تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد ۱۹/ شماره ٦٨/بهار و تابستان ۱۳۹۹/ص ۱۰٤-۹۱

سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

نوع مقاله: علمی- پژوهشی

تأثیر دماهای مختلف برشته‌کردن بر سینتیک تغییرات رنگ پسته و اکسیداسیون روغن استخراج شده از آن

الهام دهدشتی[۱]، محمد حجت الاسلامی[۲*]، احمد شاکر اردکانی[۲و۳] و نفیسه جهانبخشیان[٤]

۱، ۲ و۴- به ترتیب، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد؛ دانشیار؛ و استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران

۳- دانشیار پژوهشکده پسته، سازمان تحقیقات، آموزش، ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران

تاریخ دریافت:۹۷/۲/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش:۹۸/۱۱/۱۸

چکیده

در این مقاله به تأثیر دمای بالا و مدت زمان برشته‌کردن بر تغییرات رنگ و اکسیداسیون روغن پسته پرداخته شده است. با توجه به اینکه برشته‌کردن یکی از مهمترین مراحل فراوری پسته محسوب می‌شود، بهینه‌سازی و اصلاح این فرآیند و بهبود کیفیت محصول از این طریق، بسیار با اهمیت است. در این تحقیق، فرآیند برشته‌کردن پسته با هوای داغ در ۱۲۰، ۱٤۰ و ۱٦۰ درجه سلسیوس و مدت زمان ۲۰، ۳۰ و ۵۰ دقیقه بر تغییرات رنگ پسته و اکسیداسیون چربی پسته برشته‌شده مطالعه شده است. آزمون‌های کیفی تغییرات شاخص‌های رنگی شامل اندازه‌گیری شاخص *L، *a، *b، تغییرات کلی رنگ، زاویه هیو، اندیس قهوه‌ای شدن و اندیس پراکسید است. نتایج تجزیه واریانس ANOVA نشان می‌دهد که در همه پاسخ‌های به‌دست‌آمده، تفاوت آماری معنی‌دار بین تیمارها وجود دارد. با افزایش دما و مدت زمان برشته‌کردن، تمامی شاخص‌های رنگی تغییر می‌یابند و تغییرات معنی‌دار در رنگ محصول نهایی ایجاد می‌شود که از دیدگاه مصرف‌کننده مطلوب نیست. با افزایش دما، سرعت تغییرات رنگی از جمله قهوه‌ای شدن افزایش پیدا می‌کند که نشان‌دهنده ایجاد واکنش‌های قهوه‌ای شدن در نمونه‌ها طی برشته‌شدن است. افزایش مدت زمان و دما باعث افزایش شاخص پراکسید پسته می‌شود که نشان‌دهنده اکسیداسیون چربی در دماهای بالاتر است.

واژه‌های کلیدی

اکسیداسیون، برشته‌کردن، پسته، پراکسید، شاخص رنگی

مقدمه

از دیدگاه مصرف‌کننده، رنگ مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی غذاهای دهیدراته محسوب می‌شود و نیز به دلیل افزایش رنگدانه‌های قهوه‌ای به واسطه پیشرفت واکنش‌های کاراملیزاسیون و قهوه‌ای شدن به هنگام برشته‌کردن، رنگ به عنوان یک شاخص کیفی تجربی برای فرآیند در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این، رنگ می‌تواند به عنوان شاخص کنترل فرآیند برشته‌کردن به‌کاررفته شود. در خلال برشته‌شدن پسته، رنگدانه‌های قهوه‌ای به دلیل واکنش‌های قهوه‌ای شدن و کاراملیزاسیون افزایش می‌یابد و می‌توان با کنترل کردن شاخص‌های رنگی

* نگارنده مسئول: Email: mohojjat@gmail.com

http://doi: 10.22092/fooder.2018.121713.1144

© 2020,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

به بهترین میزان تغییرات این شاخص دست یافت. برشته‌کردن باعث کاهش پایداری روغن دانه‌های آجیلی و در نتیجه باعث کاهش مطلوبیت آنها می‌شود. در فرآیند گرمایی، چربی‌های حرارت دیده به طرزی گریزناپذیر در شرایط نامناسب قرار می‌گیرند و ممکن است تغییرات نامطلوبی در آنها ایجاد شود. در این دسته از چربی‌ها، درجه غیر اشباع‌شدن و ارزش تغذیه‌ای کاهش می‌یابد و تغییرات نامطلوب ایجاد شده در چربی‌های حرارت دیده ممکن است آثار زیان‌آوری بر سلامتی انسان داشته باشد. تند شدن روغن[1] به واسطه تند شدن اکسیداتیو و تند شدن هیدرولیتیک آغاز می‌شود؛ در هر دو نوع تند شدن هیدروپراکسیدهای اسید چرب تولید می‌شود (Esmaili, 2014). مقدار چربی پسته، بسته به واریته آن حدود ۴۹/ ۵۲ تا ۶۰/۶۵ درصد است. تجزیه اسیدهای چرب نشان می‌دهد که حدود ۲۵ درصد از مغز پسته را اسیدهای چرب تک غیراشباعی (۵۰ تا ۷۰ درصد کل میزان این اسیدهای چرب را اسید اولئیک تشکیل می‌دهد) و ۷ درصد اسیدهای چرب چند غیراشباعی است. لیپازها، استرازها، لیپوکسی‌ژناز و پراکسیداز باعث ایجاد واکنش‌های اکسیداسیونی آنزیم کاتالاز می‌شوند (تندی هیدرولیتیک). لیپاز و استراز اسیدهای چرب را از چربی جدا و اسیدهای چرب آزاد تولید می‌کنند؛ بنابراین، اسیدهای چرب آزاد تشکیل شده می‌توانند سوبسترای واکنش‌های اکسیداسیون شوند. اما این آنزیم‌های لیپولیتیک که درست در زیر پوسته نازک دانه واقع شده‌اند، در سلول‌های صدمه ندیده قادر نخواهند بود به چربی‌ها حمله کنند. لیپاز و استراز وابسته به اکسیژن هستند و فعالیت لیپاز عمدتاً به میزان رطوبت بستگی دارد. استراز نسبت به حرارت مقاوم است و ممکن است حتی پس از برشته‌کردن نیز فعال باقی بماند. برشته‌کردن اساساً باعث کاهش فعالیت لیپاز می‌شود و فعالیت پراکسیداز را آسان می‌کند (Nikzadeh *et al.*, 2011).

محصولات اکسیداسیون، که هیدروپراکسید نام دارند، اکسیدانت‌های فعالی هستند که در دمای اتاق، در خلال نگهداری و فراوری، تمایل به واکنش با دیگر ترکیبات را دارند و اجزای کربونیلی مانند مونوکربوکسیلیک اسیدها، آلدئیدها، کتوزها، هیدروکربن‌ها، استرها و لاکتون‌ها تشکیل می‌دهند. این ترکیبات به‌دست‌آمده عامل ایجاد طعم تند هستند. این فرآورده‌های تخریبی، همانند پراکسیدها و رادیکال‌های آزاد چربی قادر به واکنش با ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها هستند و در نتیجه علاوه بر ایجاد کهنگی و سفت شدن فراورده غذایی، سبب نامطلوب شدن طعم و یا کاهش ارزش تغذیه‌ای در آنها می‌شوند. برای مثال می‌توان به واکنش لیزین و ترئونین با اسید لینولئیک اکسید شده اشاره کرد (Esmaili, 2014).

برشته‌کردن باعث آغاز اکسیداسیون چربی و تشکیل ترکیبات کربونیل می‌شود، اما همین فرآیند به دلیل اثر ضد اکسنده[2] فرآورده‌های حاصل از واکنش میلارد، باعث پایداری بیشتر روغن دانه‌ها در مقابل اکسیداسیون در خلال نگهداری خواهد شد. اثر اکسیداتیو فرآیند برشته‌کردن ناشی از تخریب آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی، تجزیه و شکستن اسیدهای چرب و تغییرات فیزیکی سلولی است. برشته‌کردن، شاخص شکست و زمان جریان یافتن روغن را تغییر می‌دهد که این تغییرات نشانه حضور مواد پلیمری است (Nikzadeh *et al.*, 2011).

1- Rancidity
2- Antioxidant

مواد و روش‌ها

ده کیلوگرم پسته رقم اوحدی از مؤسسه تحقیقات پسته ایران در رفسنجان تهیه شد.

از هانتر لب Color Flex Ez ساخت آمریکا برای ارزیابی رنگ پسته استفاده شد و تغییر شاخص‌های رنگی، شامل میزان روشنایی*L، قرمزی *a، و زردی *b حین فرآیند برشته‌کردن پسته در سه دمای ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سلسیوس و در سه دوره زمانی ۲۰، ۳۰ و ۵۰ دقیقه در آون بررسی گردید. روغن پسته نیز با استفاده از دستگاه سوکسله اتوماتیک ساخت شرکت پویا الکترونیک، ایران، استخراج شد تا شاخص‌های کیفی روغن اندازه‌گیری شود.

آماده‌سازی نمونه

پیش از آغاز هر گونه فرآیند، نمونه‌ها از یخچال بیرون آورده شدند تا دمای آنها به دمای محیط برسد. نمونه‌ها به مدت ۵ ساعت در محلول آب نمک ۱۵ درصد (وزنی/حجمی) قرار داده شدند، آبکشی شدند تا آب نمک اضافی خارج گردد، پسته‌ها روی فویل با آون ساخت Memmert آلمان مدل UFE600A3، در ۸۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به رطوبت ۴ درصد خشک شدند (Nikzadeh *et al.*, 2011).

برشته‌کردن پسته

نمونه‌های خشک شده در سه دمای ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سلسیوس و در سه دوره زمانی ۲۰، ۳۰، و ۵۰ دقیقه روی فویل در آون قرار داده شدند و با مغز پسته خام برشته‌نشده، به صورت شاهد، مقایسه شدند. نمونه‌ها تا دمای محیط سرد شدند. به منظور آزمایش‌های مورد نظر، بلافاصله از هر قسمت به صورت جداگانه نمونه‌برداری شد (Nikzadeh *et al.*, 2011).

ارزیابی رنگ

برای ارزیابی رنگ با هاترلب (Coloroflex EZ, USA)، تمامی نمونه‌ها ابتدا در آسیاب به مدت ۳۰ ثانیه خرد شدند. به منظور بررسی تغییرات رنگ، این هفت شاخص بررسی شد: L_0*، a_0*، b_0* مربوط به پسته شاهد (بو داده‌شده) و شاخص روشنایی *L، شاخص *a، شاخص *b، تغییرات کلی رنگ، (رابطه ۱)، شاخص کروما (رابطه ۲)، زاویه هیو (رابطه ۳) و شاخص قهوه‌ای شدن (رابطه ۴). در رابطه ۴، x از رابطه ۵ به دست می‌آید (Chung *et al.* 2014).

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2} \quad (۱)$$

$$Chroma = \left(a^2 + b^2\right)^{1/2} \quad (۲)$$

$$Hue\ Angel = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (۳)$$

$$BI = \frac{(100 - (x - 0.31))}{0.71} \quad (۴)$$

$$x = \frac{a + 1.75L}{5.645L + a - 3.012b} \quad (۵)$$

ارزیابی اکسیداسیون روغن پسته

روغن پسته با به‌کارگیری حلال هگزان استخراج گردید. میزان پراکسید نمونه‌های روغن به دست آمده، بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۳۷ تعیین شد (ISIRI, 2019).

مدل‌سازی و تحلیل آماری

به منظور بررسی تأثیر تیمارهای مختلف بر صفات اندازه گیری شده، از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ و با در نظر گرفتن سطح احتمال ($p \leq 0.05$) دنبال شد. در

صورت معنی‌دار بودن اثر هر عامل آزمایشی، از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار استفاده گردید. در این بخش از مطالعه، نتایج به شکل میانگین± انحراف استاندارد ارائه شده‌اند. برای رسم کردن نمودارها نیز از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

رابطه‌های به‌کار رفته در مدل‌سازی تجربی تغییرات رنگی پسته و اکسیداسیون چربی، درجه صفر (رابطه۷) و درجه یک (رابطه۸) است.

$$C=C_0 \pm kt \quad (۷)$$

$$C=C_0 \exp(\pm kt) \quad (۸)$$

که در آن‌ها،

C_0، C، k و t = به ترتیب رنگ اولیه؛ رنگ پسته برشته‌شده؛ ثابت سرعت؛ و مدت زمان برشته‌شدن.

انرژی فعال‌سازی نیز مطابق رابطه ۹ به دست آمد.

$$K=k_0 \exp(-Ea/RT)t \quad (۹)$$

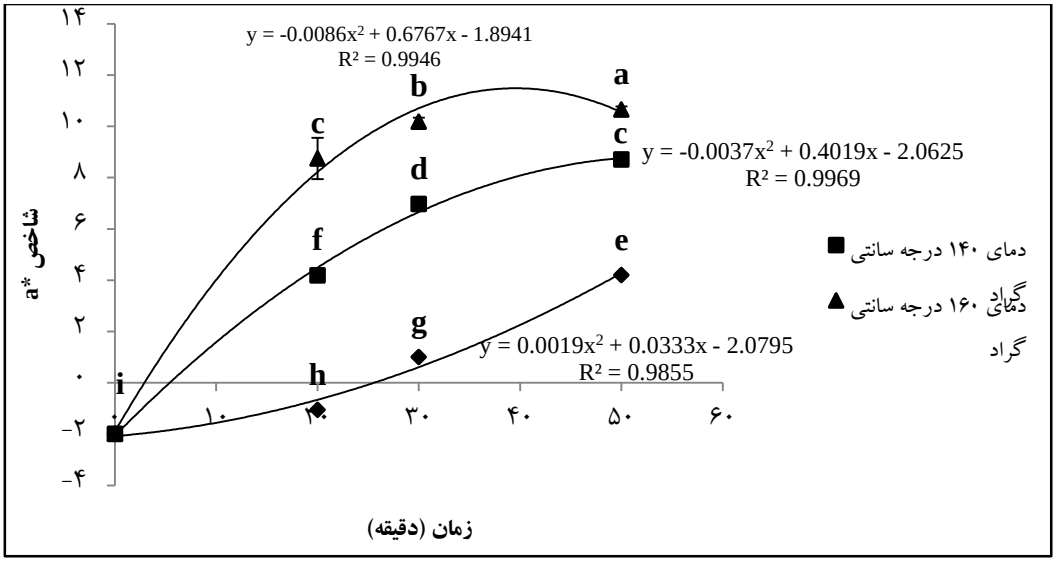
که در آن،

k =ثابت سرعت؛ Ea =انرژی فعال‌سازی؛ R =ثابت گازها (۸/۳۱۴ ژول بر مول کلوین)؛ T =دما (کلوین)؛ و t = مدت زمان.

نتایج و بحث

شاخص رنگی

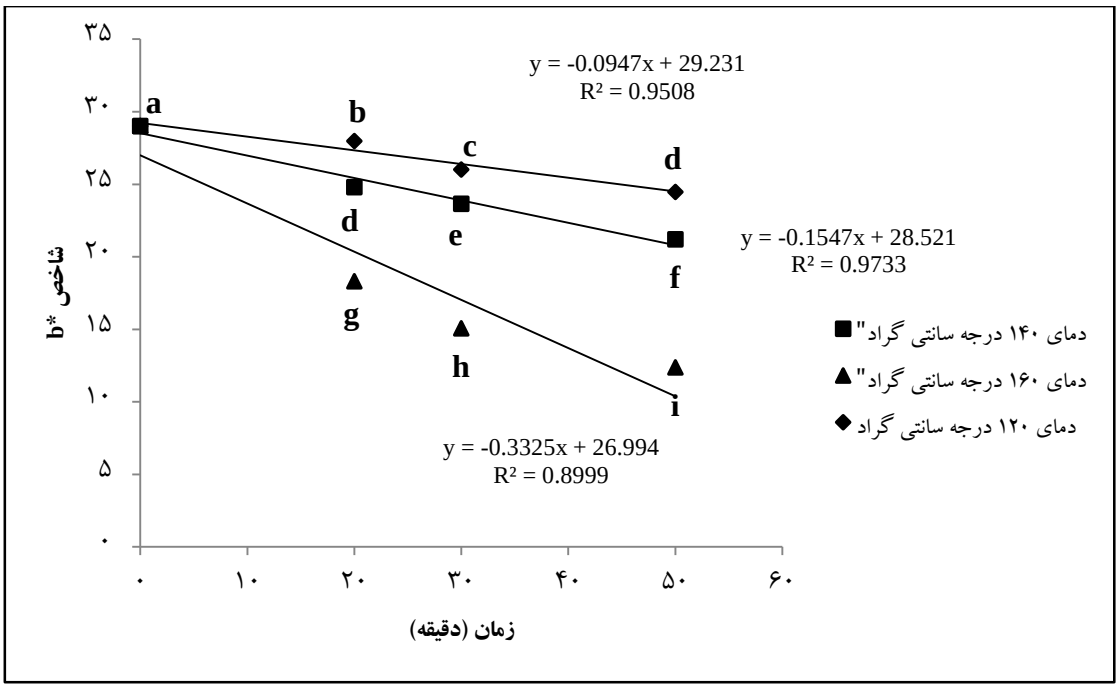
شکل ۱، تغییرات شاخص a* را طی برشته‌کردن نشان می‌دهد. این شاخص با افزایش مدت زمان برشته‌کردن روندی صعودی دارد و باعث تغییرات رنگی از سبز به سمت قرمز می‌شود. این شاخص با افزایش دما در مدت زمان ثابت افزایش می‌یابد. بالاترین میزان این شاخص متعلق به پسته با دمای برشته‌شدن ۱۶۰ درجه سلسیوس و مدت زمان ۵۰ دقیقه است. کمترین میزان شاخص a* نیز متعلق به دما و مدت زمان برشته‌کردن ۱۲۰ درجه سلسیوس و ۲۰ دقیقه است. رابطه خط به دست آمده از تغییرات شاخص a* طی زمان برشته‌کردن، به صورت درجه دو با ضریب همبستگی بالاست.



شکل ۱- تغییرات شاخص a* طی برشته‌کردن پسته

حروف غیرمشابه به نشان‌دهنده تغییر معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ هستند.

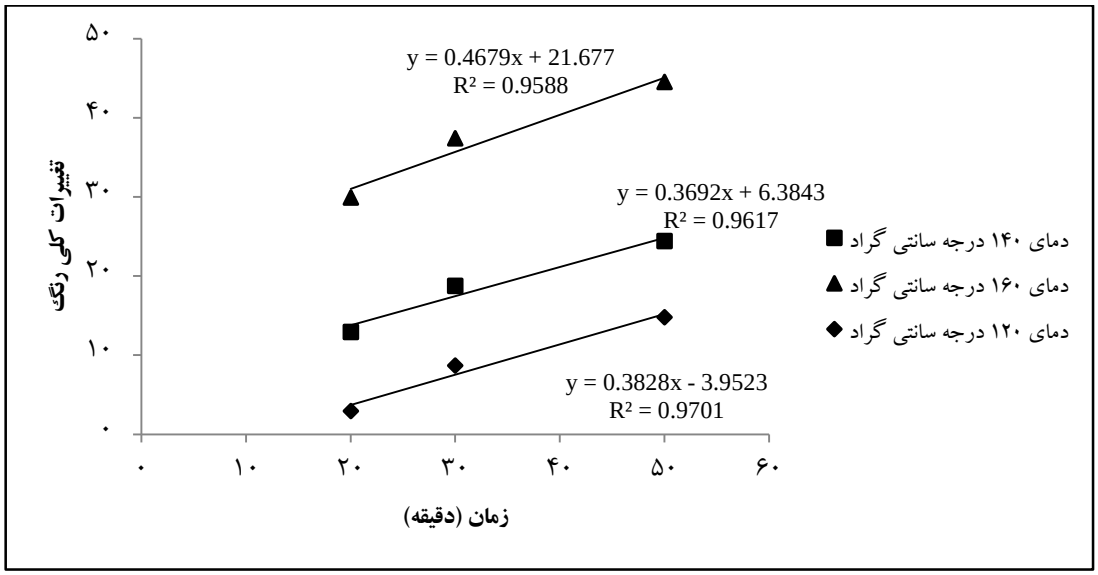
شکل ۲، تغییرات شاخص *b را در حین برشته‌کردن پسته نشان می‌دهد. دیده می‌شود که این شاخص نیز مانند درجه روشنایی با افزایش مدت زمان و دمای برشته‌کردن کاهش پیدا می‌کند. شیب خط رابطه‌های به دست آمده نیز نشان‌دهنده افزایش سرعت تغییر این شاخص با افزایش دمای برشته‌کردن است. مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین شیب خط رابطه‌ها به ترتیب متعلق به برشته‌شدن در دمای ۱۶۰ و ۱۲۰ درجه سلسیوس است. شیب خط رابطه‌های به دست آمده به ترتیب در دماهای ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سلسیوس برابر با ۰/۰۹، ۰/۱۵ و ۰/۳۳ است.



شکل ۲- تغییرات شاخص *b طی برشته‌کردن پسته

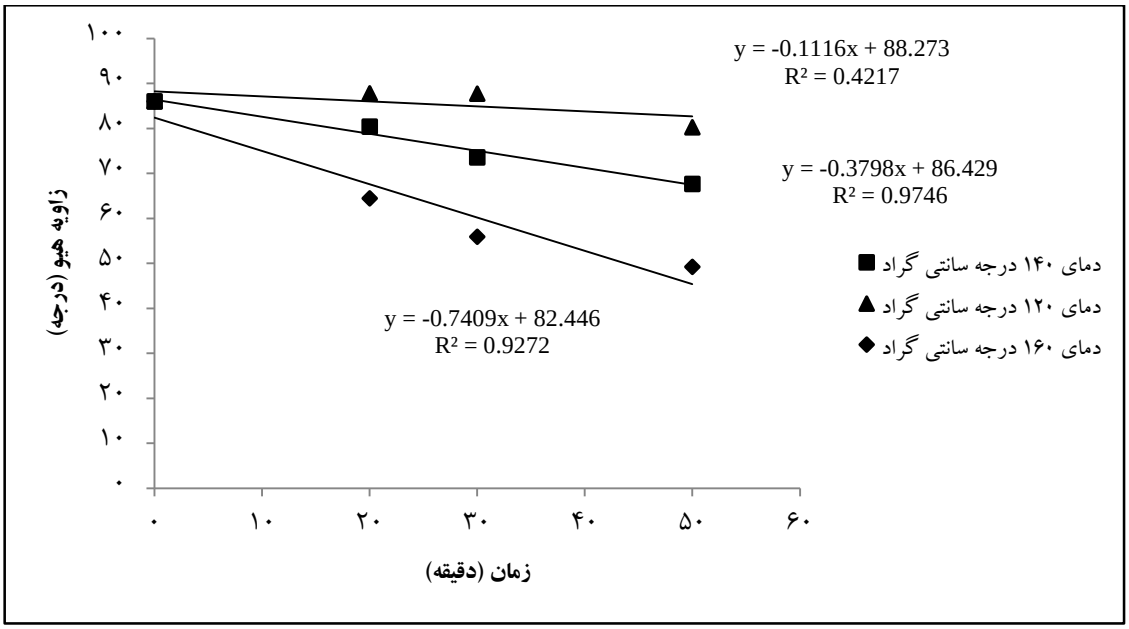
حروف غیرمشابه به نشان‌دهنده تغییر معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ هستند.

شکل ۳، تغییرات کلی رنگ را طی برشته‌کردن پسته در دماهای ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سلسیوس نشان می‌دهد. در اینجا با افزایش مدت زمان و دمای برشته‌کردن، میزان تغییرات رنگی افزایش پیدا می‌کند. تغییرات رنگ کلی پسته طی برشته‌شدن در دماهای بالاتر با شدت و سرعت بالاتری صورت می‌گیرد که نشان‌دهنده تخریب‌های بالای رنگ پسته با افزایش دمای برشته‌کردن است. بالاترین میزان تغییرات رنگ متعلق به پسته برشته‌شده در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس و مدت زمان ۵۰ دقیقه است که شیب خطی معادل ۰/۴۶ دارد. همان‌گونه که در شکل ۱ مشخص است، این شاخص با افزایش مدت زمان برشته‌کردن روندی صعودی دارد و باعث تغییرات رنگی از سبز به سمت قرمز می‌شود.



شکل ۳- تغییرات رنگی کلی پسته طی برشته‌شدن

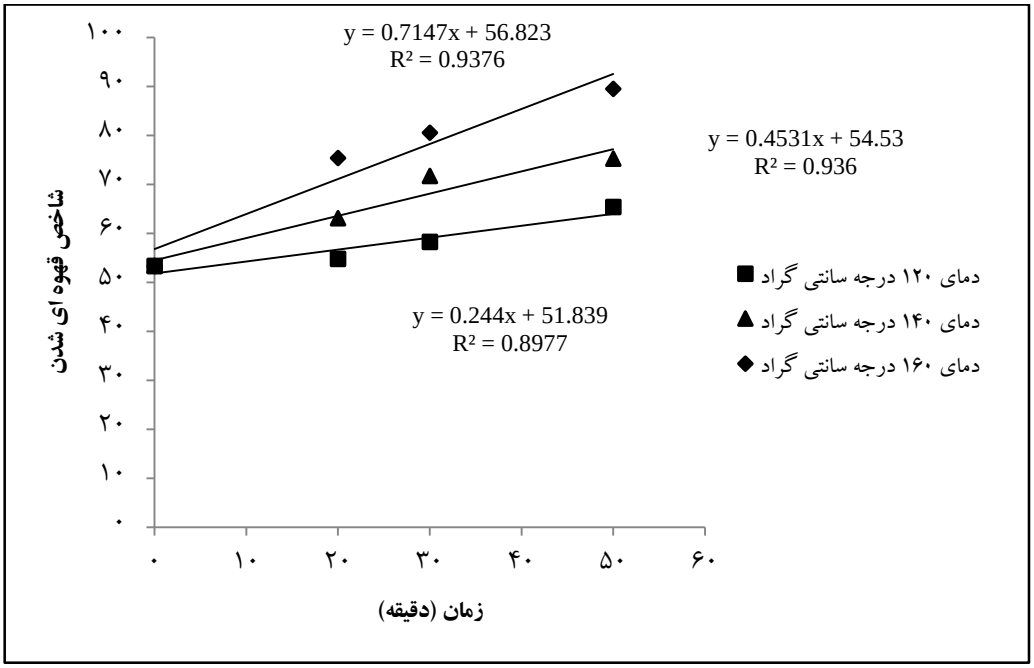
شاخص رنگی بعدی زاویه هیو است. زاویه صفر (یا ۳۶۰) درجه، نمایانگر رنگ قرمز است و زاویه‌های ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ به ترتیب نشان‌دهنده رنگ‌های زرد، سبز و آبی هستند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش دما سرعت کاهش این زاویه شدت بیشتری پیدا می‌کند. با افزایش مدت زمان برشته‌کردن، زاویه هیو به سمت صفر میل می‌کند که نشان می‌دهد در حین برشته‌کردن، رنگدانه‌های پسته به رنگ قرمز میل می‌کنند. همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با افزایش مدت زمان، میزان زاویه هیو برای تمامی دماهای برشته کردن کاهش پیدا می‌کند.



شکل ٤- تغییرات زاویه هیو طی برشته‌کردن پسته.

شکل ۵، شاخص قهوه‌ای شدن نمونه‌های پسته را طی برشته‌کردن نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود با افزایش مدت زمان برشته‌کردن، شاخص قهوه‌ای شدن افزایش می‌یابد. از رابطه‌های خط نیز مشخص است که در دماهای بالا، شاخص قهوه‌ای‌شدن با شدت بیشتری تغییر می‌کند. شاخص قهوه‌ای‌شدن در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس با شیبی معادل ۰/۲۴ طی زمان در حال تغییر است. اما در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس، شاخص قهوه‌ای شدن با شیبی معادل ۰/۷۱ افزایش پیدا می‌کند.

افزایش این شاخص طی برشته‌شدن نشان‌دهنده افزایش رنگدانه‌های قهوه‌ای ناشی از واکنش‌های قهوه‌ای‌شدن و کاراملیزاسیون است.



شکل ۵- تغییرات شاخص قهوه‌ای شدن طی برشته‌کردن پسته

در گام اول این تحقیق، تأثیر دما و مدت زمان برشته‌کردن بر میزان تغییرات رنگ بررسی شد. تغییر شاخص‌های رنگی مانند افزایش شاخص قهوه‌ای‌شدن و شاخص a* طی بالا رفتن دما و مدت زمان برشته‌کردن، همچنین کاهش شاخص‌های روشنایی، زاویه هیو، b* طی برشته‌شدن پسته رخ می‌دهد. نتایج به دست آمده از تغییرات شاخص‌های رنگی طی برشته‌شدن نشان‌دهنده واکنش‌های کاراملیزاسیون و قهوه‌ای شدن است. سایر محققان با بررسی شاخص‌های رنگ (مقادیر L*، a* و b* و ضریب زردی) در فرآیند برشته‌کردن پسته در دامنه دمایی ۱۰۰ تا ۱۸۰ درجه سلسیوس و مدت زمان ۱۰ تا ۶۰ دقیقه به این نتیجه رسیدند که فرآیند برشته‌کردن باعث افزایش شاخص a* و کاهش شاخص‌های b* و L* می‌شود (Kahyaoglue & Kaya, 2006). تأثیر برشته کردن بر سفتی، مقدار رطوبت و رنگ (مقادیر L، a و b و ضریب زردی) مغز دانه‌های پسته‌ای که قرار بود برای تهیه خمیر پسته استفاده شود، بررسی و نشان داده شد که افزایش دما و مدت زمان برشته‌کردن موجب کاهش مقدار a

و افـزایش شـاخص L و b مـی‌شـود (Shakerardekani, 2011). با بررسی ترکیبـات فـرار رقـم‌هـای مختلـف بـادام هنـدی طـی فرآینـد بـو دادن در دمـای ۱۴۳ درجـه سلسـیوس بـرای ۳ تـا ۹ دقیقـه، معلـوم شـد بـا افـزایش مـدت زمـان بـو دادن، شـدت رنـگ نمونـه‌هـا افـزایش می‌یابد. همچنـین مشـخص شـد کـه در ایـن دمـا، بهینـه مـدت زمـان بـو دادن ۶، ۸ و ۹ دقیقـه اسـت. غلظـت ترکیبـات فـرار در بـادام‌هـای خـام کمتـر از غلظـت ترکیبات فرار در نمونـه‌هـای بـو داده شـده اسـت؛ بـا ایـن همـه، میـزان بعضـی از ترکیبـات فـرار ماننـد اتـانول و ۱-هپـتن در طـول فرآینـد بـو دادن کـاهش یافتـه و واکنش میلارد موجـب تولیـد ترکیبـات فـرار شـده اسـت (Agila & Barringer, 2011).

نتایج بررسـی تغییـر شـاخص‌هـای رنگـی ذرت طـی برشـته‌کـردن در دماهـای ۱۶۰، ۱۸۰، ۲۰۰، ۲۲۰ و ۲۴۰ درجـه سلسـیوس نشـان داد بـا افـزایش دمـا شـاخص‌هـای *L، *b و زاویـه هیـو کـاهش و *a و تغییـر کلـی رنـگ افـزایش پیـدا مـی‌کنـد (Chung *et al.*, 2014). تغییـرات رنگـی طـی برشـته‌کـردن پسـته در مـدت زمـان‌هـای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دقیقـه و دماهـای ۱۲۰، ۱۳۰، ۱۴۰، ۱۵۰ و ۱۶۰ درجـه سلسـیوس نشـان داد شـاخص‌هـای L و b طـی برشته‌شدن کـاهش مـی‌یابنـد در حـالی کـه شـاخص a و تغییـرات کلـی رنـگ رونـد افزایشـی دارد (Yeganeh, 2013). نتـایج تغییـرات رنگـی طـی برشـته‌کـردن نشـان مـی‌دهـد بـا افـزایش مـدت زمـان، شـاخص روشـنایی کاهش مـی‌یابـد کـه نشـان‌دهنـده واکـنش قهـوه‌ای‌شـدن اسـت (Hojjati *et al.*, 2013). نتـایج بـه دسـت آمـده از تحقیق حاضر انطباق بـالایی بـا ایـن پـژوهش‌هـا دارد. بـه این صورت که طی برشـته‌کـردن رنـگ پسـته گـرایش بـه سمت قهوه‌ای شدن است.

مدل‌سازی شاخص‌های رنگی

یکـی دیگـر از جنبـه‌هـای مهـم فـرآوری مـواد غـذایی، مـدل‌سـازی ریاضـی فرآینـدها و تجهیـزات مـورد اسـتفاده در ایـن زمینـه اسـت. هـدف از چنـین مدلسازی‌هـایی، انتخـاب شـرایط مطلـوب بـرای فرآینـد و انتخـاب شـرایط بهینـه اسـت. بـا بهـره‌گیـری از نتـایج چنین مدلسازی‌هـا و تنهـا بـا اسـتفاده از شـرایط ابتـدایی فرآینـد، مـی‌تـوان شـاخص‌هـای فرآینـد را بـه عنـوان تـابعی از زمـان در فرآینـدهای متفـاوت پـیش‌بینـی کـرد. مطالعات زیـادی در مـورد سـینتیک تغییـرات رنـگ طـی فرآینـدهای غـذایی ماننـد خشـک کـردن، فرآینـدهای حرارتـی و برشـته‌کـردن صـورت گرفتـه اسـت کـه در بیشـتر ایـن مطالعـات از دو رابطـه درجـه صـفر و درجـه یـک اسـتفاده شـده اسـت. بـه ایـن منظـور بـرای مـدل‌سـازی تجربـی تغییـرات شـاخص‌هـای رنگـی دو مدل تجربی بررسی شده است (رابطه‌های ۷ و ۸).

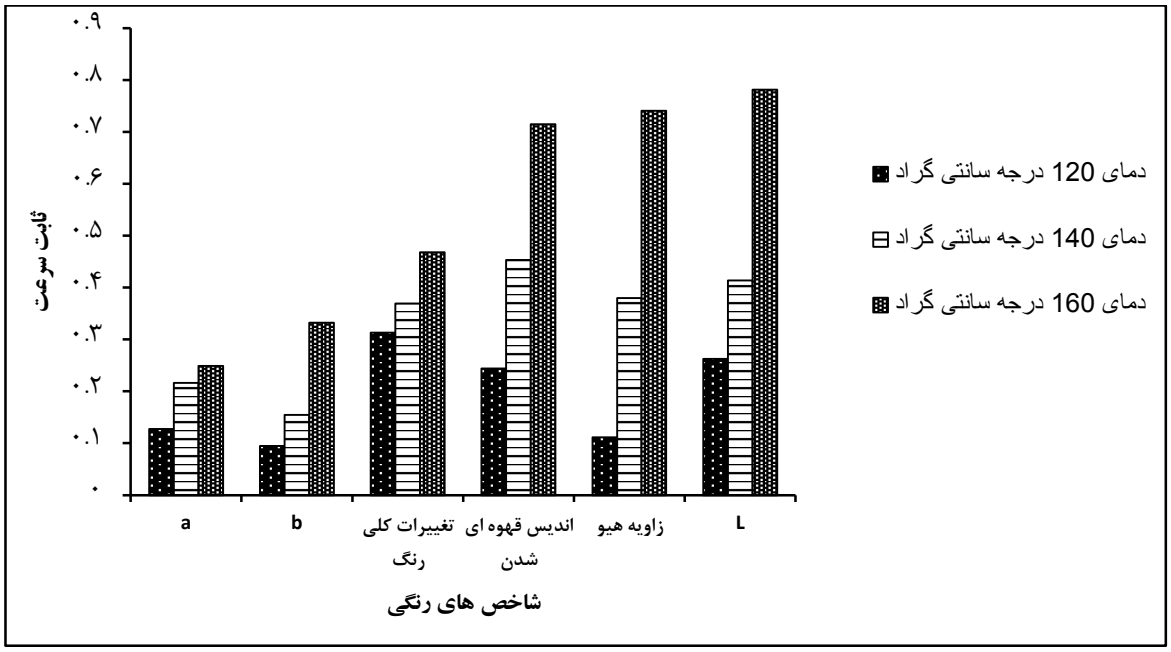
نتیجـه بـرازش رونـد تغییـرات شـاخص‌هـای رنگـی پسـته در خـلال برشـته‌کـردن در سـه دمـای ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ درجـه سلسـیوس بـا دو مـدل تجربـی در جـدول ۱ نشـان داده شـده اسـت. ایـن دو مـدل تجربـی مـورد نظـر رونـد تغییـرات شـاخص‌هـای رنگـی پسـته را بـه هنگـام برشـته‌کـردن بـه‌خـوبی پـیش‌بینـی کـرده‌انـد و همخـوانی خـوبی بـا داده‌هـای آزمایشـگاهی دارنـد. در دمـای ۱۲۰ درجـه سلسـیوس، بهتـرین مـدل بـرای توصـیف تغییـرات شـاخص‌هـای *L، *a، *b و تغییـرات کلی رنگ طـی زمـان برشـته‌کـردن رابطـه درجـه صـفر و بـرای زاویـه هیـو و شـاخص قهـوه‌ای شـدن رابطـه درجـه یـک اسـت. در اینجـا k ثابـت سـرعت تغییـرات شـاخص‌هـای رنگـی اسـت. دیـده مـی‌شـود کـه ثابـت سـرعت تغییـرات شـاخص کلـی تغییـر رنـگ نسـبت بـه سـایر شـاخص‌هـا بـالاتر اسـت. همچنـین مقـادیر ثابـت

مدل‌های تجربی تغییر شاخص‌های رنگی در دمای برشته کردن ۱۴۰ درجه سلسیوس نشان‌دهنده این است که در این دما بهترین مدل برای توصیف تغییرات شاخص‌های L*، a*، تغییرات کلی رنگ، اندیس قهوه‌ای شدن و زاویه هیو طی زمان برشته‌کردن رابطه درجه صفر و برای شاخص b* رابطه درجه یک است. در این دما، همچنین ثابت سرعت تغییرات زاویه هیو از ثابت سرعت سایر شاخص‌های رنگی بالاتر است. در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس، بهترین مدل برای توصیف تغییرات شاخص‌های a*، تغییرات کلی رنگ و شاخص قهوه‌ای شدن طی مدت زمان برشته کردن رابطه درجه صفر و برای شاخص‌های L*، b* و زاویه هیو رابطه درجه یک انتخاب شد.

جدول ۱- مقادیر ثابت‌های رابطه‌های درجه صفر و درجه یک تغییرات شاخص‌های رنگی پسته برشته‌شده در دمای ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سلسیوس

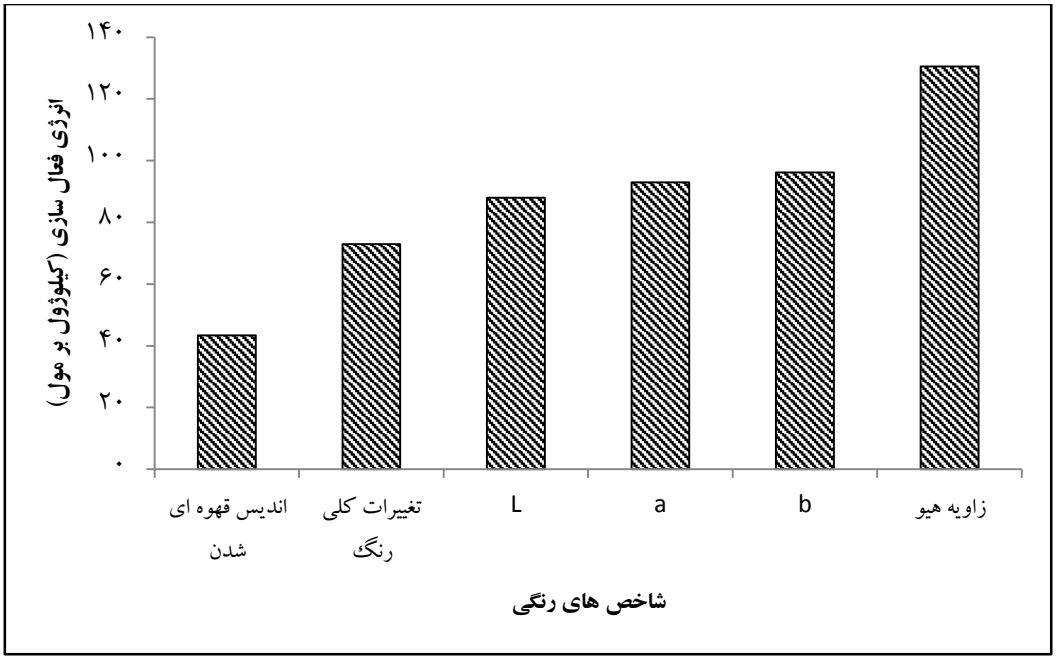
		درجه صفر				درجه یک			
دما (سلسیوس)	شاخص رنگی	C_0	k	R^2	RMSE	C_0	k	R^2	RMSE
۱۲۰	L*	۶۶/۸۶	۰/۲۶۲۶	۰/۹۵۲۱	۱/۵۰۲	۶۶/۹۵	۰/۰۰۴۳	۰/۹۴۱۸	۱/۶۵۶
۱۴۰		۶۴/۶۹	۰/۴۱۳۸	۰/۹۶۴۶	۲/۰۲۱	۶۵/۳۴	۰/۰۰۷۷۶	۰/۹۳۷	۱/۳۷۱
۱۶۰		۶۱/۱۴	۰/۷۸۱۵	۰/۸۹۷۴	۶/۷۳۶	۶۴/۵۷	۰/۰۲۰۳۸	۰/۹۷۳۵	۳/۴۲۴
۱۲۰	a*	-۲/۶۴۳	۰/۱۲۷۲	۰/۹۲۹۴	۰/۸۹۳۸	۰/۰۰۹۲	۰/۱۲۲۶	۰/۷۴۳۱	۱/۷۰۵
۱۴۰		-۰/۹۵	۰/۲۱۶۵	۰/۹۲۲	۱/۶۰۵	۱/۶۴۲	۰/۰۳۵۱	۰/۷۰۰۸	۳/۱۴۴
۱۶۰		۰/۶۷۲۶	۰/۲۴۸۹	۰/۷۴۹۴	۳/۶۷	۳/۴۳۸	۰/۰۲۵۳	۰/۵۴۲۴	۴/۹۵۹
۱۲۰	b*	۲۹/۲۳	۰/۰۹۴۷۳	۰/۹۹۶۲	۰/۰۲۰۴۵	۲۹/۲۷	۰/۰۰۳۵	۰/۹۴۵۷	۰/۵۷۷۱
۱۴۰		۲۸/۵۲	۰/۱۵۴۷	۰/۹۷۳۳	۰/۶۵۳۲	۲۸/۷۱	۰/۰۰۶۳۶	۰/۹۸۶۹	۰/۴۵۸۴
۱۶۰		۲۸/۵۲	۰/۱۵۴۷	۰/۹۷۳۳	۰/۶۵۳۲	۲۸/۷۱	۰/۰۰۶۳۶	۰/۹۸۶۹	۰/۴۵۸۴
۱۲۰	ΔE	-۰/۹۱۴۶	۰/۳۱۳	۰/۹۶۱۳	۱/۶	۱/۹۰۸	۰/۰۴۲۰۷	۰/۹۲۱۲	۲/۲۸۴
۱۴۰		۶/۳۸۴	۰/۳۶۹۲	۰/۹۶۱۷	۱/۵۹۲	۹/۸۱۶	۰/۰۱۸۵۳	۰/۹۳۲۵	۲/۱۱۴
۱۶۰		۲۱/۶۸	۰/۴۶۷۹	۰/۹۵۸۸	۲/۰۹۶	۲۴/۷	۰/۰۱۲	۰/۹۳۹۸	۲/۵۳۳
۱۲۰	زاویه هیو	۸۸/۲۷	۰/۱۱۱۶	۰/۱۳۲۶	۳/۳۳۳	۸۸/۲۳	۰/۰۰۱۲۷	۰/۴۱۱۳	۳/۳۶۲
۱۴۰		۸۶/۴۳	۰/۳۷۹۸	۰/۹۷۴۶	۱/۵۶۲	۸۶/۶۷	۰/۰۰۴۹	۰/۹۷۲۱	۱/۶۴
۱۶۰		۸۲/۴۵	۰/۷۴۰۹	۰/۹۲۷۲	۵/۲۹۲	۸۴/۴۴	۰/۰۱۲۱	۰/۹۶۹۵	۳/۴۲۷
۱۲۰	شاخص قهوه‌ای شدن	۵۱/۸۴	۰/۲۴۴	۰/۸۴۶۵	۲/۱۰۱	۵۱/۸۷	۰/۰۰۴۳	۰/۹۱۷۵	۱/۸۸۷
۱۴۰		۵۴/۵۳	۰/۴۵۳۱	۰/۹۳۶	۳/۰۲۲	۵۵/۳	۰/۰۰۶۷	۰/۹۱۲۹	۳/۵۲۴
۱۶۰		۵۶/۸۲	۰/۷۱۴۷	۰/۹۳۷۶	۱/۷۲۲	۵۸/۶۷	۰/۰۰۹۱	۰/۸۹۶۶	۶/۰۵

شکل ۶، تغییرات ثابت سرعت تغییرات شاخص‌های رنگی به دست آمده از رابطه درجه صفر را با افزایش دما نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در تمامی شاخص‌های رنگی با افزایش دما، ثابت سرعت افزایش پیدا می‌کند. شاخص a* دارای کمترین تغییرات ثابت سرعت است و شاخص L*، زاویه هیو و شاخص قهوه‌ای شدن دارای میزان بالای تغییرات ثابت سرعت با افزایش دما هستند.



شکل ٦- تغییرات ثابت سرعت (بر حسب عکس دما) شاخص‌های رنگی پسته

با رسم کردن تغییرات ثابت سرعت بر حسب عکس دما می‌توان به انرژی فعال‌سازی واکنش تغییرات رنگی طی برشته‌کردن پسته دست یافت (رابطه ۹). شکل ۷، انرژی فعال‌سازی شاخص‌های رنگی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بیشترین و کمترین انرژی فعال‌سازی به‌ترتیب مربوط به زاویه هیو و شاخص قهوه‌ای شدن است. همان‌گونه که در شکل ۷ قابل مشاهده است، بیشترین انرژی فعال‌سازی مربوط به زاویه هیو و کمترین آن مربوط به شاخص قهوه‌ای شدن است.



شکل ۷- انرژی فعال‌سازی شاخص‌های رنگی پسته

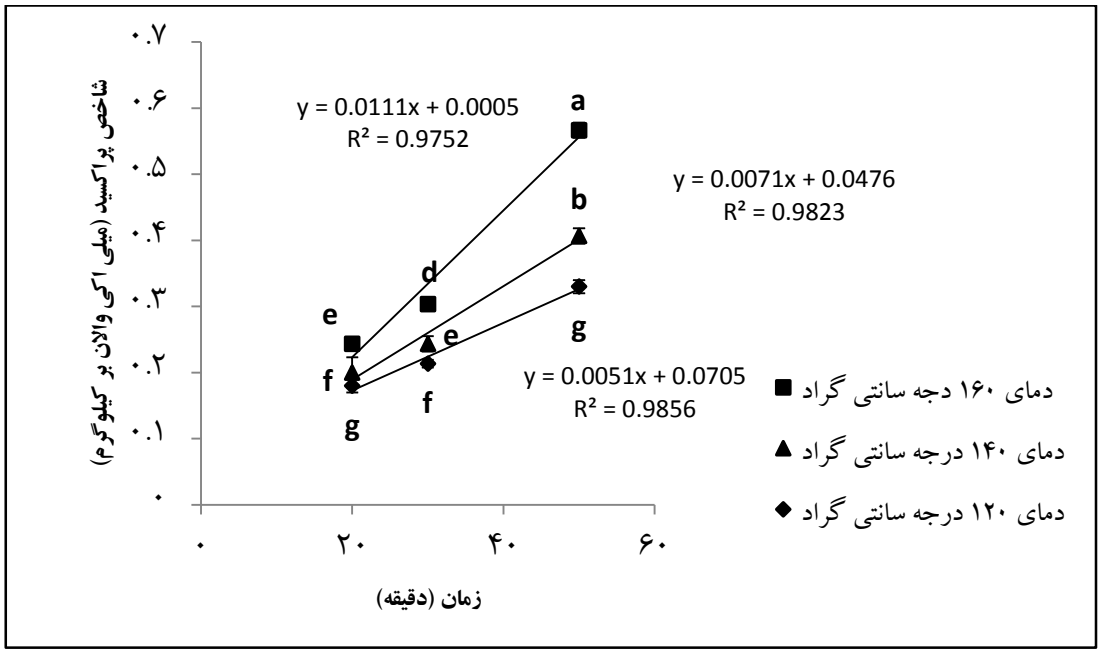
مدل‌سازی تغییرات رنگی

بهترین مدل برای توصیف شاخص *L در حین برشته‌کردن در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس رابطه درجه یک انتخاب شد. انرژی فعال‌سازی برای دو شاخص *L و تغییرات کلی رنگ به ترتیب برابر ۳۴/۰۴ و ۷۹/۱۶ کیلوژول بر مول است (Chung *et al.*, 2014). کایوقلو و کایا با مدل‌سازی تغییرات کیفی پسته طی برشته‌کردن کنجد نشان دادند بهترین مدل برای توصیف شاخص‌های رنگی مدل درجه یک است که ضریب همبستگی بالاتری نسبت به مدل درجه صفر برای توصیف تغییرات رنگی دارد (Kahyaoglu & Kaya, 2006).

در مطالعه حاضر در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس بهترین مدل برای توصیف تغییرات شاخص‌های *L، *a، * b و تغییرات کلی رنگ در مدت زمان برشته‌کردن رابطه درجه صفر به دست آمد و برای زاویه هیو و شاخص قهوه‌ای شدن رابطهدرجه یک مناسب‌ترین مدل انتخاب شد. در دمای ۱۴۰ درجه سلسیوس بهترین مدل برای توصیف تغییرات شاخص‌های *L، *a، تغییرات کلی رنگ، شاخص قهوه‌ای شدن و زاویه هیو در مدت زمان برشته‌کردن رابطه درجه صفر تعیین و برای شاخص *b رابطه درجه یک مناسب‌ترین مدل انتخاب شد. در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس، بهترین مدل برای توصیف تغییرات شاخص‌های a، تغییرات کلی رنگ و شاخص قهوه‌ای شدن در مدت زمان برشته‌کردن رابطه درجه صفر و برای شاخص‌های *L، *b و زاویه هیو رابطه درجه یک انتخاب شد. انرژی فعال‌سازی شاخص‌های *L، *a، *b، تغییرات کلی رنگ، زاویه هیو و شاخص قهوه‌ای شدن به ترتیب ۸۷/۹۸، ۹۳/۰۱، ۹۶/۲۲، ۷۲/۹۸، ۱۳۰/۴۷ و ۴۳/۳۶ کیلوژول بر مول به دست آمده است. نتایج پژوهش حاضر با نتایج بررسی‌های چونگ و همکاران (Chung *et al*, 2014) و کایوقلو و کایا(Kahyaoglu & Kaya, 2006) همخوانی دارد.

اکسیداسیون روغن پسته

شکل ۸، شاخص پراکسید پسته‌های برشته‌شده در مدت زمان نگهداری ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دقیقه در دمای برشته کردن را نشان می‌دهد. با افزایش مدت زمان، شاخص پراکسید افزایش می‌یابد. در زمان ثابت، با افزایش دمای برشته‌کردن شاخص پراکسید افزایش می‌یابد. بیشترین میزان شاخص پراکسید مربوط به پسته برشته‌شده در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس و مدت زمان ۵۰ دقیقه است. از شکل ۸ مشخص است که با افزایش دمای برشته‌کردن، شاخص پراکسید با شیب بیشتری افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۸- تغییرات شاخص پراکسید طی برشته‌کردن پسته

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تأثیر دما و مدت زمان برشته‌کردن بر میزان تغییرات رنگ پسته و اکسیداسیون روغن آن بررسی شده است. تغییر شاخص‌های رنگی مانند افزایش شاخص قهوه‌ای شدن، تغییرات کلی رنگ و شاخص a* طی حرارت دادن و زمان برشته‌کردن، همچنین کاهش شاخص‌های روشنایی، زاویه هیو و b* طی برشته‌شدن پسته رخ می‌دهد. نتایج به دست آمده از تغییر شاخص‌های رنگی طی برشته‌شدن نشان‌دهنده واکنش‌های کاراملیزاسیون و قهوه‌ای شدن است. شاخص پراکسید پسته طی برشته‌شدن افزایش پیدا می‌کند. اما با افزایش دما، این شاخص اکسیداسیون با شدت بیشتری افزایش پیدا خواهد کرد. با وجود اسیدهای چرب غیر اشباع در پسته، در فرآوری این محصول با اکسیداسیون بالای آن همراه است. فرآیند برشته‌کردن نیز مانند سایر فرآیندهای حرارتی باعث افزایش میزان شاخص پراکسید می‌شود.

از داده‌های به دست آمده از مدل‌سازی سینتیکی اکسیداسیون چربی پسته توسط فرآیند حرارتی مشخص است که با افزایش دما، ثابت سرعت اکسیداسیون افزایش پیدا می‌کند. تمامی تیمارها شاخص پراکسیدی در حد استاندارد پسته فرآوری شده داشتند.

تعارض منافع

نویسندگان در رابطه با انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از اخلاق نشر تبعیت کرده و از موارد سوء اخلاق از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

Agila, A. and Barringer, S. A. 2011. Volatile profile of cashews (*Anacardium occidentale* L.) from different geographical origins during roasting. Journal of Food Science. 76(5): C768-C774.

Chung, H.S., Kim, J.K., Moon, K.D. and Youn, K.S. 2014. Changes in color parameters of corn kernels during roasting. Food Science and Biotechnology. 23(6): 1829-1835.

Durmaz, G. and Gökmen, V., 2011. Changes in oxidative stability, antioxidant capacity and phytochemical composition of *Pistacia terebinthus* oil with roasting. Food Chemistry. 18(2): 410-414.

Esmaili, M. 2004. Evaluation of shelf life of oil of two varieties of pistachio (Akbari and Ouhadi) using natural rosemary essential oil. Master Thesis in Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. (in persian).

Hojjati, M., Calín-Sánchez, Á., Razavi, S. H. and Carbonell-Barrachina Á. A. 2013. Effect of roasting on colour and volatile composition of pistachios (*Pistacia vera* L.). International Journal of Food Science and Technology. 48(2): 437-443.

ISIRI. 2019. BiscuitSpecifications and test methods. No. 37. 8th Revision. Iranian National Standardization Organization, Iran.

Kahyaoglu, T. and Kaya, S. 2006. Modeling of moisture, color and texture changes in sesame seeds during the conventional roasting. Journal of Food Engineering. 75(2): 167-177.

Nikzadeh, and, Sedaghat, N and Shahidi, F. 2011. Investigation of moisture, texture and sensory properties of pistachios under the influence of roasting temperature and storage time. Food Science and Technology .8 (1): 109-101. (in persian)

Shakerardekani, A. 2011. Effect of roasting conditions on hardness, moisture content and colour of pistachio kernels. International Food Research Journal. 18, 704-710.

Yeganeh, R., 2013. Colour optimisation of ground pistachio during roasting. Quality Assurance and Safety of Crops and Foods. 5(4): 357-363.

Food Engineering Research/Vol.19/No.68/Spring and Summer 2019/P: 91-104

Journal Home page: https://fooder.areeo.ac.ir/

Original Research

The Effect of Different Temperatures of Roasting in the Color and Oxidation of Pistachio Oil and Their Kinetics

E. dehdashti, M. Hojjatoleslamy*, A. Shaker Ardakan, N. Jahanbakhshian

* Corresponding Author: Associate Professor, Department of food science and technology, Islamic Azad University, Shahrekord Branch, Shahrekord, Iran. Email: mohojjat@gmail.com.
Received: 5 May 2018, Accepted: 7 February 2020
http://doi: 10.22092/fooder.2018.121713.1144

Abstract

In this article, the influence of temperature and roasting time on the oxidation and Color of pistachio oil was investigated. Roasting is one of the most important steps in pistachio processing, so optimization and modification of this process and also improvement of product quality are of high priority. In this study the process of pistachio roasting by hot air was investigated. The effects of different temperatures (120, 140, and 160°C) and times (20, 30, and 50 minutes) on the color and oxidation variation of roasted pistachio were evaluated. Qualitative tests relating to changes of color indexes include measurement of L, a, b, the general changes in color, the angle of the hue, the browning index and the peroxide index. The outcome of analysis of variance (ANOVA) showed that for all responses, there was a significant statistical difference between experiments. With increasing temperature and roasting time, all color indices changed; significant changes in the color of the final product is not desirable from the consumer's point of view. As temperature increased, the process of changing the color, including browning, became faster which indicated browning during roasting. Increasing time and temperature also increased the pistachio peroxide index which indicated fat oxidation in higher temperatures.

Keyword: Color index; Oxidation; Peroxide; Pistachio; Roasting