

مدل‌سازی تبدیل جزء برای تغییرات رنگ سیب در فرآیند هم‌زمان آنزیم‌بری خشک و آب‌زدایی با روش پرتودهی متناوب مادون قرمز

حسن صباغی¹ - امان محمد ضیائی‌فر^{2*} - مهدی کاشانی‌نژاد³

تاریخ دریافت: 1395/11/13

تاریخ پذیرش: 1396/04/06

چکیده

پرتودهی متناوب روش فرآوری نوینی در صنایع غذایی است که طی آن دمای سطحی محصول ثابت نگه داشته می‌شود. در این پژوهش، سینتیک تغییرات رنگ برش‌های سیب با هدف حفظ کیفیت ظاهری طی فرآیند آنزیم‌بری خشک و آب‌زدایی هم‌زمان با پرتودهی متناوب مادون قرمز، بررسی شد. بدین منظور، برش‌های سیب (وارپته زرد لبنانی) در سه ضخامت 5، 9 و 13 میلی‌متر در سه دمای سطحی ثابت محصول 70، 75 و 80°C خشک شدند. پارامترهای روشنایی (L)، قرمزی (a)، زردی (b)، شدت تغییرات رنگ (ΔE)، کروما (C_T) و اندیس قهوه‌ای شدن (BI) با استفاده از مدل تبدیل جزء، طی فرآوری محصول توصیف شدند. مقدار تعادلی شاخص‌های رنگی (C_T) به عنوان شاخصی جهت مقایسه شرایط مختلف فرآوری استفاده گردید. نتایج نشان داد که کنترل دمای سطحی محصول و ضخامت در جلوگیری از تیرگی محصول طی آنزیم‌بری و آب‌زدایی موثر است. در واقع، رنگ مطلوب محصول (روشنایی بیشتر، قرمزی کمتر و زردی بیشتر) با کاهش دما و افزایش ضخامت مشاهده شد. اگرچه ضخامت محصول روی فاکتور زردی تأثیر معکوس و اندکی نشان داد (62/583 و 57/491 به ترتیب برای ضخامت 5 و 13 میلی‌متر در دمای 70°C). شدت تیرگی رنگ وابستگی زیادی به ضخامت محصول داشت. کاهش دمای سطحی موجب کاهش غیرمعنی‌دار اندیس قهوه‌ای شدن گردید (104/761، 108/482 و 162/99 به ترتیب برای دمای 70، 75 و 80°C در ضخامت 5 میلی‌متر). این امر نشان‌دهنده این واقعیت است که عملیات هم‌زمان آنزیم‌بری خشک و آب‌زدایی با دمای سطحی ثابت محصول می‌تواند از وقوع واکنش‌های نامطلوب تیرگی رنگ جلوگیری نماید.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌بری، آب‌زدایی، مادون قرمز، رنگ، مدل تبدیل جزء.

مقدمه

فرآیند آنزیم‌بری⁴ یک عملیات حرارتی ملایم است که به‌عنوان یک پیش‌تیمار برای خشک‌کردن و منجمدکردن سبزیجات و میوه‌ها مورد نیاز است. فرآیند آنزیم‌بری و به دنبال آن آب‌زدایی می‌تواند موجب یکنواختی و پایداری رنگ، حفظ عطر و بهبود طعم در محصول نهایی شود (De corcuera *et al.*, 2004). در مواردی لازم است تا رطوبت محصول بلانچ‌شده به مقدار جزئی خارج شود یا فعالیت آبی آن قبل از فرآوری بعدی کاهش بیابد. برای تولید این محصولات دو مرحله فرآوری متوالی به‌صورت آنزیم‌بری و آب‌زدایی (خشک‌کردن) به‌طور معمول استفاده می‌شود (Pan *et al.*, 2005). کاهش زمان خشک‌کردن بدون تخریب کیفی محصولات خشک‌شده یکی از دغدغه‌های اصلی صنعت غذا است. در روش‌های معمول خشک‌کردن استفاده از دمای بالا امکان‌پذیر نیست، زیرا محصولات غذایی نسبت به حرارت حساس هستند و تغییرات رنگی شدید در آن‌ها رخ می‌دهد. این امر یک محدودیت در نرخ تولید است و هزینه‌های آب‌زدایی را

رنگ مهمترین ویژگی ظاهری مواد غذایی است، زیرا به شدت پذیرش مصرف‌کننده را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Krokida *et al.*, 2001; Xiao *et al.*, 2014). رنگ در محصولات آب‌زدایی‌شده ارتباط نزدیکی با عطر و طعم دارد (Tsami & Katsioti, 2000). در واقع، تحریک عصبی اشتها رابطه مستقیم با واکنش مشاهده‌گر به رنگ دارد (Maskan *et al.*, 2002). مصرف‌کنندگان تمایل زیادی به استفاده از ماده غذایی دارند که ضمن سهولت نگهداری و مصرف، غذایی سالم و ایمن باشد (Velickova *et al.*, 2014). رنگ غیرطبیعی ارتباط نزدیکی به تخریب کیفیت خوراکی یا فساد مواد غذایی دارد (Maskan, 2001).

1، 2 و 3- دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد، گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

*مسئول مکاتبات: (Email: ziaifar@gmail.com)

DOI: 10.22067/ifstrj.v0i0.62293

(روشنی یا عمق رنگ) متغیر بین صفر (رنگ سیاه) تا 100 (رنگ سفید)؛ a (قرمزی یا سبزی رنگ) متغیر بین مقادیر مثبت (قرمزی) و مقادیر منفی (سبزی)؛ و b (زردی یا آبی رنگ) متغیر بین مقادیر مثبت (زردی) و منفی (آبی) است. شاخص‌های رنگ دیگری نیز وجود دارند که از این مقیاس رنگی محاسبه می‌شوند که شامل شدت تغییر رنگ (ΔE)، شاخص اشباع شدگی⁹ یا کروما¹⁰ (C_i) و زاویه رنگ¹¹ (H^*) است (Dadali *et al.*, 2007; Maskan, 2001; Ramallo & Mascheroni, 2012). همچنین، اندیس قهوه‌ای شدن¹² (BI) نیز قابل محاسبه است که نشان‌دهنده خلوص¹³ رنگ قهوه‌ای در فرآیند خشک کردن است (Dadali *et al.*, 2007).

Krokida و همکاران (2001) ضمن بررسی تاثیر روش‌های خشک کردن بر رنگ محصولات مختلف از جمله سیب، گزارش کردند روش‌های مختلف خشک کردن تاثیر متفاوتی در سینتیک تغییر رنگ دارند. Tan و همکاران (2001) تغییرات رنگ آناناس و سیب‌زمینی را طی خشک کردن تحت تاثیر پرتودهی مادون قرمز بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که حرارت‌دهی مادون قرمز موجب افزایش سریع تغییر رنگ می‌گردد. استفاده از پرتودهی متناوب طی خشک کردن با هوای داغ کاهش معنی‌داری در تغییر رنگ نشان نداد اگر چه حداکثر تغییر رنگ با تاخیر بیشتری نسبت به پرتودهی مداوم مشاهده گردید. همچنین، Maskan (2002) سینتیک تغییر رنگ میوه کیوی طی خشک کردن با هوای داغ و مایکروویو را بررسی کرد. نتایج نشان داد که فرآیند خشک کردن هر سه پارامتر رنگی را تغییر می‌دهد که علت این تغییر رنگ بروز واکنش‌های قهوه‌ای شدن در محصول و ایجاد پلیمرهای تیره و ملانوییدین¹⁴ تحت تاثیر افزایش دما است. Dadali و همکاران (2007) نیز سینتیک تغییر رنگ در بامیه¹⁵ را طی خشک کردن با مایکروویو بررسی کردند. Xiao و همکاران (2014) سینتیک تغییرات رنگ جنسینگ¹⁶ آمریکایی را طی خشک کردن با هوای داغ بررسی کردند. Nathakaranakule و همکاران (2010) خشک کردن ترکیبی با امواج دور مادون قرمز را روی میوه چشالو¹⁷ بررسی کردند. نتایج آن‌ها در ارتباط با رنگ نشان داد که میوه خشک شده دارای مقدار بیشتری قرمزی و زردی بوده ولی میزان روشنائی آن نسبت به میوه تازه کمتر است.

افزایش می‌دهد. استفاده از پرتو مادون قرمز به‌عنوان روش موثر جهت کوتاه کردن زمان خشک کردن بیان شده است. منابع مادون قرمز ارزان و بسیار مطمئن هستند، عمر طولانی و زمان پاسخ‌دهی سریع و هزینه نگهداری کمی دارند (Tan *et al.*, 2001). عملیات هم‌زمان آنزیم‌بری خشک مادون قرمز و آب‌زدایی¹ (SIRDBD) در میوه‌ها و سبزیجات با روش پرتودهی متناوب فرآیندی نوین است که طی آن دمای سطحی محصول ثابت نگه داشته می‌شود (Zhu & Pan, 2009; Zhu *et al.*, 2010).

فاکتورهای مختلف موثر روی رنگ محصول شامل ترکیب و ویژگی‌های سطحی ماده غذایی، شرایط فرآیند (دما و زمان) و نوع فرآیندهای پیش‌تیمار می‌باشند. بنابراین، برای طراحی یک فرآیند نوین، مدل‌سازی سینتیک جهت استخراج اطلاعات سینتیک پایه در یک سیستم جهت پیش‌بینی تغییرات اهمیت دارد (Maskan, 2001). در این میان، مدل‌های سینتیک تخریب حرارتی² شرایط حفظ حداکثری فاکتورهای کیفی را برای تولید یک محصول ایمن مشخص می‌نمایند (Dadali *et al.*, 2007). مدل‌های توصیف رنگ به‌صورت توابع مرتبه صفر³، مرتبه اول⁴ و تبدیل جزء⁵ شناخته می‌شوند. مدل تبدیل جزء نشان‌دهنده میزان واکنش مورد نیاز در زمان مشخص جهت تکمیل یک پدیده است. این مدل‌سازی جهت طراحی سیستم‌های کنترل کیفیت برخط در فرآوری حرارتی نیز در صنعت غذا و حفظ کیفیت ظاهری محصول با بهینه‌سازی پارامترهای خشک کردن ضرورت دارد (Xiao *et al.*, 2014).

واکنش‌های تیره شدن رنگ⁶ در برش‌های میوه طی خشک کردن اتفاق می‌افتند و منجر به تغییر رنگ نامطلوب⁷ می‌گردند (Cortes *et al.*, 1999). از تغییرات رنگی نامطلوب می‌توان به واکنش‌های قهوه‌ای شدن میلارد میان اجزای قندی و آمینی یا اکسیداسیون اسید آسکوربیک اشاره کرد. بنابراین مقدار نهایی پارامترهای رنگی می‌تواند به‌عنوان شاخص کیفی جهت ارزیابی افت کیفی طی فرآیند حرارتی به کار رود (Krokida *et al.*, 1998; Dadali *et al.*, 2007). سنجش رنگ به روش غیرمستقیم توسط عکس برداری می‌تواند برای تخمین تغییرات رنگ مواد غذایی استفاده شود، زیرا این کار نسبت به آنالیز شیمیایی ساده‌تر و سریع‌تر است. در این روش از فضاهای توصیف رنگ استفاده می‌شود. پارامترهای رنگی هانتر⁸ شامل سه پارامتر L

9 Saturation index

10 Chroma

11 Hue angle

12 Browning index

13 Purity

14 Melanoidin

15 Okra

16 Ginseng

17 Longan

1 Simultaneous infrared dry-blanching and dehydration

2 Thermal degradation

3 Zero order

4 First order

5 Fractional conversion

6 Darkening process

7 Discoloration

8 Hunter

از ترموکوپل² نوع K و سیستم کنترل کننده الکترونیکی (PLC) کنترل می‌گردد. جهت انجام آزمایش، عملیات پرتودهی متناوب در سه دمای سطحی ثابت محصول برابر با 70، 75، 80 درجه سانتی‌گراد به ترتیب حدوداً به مدت 300، 420 و 240 دقیقه برای ضخامت‌های مختلف تا خروج کامل محتوی رطوبت از برش‌ها و دستیابی به وزن ثابت انجام شد.

عکس‌برداری و آنالیز تصویر

از برش‌های سیب طی فرآوری با فاصله زمانی 15 دقیقه عکس برداری انجام شد. به منظور عکس‌برداری از یک اسکنر مسطح (HP Scanjet G2710) ساخت ایالات متحده آمریکا مطابق با روش Romani و همکاران (2009) استفاده گردید. نمونه‌های تحت تیمار روی اسکنر قرار گرفته و سپس از یک جعبه سیاه جهت ممانعت از دخالت نورهای محیطی و بازتابش نور استفاده شد. تصاویر با کیفیت 300 dpi و فرمت TIFF-24 bit تهیه شد. تجزیه و تحلیل رنگ در تصاویر بدست آمده، در فضای رنگی *L*a*b* با استفاده از پلاگین تبدیل فضای رنگ³ توسط نرم‌افزار ImageJ نسخه 1.6.0 انجام شد.

شدت تغییر رنگ و کروما

شدت تغییر رنگ (ΔE) مطابق روش Dadalı و همکاران (2007) براساس رابطه (1) محاسبه شد. در این معادله، اندیس i مربوط به پارامترهای رنگی اولیه *L*a*b* محصول در زمان صفر و اندیس t مربوط به پارامترهای رنگی نمونه خشک شده در زمان t می‌باشد. مطابق روش Wojdyło و همکاران (2009) از مولفه‌های رنگی a (قرمزی) و b (زردی) که تعیین کننده وجود رنگدانه در محصول هستند؛ می‌توان شاخص کروما (C_r) را مطابق رابطه (2) محاسبه نمود.

$$\Delta E = \sqrt{(L_i - L_t)^2 + (a_i - a_t)^2 + (b_i - b_t)^2} \quad (1)$$

$$C_r = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2)$$

اندیس قهوه‌ای شدن

اندیس قهوه‌ای شدن (BI) مطابق روش Maskan (2001) از رابطه (3) حساب شد. متغیر x در این معادله از رابطه (4) حساب می‌گردد.

$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{0.17} \quad (3)$$

$$x = \frac{(a + 1.75L)}{(5.645L + a - 3.012b)}$$

2 Thermocouple

3 Color space convertor

در این پژوهش به مطالعه رفتار تغییر رنگ برش‌های سیب طی آنزیم‌بری خشک و آیزدایی همزمان با روش پرتودهی در دمای سطحی ثابت پرداخته شد. برای توصیف رفتار تغییر رنگ از مدل تبدیل جزء استفاده شد. با توجه به انجام عملیات آنزیم‌بری خشک، مطالعه سینتیک تغییرات رنگ تحت تاثیر دمای سطحی محصول و ضخامت آن می‌تواند در کنترل واکنش‌های تیرگی رنگ موثر باشد. بدین منظور لازم است پراکنش شیمیایی و آنزیمی وارسته مورد مطالعه در تمامی بخش‌ها ثابت فرض گردد.

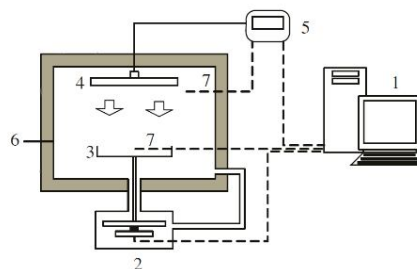
مواد و روش‌ها

آماده‌سازی برش‌های سیب

سیب وارسته زرد لبنانی¹ از بازار محلی در استان گلستان تهیه گردید و مطابق روش Acevedo و همکاران (2008) در دمای 0 ± 1 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 95-90 درصد نگهداری شد. نمونه‌ها پس از پوست‌گیری در سه اندازه به صورت برش‌هایی با ضخامت 5، 9 و 13 میلی‌متر و با قطر 20 میلی‌متر آماده شدند. میانگین محتوی رطوبت سیب توسط آون (Binder FD53) با دمای 103°C به مدت 24 ساعت اندازه‌گیری شد که برابر با 84 ± 1 درصد بر مبنای وزن مرطوب بود (AOAC, 2000).

عملیات پرتودهی متناوب مادون قرمز

برش‌های سیب بلافاصله پس از شستشو وارد عملیات همزمان آنزیم‌بری و خشک کردن مادون قرمز شدند. شکل (1) اجزای دستگاه خشک کن اتوماتیک ساخته شده توسط محققین پژوهش حاضر را مشابه با تجهیزات Liu و همکاران (2014) نشان می‌دهد.



شکل 1- سیستم خشک‌کن مادون قرمز و لوازم آن، (1) کامپیوتر (2) ترازو (3) سینی نمونه (4) تابش کننده سرامیکی مادون قرمز با توان 1000 وات (5) کنترل کننده الکترونیکی (PLC) (6) محفظه خشک‌کن (7) ترموکوپل‌ها

دمای سطحی نمونه در محفظه خشک‌کن به طور مداوم با استفاده

1 Golden delicious

(4)

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری اثر ضخامت و دما روی مقدار تعادلی شاخص‌های رنگی (C_f) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با در نظرگیری دما به‌عنوان بلوک و ضخامت به‌عنوان تیمار در نرم‌افزار SPSS نسخه 19 انجام شد. در صورت وجود اختلاف معنی‌دار، مقایسه میانگین به‌صورت آزمون دانکن با سطح اطمینان 95 درصد ($P < 0/05$) انجام گرفت.

نتایج و بحث

تغییرات پارامتر روشنایی (L)

شکل 2 برازش مدل سینتیکی روی تغییرات روشنایی محصول را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است روشنایی محصول طی فرآوردی به‌خصوص در زمان‌های ابتدایی فرآیند کاهش یافت. اطلاعات برازش مدل تبدیل جزء در جدول 1 به‌همراه مقایسه آماری میزان تعادلی این پارامتر (C_f) بیان شده است. جدول 2 نشان‌دهنده جدول آنالیز واریانس برای مقایسه دماها و ضخامت‌های مختلف از نظر روشنایی است. با افزایش دما و کاهش ضخامت روشنایی محصول به‌طور نسبتاً معنی‌داری کاهش یافت. در همین راستا، Maskan (2002) گزارش کرد، پارامترهای رنگی در ابتدای فرآیند خشک کردن سریع‌تر تغییر کردند. این رفتار احتمالاً ناشی از حضور واکنش‌های حساس به حرارت در فاز اول است که موجب تخریب رنگدانه‌های طبیعی ناپایدار نسبت به حرارت و تشکیل ترکیبات تیره کاهش‌دهنده روشنایی (واکنش مایلارد) می‌شود. همچنین Tan و همکاران (2001) بیان کردند که با افزایش حرارت دهی میزان پارامتر L با تولید ترکیبات تیره رنگ کاهش خواهد یافت. تشکیل این ترکیبات با افزایش دما و کاهش ضخامت به دلیل افزایش شدت حرارت دهی بیشتر خواهد بود. اگرچه Krokida و همکاران (2001) بیان کردند تغییرات روشنایی سیب طی خشک کردن با روش‌های مختلف واضح نیست و نسبتاً ثابت است.

تغییرات پارامتر قرمزی (a)

افزایش پارامتر قرمزی طی زمان فرآیند (شکل 3)، و همچنین با افزایش دما و کاهش ضخامت مشاهده شد ولی اختلاف بین ضخامت‌های مختلف از این نظر معنی‌دار نبود (جدول 3 و جدول 4). در همین راستا، Krokida و همکاران (2001) گزارش کردند که قرمزی سیب به‌طور معنی‌داری طی خشک کردن افزایش می‌یابد. Xiao و همکاران (2014) بیان کردند که پارامتر a در انتهای فرآیند نسبت به میانه فرآیند به آرامی تغییر می‌کند. Tan و همکاران (2001) علت افزایش پارامتر قرمزی را وقوع قهوه‌ای شدن در سطوح حرارتی بالا دانستند، که در اینجا در ضخامت 5 میلی‌متر و دمای 80 درجه سانتی‌گراد قابل مشاهده است.

مدل‌سازی تبدیل جزء

از مدل سینتیکی تبدیل جزء (رابطه 5) برای بیان سینتیک تغییرات شاخص‌های رنگ براساس روش Xiao و همکاران (2014) استفاده شد. در این معادله، C نشان‌دهنده میزان شاخص رنگی، C_0 مقدار اولیه شاخص رنگی، C_f مقدار تعادلی شاخص رنگی در نمونه خشک شده (مقدار شاخص رنگی در زمان بی‌نهایت) و t زمان فرآیند است. k ثابت نرخ تغییر رنگ برحسب (s^{-1}) است. مدل تبدیل جزء را می‌توان به‌صورت رابطه (6) ساده‌سازی کرد تا پارامترهای مدل به سادگی قابل پیش‌بینی باشند.

$$\frac{C - C_f}{C_0 - C_f} = \exp(\pm kt) \quad (5)$$

$$C = C_0 + a.(1 - \exp(-kt)), \quad C_f = C_0 + a \quad (6)$$

برازش

برازش مدل تبدیل جزء با استفاده از جعبه ابزار برازش منحنی در نرم افزار متلب نسخه 2009 و با سطح اطمینان 95 درصد ($P < 0/05$) انجام شد. جهت ارزیابی و مقایسه مدل‌ها، مطابق Krokida و همکاران (1998) از ضریب همبستگی تصحیح شده ($Adj.R^2$) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به‌ترتیب مطابق رابطه (7) و رابطه (8) استفاده شد. در این روابط، o و P به‌ترتیب مقدار مشاهده شده و مقدار پیش‌بینی شده است. n تعداد مشاهده و p تعداد پارامترهای مدل می‌باشد.

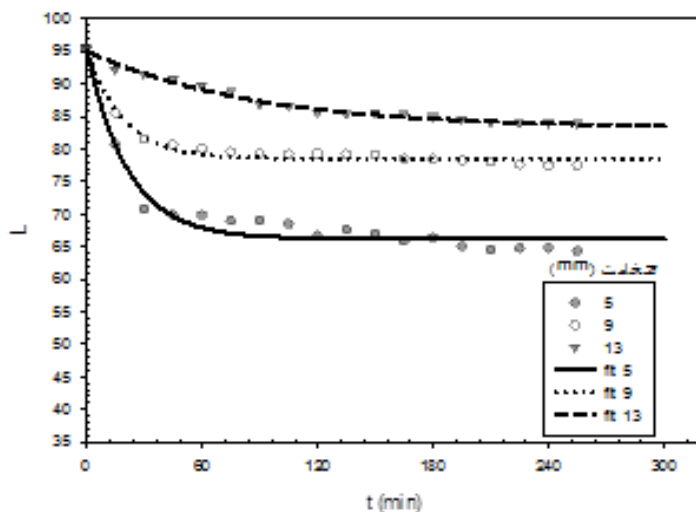
$$Adj.R^2 = R^2 - \frac{p-1}{n-p}(1-R^2) \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{(o-P)^2}{n-p}} \quad (8)$$

ارتباط قهوه‌ای شدن با ضخامت محصول و دمای فرآیند

ارتباط اندیس قهوه‌ای شدن (BI) با دمای فرآیند در ضخامت‌های مختلف محصول مشابه روش Xiao و همکاران (2014) با استفاده از شکل خطی معادله آرنیوس مطابق رابطه (9) بررسی شد. $\ln BI_0$ نشان‌دهنده عرض از مبدا، E_a نشان‌دهنده انرژی فعال‌سازی بر حسب $J.mol^{-1}$ و R ثابت جهانی گازها برابر با $8/309 J.mol^{-1}.K^{-1}$ می‌باشد. T دمای مطلق برحسب کلونین است.

$$\ln BI = \ln BI_0 - \frac{E_a}{RT} \quad (9)$$



شکل 2- برازش مدل تبدیل جزء روی تغییرات روشنائی برش‌های سیب در ضخامت‌های مختلف (دمای 80°C)

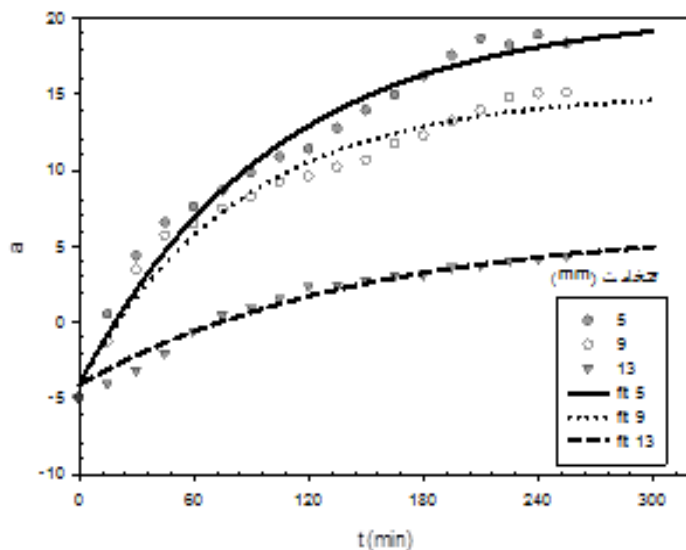
جدول 1- اطلاعات برازش مدل تبدیل جزء روی داده‌های روشنائی (L) در دما و ضخامت مختلف برش سیب

RMSE	Adj.R ²	پارامتر مدل			دما (°C)	ضخامت (mm)
		C _F	k	a		
0/393	0/994	81/466 ^{Ab}	0/003	-15/001	70	5
0/296	0/981	80/812 ^{ABb}	0/006	-15/159	75	
0/356	0/960	66/235 ^{Bb}	0/048	-28/818	80	
0/482	0/983	85/186 ^{Aab}	0/003	-10/281	70	9
0/465	0/979	84/472 ^{ABab}	0/007	-11/499	75	
0/348	0/977	78/483 ^{Bab}	0/053	-16/563	80	
0/577	0/977	86/836 ^{Aa}	0/003	-8/631	70	13
0/539	0/966	84/722 ^{ABa}	0/004	-11/249	75	
0/546	0/984	83/189 ^{Ba}	0/012	-11/857	80	

*حروف لاتین بزرگ مقایسه بین دماهای آزمون و حروف لاتین کوچک مقایسه بین ضخامت برش‌ها است.
* حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است ($P < 0/05$).

جدول 2- جدول ANOVA برای مقایسه تاثیر دما و ضخامت روی پارامتر روشنائی برش‌های سیب ($P < 0/05$)

معنی داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	
0/0000	887/772	11938/209	5	59691/047	مدل
0/031	4/615	62/062	2	124/124	ضخامت (تیمار)
0/047	4/771	64/160	2	128/320	دما (بلوک)
		13/447	4	53/790	خطا
			9	59744/836	کل



شکل 3- برازش مدل تبدیل جزء روی تغییرات قرمزی برش‌های سیب در ضخامت‌های مختلف (دمای 80°C)

جدول 3- اطلاعات برازش مدل تبدیل جزء روی داده‌های قرمزی (a) در دما و ضخامت مختلف برش سیب

RMSE	Adj.R ²	پارامتر مدل			دما (°C)	ضخامت (mm)
		C _f	k	a		
0/523	0/945	5/386 ^{Ba}	0/007	9/764	70	5
0/407	0/968	7/840 ^{ABa}	0/019	12/712	75	
0/714	0/974	20/411 ^{Aa}	0/010	24/502	80	
0/422	0/978	2/914 ^{Ba}	0/008	6/992	70	9
0/402	0/968	5/173 ^{ABa}	0/020	10/045	75	
0/591	0/970	15/161 ^{Aa}	0/012	19/252	80	
0/669	0/977	2/214 ^{Ba}	0/003	5/805	70	13
0/539	0/971	5/813 ^{ABa}	0/003	9/791	75	
0/633	0/971	6/289 ^{Aa}	0/007	10/380	80	

*حروف لاتین بزرگ مقایسه بین دماهای آزمون و حروف لاتین کوچک مقایسه بین ضخامت برش‌ها است.
* حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است ($P < 0/05$).

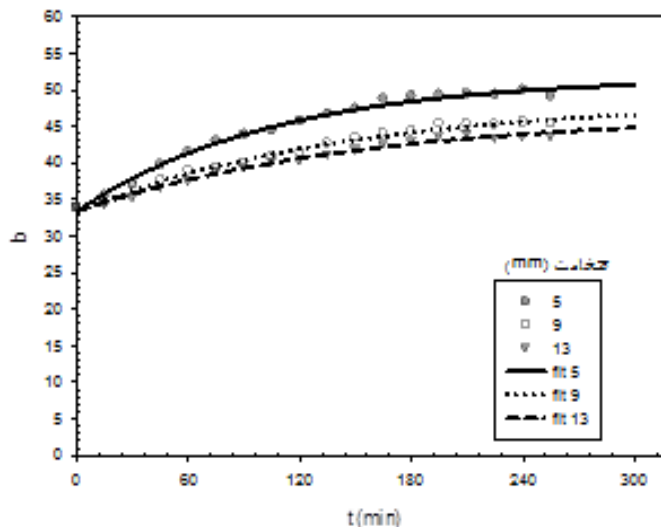
جدول 4- جدول ANOVA برای مقایسه تاثیر دما و ضخامت روی پارامتر قرمزی برش‌های سیب ($P < 0/05$)

معنی داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	
0/014	13/085	160/287	5	801/437	مدل
0/194	2/544	31/167	2	62/335	ضخامت (تیمار)
0/048	7/176	87/907	2	175/815	دما (بلوک)
		12/250	4	48/998	خطا
			9	850/435	کل

محصول در دماها و ضخامت‌های مختلف نشان می‌دهد.

تغییرات پارامتر زردی (b)

شکل 4 و جدول 5 برازش مدل تبدیل جزء را روی تغییرات زردی



شکل 4- برازش مدل تبدیل جزء روی تغییرات زردی برش‌های سیب در ضخامت‌های مختلف (دمای 80°C)

گرما، دسترسی به اکسیژن و حضور آنتی‌اکسیدان‌ها بستگی دارد. حفظ شاخص زردی در ضخامت کم (خروج سریع رطوبت و کاهش زمان کلی حرارت‌دهی) و دمای پایین (انرژی دریافتی کمتر) می‌تواند ناشی کاهش واکنش‌های تخریبی رنگدانه‌های طبیعی عامل رنگ سیب (کارتنوئید) باشد.

زردی طی زمان به آرامی افزایش یافت و میزان آن با کاهش دما و کاهش ضخامت به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (جدول 6). نتایج زردی با گزارش بسیاری از محققین سازگاری دارد (Krokida *et al.*, 2001؛ 2001؛ Nathakaranakule *et al.*, 2010؛ Xiao *et al.*, 2014). Ergünes و Tarhan (2006) بیان کردند، تخریب رنگدانه‌های طبیعی مانند کارتنوئیدها در میوه‌ها به میزان انرژی دریافتی به شکل نور یا

جدول 5- اطلاعات برازش مدل تبدیل جزء روی داده‌های زردی (b) در دما و ضخامت مختلف برش سیب

RMSE	Adj.R ²	پارامتر مدل			دما (°C)	ضخامت (mm)
		C _f	k	a		
0/726	0/987	62/583 ^{Aa}	0/005	30/208	70	5
0/529	0/986	54/543 ^{Ba}	0/012	21/182	75	
0/821	0/991	51/819 ^{Ca}	0/009	18/413	80	
0/682	0/989	57/618 ^{Ab}	0/005	25/243	70	9
0/456	0/986	49/332 ^{Bb}	0/016	15/971	75	
0/739	0/988	48/490 ^{Cb}	0/007	15/084	80	
0/613	0/979	57/491 ^{Ab}	0/003	25/116	70	13
0/544	0/988	48/558 ^{Bb}	0/011	15/197	75	
0/875	0/988	46/750 ^{Cb}	0/006	13/344	80	

*حروف لاتین بزرگ مقایسه بین دماهای آزمون و حروف لاتین کوچک مقایسه بین ضخامت برش‌ها است.
* حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است (P<0/05).

جدول 6- جدول ANOVA برای مقایسه تاثیر دما و ضخامت روی پارامتر زردی برش‌های سیب ($P < 0/05$)

معنی داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	
0/000	15485/729	5105/776	5	25528/878	مدل
0/001	75/834	25/003	2	50/006	ضخامت (تیمار)
0/000	270/488	89/182	2	178/364	دما (بلوک)
		0/330	4	1/319	خطا
			9	25530/197	کل

شدت تغییرات رنگ (ΔE)

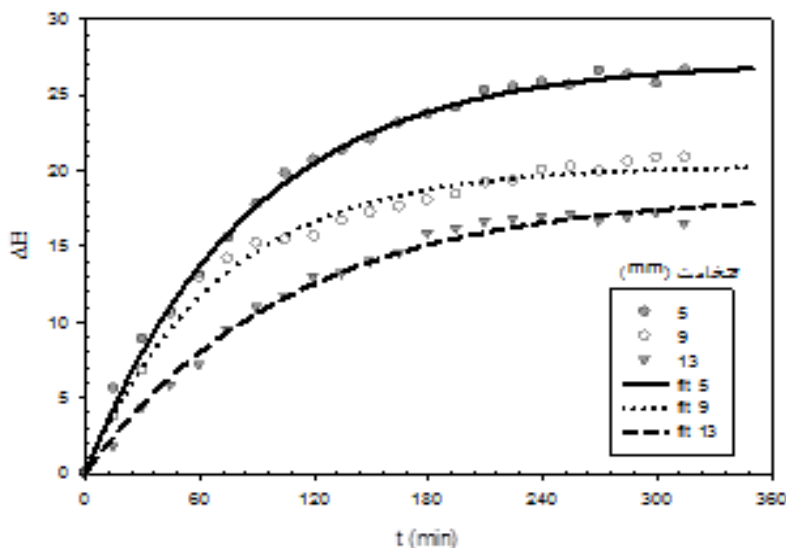
شدت تغییرات رنگ طی زمان افزایش یافت. این پارامتر در ابتدای فرآیند بیشتر بود و تغییرات آن به تدریج طی زمان کمتر شد (شکل 5).

شدت تغییرات رنگ در بیشترین دما و همچنین کمترین ضخامت به دلیل وقوع تغییرات شدید در پارامترهای رنگی با توجه به خروج شدید رطوبت و قهوه‌ای شدن به طور معنی‌داری بیشتر بود (جدول 8 و جدول 9). در همین راستا، Tan و همکاران (2001) گزارش کردند که تحت تاثیر خشک کردن فیبرهای سطحی محصول در ابتدای فرآیند، موجب افزایش تغییر رنگ کلی و ایجاد شرایط تولید رنگدانه خواهند شد. Sturm و همکاران (2014) گزارش کردند که فرآیند خشک کردن اثر معنی‌داری روی توسعه رنگ دارد و کنترل دمای محصول موجب تغییرات رنگ کمتر می‌گردد.

کروما (C_r)

شاخص کروما طی زمان فرآیند افزایش یافت (شکل 6). کروما در محصول با افزایش ضخامت و افزایش دما به طور معنی‌داری به دلیل کاهش میزان پارامتر زردی همواره کاسته شد (جدول 10 و جدول 11).

Dadali و همکاران (2007) بیان کردند میزان کروما تحت تاثیر پارامتر زردی است. این نتایج نشان می‌دهد که میزان رنگدانه در محصول تا حد زیادی تحت تاثیر خصوصیات فیزیکی محصول شرایط دمایی فرآیند خواهد بود. با این وجود با توجه به رفتار متفاوت پارامترهای قرمزی و زردی در دماهای مختلف آزمون، مقادیر کروما به هم نزدیک بود.



شکل 5- برآزش مدل تبدیل جزء روی شدت تغییرات رنگ برش‌های سیب در ضخامت‌های مختلف (دمای 75°C)

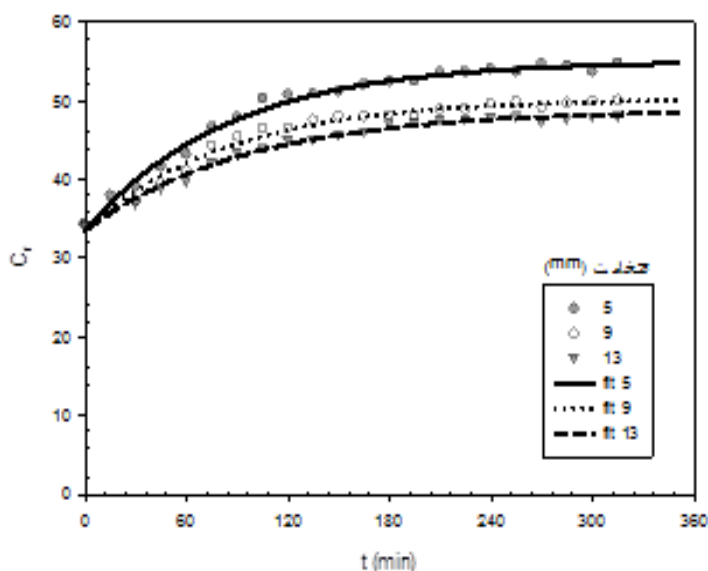
جدول 8- اطلاعات برازش مدل تبدیل جزء روی شدت تغییر رنگ (ΔE) در دما و ضخامت مختلف برش سبب

RMSE	Adj.R ²	پارامتر مدل			دما (°C)	ضخامت (mm)
		C _f	k	a		
0/669	0/994	26/793 ^{Ba}	0/005	26/793	70	5
0/648	0/996	27/209 ^{Ba}	0/012	27/209	75	
0/486	0/941	39/599 ^{Aa}	0/024	39/599	80	
0/576	0/993	20/195 ^{Bb}	0/005	20/195	70	9
0/550	0/987	21/272 ^{Bb}	0/014	21/272	75	
0/521	0/940	27/445 ^{Ab}	0/019	27/445	80	
0/645	0/977	17/458 ^{Bb}	0/003	17/458	70	13
0/728	0/991	17/449 ^{Bb}	0/009	17/449	75	
0/538	0/987	20/961 ^{Ab}	0/008	20/961	80	

*حروف لاتین بزرگ مقایسه بین دماهای آزمون و حروف لاتین کوچک مقایسه بین ضخامت برش‌ها است.
*حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است ($P < 0/05$).

جدول 9- جدول ANOVA برای مقایسه تاثیر دما و ضخامت روی شدت تغییرات رنگ برش‌های سبب ($P < 0/05$)

معنی داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	
0/000	158/069	1131/961	5	5659/807	مدل
0/011	17/094	122/415	2	244/830	ضخامت (تیمار)
0/039	8/103	58/030	2	116/059	دما (بلوک)
		7/161	4	28/645	خطا
			9	5688/452	کل



شکل 6- برازش مدل تبدیل جزء روی کروما برش‌های سبب در ضخامت‌های مختلف (دمای 75°C)

جدول 10 - اطلاعات برازش مدل تبدیل جزء روی داده‌های کروما (Cr) در دما و ضخامت مختلف برش سبب

RMSE	Adj.R ²	پارامتر مدل			دما (°C)	ضخامت (mm)
		C _f	k	a		
0/705	0/984	56/23 ^{Aa}	0/004	25/041	70	5
0/785	0/989	55/107 ^{Ba}	0/012	21/575	75	
0/735	0/992	53/629 ^{Ca}	0/007	20/959	80	
0/615	0/987	53/83 ^{Ab}	0/004	20/641	70	9
0/624	0/984	51/629 ^{Bb}	0/016	17/440	75	
0/721	0/990	50/582 ^{Cb}	0/008	16/912	80	
0/645	0/977	51/361 ^{Ac}	0/003	18/172	70	13
0/564	0/987	48/485 ^{Bc}	0/012	15/296	75	
0/734	0/987	46/526 ^{Cc}	0/007	12/856	80	

*حروف لاتین بزرگ مقایسه بین دماهای آزمون و حروف لاتین کوچک مقایسه بین ضخامت برش‌ها است.
* حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است ($P < 0/05$).

جدول 11 - جدول ANOVA برای مقایسه تاثیر دما و ضخامت روی کروما برش‌های سبب ($P < 0/05$)

معنی داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	
0/000	12641/611	4869/660	5	24348/301	مدل
0/001	74/834	28/827	2	57/654	ضخامت (تیمار)
0/006	24/906	9/594	2	19/188	دما (بلوک)
		0/385	4	1/541	خطا
			9	24349/841	کل

ناشی از تخریب رنگدانه، قهوه‌ای شدن اسید آسکوربیک و قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی مایلارد نیز است که با کنترل دمای سطحی یکنواخت تا حد زیادی طی خروج رطوبت می‌توان از شدت تغییر رنگ محصول جلوگیری کرد.

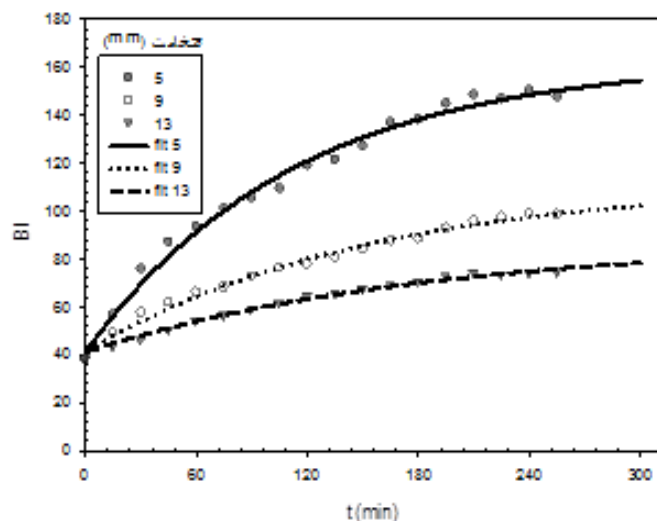
وابستگی قهوه‌ای شدن برش‌های سبب به ضخامت محصول و دمای فرآیند

شکل 8 نحوه محاسبه انرژی فعال‌سازی در ضخامت‌های مختلف برش‌های سبب را نشان می‌دهد. محاسبات انجام شده در جدول 14 نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است با افزایش ضخامت انرژی فعال‌سازی برای اندیس قهوه‌ای شدن کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده این است که قهوه‌ای شدن در ضخامت بالا، به دلیل افزایش سطح رطوبت، کمتر تحت تاثیر دمای فرآیند قرار می‌گیرد. Nathakaranakule و همکاران (2010) گزارش کردند، ترکیب مادون قرمز با سایر روش‌های خشک کردن منجر به افزایش قرمزی و روشنایی کمتر در دمای بالا گردید. این نتایج به این علت است که دماهای بالا و ضخامت کم موجب واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی سریع‌تری می‌گردد.

اندیس قهوه‌ای شدن (BI)

اندیس قهوه‌ای شدن طی زمان فرآیند به تدریج افزایش یافت (شکل 7).

میان دماهای مختلف مورد آزمون از نظر اندیس قهوه‌ای شدن اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد در حالی که تاثیر ضخامت محصول بر اندیس قهوه‌ای شدن معنی‌دار بود (جدول 12 و 13). مطابق جدول 12 به‌طور کلی، با کاهش ضخامت و افزایش دما اندیس قهوه‌ای شدن به دلیل افزایش تولید رنگدانه تیره زیاد شد اما اختلاف میان دماهای مورد آزمون از این نظر معنی‌دار نبود. همچنین با افزایش ضخامت برش‌ها نیز شدت تغییرات اندیس قهوه‌ای شدن وابستگی کمتری به دما نشان داد. Krokida و همکاران (2001) بیان کردند که در بافت‌های گیاهی قهوه‌ای شدن و تغییر رنگ طی فرآوری حرارتی به دلیل وقوع واکنش‌ها در داخل ماده غذایی رخ می‌دهد. این واکنش‌ها می‌توانند تخریب برخی از رنگدانه‌ها مانند کارتنوئید و کلروفیل باشند و یا منجر به تولید رنگدانه تیره یا تغییر رنگ نامطلوب شوند. Zhu و همکاران (2010) گزارش کردند که ضخامت برش اثر معنی‌داری روی خصوصیات کیفی آن دارد و در فرآیند پرتودهی متناوب تغییر رنگ نامطلوب سطحی شدید مشاهده نشد. Tan و همکاران (2001) بیان کردند توسعه رنگ نامطلوب و کاهش روشنایی طی خشک کردن



شکل 7- برازش مدل تبدیل جزء روی اندیس قهوه‌ای شدن برش سبب در ضخامت‌های مختلف (دمای 80°C)

جدول 12- اطلاعات برازش مدل تبدیل جزء روی داده‌های اندیس قهوه‌ای شدن در دما و ضخامت مختلف برش سبب

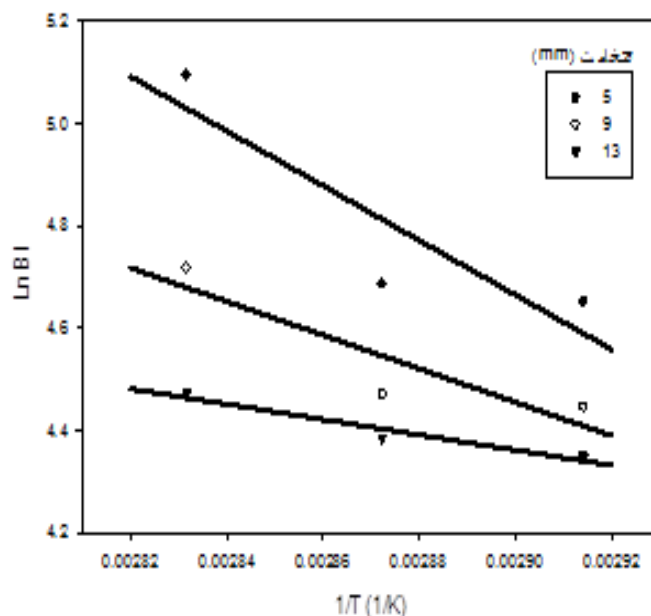
RMSE	Adj.R ²	پارامتر مدل			دما (°C)	ضخامت (mm)
		C _f	k	a		
0/764	0/993	104/761 ^{Aa}	0/003	66/907	70	5
0/757	0/994	108/482 ^{Aa}	0/009	70/768	75	
0/452	0/989	162/99 ^{Aa}	0/009	121/971	80	
0/559	0/991	85/267 ^{Aab}	0/003	47/553	70	9
0/512	0/988	87/298 ^{Aab}	0/011	49/495	75	
0/455	0/989	111/931 ^{Aab}	0/007	70/903	80	
0/645	0/975	77/375 ^{Ab}	0/002	39/572	70	13
0/653	0/988	80/244 ^{Ab}	0/008	42/530	75	
0/586	0/990	87/555 ^{Ab}	0/005	46/527	80	

*حروف لاتین بزرگ مقایسه بین دماهای آزمون و حروف لاتین کوچک مقایسه بین ضخامت برش‌ها است.

*حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است ($P < 0/05$).

جدول 13- جدول ANOVA برای مقایسه تاثیر دما و ضخامت روی اندیس قهوه‌ای شدن برش‌های سبب ($P < 0/05$)

معنی داری (sig.)	F	میانگین مربعات (MS)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	
0/000	98/625	19205/677	5	96028/385	مدل
0/042	7/734	1506/152	2	3012/304	ضخامت (تیمار)
0/088	4/735	922/045	2	1844/089	دما (بلوک)
		194/735	4	778/938	خطا
			9	96807/323	کل



شکل 8- لگاریتم طبیعی اندیس قهوه‌ای شدن در برابر عکس دما (کلوین) در ضخامت‌های مختلف برش سیب

جدول 14- اطلاعات برازش رابطه آرنیوس در ضخامت‌های مختلف برش سیب

ضخامت (mm)	$\ln(BI_0)$	$E_a(J.mol^{-1})$	$Adj.R^2$	RMSE
5	20/135	44323/28	0/603	0/155
9	13/979	27287/27	0/616	0/093
13	8/696	12420/46	0/886	0/021

مادون قرمز جهت کاهش تغییرات رنگ نامطلوب تا حد زیادی تابع ضخامت سیب بود و دماهای سطحی پایین نیز حین فرآوری موجب زردی بیشتر و کاهش تیرگی برش سیب گردید. می‌توان گفت در صورت فرآوری برش‌هایی با ضخامت کم، استفاده از دماهای پایین در حفظ مطلوبیت رنگ اهمیت زیادی دارد.

نتیجه‌گیری

شرایط محصول و فرآیند در تغییرات رنگ برش‌های میوه طی پرتودهی مادون قرمز موثر است. در پژوهش حاضر ضخامت محصول روی سینتیک تغییر رنگ تأثیر بیشتری نسبت به دماهای مورد آزمون نشان داد. کاربرد مدل تبدیل جزء به گونه‌ای مطلوب توانست تغییرات رنگ را توصیف نماید. استفاده از فرآیند آنزیم‌بری خشک و آب‌زدایی

منابع

- Acevedo, N. C., Briones, V., Buera, P., & Aguilera, J. M. (2008). Microstructure affects the rate of chemical, physical and color changes during storage of dried apple discs. *Journal of Food Engineering*, 85(2), 222-231.
- AOAC. (2000). Official methods of analysis. 17th ed., Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, Unites States.
- Cortes, H., Pardo, V., & Garcia, M. (1999). Color parameter changes in banana slices during osmotic dehydration. *Drying Technology*, 17(4-5), 955-960.

- Dadali, G., Kılıç Apar, D., & Özbek, B. (2007). Color change kinetics of okra undergoing microwave drying. *Drying Technology*, 25(5), 925-936.
- De Corcuera, J. I. R., Cavalieri, R. P., & Powers, J. R. (2004). Blanching of foods Encyclopedia of agricultural, food, and biological engineering (pp. 1-5): *Marcel Dekker*, Inc New York.
- Ergüneş, G., & Tarhan, S. (2006). Color retention of red peppers by chemical pretreatments during greenhouse and open sun drying. *Journal of Food Engineering*, 76(3), 446-452.
- Krokida, M., Tsami, E., & Maroulis, Z. (1998). Kinetics on color changes during drying of some fruits and vegetables. *Drying Technology*, 16(3-5), 667-685.
- Krokida, M. K., Maroulis, Z. B., & Saravacos, G. D. (2001). The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. *International journal of food science & technology*, 36(1), 53-59.
- Liu, Y., Zhu, W., Luo, L., Li, X., & Yu, H. (2014). A mathematical model for vacuum far-infrared drying of potato slices. *Drying Technology*, 32(2), 180-189.
- 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(1), 75-80.
- Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 169-175.
- Nathakaranakule, A., Jaiboon, P., & Soponronnarit, S. (2010). Far-infrared radiation assisted drying of longan fruit. *Journal of Food Engineering*, 100(4), 662-668.
- Pan, Z., Olson, D. A., Amaratunga, K., Olsen, C. W., Zhu, Y., & McHugh, T. H. (2005). Feasibility of using infrared heating for blanching and dehydration of fruits and vegetables. Paper presented at the 2005 ASAE Annual Meeting.
- Ramallo, L., & Mascheroni, R. (2012). Quality evaluation of pineapple fruit during drying process. *Food and Bioproducts Processing*, 90(2), 275-283.
- Romani, S., Rocculi, P., Mendoza, F., & Dalla Rosa, M. (2009). Image characterization of potato chip appearance during frying. *Journal of Food Engineering*, 93(4), 487-494.
- Sturm, B., Vega, A.-M. N., & Hofacker, W. C. (2014). Influence of process control strategies on drying kinetics, colour and shrinkage of air dried apples. *Applied Thermal Engineering*, 62(2), 455-460.
- Tan, M., Chua, K., Mujumdar, A., & Chou, S. (2001). Effect of osmotic pre-treatment and infrared radiation on drying rate and color changes during drying of potato and pineapple. *Drying Technology*, 19(9), 2193-2207.
- Tsami, E., & Katsioti, M. (2000). Drying kinetics for some fruits: Predicting of porosity and color during dehydration. *Drying Technology*, 18(7), 1559-1581.
- Velickova, E., Winkelhausen, E., & Kuzmanova, S. (2014). Physical and sensory properties of ready to eat apple chips produced by osmo-convective drying. *Journal of food science and technology*, 51(12), 3691-3701.
- Wojdyło, A., Figiel, A., & Oszmiański, J. (2009). Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(4), 1337-1343.
- Xiao, H.-W., Law, C.-L., Sun, D.-W., & Gao, Z.-J. (2014). Color change kinetics of American ginseng (*Panax quinquefolium*) slices during air impingement drying. *Drying Technology*, 32(4), 418-427.
- Zhu, Y., & Pan, Z. (2009). Processing and quality characteristics of apple slices under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with continuous heating. *Journal of Food Engineering*, 90(4), 441-452. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.015>
- Zhu, Y., Pan, Z., McHugh, T. H., & Barrett, D. M. (2010). Processing and quality characteristics of apple slices processed under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with intermittent heating. *Journal of Food Engineering*, 97(1), 8-16.

Fractional conversion modeling of color changes in apple during simultaneous dry-blanching and dehydration process using intermittent infrared irradiation

H. Sabbaghi¹, A. Mohammad Ziaifar^{2*}, M. Kashaninejad³

Received: 2017.02.01

Accepted: 2017.06.27

Introduction: Color is the most important feature of food appearance, since it strongly affects consumer acceptance. The abnormal color is closely related to degradation of food quality or food spoilage. Various factors affecting color of the product include the composition and surface properties of the foodstuff, process conditions (temperature and time), and the type of pretreatment processes. Therefore, for the design of a new process, kinetic modeling is essential for extracting basic kinetic information in a system to predict changes. Intermittent irradiation is the novel processing method in food industry which the surface temperature of product is kept constant. Darkening process occur in the fruit slices during drying, resulting in undesirable color changes. Undesirable color variations can be attributed to Millard's browning reactions between sugar and amine compounds or ascorbic acid oxidation. Thermal degradation kinetic models define maximum maintenance conditions for qualitative factors to produce a safe food. Color descriptive models are known as zero order, first order, and fractional conversion model. The fractional conversion model represents the response rate required at a given time to complete a phenomenon. This modeling is necessary for designing online quality control systems for thermal processing in the food industry and preserving the apparent quality of the product by optimizing the most important drying parameters. In this study, the kinetic of color changes in apple slices was investigated, in order to maintain appearance quality of product during simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with intermittent irradiation.

Materials and Methods: Apple slices (*Golden Delicious* Variety) were dried in three thicknesses of 5, 9 and 13 mm using three constant surface temperatures of 70, 75 and 80 ° C. Image acquisition of apple slices was made use of a flatbed scanner with an interval of 15 minutes during processing. The treated samples were placed on the scanner and then a black box was utilized so as to prevent the interferences of the peripheral lights. The images featured a 300 dpi quality and were saved in TIFF-24 bit format. The color analysis of the images was carried out in color space of L*a*b* by the use ImageJ software, version 1.6.0. The lightness parameter (L), redness (a), yellowness (b), the intensity of the color changes (ΔE), chroma (C_i) and browning index (BI) were described during product processing using fractional conversion model. Equilibrium color parameters (C_i) were also used as an indicator to compare different process conditions. The fitting of the model was done using the curve fitting toolbox in the 2009 version of the MATLAB software with 95% confidence level ($P < 0.05$). Relationship of Browning Index (BI) with process temperature studied in different thicknesses of the product, using the linear form of the Arrhenius equation. Statistical analysis of the effect of thickness and temperature on the equilibrium value of color parameters (C_i) performed in a randomized complete block design (RCBD) with respect to temperature as block and thickness as treatment using SPSS software version 19. Finally if there was a significant difference, the mean comparison was performed as Duncan test with 95% confidence level ($P < 0.05$).

Results & discussion: The results showed that the control of surface temperature of product and its thickness during irradiation can be effective to prevent the darkening of the product during blanching and dehydration. In fact, the desired color in product (more light, less red and more yellow) was observed with decreasing temperature and increasing in thickness. However, the thickness of the product showed a slight and opposite effect on yellowness (62.583 and 57.491 for thickness of 5 and 13 mm at 70 ° C, respectively). The maintenance of the yellowness parameter in lower thickness (rapid removal of moisture and reduced overall heating time) and lower temperature (lower energy intakes) can be caused by reducing the destructive reactions of natural pigmentation agents of color in the apple (carotenoid). It is observed that in the beginning of the process changing in color parameters was faster, because of under the influence of drying the surface fibers of the

1, 2 and 3. Ph. D. Candidate, Associate Professor and Professor, Food Processing Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources.

(*Corresponding author: E-mail addresses: ziaifar@gmail.com)

product will increase the overall color variation and create the conditions for the production of pigment. The rate of color darkening was strongly dependent on product thickness. The reducing of surface temperature caused lower browning index, but the decrease was not significant (104.761, 108.482 and 162.99 for thickness of 5 mm at temperature of 70, 75 and 80°C, respectively). This fact indicates that the dry-blanching and dehydration with maintained product surface temperature, prevents the occurrence of undesirable darkening reactions of color. In general to reduce undesirable color changes, the use of infrared dry blanching and dehydration largely depends on the thickness of apple, and low surface temperatures during processing increased further yellowing and reduced the darkness of the apple slice. It can be said that in the case of low-thickness cuttings, the use of low temperatures is very important in maintaining the desirability of color. Finally, the results showed that the application of the fractional conversion model could appropriately describe the color variations.

Keywords: Blanching, Dehydration, Infrared, Color, Fractional conversion model.