰۵)، چاتینتراسری و نومهورم (۲۰۰۷) و داویس و گولد (۱۹۵۵) تغییرات رنگ محصولات مختلف را طی فراوری حرارتی در دماهای مختلف با استفاده از مولفه‌های رنگی L^* ، a^* و b^* مورد بررسی قرار دادند (۳، ۹، ۱۱، ۲۷ و ۲۹). آویلا و سیلوا (۱۹۹۹) همچنین با محاسبه میزان انرژی فعال‌سازی مولفه‌های مختلف، مدل آرنیوس را در توصیف وابستگی دمایی تغییرات رنگی محصول کارآمد دانستند (۳). آرنا و همکاران (۲۰۰۰) و لی و کواتس (۱۹۹۹) بیان کردند که طی فراوری حرارتی، به ترتیب آب پرتقال خونی و آب گریپ فروت، سه مولفه رنگی محصول (L^* ، a^* و b^*) تغییر یافته‌است (۲ و ۲۲). در

1. Image Processing
2. Red- Green- Blue Color Model
3. Hue- Saturation- Lightness Color Space

بررسی دیگر لی و کواتس (۲۰۰۳) به اثر تیمار حرارتی بر رنگ آب پرتقال پرداختند که نتایج آن‌ها نشان‌دهنده وابستگی دمایی پارامترهای مختلف رنگ محصول است (۲۳). رویگ و همکاران (۱۹۹۹) ویکرام و همکاران (۲۰۰۵) و بوردورلو و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی رابطه میان تخریب اسیداسکوربیک و میزان تغییرات شاخص قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی آب مرکبات پرداختند (۵، ۳۱ و ۳۷). هدف از این تحقیق بررسی اثر دما و زمان فرایند حرارتی بر میزان تغییرات پارامترهای مختلف رنگ آب نارنج با استفاده از روش پردازش تصویر و همچنین میزان تغییرات اندیس قهوه‌ای شدن^۱ (BI) محصول با استفاده از دو روش پردازش تصویر و طیف سنجی است.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها: نارنج از بازار محلی شهرستان گرگان (استان گلستان) خریداری شد. پس از استخراج به منظور جداسازی ذرات معلق پالپ و اجزای بافت، عصاره‌ی میوه از صافی با مش ۱۷۰ عبور داده شد.

فرایند حرارتی: در این بررسی به منظور افزایش سطح تبادل حرارت و همچنین حرارت‌دهی یکنواخت‌تر و سریع‌تر محصول از لوله‌های آزمایش (قطر، طول و ضخامت دیواره به ترتیب برابر ۱۵، ۱۶۰ و ۱ میلی‌متر) استفاده شد. ۱۵ میلی‌لیتر آب نارنج صاف‌شده به یک لوله آزمایش منتقل و در حمام آب گرم^۲ در دماهای ۷۰، ۷۵، ۸۰، ۸۵ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب به مدت ۷۶، ۶۶، ۴۸، ۳۵ و ۲۱ دقیقه حرارت‌دهی شدند. اندازه‌گیری دمای نمونه با قرار دادن ترموکوپل نوع T با ضخامت یک میلی‌متر در نقطه سرد لوله آزمایش حاوی نمونه (حدود یک سوم انتهایی لوله آزمایش) و ثبت دمای نمونه در هر ثانیه توسط سیستم ثبت‌کننده‌ی داده‌های دمایی (Data logger: Pico – TC 08) انجام گرفت. نمونه‌ها بلافاصله پس از فرایند حرارتی، در حمام آب یخ تا رسیدن به دما محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد) خنک شدند.

اندازه‌گیری اسید اسکوربیک: جهت اندازه‌گیری میزان اسیداسکوربیک از روش تیتراسیون ید (یدومتری) استفاده شد (۲۰). در این روش ابتدا ۲۰ میلی‌لیتر آب نارنج را به یک بالن حجمی ۲۵۰ میلی‌لیتری انتقال داده و با ۱۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد. پس از افزودن یک میلی‌لیتر محلول

1. Browning Index
2. Water Bath

شاخص نشاسته یک درصد، محلول حاصل با استفاده از محلول ید تا ظهور رنگ آبی سیاه تیترا شد. میزان میلی گرم اسیداسکوربیک در ۱۰۰ میلی لیتر نمونه بر اساس رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{حجم معرف مصرفی} \times 0/88 = \text{میلی گرم اسید اسکوربیک در ۱۰۰ میلی لیتر نمونه}$$

جهت آماده سازی محلول ید ابتدا ۵ گرم پتاسیم یدید و ۰/۲۶۸ گرم پتاسیم یدات در بالن ۵۰۰ میلی لیتری با ۲۰۰ میلی لیتر آب مقطر به خوبی حل شد و سپس به محلول حاصل ۳۰ میلی لیتر اسید سولفوریک ۳ مولار افزوده و با آب مقطر به حجم ۵۰۰ میلی لیتر رسانده شد.

اندازه گیری اندیس قهوه ای شدن: در این بررسی از دو روش طیفسنجی و پردازش تصویر جهت ارزیابی میزان تغییرات رنگ محصول بر اثر وقوع واکنش قهوه ای شدن غیرآنزیمی استفاده شد: **طیفسنجی:** اندازه گیری اندیس قهوه ای شدن بر پایه ی طیفسنجی با استفاده از روش میداو، ساگوی و کوپلمن (۱۹۷۷) انجام شد که در این روش ابتدا آب نارنج صاف و سپس سانتیفریوژ شد (۳۵۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه) و در انتها جذب آن در طول موج ۴۲۰ نانومتر خوانده شد (۲۵).

پردازش تصویر: در اندازه گیری اندیس قهوه ای شدن به روش پردازش تصویر، طی فرایند پاستوریزاسیون حرارتی در فواصل زمانی معین نمونه ها از حمام آب گرم خارج شدند و بلافاصله مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای این منظور ۱۵ میلی لیتر آب نارنج فراوری شده به یک پلیت انتقال یافت و تصویر آن به کمک اسکنر (HP Scanjet G2710)، پوشانیده شده با یک پارچه کاملاً سیاه و ضخیم به منظور جلوگیری از ورود هرگونه نور از محیط خارج، اسکن شد. تصاویر با وضوح ۶۰۰ dpi و با فرمت JPEG ذخیره شدند. پس از انتقال تصاویر به کامپیوتر مقادیر L^* ، a^* و b^* نمونه ها با استفاده از نرم افزار Image J (نسخه ۱/۴۷) استخراج گردید. شاخص قهوه ای شدن بر اساس مولفه های رنگی به دست آمده و با استفاده از معادلات (۱) و (۲) محاسبه شد:

$$x = \frac{a^* + 1.75 \times L^*}{5.645L^* + a^* - 3.012b^*} \quad \text{معادله ۱.}$$

$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{0.17} \quad \text{معادله ۲.}$$

اندازه‌گیری شاخص‌های کروما و اختلاف کل رنگ: جهت توصیف تغییرات رنگ طی حرارت‌دهی آب نارنج تحت شرایط مختلف دما-زمان، شاخص‌های کروما^۱ (C) و اختلاف کل رنگ^۲ (TCD) نیز به ترتیب طبق معادلات (۳) و (۴) محاسبه شدند:

$$C = \sqrt{a^*2 + b^*2} \quad \text{معادله ۳.}$$

$$TCD = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad \text{معادله ۴.}$$

اندیس‌ها با زیروند صفر مربوط به مقادیر خوانده شده از نمونه‌ی شاهد (آب نارنج تازه) است.

آنالیز داده‌ها

تغییرات رنگ آب نارنج طی فرآوری حرارتی از معادله درجه صفر (۵) و اول لگاریتمی (۶) تبعیت می‌کند (۶، ۲۴، ۱۵ و ۱۷):

$$A = A_0 - kt \quad \text{معادله ۵.}$$

$$\log_e \left(\frac{A}{A_0} \right) = -k \quad \text{معادله ۶.}$$

در معادله فوق، A بیان‌گر غلظت ترکیب مورد نظر پس از فرایند حرارتی، A_0 غلظت اولیه ترکیب، K ثابت سرعت واکنش (معکوس دقیقه) و t زمان حرارت‌دهی (دقیقه) می‌باشد. میزان ثابت سرعت واکنش برابر قرینه شیب رگرسیونی منحنی $\log_e \left(\frac{A}{A_0} \right)$ در برابر زمان است.

در این تحقیق اثر دما بر تغییرات رنگ محصول طی فرایند حرارتی با محاسبه انرژی فعال‌سازی مورد بررسی قرار گرفت (۳۴). طبق مدل آرنیوس^۳ انرژی فعال‌سازی واکنش (E_a) برابر عکس و قرینه شیب رگرسیونی نمودار ثابت سرعت واکنش در برابر دما است (معادله ۴):

1. Chroma
2. Total Color Difference
3. Arrhenius model

$$K = K_0 e^{-E_a/(RT)} \quad \text{معادله ۴.}$$

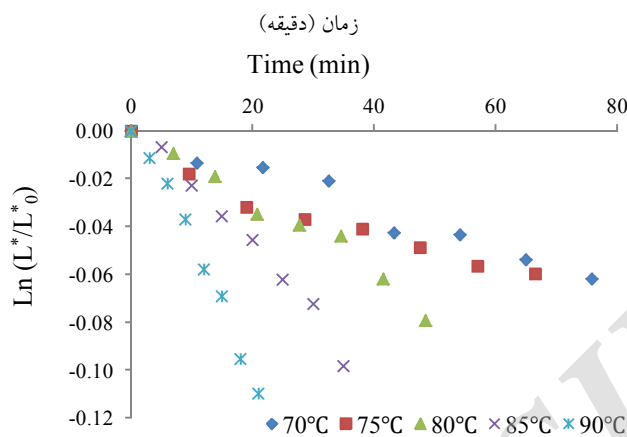
در معادله فوق E_a انرژی فعال سازی (ژول بر مول)، K_0 ثابت آرنیوس یا ضریب تصادم (معکوس دقیقه)، R ثابت جهانی گازها ($8.3144 \text{ J.mole}^{-1} \text{ K}^{-1}$) و T دمای مطلق (کلوین) است.

تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق اثر سطوح مختلف دما و زمان حرارت دهی بر میزان تغییرات رنگ آب نارنج در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم افزار SAS^۱ بررسی شد. میانگین‌ها به روش دانکن در سطح معنی داری ۹۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

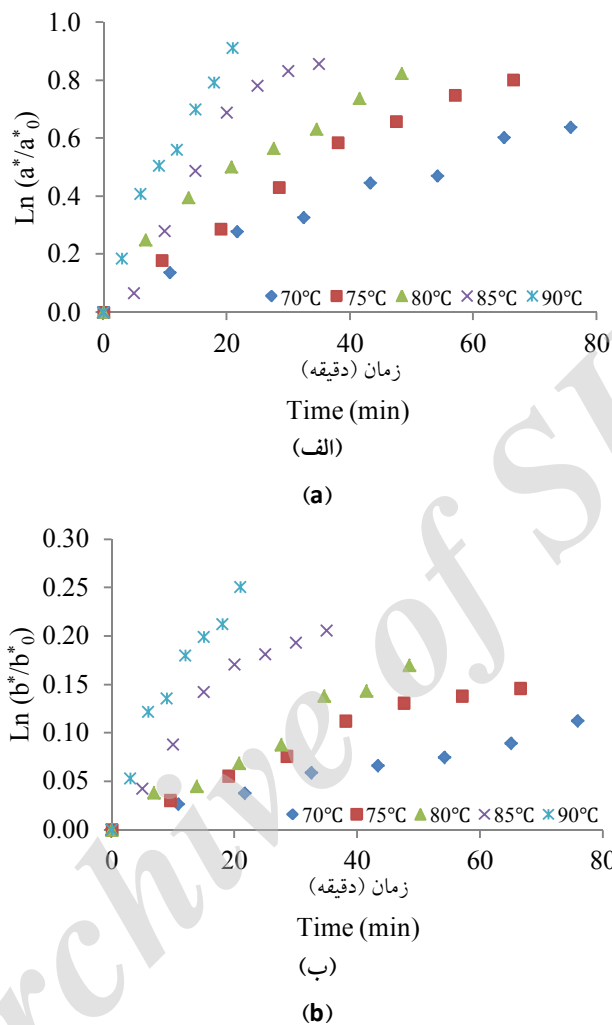
مطابق شکل (۱) با افزایش دما و زمان فرایند حرارتی، رنگ آب نارنج با پیروی از سینتیک درجه اول تیره تر شد ($R^2 > 0.87$). دلیل این تیرگی رنگ را می توان علاوه بر تخریب ترکیباتی مانند رنگ دانه ها و اسیداسکوربیک، تغییر در میزان کدورت رنگ نمونه ها دانست زیرا با افزایش دما و زمان فرایند حرارتی، تجزیه پکتین موجود در آب نارنج به علت غیرفعال سازی بیش تر آنزیم پکتین متیل استراز، کاهش می یابد در نتیجه کدورت و حالت مطلوب ابری آب میوه بیش تر حفظ می شود (۲۱)، ۳۲، ۳۶ و ۳۸). بر اساس نتایج حاصل از آنالیز واریانس (ANOVA) و نیز مقایسه میانگین تغییرات میزان L^* تیمارهای مختلف نشان داد که سطوح متفاوت زمان بر خلاف دما طی حرارت دهی آب نارنج، تاثیر معناداری ($P < 0.05$) در میزان تخریب این شاخص داشت. آویلا و سیلوا (۱۹۹۹) نیز کاهش میزان شاخص L^* را طی فراوری حرارتی پوره هلو در دماهای مختلف مشاهده کردند (۳). ارحیم و همکاران (۱۹۸۹)، راتانادانالرک و همکاران (۲۰۰۵) و همچنین نومهورم و چاتیتراسری (۲۰۰۷) بیان داشتند که حرارت دهی موجب کاهش روشنایی رنگ به ترتیب آب انگور، آب آناناس و پورهی آناناس می شود (۹، ۲۷ و ۲۹).



شکل ۱- تغییرات مولفه L^* طی فرآوری حرارتی آب نارنج در دماهای ۷۰، ۷۵، ۸۰، ۸۵ و ۹۰ درجه سانتی گراد.

Figure 1. Changes of L^* during thermal processing of sour orange juice at 70, 75, 80, 85 and 90°C.

با توجه به افزایش مولفه‌های a^* و b^* (شکل ۲) می‌توان بیان کرد که رنگ آب نارنج طی فرآوری حرارتی به سمت قرمزی و زردی تغییر یافت ($R^2 > 0/88$). آنالیز واریانس (ANOVA) و نیز مقایسه میانگین تغییرات میزان این دو مولفه در نمونه‌های مختلف نشان داد که سطوح متفاوت دما و زمان طی حرارت‌دهی آب نارنج، بر خلاف b^* تاثیر معناداری ($P > 0/05$) بر میزان مولفه a^* نداشت. از این رو می‌توان بیان نمود که طی فرآوری حرارتی، تغییرات رنگ (نسبت به قرمزی/زردی) بیش‌تر به سمت زردی رنگ محصول است. لی و کوآتس (۱۹۹۹) طی فرآوری حرارتی آب گریپ فروت نیز به نتایجی مشابه دست یافتند (۲۲). در بررسی دیگر توسط این دو محقق (۲۰۰۳) شاخص b^* طی فرآوری حرارتی آب پرتقال به سمت مثبت و a^* به سمت منفی تغییر یافته‌است (۲۳). آویلا و سیلوا (۱۹۹۹) نیز کاهش میزان شاخص b^* و افزایش در a^* را طی فرآوری حرارتی پوره هلو در دماهای مختلف مشاهده کردند (۳). آرنا و همکاران (۲۰۰۰) دلیل افزایش b^* را افزایش واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر-آنزیمی در آب پرتقال خونی دانستند (۲).

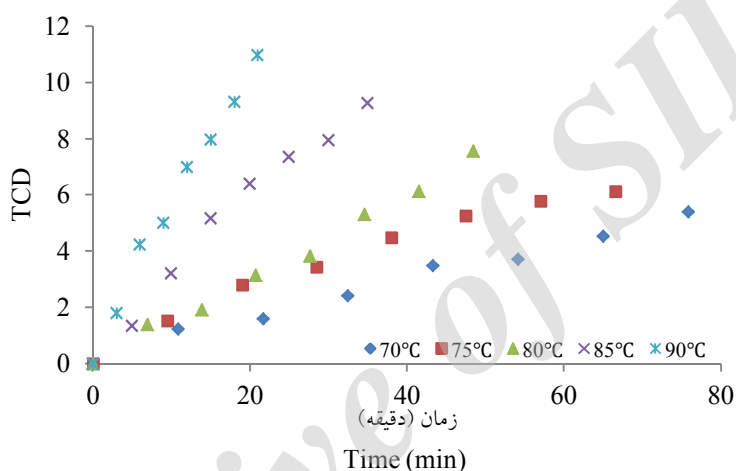


شکل ۲- تغییرات اندیس a^* (الف) و b^* (ب) طی فراوری حرارتی آب نارنج در دماهای ۷۰، ۷۵، ۸۰، ۸۵ و ۹۰ درجه سانتی گراد.

Figure 2. Changes of a^* (a) and b^* (b) during thermal processing of sour orange juice at 70, 75, 80, 85 and 90°C.

TCD را می توان به عنوان شاخصی مناسب جهت بررسی میزان تغییرات رنگ محصول در نظر گرفت (۳). شکل (۳) نشان می دهد که روند تغییرات TCD محصول طی فراوری حرارتی از سینتیک درجه صفر با ضریب همبستگی بالای ۰/۹۳ پیروی کرد. آنالیز واریانس (ANOVA) و نیز مقایسه

میانگین تغییرات میزان TCD تیمارهای مختلف نشان داد که سطوح متفاوت زمان حرارت‌دهی آب نارنج تاثیر معناداری ($P < 0/05$) در مقدار اختلاف کل رنگ محصول داشت این در حالی است که اثر دما بر این فاکتور قابل چشم‌پوشی است ($P > 0/05$). فرانسیس و کلیدسدال (۱۹۷۵) بیان داشتند که میزان TCD کم‌تر از ۳ نشان‌دهنده‌ی تغییر قابل توجه رنگ محصول است در حالی که مقادیر بالای ۳ برای بسیاری از محصولات قابل قبول نمی‌باشد (۱۳). در این بررسی نیز مشاهده می‌شود که با افزایش دمای فرایند میزان TCD بالای ۳ بیش‌تر از دماهای پایین است.



شکل ۳- تغییرات اختلاف کل رنگ (TCD) آب نارنج طی فرآوری حرارتی در دماهای ۷۰، ۷۵، ۸۰، ۸۵ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد.

Figure 3. Changes of total color difference during thermal processing of sour orange juice at 70, 75, 80, 85 and 90°C.

ثابت سرعت واکنش با توجه به شیب منحنی تغییرات حرارتی اندیس‌های a^* ، b^* و TCD محاسبه و در جدول (۱) نشان داده شد. ثابت سرعت واکنش نشان‌دهنده‌ی اثر دما بر تغییرات رنگ محصول است (۳۶)، از این جهت با توجه به مقادیر ثابت سرعت واکنش تغییر شاخص‌های رنگ آب نارنج طی فرآوری حرارتی می‌توان بیان کرد که به ازای افزایش دما به میزان ۵ درجه سانتی‌گراد، سرعت تغییر TCD رنگ محصول به طور میانگین $1/66$ برابر افزایش یافت. انرژی فعال‌سازی میزان انرژی مورد نیاز جهت شروع یک واکنش است و کم‌تر بودن میزان آن به معنی افزایش نرخ تخریب یک ترکیب به ازای میزان تغییرات دمایی بیش‌تر است (۲۸ و ۳۷). ارحیم و همکاران (۱۹۸۹) میزان

انرژی فعال‌سازی شاخص‌های L^* ، a^* و TCD آب انگور پس از تیمار حرارتی در دامنه‌ی دمایی ۶۰ تا ۹۵ درجه‌سانتی‌گراد را به ترتیب معادل ۱۱۴/۷۵، ۱۳۱/۸۰ و ۹۲/۸۱ کیلوژول بر مول محاسبه کردند (۲۹). آویلا و سیلوا (۱۹۹۹) نیز میزان انرژی فعال‌سازی شاخص‌های L^* ، a^* ، b^* و TCD پوره هلو حرارت داده شده را به ترتیب برابر ۱۰۷، ۱۰۹، ۱۰۶ و ۱۱۹ کیلوژول بر مول گزارش کردند (۳). ممکن است دلیل اختلاف مقادیر محاسبه شده در این تحقیق با نتایج گزارش شده توسط سایر محققین، ناشی از تفاوت در نوع محصول و شرایط فرایند باشد.

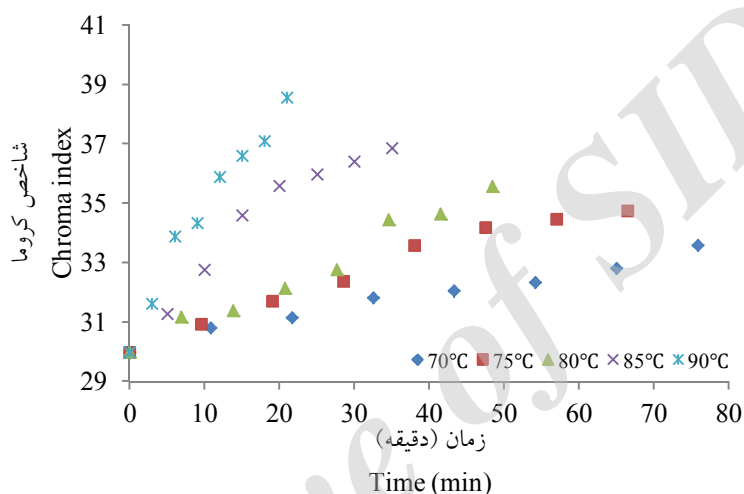
جدول ۱. مقادیر ضریب همبستگی، ثابت سرعت واکنش و انرژی فعال‌سازی مولفه‌های مختلف رنگ (L^* ، a^* و b^*) و اختلاف کل رنگ (TCD) طی فراوری حرارتی آب نارنج در دماهای مختلف

Table 1. Regression coefficient, reaction rate constant and activation energy of different color parameters (Lab) and total color difference during thermal processing of sour orange juice at different temperatures

انرژی فعال‌سازی (kJ. mole ⁻¹) Activation energy (kJ.mole ⁻¹)	ثابت سرعت واکنش (min ⁻¹) Reaction rate constant (min ⁻¹)	ضریب همبستگی Correlation coefficient	دما (°C) Temperature (°C)	شاخص Index
94.618	0.0008	0.96	70	L*
	0.0001	0.87	75	
	0.0015	0.97	80	
	0.0025	0.97	85	
	0.005	0.98	90	
82.282	0.0092	0.95	70	a*
	0.0134	0.96	75	
	0.0188	0.88	80	
	0.0282	0.94	85	
	0.0463	0.95	90	
110.343	0.0015	0.96	70	b*
	0.0025	0.95	75	
	0.0035	0.97	80	
	0.0069	0.88	85	
	0.013	0.92	90	
103.601	0.0772	0.98	70	اختلاف کل رنگ TCD
	0.105	0.93	75	
	0.1512	0.99	80	
	0.2836	0.96	85	
	0.5384	0.98	90	

شاخص کروما تعیین کننده‌ی شدت رنگ محصول است. شکل (۴) نشان‌دهنده تغییرات شاخص کروما آب نارنج طی فراوری حرارتی با پیروی از سینتیک مرتبه صفر و با ضریب همبستگی بالا

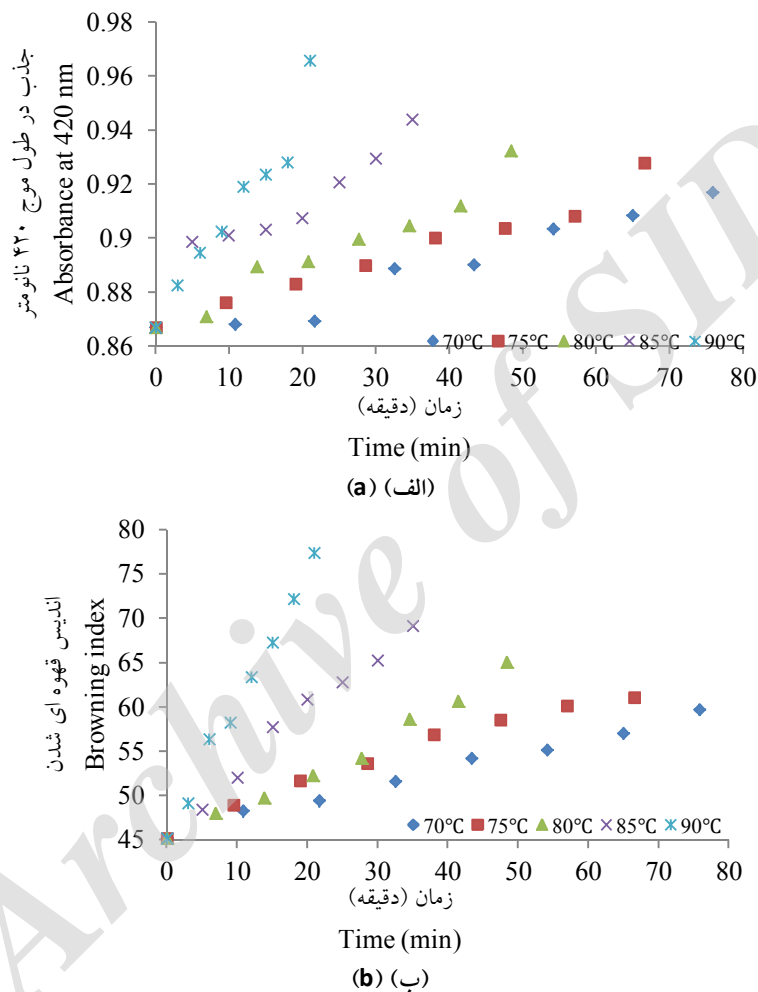
($R^2 > 0.91$) است. با توجه به افزایش مولفه‌های a^* و b^* شدت رنگ آب نارنج نیز با افزایش دما و زمان فرایند افزایش کمی یافت ($P > 0.05$). نتایج حاصل از بررسی آرنا و همکاران (۲۰۰۰)، لی و کوآتس (۱۹۹۹)، داویس و گولد (۱۹۵۵) و لی و کوآتس (۲۰۰۳) روی اثر تیمار حرارتی محصولات مختلف (به ترتیب آب پرتقال خونی، آب گریپ فروت، آب گوجه فرنگی و آب پرتقال) بر شاخص کروما مشابه نتیجه حاصل در این بررسی است (۲، ۱۱، ۲۲ و ۲۳).



شکل ۴- تغییرات شاخص کروما آب نارنج طی فرآوری حرارتی در دماهای ۷۰، ۷۵، ۸۰، ۸۵ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد.
Figure 4. Changes of chroma index during thermal processing of sour orange juice at 70, 75, 80, 85 and 90°C.

شکل‌های (۵-الف) و (۵-ب) به ترتیب نشان‌دهنده تغییرات اندیس قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی آب نارنج طی فرآوری حرارتی به روش‌های طیف سنجی و پردازش تصویر است. در این بررسی سیتیک تغییرات BI از معادله‌ی درجه صفر با ضریب همبستگی بالا پیروی کرد. در هر دو روش، زمان حرارت‌دهی بر خلاف دما تاثیر معناداری در افزایش میزان قهوه‌ای شدن رنگ محصول طی فرآوری داشت ($P < 0.05$). در آب‌میوه‌هایی مانند آب سیب و گلابی به دلیل محتوای پایین اسید اسکوربیک، واکنش میلارد عامل اصلی بروز قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی است در حالی که در آب مرکبات به دلیل محتوای بالای اسید اسکوربیک، تخریب این ویتامین مهم‌ترین عامل در تغییر اندیس قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی در نظر گرفته می‌شود (۴، ۲۶ و ۳۱). مشابه نتایج گزارش شده توسط بوردورلو و همکاران (۲۰۰۶) و ویکرام و همکاران (۲۰۰۵)، در این بررسی نیز با افزایش دما میزان تخریب اسید اسکوربیک

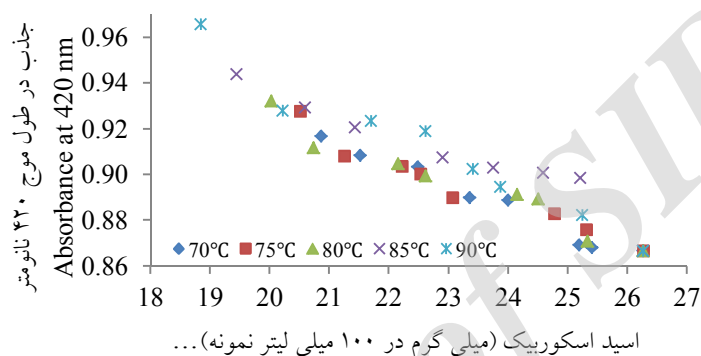
و در نتیجه میزان اندیس قهوه‌ای شدن آب نارنج طی فرایند حرارتی افزایش یافت (۵ و ۳۷). همچنین در این بررسی در تمامی دماها مقادیر a^* و b^* افزایش و مقدار L^* کاهش یافت که نمایانگر قهوه‌ای و تیره شدن رنگ نمونه‌ها است.



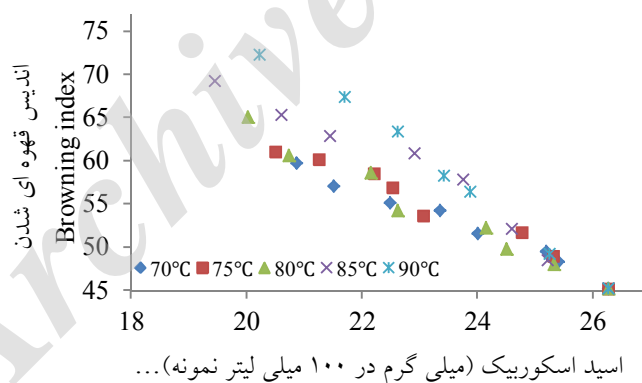
شکل ۵- تغییرات اندیس قهوه‌ای شدن (BI) اندازه‌گیری شده به روش طیف سنجی (الف) و پردازش تصویر (ب) طی فراوری حرارتی آب نارنج.

Figure 5. Changes of browning index measured using spectroscopy (a) and image processing (b) methods during thermal processing of sour orange juice at 70, 75, 80, 85 and 90°C.

با توجه به تاثیر زیاد محتوای اسید اسکوربیک بر میزان تغییرات قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی نمونه، در شکل‌های (۶-الف) و (۶-ب) تغییرات اندیس قهوه‌ای شدن اندازه‌گیری شده به ترتیب به روش‌های طیف‌سنجی و پردازش تصویر در برابر محتوای اسید اسکوربیک طی فرآوری حرارتی آب نارنج در دماهای مختلف رسم شد. همچنین مقادیر ضریب همبستگی و معادلات میان محتوای اسید اسکوربیک و میزان اندیس قهوه‌ای شدن اندازه‌گیری شده به روش پردازش تصویر و طیف‌سنجی در جدول (۲) ذکر شد.



(الف) (a)



(ب) (b)

شکل ۶- همبستگی میان محتوای اسید اسکوربیک و اندیس قهوه‌ای شدن اندازه‌گیری شده به روش طیف‌سنجی (الف) و پردازش تصویر (ب) طی فرآوری حرارتی آب نارنج.

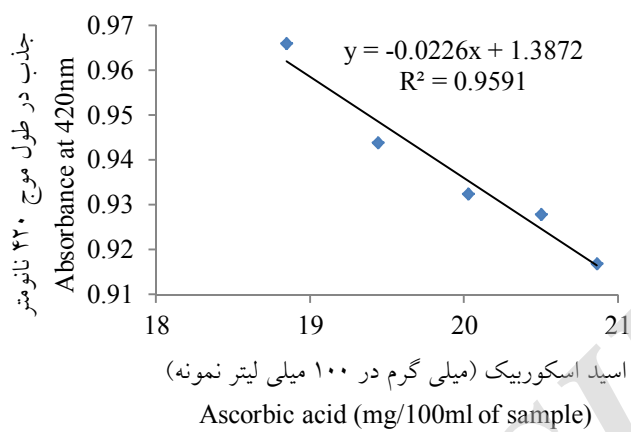
Figure 5. Correlation between ascorbic acid content and measured browning index using spectroscopy (a) and image processing (b) methods during thermal processing of sour orange juice at 70, 75, 80, 85 and 90°C.

جدول ۲- رابطه میان تغییرات اندیس قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی به دو روش طیفسنجی و پردازش تصویر و محتوای اسید اسکوربیک طی فراوری حرارتی آب نارنج

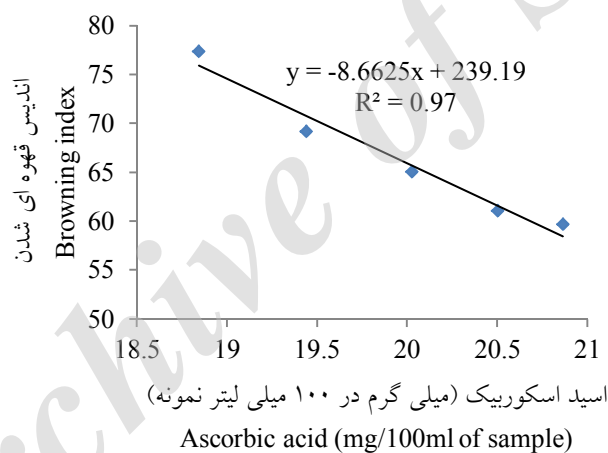
Table 2. Relation between measured browning index using spectroscopy and image processing methods during thermal processing of sour orange

روش پردازش تصویر image processing method		روش طیفسنجی Spectroscopy method		دما (°C)
ضریب همبستگی Correlation coefficient	معادله Equation	ضریب همبستگی Correlation coefficient	معادله Equation	Temperature (°C)
0.98	$Y=-2.4756X+111.11$	0.97	$Y=-0.01X+1.1246$	70
0.96	$Y=-2.7401X+118.21$	0.95	$Y=-0.0094X+1.1126$	75
0.97	$Y=-3.035X+124.71$	0.94	$Y=-0.0094X+1.1147$	80
0.96	$Y=-3.4823X+137.89$	0.92	$Y=-0.0093X+1.1239$	85
0.99	$Y=-4.4514X+162.54$	0.95	$Y=-0.0121X+1.1866$	90

رویگ و همکاران (۱۹۹۹) بیان داشتند که بیشترین میزان اندیس قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی زمانی مشاهده شده است که سطح اسید اسکوربیک نمونه در کمترین مقدار باشد (۳۱). از این رو در شکل‌های (۷-الف) و (۷-ب) تغییرات میزان این اندیس اندازه‌گیری شده به ترتیب به روش‌های طیفسنجی و پردازش تصویر، پس از تکمیل فرایند حرارتی (نقاط پایانی زمان فرایند) نسبت به تخریب اسید اسکوربیک نشان داده شد. این اندیس اندازه‌گیری شده به هر دو روش نام برده در نقاط پایانی فرایند حرارتی به صورت خطی و با ضریب همبستگی بالا ($R^2 > 0.95$) تغییر یافت. با توجه به شکل (۸) و در نظر گرفتن همبستگی بسیار بالای ($R^2 > 0.97$) میان روش‌های مورد استفاده (طیفسنجی و پردازش تصویر) جهت ارزیابی میزان قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی آب نارنج فراوری شده و با توجه به عدم تخریب نمونه و همچنین سریع‌تر و کم‌هزینه‌تر بودن روش پردازش تصویر، استفاده از این روش به جای آنالیز شیمیایی (طیفسنجی) در تعیین BI پیشنهاد می‌شود.



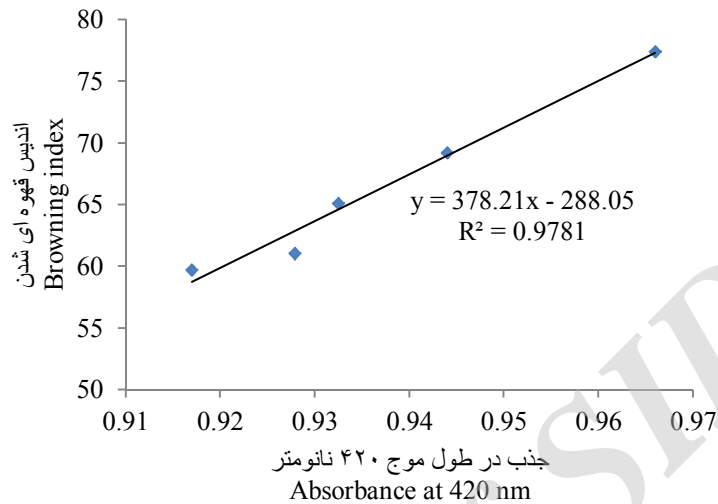
(الف) (a)



(ب) (b)

شکل ۷- رابطه بین محتوای اسید اسکوربیک و اندیس قهوه‌ای شدن اندازه‌گیری شده به روش طیف سنجی (الف) و پردازش تصویر (ب) پس از فراوری حرارتی آب نارنج.

Figure 7. Relation between ascorbic acid content and measured browning index using spectroscopy (a) and image processing (b) methods after thermal processing.



شکل ۸- همبستگی بین دو روش طیف‌سنجی و پردازش تصویر در اندازه‌گیری اندیس قهوه‌ای شدن آب نارنج پس از فراوری حرارتی در دماهای مختلف.

Figure 8. Correlation between spectroscopy and image processing methods used for measuring browning index of sour orange juice after thermal processing at different temperatures.

نتیجه‌گیری

با توجه به اثر فرایند حرارتی بر محتوای ترکیبات موجود در آب نارنج، رنگ محصول طی تیمار حرارتی دستخوش تغییراتی می‌شود. با توجه به اثر فرایند حرارتی بر غیرفعال‌سازی آنزیم پکتین متیل استراز و تخریب حرارتی ترکیبات مختلف مانند رنگدانه‌ها و اسید اسکوربیک، همان‌گونه که مشاهده شد میزان مولفه‌ی L^* طی زمان فراوری کاهش یافت که نشان‌گر کاهش روشنایی رنگ محصول فراوری شده است. همچنین با توجه به تغییرات مولفه‌های a^* و b^* مشخص شد که طی فراوری حرارتی رنگ آب نارنج به سمت زردی و قرمزی تغییر یافت. شاخص کروما با توجه به مقادیر مولفه‌های a^* و b^* ارزیابی می‌شود از این‌رو با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان کرد که شدت رنگ محصول طی فراوری حرارتی در دماها و زمان‌های مختلف افزایش یافت. تغییرات TCD آب نارنج طی فراوری حرارتی بیش‌تر متأثر از زمان فراوری بود همچنین مشاهده می‌شود که میزان TCD در دماهای بالاتر بیش‌تر از ۳ است اما با این وجود نمی‌توان از اهمیت و ضرورت فرایند حرارتی به عنوان یکی از متداول‌ترین روش‌ها جهت سالم‌سازی و افزایش زمان ماندگاری محصول چشم‌پوشی

کرد (۱۳ و ۲۲). وابستگی دمایی پارامترهای L^* ، a^* ، b^* و TCD را می‌توان با توجه به میزان ثابت سرعت واکنش مقایسه کرد. در این تحقیق میزان تغییرات مولفه‌های مختلف رنگ محصول با افزایش دمای فرایند، افزایش یافت. بالا بودن مقادیر انرژی فعال‌سازی نشان‌دهنده‌ی پایداری بالای مولفه‌های رنگ و TCD نسبت به دمای فراوری مورد استفاده است. قهوه‌ای‌شدن غیرآنزیمی در آب نارنج به میزان اسید اسکوربیک آن بستگی دارد، با مقایسه تغییرات این اندیس نسبت به محتوای این ویتامین می‌توان بیان کرد که هر دو روش مورد استفاده (پردازش تصویر و طیف‌سنجی) در اندازه‌گیری و سنجش این ویژگی کیفی کارآمد می‌باشند اما با توجه به ضریب همبستگی بالای میان دو روش و مزایای ذکر شده، استفاده از روش پردازش تصویر در اندازه‌گیری این اندیس پیشنهاد می‌شود.

منابع

1. Afshari-Jouybari, H. and Farahnaky, A. 2011. Evaluation of Photoshop software potential for food colorimetry. *Food Engineering*. 106: 170-175.
2. Arena, E., Fallico, B. and Maccarone, E. 2000. Influence of carotenoids and pulps on the color modification of blood orange juice. *Food Science*. 65: 458-460.
3. Avila, I.M.L.B., and Silva, C.L.M. 1999. Modelling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree. *Food Engineering*. 39: 161-166.
4. Babsky, N.T., Toribio, J.L., and Lozano, J.E. 1986. Influence of storage on the composition of clarified apple juice concentrate. *Food Science*. 51: 564-567.
5. Burdulu, H.S., Koca, N. and Karadeniz, F. 2006. Degradation of vitamin C in citrus juice concentration during storage. *Food Engineering*. 74: 211-216.
6. Cao, S.Q., Liu, L., and Pan, S.Y. 2011. Thermal degradation kinetics of anthocyanins and visual color of blood orange juice. *Agricultural Sciences in China*, 10: 1992-1997.
7. Clegg, K.M. 1964. Nonenzymic browning of lemon juice. *Food Agriculture*. 15: 878-885.
8. Clegg, K.M. 1966. Citric acid and the browning of solutions containing ascorbic acid. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 17: 546.
9. Chutintrasri, B. and Noomhorm, A. 2007. Color degradation kinetics of pineapple puree during thermal processing. *LWT-Food science and technology*. 40: 300-306.
10. Cohen, E., Birk, Y., Mannheim, C. H. and Saguy, I.S. 1998. A rapid method to monitor quality of apple juice during thermal processing. *LWT-Food science and technology*. 31: 612-6116.
11. Davis, R.B., and Gould, W.A. 1955. The effect of processing methods on the color of tomato juice. *Food Technology*. 9: 540-547.

12. Di Majo, D., Giammanco, M., La Guardia, M., Tripoli, E., Giammanco, S. and Finotti, E. 2005. Flavanones in Citrus fruit: Structure-antioxidant activity relationships. *Food Research International*. 38: 1161-1166.
13. Francis, F.J. and Clydesdale, F.M. 1975. *Food Colorimetry: theory and applications*. AVI Publishing Co. Inc.
14. Gazzani, G., Vagnarelli, P., Cuzzoni, M.T. and Mazza, P.G. 1987. Mutagenic activity of the Maillard reaction products of ribose with different amino acids. *Journal of Food Science*. 52: 757-760.
15. Gonçalves, E. M., Pinheiro, J., Abreu, M., Brandão, T.R.S., and Silva, C.L.M. 2010. Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. *Food Engineering*. 97: 574-581.
16. Hertog, M.G.L., Feskeens, E.J.M., Holmann, C.H., Katan, M.B. and Kromhout, D. 1993. Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: The Zutphen elderly study. *Lancet*. 342: 1007-1011.
17. Jaiswal, A.K., and Abu-Ghannam, N. 2013. Degradation kinetic modelling of color, texture, polyphenols and antioxidant capacity of York cabbage after microwave processing. *Food Research International*. 53: 125-133.
18. Johnson, J.R., Braddock, R.J. and Chen, C.S. 1995. Kinetics of ascorbic acid loss and nonenzymatic browning in orange juice serum: experimental rate constants. *Journal Food Science*. 60: 502-505.
19. Kacem, B., Cornell, J.A., Marshall, M.R., Shiremean, R.B., and Matthews, R. F. 1987. Nonenzymatic browning in aseptically packaged orange drinks: effect of ascorbic acid, amino acids and oxygen. *Journal of Food Science*. 52: 1668.
20. Kashyap, G. and Gautam, M.D. 2012. Analysis of Vitamin C in Commercial and Natural substances by Iodometric Titration found in Nimar and Malwaregeon. *Scientific Research in Pharmacy*. 1: 77-78.
21. Kimball D. A. 1991. *Citrus processing-quality control and technology*, New York: Van Nostrand Reinhold. Pp. 117-243.
22. Lee, H.S., and Coates, G.A. 1999. Thermal pasteurization effects on color of red grapefruit juices. *Journal of Food Science*. 64: 663-666.
23. Lee, H. S., and Coates, G. A. 2003. Effect of thermal pasteurization on Valencia orange juice color and pigments. *LWT-Food Science and Technology*. 36: 153-156.
24. Martins, S.I.F.S., Jongen, W.M.F., and van Boekel, M.A. J.S. 2000. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science and Technology*. 11: 364-373.
25. Meydav, S., Saguy, I., and Kopelman, I. J. 1977. Browning determination in citrus products. *Agricultural and Food Chemistry*. 25: 602-694.
26. O'Beirne, D. 1986. Effect of pH on nonenzymic browning during storage in apple juice concentrate prepared from Bramley's seedling apples. *Journal of Food Science*. 51: 1073.

27. Rattanathanalerk, M., Chiewchan, N., and Srichumpoung, W. 2005. Effect of thermal processing on the quality loss of pineapple juice. *Food Engineering*. 66: 259–265.
28. Rawn, J. D. 1989. *Biochemistry*. Burlington, North Carolina: Neil Patterson Publishers. Pp. 150-151.
29. Rhim, J.W., Nunes, R.V., Jones, V.A. and Swartzel, K.R. 1989. Kinetics of color change of grape juice generated using linearly increasing temperature. *Journal of Food Science*. 54: 776-777.
30. Robertson, G.L. and Samaniego, C.M.L. 1986. Effect of initial dissolved oxygen levels on the degradation of ascorbic acid and the browning of lemon juice during storage. *Journal of Food Science*. 51: 184-187.
31. Roig, M. G., Bello, J. F., Rivera, Z. S., and Kennedy, J. F. 1999. Studies on the occurrence of non-enzymatic browning during storage of citrus juice. *Food Research International*. 32: 609-619.
32. Rouse, A. H., and Atkins, C. D. 1952. Heat inactivation of pectinesterase in citrus juices. *Food Technology*. 6: 291–294.
33. Saguy, I. Andkarel, M. 1987. *Index of deterioration and simulation of quality losses*. In: Kapsalis, J. G. (Ed.). *Objective Methods in Food Quality Assessment*. Boca Raton, FL: CRC. Pp. 233–260.
34. Sensoy I., Zhang, Q. H. and Sastry, S. K. 1997. Inactivation kinetics of Salmonella Dublin by pulsed electric field. *Food Process Engineering*. 20: 367-381.
35. Solomon, O., H. Svanberg and A. Sahlstr m. 1995. Effect of oxygen and fluorescent light on the quality of orange juice during storage at 8 C. *Food Chemistry*. 53: 363-368.
36. Versteeg, C., Rombouts, F. M., Spaansen, C. H. and Pilnik, W. 1980. Thermostability and orange juice cloud destabilizing properties of multiple pectinesterases from orange. *Journal of Food Science*. 45: 969–971.
37. Vikram, V.B., Ramesh, M.N., and Prapulla, S.G. 2005. Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. *Food Engineering*. 69: 31-40.
38. Wong, D.W.S. 1995. *Pectic Enzymes*, in: *Food enzymes: structure and mechanism*, ed. Wong D.W.S., Chapman and Hall. New York. Pp. 212–236.

Investigation of Color Changes in Sour Orange Juice during Thermal Processing

S. Aghajanzadeh Suraki^{1*}, A. Mohammad Ziaifar², M. Kashaninejad³, Y. Maghsoudlou³ and E. Esmailzadeh⁴

¹MSc. Graduate, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Basij Square, Gorgan, Iran

²Associate Professor, Department of Food Process Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

³ Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Basij Square, Gorgan, Iran

⁴Ph.D in Biosystem Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Basij Square, Gorgan, Iran

Received: 2014/04/23; Accepted: 2015/09/29

Abstract

Background and objectives: Sour orange juice is used as a seasoning in preparation of different foods because of its sour taste. Although thermal processing is a common method to improve safety of sour orange juice, it induces the nutritional loss and undesirable compounds formation. Generally, chemical changes in food products influence the product color. By considering the relation between product color and its chemical changes, the objective of this work is to investigate the effect of thermal processing (temperature and time) on the color parameters including the browning index (BI) of sour orange juice.

Materials and methods: In this study, the BI of product was measured using two different methods, the image processing method and the spectral analysis. The color changes were investigated using L^* , a^* and b^* color parameters. In addition, the ascorbic acid content was measured using iodine titration method.

Results: The results showed that the luminance (L^*) of sour orange juice decreased as processing temperature and times increased, while a^* (redness) and b^* (yellowness) increased. An increase in the color intensity during thermal processing was shown by investigating the Chroma index. Total color changes

*Corresponding author; saraaghajanzadeh@yahoo.com

(TCD), as an appropriate index in product color change, increased during processing. The reaction constant rate (k) of TCD increased about 1.66 times as temperature increases, representing the color temperature affinity. The high activation energy (E_a) revealed the high temperature tolerance of components color. Sour orange juice browning was found to be dependent upon the ascorbic acid content. A good correlation was also found between both of the applied methods to investigate the browning index.

Conclusion: By considering the effect of thermal processing on the nutritional content of the sour orange juice, it could be reported that the color intensity of the product changed during thermal processing at different temperature and time; as the temperature increased, the rate of changes of different color parameters raised. Also it was observed that there was a high correlation between BI and ascorbic acid content in sour orange juice. By comparing the changes in BI and that of ascorbic acid content, it could be stated that the both methods (image processing and spectroscopy) were effective in analysis of BI. The image processing method is suggested in BI measurement due to its more simplicity, lower cost and not destructive effects.

Keywords: Sour Orange Juice, Thermal Processing, Color Changes, Image Processing, Spectroscopy

Archive of SID