

ارزیابی پارامترهای رنگی، رطوبت و میزان انرژی مصرفی طی برشته کردن مغز بادامزمینی با استفاده از هوای داغ

هادی باقری^{۱*}، مهدی کاشانی نژاد^۲، امان محمد ضیائی فر^۳، مهران اعلمی^۴

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

(تاریخ دریافت: 94/11/25، تاریخ پذیرش: 95/3/12)

چکیده

برشته کردن یکی از متداول‌ترین اشکال فراوری مغزها بوده و هدف از آن افزایش پذیرش کلی فراورده است. رنگ ظاهری به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی کیفیت مواد غذایی از جمله محصولات برشته شده به‌شمار می‌آید. در این مطالعه اثر متغیرهای فرایند برشته کردن شامل دما و زمان فرایند بر پارامترهای کمی رنگ مانند شاخص روشنایی (L^*)، شاخص قرمزی (a^*)، شاخص زردی (b^*)، تغییرات کلی رنگ (ΔE)، شاخص کروما یا اشباعیت (SI)، زاویه هیو (Hue)، شاخص سفیدی (WI) و شاخص قهوه‌ای شدن (BI) مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین میزان رطوبت نهایی مغزها و میزان انرژی مصرفی برای برشته کردن مغزها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش دما و زمان برشته کردن باعث کاهش مقدار L^* ، b^* ، زاویه هیو و شاخص سفیدی و افزایش ΔE و شاخص قهوه‌ای شدن مغز دانه‌های بادامزمینی گردید ($p < 0/05$). هم‌چنین اثر متقابل دو فاکتور مورد بررسی (دما و زمان برشته کردن) اثر معنی‌داری بر L^* ، a^* ، b^* و SI نشان نداد ($p < 0/05$). مقدار L^* ، a^* ، b^* ، ΔE زاویه هیو، شاخص کروما (اشباعیت)، شاخص سفیدی و شاخص قهوه‌ای دانه‌های بادامزمینی برشته در دامنه حرارتی 140 تا 180 درجه سانتی‌گراد طی مدت 10 تا 30 دقیقه به‌ترتیب در دامنه 20/31-23/96، 40/37-60/31، 53/17-75/46 و 34/63-52/83، 23/52-26/62، 25/31-37/67، 5/39-25/82، 11/85-15/40 و زمان برشته کردن مقدار رطوبت نهایی مغز بادامزمینی از 8/27 به 0/339 درصد بر پایه ماده خشک کاهش و میزان انرژی مصرفی افزایش یافت. به‌طور کلی میزان انرژی مصرفی برای برشته کردن مغز بادام زمینی با استفاده از هوای داغ در دامنه حرارتی 140 تا 180 درجه سانتی‌گراد طی مدت 10 تا 30 دقیقه بین 0/4866-1/7183 کیلو وات ساعت قرار داشت. براساس نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌شود که از پارامترهای رنگی برای کنترل فرایند برشته کردن مغز بادامزمینی استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: برشته کردن، مغز بادامزمینی، رنگ، شاخص قهوه‌ای شدن، انرژی مصرفی.

۱- مقدمه

به‌طور معمول، اولین ویژگی کیفی مغزها و آجیل‌ها که توسط مصرف‌کننده مورد توجه قرار می‌گیرد، شکل ظاهری و رنگ آن است. رنگ یکی از جنبه‌های مهم و ظاهری مغزها به‌شمار می‌آید که بر روی قابلیت پذیرش آن‌ها توسط مصرف‌کننده تأثیرگذار می‌باشد. از سوی دیگر، بسیاری از واکنش‌هایی که هنگام برشته نمودن در مغزها رخ می‌دهند، می‌تواند بر روی رنگ آن‌ها مؤثر باشند.

بنابراین رنگ به‌عنوان یکی از شاخص‌های کیفی تجربی در فراوری مواد غذایی در نظر گرفته می‌شود [1].

برشته کردن یکی از متداول‌ترین اشکال فراوری مغزها بوده و هدف از آن افزایش پذیرش کلی فراورده است. در طی برشته نمودن دانه‌های آجیلی، تغییراتی در رنگ، طعم، بافت و ظاهر آن ایجاد می‌گردد که این تغییرات به‌طور معمول، ناشی از واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی است [2-6]. واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی را می‌توان به سه واکنش اولیه واکنش میلارد، استرکر و کاراملیزاسیون قند که منجر به تولید رنگ و طعم می‌گردند، تقسیم نمود [7-8]. فراورده‌های حاصل از قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی اغلب دارای خصوصیات آنتی‌اکسیدانی هستند. ویژگی آنتی‌اکسیدانی آن‌ها مربوط به تشکیل ترکیبات فنولیک و یا خصوصیات چلات‌کنندگی فلزات توسط ملانوئیدین‌ها می‌باشد [7، 10 و 11].

برشته کردن به‌واسطه واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی سبب افزایش رنگ دانه‌ها شده و در نتیجه منجر به افزایش دلپذیری کلی فراورده می‌گردد. فراورده‌های حاصل از واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی، میلارد و استرکر، شامل انواع فراورده‌هایی با ساختار پیچیده هستند که بسیاری از آن‌ها غیراشباع می‌باشند. باندهای دوگانه موجود در این ساختارها نور را جذب کرده در نتیجه مشابه پیگمان‌های قهوه‌ای رفتار کرده و در ایجاد رنگ تیره فراورده برشته شده مشارکت می‌کنند. کاراملیزاسیون قند، دهیدراسیون حرارتی و تجزیه قندها نیز منجر به تولید پیگمان‌های قهوه‌ای رنگ به همراه اسیدهای آلی و انواع آلدئیدها و کتون‌ها می‌گردند [12].

بسیاری از محققان از شاخص رنگ به‌عنوان یک شاخص کنترل کیفی استفاده می‌کنند، چرا که پیگمان‌های قهوه‌ای

با پیشرفت واکنش‌های قهوه‌ای شدن هم‌چون میلارد و کاراملیزاسیون افزایش می‌یابد [2، 15]. محققان زیادی میزان تغییرات رنگ را به‌عنوان یکی از شاخص‌های اصلی کنترل فرایند برشته کردن عنوان نمودند؛ از جمله می‌توان به کایگلو و کایا در برشته کردن دانه‌های کنجد؛ ازدمیر و دورس برشته کردن فندق؛ مندرس و همکاران و کریسیاک در برشته کردن قهوه؛ و کایگلو در برشته کردن مغز پسته اشاره کرد [2، 15-12]. با توجه به این‌که دما و زمان فرایند از جمله پارامترهای تأثیرگذار بر رنگ مغزها و آجیل‌ها محسوب می‌شود، بنابراین کنترل و بهینه‌سازی آن‌ها ضروری به‌شمار می‌آید [9]. با توجه به بررسی‌های انجام شده هنوز مطالعه‌ای در خصوص بررسی پارامترهای رنگی مغز بادام‌زمینی صورت نگرفته است. بنابراین هدف از این مطالعه ارزیابی کمی تغییرات پارامترهای رنگی در طول فرایند برشته شدن بود.

۲- مواد و روش‌ها

بادام‌زمینی خام (رقم گلی) از مزرعه مینودشت تهیه و پس از آن به‌روش آفتابی خشک و تا زمان آزمایش در محل خشک نگه‌داری شدند. بعد از سایزبندی، نمونه‌های با ابعاد یکسان برای انجام آزمایش انتخاب گردید. میزان رطوبت اولیه در مغزهای بادام‌زمینی حدود 5/1 درصد بر پایه ماده خشک بود و متوسط ابعاد بادام‌زمینی استفاده شده در این آزمایش به‌ترتیب حدود 18/68، 9/63 و 7/85 میلی‌متر بود.

۱-۲- آماده‌سازی نمونه‌ها

برای آماده‌سازی نمونه‌ها، مغزهای بادام‌زمینی به مدت 30 دقیقه با نسبت وزنی یک به پنج در محلول آب نمک 25 درصد قرار گرفتند. در طی این مدت نمونه‌ها به آرامی و با سرعت یکنواخت هم زده شدند. در مرحله بعد، نمونه‌ها از آب نمک خارج و توسط فیلتر پارچه‌ای آب نمک سطحی آن‌ها گرفته شد و در ادامه فرایند برشته کردن بر روی بادام‌زمینی‌ها انجام گرفت. در این مرحله رطوبت مغز بادام‌زمینی به حدود 8/27 درصد بر پایه ماده خشک رسید.

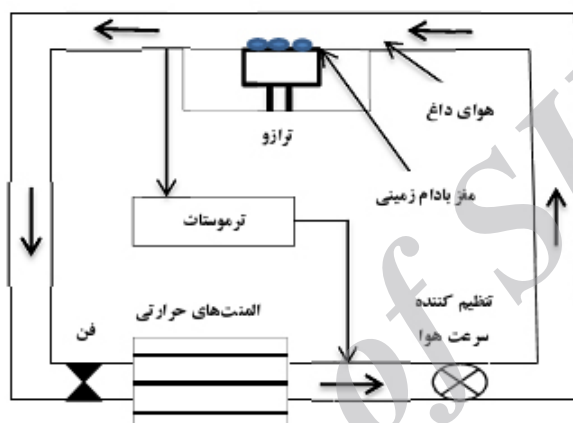
۲-۲- فرایند برشته کردن

به منظور ایجاد شرایط ثابت در اتاقک برشته کن، دستگاه

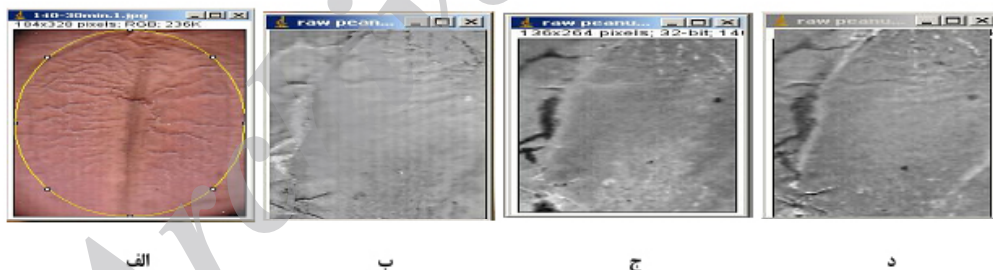
مدت 15 دقیقه قبل از شروع فرایند روشن گردید. مغزهای بادامزمینی به صورت لایه نازک در اتاقک برشته کن قرار گرفتند. برشته کردن مغزهای بادامزمینی با سامانه هوای داغ (شکل 1) مطابق با جدول (1) در دماهای 140، 160 و 180 درجه سانتی‌گراد، زمان 10، 20 و 30 دقیقه و سرعت جابه‌جایی هوای داغ ثابت به میزان 1 متر بر ثانیه انجام گردید.

3-2- اندازه‌گیری میزان رنگ و تغییرات آن

به منظور بررسی خصوصیات رنگی از فضای رنگی $L^*a^*b^*$ پس از انجام فرایند درون دسیکاتور خنک شدند و بلافاصله



شکل (1) شماتیک سامانه هوای داغ مورد استفاده برای برشته کردن مغز بادامزمینی



شکل (2) تصویر پوسته و فضای رنگی مغز بادامزمینی $L^*a^*b^*$: الف- تصویر پوسته مغز بادامزمینی، ب- تصویر نشان دهنده شاخص L^* ، ج- تصویر نشان دهنده شاخص a^* ، د- تصویر نشان دهنده شاخص b^*

جدول (1) طرح آزمایش و داده‌های ورودی فرایند برشته کردن (کد گذاری شده)

دمای هوای داغ مورد استفاده برای برشته کردن (درجه‌ی سانتی‌گراد)			
180	160	140	
T180-t10	T160-t10	T140-t10	10
T180-t20	T160-t20	T140-t20	20
T180-t30	T160-t30	T140-t30	30

T=دمای مورد استفاده و t= زمان مورد استفاده

اشباع شدگی و یا شدت رنگ است. زاویه هیو شاخصی از رنگ ماده غذایی است که زاویه صفر و یا 360 درجه، نمایانگر رنگ قرمز و زاویه‌های 90، 180 و 270 درجه به ترتیب نشان دهنده رنگ‌های زرد، سبز و آبی می‌باشد. به عبارت دیگر زاویه هیو بیانگر رنگ غالب است و هرچه این زاویه به صفر نزدیک‌تر باشد، بیانگر قرمز رنگ بودن نمونه است. شاخص سفیدی نشان دهنده تمایل نمونه به رنگ سفید می‌باشد و هر چه مقدار آن به 100 نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده سفیدی بیش‌تر نمونه است. شاخص قهوه‌ای شدن یکی دیگر از شاخص‌های مورد اندازه‌گیری پارامترهای رنگی است که میزان تغییر رنگ محصول به سمت رنگ قهوه‌ای را نشان می‌دهد [1، 16-17].

4-2- اندازه‌گیری رطوبت نهایی

رطوبت نهایی براساس وزن خشک ماده محاسبه شد. بدین ترتیب که 3 عدد مغز بادام‌زمینی جدا و درون آن با دمای 130 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد [20]. سنجش‌ها در 4 تکرار انجام و میانگین داده‌ها گزارش شد.

5-2- محاسبه میزان انرژی مصرفی

میزان انرژی مصرفی توسط دستگاه آنالیز توان لوترون (مدل DW-6090A) اندازه‌گیری شد. این دستگاه سر راه مصرف برق توسط دستگاه برشته‌کن قرار گرفت و جریان ورودی به دستگاه برشته‌کن ابتدا از دستگاه آنالیز توان عبور نموده و ثبت شد. نتایج به صورت فایل اکسل ذخیره شده و محاسبات توسط نرم‌افزار اکسل 2010 انجام گرفت.

6-2- آنالیز آماری

تاثیر مستقل و متقابل هر یک از متغیرهای فرایند (دما و زمان برشته کردن) بر پارامترهای رنگی با استفاده از طرح فاکتوریل و تجزیه واریانس (GLM) توسط نرم‌افزار آماری Minitab 16 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها در سطح 5 درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و به کمک نرم افزار MSTATC (Version 1.42, Michigan State university) صورت گرفت.

رنگ سطحی با یک دستگاه اسکنر رنگی مدل کانن (Canon, Cano Scan, LiDE 120 Scanner) و با دقت DPI 600 اسکن شد. تمامی عکس‌ها با فرمت JPEG و کیفیت بالا ذخیره شدند. سپس توسط نرم‌افزار ImageJ، نسخه 1.4 g به وسیله برنامه تحت ImageJ با عنوان Converter Color- Space که به عنوان افزودنی برنامه نامیده می‌شوند، تصاویر به فضای $L^*a^*b^*$ تبدیل گردید. برای این منظور پس از باز نمودن عکس در فضای برنامه ImageJ از منو گزینه plugin گزینه color space converter را انتخاب نموده، گزینه‌های تبدیل به فضای رنگی $L^*a^*b^*$ تنظیم شد. پس از تبدیل فضای رنگی، برای هر یک از کانال‌های جدا شده فضای رنگی $L^*a^*b^*$ مقادیر میانگین پیکسل‌های تصویر محاسبه شد. برای این کار از منوی Analyse گزینه Measure انتخاب شد. بدین ترتیب، مقادیر L^* (روشنایی)، a^* (قرمزی) و b^* (زردی) هر یک از تصاویر مربوط به نمونه‌ها در 5 نقطه از تصویر محاسبه و میانگین آن‌ها گزارش شدند. پارامترهای دیگری که از پارامترهای رنگی فوق به دست می‌آیند، شامل تغییر رنگ کلی¹ (ΔE) (معادله 1)، شاخص کروما (C) یا شاخص اشباعیت² (SI) (معادله 2)، زاویه هیو³ (معادله 3)، شاخص روشنایی⁴ (معادله 4) و شاخص قهوه‌ای شدن⁵ (معادله 5) است.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (1)$$

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

$$\text{Hue} = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (3)$$

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (4)$$

$$BI = \frac{(x - 0.31)}{0.17} \times 100 \quad (5)$$

مقادیر اختلاف رنگ نمایانگر تغییرات رنگ نسبت به نمونه خام می‌باشد. شاخص اشباعیت یا کروما نشان دهنده میزان

1. Total Colour Difference

2. Saturation Index

3. Hue Angle

4. Whiteness Index

5. Browning Index

3- نتایج و بحث

میزان روشنایی نمونه‌هاست (جدول 3). نتایج مشابهی توسط اژدمیر و دورس و مندرس و همکاران در ارتباط با کاهش مقدار L^* در طی برشته کردن فندق و قهوه مشاهده شد [12-13]. کاهش مقدار L^* ممکن است ناشی از تشکیل پیگمان‌های قهوه‌ای در اثر واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی باشد [6]، بنابراین مقدار ترکیبات قهوه‌ای متناسب با افزایش دما و زمان فرایند در مغزهای بادام‌زمینی افزایش یافت. از طرفی کاهش میزان رطوبت بادام‌زمینی در طی فرایند برشته کردن باعث تغییر قابلیت انعکاس نور شده و در نتیجه باعث تغییر رنگ بادام‌زمینی می‌شود [16].

هم‌چنین چونک و همکاران بیان نمودند که میزان روشنایی (L^*) در طی فرایند برشته کردن کاهش پیدا می‌کند که این امر می‌تواند مربوط به انجام واکنش قهوه‌ای شدن در طول فرایند برشته‌کردن باشد [1].

جدول (2) نتایج آنالیز واریانس پارامترهای رنگی مغزهای بادام‌زمینی برشته شده با سامانه هوای داغ را نشان می‌دهد. اثر دمای هوای داغ و زمان و اثر متقابل دوگانه آن‌ها به ترتیب در جدول‌های (3) و (4) آورده شده است. رنگ، یک ویژگی فیزیولوژیکی است و از دیدگاه مصرف‌کننده از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی غذاهای دهیدراته محسوب می‌شود و نیز به دلیل افزایش رنگدانه‌های قهوه‌ای به واسطه پیشرفت واکنش‌های کاراملیزاسیون و قهوه‌ای شدن در طی برشته کردن، رنگ به‌عنوان یکی از شاخص‌های کیفی تجربی برای فرایند در نظر گرفته می‌شود [12، 18]. مقدار میانگین L^* ، a^* و b^* در نمونه خام بادام‌زمینی به ترتیب 65/72، 19/57 و 15/62 بود.

3-1- شاخص L^*

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر دمای هوای داغ و زمان برشته کردن بر مقدار L^* مغزهای بادام‌زمینی در جدول (2) نشان داده شده است. همان‌گونه که در جدول (2) مشاهده می‌شود، اثر فاکتورهای دمای هوای داغ و زمان معنی‌دار شده است؛ این در حالی است که اثر همزمان و متقابل معنی‌دار نبود ($p < 0/05$) (جدول 2). میزان روشنایی (L^*) بین صفر تا 100 تغییر می‌کند و هر چه مقدار آن بزرگ‌تر باشد، نمونه روشن‌تر می‌باشد. مقایسه میانگین توسط آزمون دانکن ($p < 0/05$) بر روی میزان روشنایی بیان می‌کند که دما و زمان کم‌تر تأثیر مثبت روی میزان روشنایی دارد. کم‌ترین میزان روشنایی مربوط به نمونه برشته در دمای 180 درجه سانتی‌گراد و زمان 30 دقیقه (40/37) و بیش‌ترین روشنایی مربوط به نمونه برشته در دمای 140 درجه سانتی‌گراد و زمان 10 دقیقه (60/31) می‌باشد (جدول 4). به‌طور کلی افزایش دمای برشته کردن باعث کاهش مقدار L^* شد.

افزایش دمای برشته کردن از 140 به 160 درجه سانتی‌گراد باعث کاهش مقدار L^* به میزان 10/49 درصد شد. استفاده از دمای 180 درجه سانتی‌گراد مقدار L^* را به میزان 16/96 درصد کاهش داد (جدول 3). افزایش زمان برشته کردن باعث کاهش مقدار L^* نمونه‌ها شد که نشان دهنده کاهش

3-2- شاخص a^*

شاخص قرمزی-سبزی (a^*) در صورت مثبت بودن بیانگر قرمزی بیش‌تر نمونه است. مقدار پارامتر a مغزهای برشته شده در دما و زمان‌های مختلف در دامنه 23/96 - 20/31 قرار داشت (جدول 4). جدول (3) اثر شرایط مختلف برشته کردن به صورت مستقل را بر مقدار پارامتر a مغزهای بادام‌زمینی نشان می‌دهد. با افزایش دمای برشته کردن تا 160 درجه سانتی‌گراد مقدار a^* افزایش پیدا کرد، در حالی که مقدار آن با افزایش دمای برشته کردن از 160 تا 180 درجه سانتی‌گراد کاهش نشان داد، اما این تغییرات معنی‌دار نبود ($p < 0/05$) (جدول‌های 2 و 3). افزایش زمان برشته کردن تا 20 دقیقه تأثیری در مقدار پارامتر a^* مغزهای برشته شده نداشت، در حالی که مقدار آن با افزایش زمان از 20 تا 30 دقیقه افزایش پیدا کرد ($p < 0/05$) (جدول 3). اثر همزمان دما و زمان برشته کردن با هوای داغ بر مقدار پارامتر a نمونه‌های بادام‌زمینی معنی‌دار نبود ($p < 0/05$) (جدول‌های 2 و 4). افزایش در میزان a نمونه‌ها در طی فرایند برشته کردن توسط محققانی هم‌چون چونگ و همکاران نیز گزارش شده است، این در حالی است که بر خلاف این مطالعه اژدمیر و دورس گزارش کردند که مقدار a^* با افزایش دما و زمان کاهش یافت [1، 12].

جدول (2) نتایج آنالیز واریانس پارامترهای کیفی مغز بادام‌زمینی برشته شده با سامانه هوای داغ

P	F	میانگین مربعات تعدیل شده	مجموع مربعات تعدیل شده	مجموع مربعات متوالی	درجه آزادی	منابع تغییرات	خصوصیات رنگی
0/000	32/10	357/64	715/28	715/28	2	دما	
0/000	25/06	279/20	558/40	558/40	2	زمان	L*
0/293	1/29	14/36	57/43	57/43	4	دما× زمان	
0/103	2/43	6/519	13/039	13/039	2	دما	
0/000	9/93	26/657	53/315	53/315	2	زمان	a*
0/586	0/72	1/927	7/706	7/706	4	دما× زمان	
0/026	4/03	9/330	18/660	18/660	2	دما	
0/036	3/66	8/470	16/393	16/393	2	زمان	b*
0/160	1/75	4/063	16/250	16/250	4	دما× زمان	
0/000	7437/51	148/165	296/330	296/330	2	دما	
0/000	5927/44	118/083	236/165	236/165	2	زمان	ΔE
0/000	261/88	5/217	20/868	20/868	4	دما× زمان	
0/000	84/11	42/247	84/495	84/495	2	دما	
0/000	94/12	47/274	94/547	94/547	2	زمان	Hue
0/001	11/74	5/896	23/584	23/584	4	دما× زمان	
0/140	2/47	2/3317	4/6634	4/6634	2	دما	
0/035	4/99	4/7112	9/4225	9/4225	2	زمان	SI
0/460	0/99	0/9362	3/7449	3/7449	4	دما× زمان	
0/000	226383/03	110/553	221/067	221/067	2	دما	
0/001	218238/89	106/557	213/114	213/114	2	زمان	WI
0/000	13859/77	6/767	27/069	27/069	4	دما× زمان	
0/000	25/27	99/31	198/61	198/61	2	دما	
0/000	51/61	202/84	405/68	405/68	2	زمان	BI
0/001	14/35	56/41	225/65	225/65	4	دما× زمان	
0/000	2354/88	15/8448	31/6896	31/6896	2	دما	
0/000	739/76	4/9775	9/9550	9/9550	2	زمان	میزان رطوبت نهایی (% db)
0/000	96/44	0/6489	2/5956	2/5956	4	دما× زمان	
0/000	149/24	0/5361	1/0723	1/0723	2	دما	
/000	134/45	0/4830	0/966	0/966	2	زمان	میزان مصرف انرژی (Kwh)
0/021	5/04	0/0181	0/0724	0/0724	4	دما× زمان	

جدول (3) اثر برشته کردن با سامانه هوای داغ (اثر دما و زمان به صورت مستقل) بر خصوصیات کیفی مغز بادامزمینی

زمان (دقیقه)			دما (درجه سانتی‌گراد)			پارامتر کیفی
30	20	10	180	160	140	
47/02 ^c	53/17 ^b	55/33 ^a	47/38 ^c	51/07 ^b	57/06 ^a	L*
23/13 ^a	20/83 ^b	20/82 ^b	21/63 ^{ns}	22/22 ^{ns}	20/91 ^{ns}	a*
12/25 ^b	12/25 ^b	13/55 ^a	12/05 ^c	12/44 ^b	13/57 ^a	b*
19/312 ^a	13/040 ^b	10/741 ^c	18/869 ^a	15/190 ^b	9/034 ^c	ΔE
27/72 ^c	30/64 ^b	33/33 ^a	28/86 ^c	29/21 ^b	33/62 ^a	Hue
26/46 ^a	24/99 ^b	24/87 ^b	24/72 ^{ns}	25/81 ^{ns}	25/79 ^{ns}	SI
40/87 ^c	47/28 ^b	48/81 ^a	41/84 ^c	44/82 ^b	50/30 ^a	WI
65/31 ^a	55/65 ^b	54/87 ^c	62/30 ^a	59/28 ^b	54/25 ^c	BI
2/5772 ^b	3/1487 ^b	4/3608 ^a	1/6271 ^c	3/6112 ^b	4/8485 ^a	میزان رطوبت نهایی (% db)
1/2827 ^a	0/9737 ^b	0/7160 ^c	1/3044 ^a	0/9589 ^b	0/7191 ^b	میزان مصرف انرژی (Kwh)

حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد است. ns : معنی‌دار نیست. شاخص روشنایی (L*)، شاخص قرمزی (a*)، شاخص زردی (b*)، تغییرات کلی رنگ (ΔE)، شاخص کروما یا اشباعیت (SI)، زاویه هیو (Hue)، شاخص سفیدی (WI) و شاخص قهوه‌ای شدن (BI)

جدول (4) برهم کنش دو گانه دما و زمان برشته شدن با سامانه هوای داغ بر پارامترهای رنگی مغز بادامزمینی برشته شده

SI	Hue	b*	a*	L*	زمان (دقیقه)	دما (°C)
25/49	37/67 ^a	15/40	20/31	60/31	10	140
25/38	31/83 ^b	12/42	20/40	57/34	20	140
26/51	31/36 ^b	12/89	22/01	53/53	30	140
25/61	32/02 ^b	13/39	21/83	53/76	10	160
25/56	29/12 ^c	12/00	21/43	52/31	20	160
26/27	26/49 ^d	11/92	23/41	47/15	30	160
23/52	30/30 ^{bc}	11/87	20/31	51/92	10	180
24/03	30/95 ^{bc}	12/34	20/62	49/86	20	180
26/62	25/31 ^e	11/85	23/96	40/37	30	180

حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد است. عدم انجام آزمون مقایسه میانگین‌ها به علت عدم معنی‌داری اثر متقابل دما و زمان در برخی از پارامترها

3-3- شاخص b*

می‌گیرد؛ در طی فرایند برشته کردن مقدار ترکیبات آمینی و هیدروکسیلی زیاد شده و در نتیجه سرعت انجام واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی افزایش می‌یابد [12]. شکل (3) نشان دهنده اثر متقابل دما و زمان بر مقدار ΔE طی فرایند برشته کردن می‌باشد. به‌طور کلی تغییر در رنگ مغزها در دماهای بیش‌تر از 100 درجه سانتی‌گراد عمدتاً مربوط به واکنش‌های غیرآنزیمی قهوه‌ای شدن می‌شود، چرا که در این چنین دماهای (100-220 درجه‌ی سانتی‌گراد)، بیش‌تر آنزیم‌های مواد غذایی غیر فعال می‌شوند [18-19].

3-5- شاخص SI

میزان اشباع شدگی و یا شدت رنگ نمونه برشته شده در دمای 180 درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت 30 دقیقه نسبت به سایر نمونه‌ها بیش‌تر بود و بیان‌کننده این است که این نمونه، قرمزی بیش‌تری نسبت به سایر نمونه‌ها دارد (جدول 4).

بررسی اثر مستقل پارامترها نشان داد که اثر دما و اثر متقابل دما و زمان بر میزان شدت رنگ معنی‌دار نیست، ولی اثر زمان برشته کردن بر میزان شدت رنگ معنی‌دار بود ($p < 0/05$) (جدول 2). با افزایش زمان برشته کردن از 10 دقیقه به 30 دقیقه میزان شدت رنگ 6/39 درصد افزایش یافت و قرمزی نمونه‌ها بیش‌تر گردید (جدول 3). چونگ و همکاران گزارش کردند که با افزایش دمای برشته کردن میزان شدت رنگ افزایش یافت [1]. وجود مقادیر کم‌تر قندهای احیاکننده در برخی نمونه‌ها و در سایش‌های کوچک‌تر مغزها باعث کاهش سرعت واکنش قهوه‌ای شدن می‌گردد، در نتیجه ممکن است منجر به تفاوت در سرعت واکنش در بخش‌های مختلف نمونه، توسعه موضعی واکنش میلارد و یا ایجاد رنگ روشن‌تر در نمونه‌های با سایش کوچک‌تر شود [7].

3-6- زاویه هیو

جدول (4) اثر شرایط مختلف برشته کردن را بر زاویه هیو نشان می‌دهد. اثر دما، زمان و اثر متقابل دما و زمان برشته کردن بر زاویه هیو معنی‌دار بود ($p < 0/05$) (جدول 2). زاویه هیو بیانگر رنگ غالب است و هر چه این زاویه به صفر نزدیک‌تر باشد، بیانگر قرمز رنگ بودن نمونه است. میزان زاویه هیو بیان

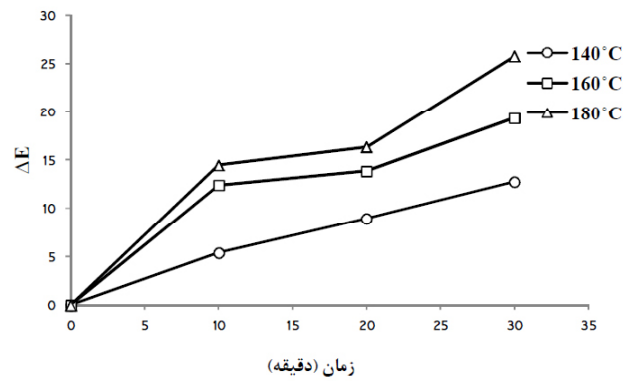
مثبت بودن شاخص زردی-آبی (b^*) بیانگر زرد بودن نمونه است. اثر دما و زمان برشته کردن بر مقدار پارامتر b مغزهای بادام‌زمینی معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل و همزمان این دو عامل اثر معنی‌داری بر مقدار b نداشت ($p < 0/05$) (جدول 2). مقدار پارامتر b نمونه‌ها در دامنه 11/87 - 15/40 قرار داشت (جدول 4). جدول (3) اثر مستقل شرایط مختلف برشته کردن را بر مقدار پارامتر b نمونه‌های بادام‌زمینی نشان می‌دهد. مقدار پارامتر b با افزایش دما و زمان فرایند به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری که پائین‌ترین مقدار b در دمای 180 درجه سانتی‌گراد و زمان 30 دقیقه دیده شد (جدول 4). نتایج مشابهی توسط محققان دیگر هم‌چون کایگلو در برشته کردن پسته؛ چونگ و همکاران در برشته کردن ذرت و کایگلو و کایا در برشته کردن دانه‌های کنجد گزارش شده است [1، 2 و 15]. ازدمیر و دورس نشان دادند که با افزایش دما و زمان فرایند مقدار b در فندق تغییر معنی‌داری نشان نداد [12].

3-4- شاخص ΔE

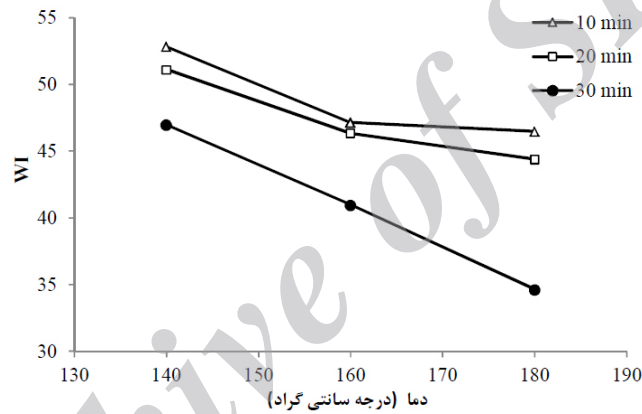
مقدار ΔE نشان دهنده تفاوت کلی پارامترهای رنگی اندازه‌گیری شده رنگ بین نمونه خام و نمونه برشته شده است [2 و 15] و می‌توان از آن به‌عنوان یک شاخص اصلی برای بررسی تغییرات رنگ در طی فرایند برشته کردن استفاده نمود [1].

جدول (3) اثر شرایط مختلف برشته کردن را بر مقدار ΔE نشان می‌دهد. اثر دما و زمان برشته کردن و هم‌چنین اثر متقابل این دو عامل بر مقدار ΔE معنی‌دار بود ($p < 0/05$) (جدول 2). در نمونه‌های برشته شده تغییرات مقدار ΔE در دامنه 5/398 - 25/825 قرار داشت و با افزایش دما و زمان مقدار آن افزایش پیدا کرد (شکل 3). این یافته در تطابق با یافته‌های چونگ و همکاران می‌باشد [1].

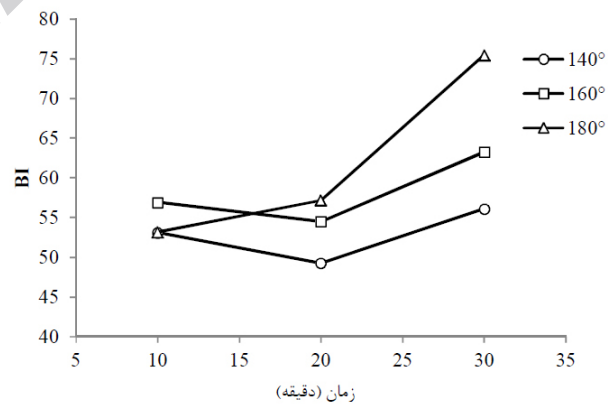
افزایش مقدار ΔE ناشی از توسعه واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی در طی فرایند برشته کردن می‌باشد [1]. شروع واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی از واکنش میان گروه‌های آمین آزاد پروتئین و گروه هیدروکسیل گلوکوزیدی قندهای احیاکننده یا ترکیبات کربنیلی مثل آلدئیدها و کتون‌ها صورت



شکل (3) اثر دما و زمان فرایند برشته کردن با هوای داغ بر مقدار ΔE



شکل (4) اثر دما و زمان فرایند برشته کردن بر میزان شاخص سفیدی



شکل (5) اثر دما و زمان فرایند برشته کردن بر میزان شاخص قهوه‌ای شدن

همان‌طور که در جدول (3) مشاهده می‌شود، افزایش دمای برشته کردن باعث افزایش شاخص قهوه‌ای شدن شده است. افزایش دمای برشته کردن از 140 به 180 درجه سانتی‌گراد باعث افزایش شاخص قهوه‌ای شدن به میزان 14/9 درصد شد. که علت آن به خاطر افزایش سرعت واکنش‌های قهوه‌ای شدن در دمای 180 درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای 140 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. از طرفی بین زمان برشته شدن و شاخص قهوه‌ای شدن رابطه مستقیم وجود دارد و با افزایش زمان فرایند از 10 به 30 دقیقه باعث افزایش شاخص قهوه‌ای شدن به میزان 19 درصد شد (جدول 3). با افزایش زمان برشته کردن میزان سرعت واکنش‌های قهوه‌ای در دمای بالای به‌کار رفته افزایش یافته و در نتیجه شاخص قهوه‌ای شدن افزایش می‌یابد.

شکل (5) اثر متقابل دما و زمان برشته شدن را بر شاخص قهوه‌ای شدن نشان می‌دهد. به‌طور کلی طی فرایند برشته کردن، شاخص قهوه‌ای شدن افزایش می‌یابد.

3-9- میزان رطوبت نهایی

یکی از پارامترهای مهم که باید طی فرایند برشته کردن کنترل شود؛ میزان رطوبت نهایی مغز برشته شده است [12]. مقدار رطوبت در مغزهای برشته شده به‌عنوان یک فاکتور بحرانی در نظر گرفته می‌شود، چرا که بر طعم، بافت و زمان ماندگاری مغز برشته شده تاثیرگذار است. همچنین این پارامتر تاثیر معنی‌داری بر واکنش‌های اثر گذار بر طعم و مزه هم‌چون میلارد، کاراملیزاسیون و واکنش‌های شیمیایی در حین فرایند تولید و در طول دوره نگهداری پس از تولید دارد، بنابراین اثر مستقیمی بر کیفیت و زمان ماندگاری محصول نهایی دارد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر دمای هوای داغ و زمان برشته کردن بر میزان رطوبت نهایی مغزهای بادام‌زمینی در جدول (2) به نمایش درآمده است. همان‌گونه که در جدول (2) مشاهده می‌شود، اثر فاکتورهای دما و زمان فرایند و هم‌چنین اثر هم‌زمان و متقابل آن‌ها بر میزان رطوبت نهایی مغزها در سطح 5 درصد معنی‌دار شده است ($p < 0/05$) (جدول 2). همان‌طور که در جدول (3) مشاهده می‌شود، افزایش دمای برشته کردن باعث کاهش میزان رطوبت نهایی شده است.

می‌کند که با افزایش دما و زمان فرایند برشته کردن میزان قرمزی نمونه‌ها افزایش پیدا کرد به‌طوری که بالاترین قرمزی مربوط به نمونه برشته شده در دمای 180 درجه سانتی‌گراد به مدت 30 دقیقه و کم‌ترین میزان قرمز مربوط به نمونه برشته شده در دمای 140 درجه سانتی‌گراد به مدت 10 دقیقه بود (جدول 4). با افزایش دما از 140 به 180 درجه سانتی‌گراد زاویه هیو به میزان 5 درجه کاهش یافت و با افزایش زمان برشته کردن به 30 دقیقه زاویه هیو به 27/72 درجه رسید (جدول 3).

3-7- شاخص سفیدی

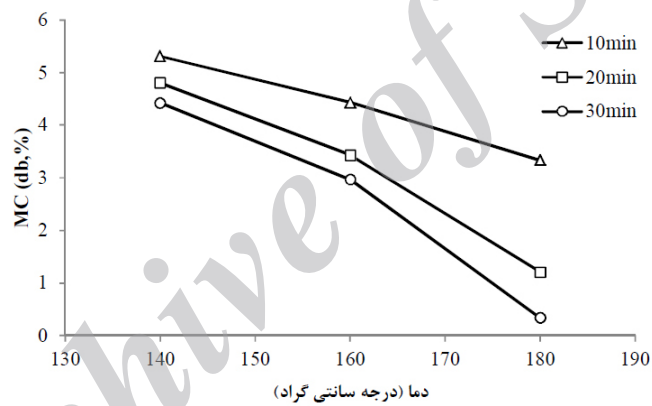
از جمله پارامترهای توصیفی دیگر، می‌توان به شاخص سفیدی اشاره کرد. تفاوت معنی‌داری در شاخص سفیدی در تیمارهای مختلف دیده شد و با افزایش دما و زمان شاخص سفیدی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0/05$) (جدول 2). با افزایش دما شاخص سفیدی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری که در دمای 180 درجه سانتی‌گراد میزان شاخص سفیدی به 41/84 درصد رسید. از طرفی با افزایش زمان نیز میزان شاخص سفیدی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و میزان آن به 40/87 درصد رسید (جدول 3). شکل 4 اثر متقابل دما و زمان را بر شاخص سفیدی نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود با افزایش دما و زمان برشته کردن میزان شاخص سفیدی کاهش یافت، که این کاهش در زمان 30 دقیقه شدیدتر است.

3-8- شاخص قهوه‌ای شدن

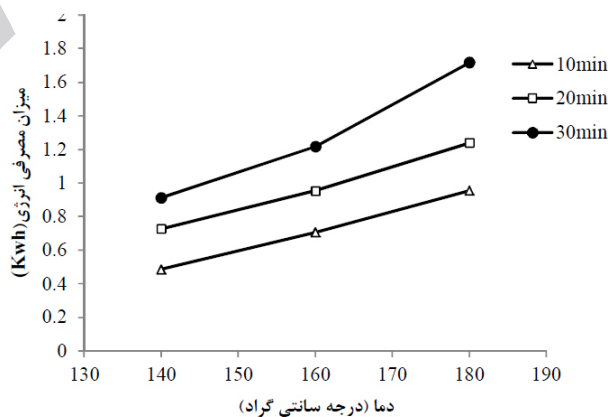
شاخص قهوه‌ای شدن خلوص رنگ قهوه‌ای را نشان می‌دهد و به‌عنوان یک عامل مهم مربوط به قهوه‌ای شدن در نظر گرفته می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر دمای هوای داغ و زمان بر شاخص قهوه‌ای شدن مغزهای بادام‌زمینی در جدول (2) به نمایش درآمده است. همان‌گونه که در جدول (2) مشاهده می‌شود، اثر فاکتورهای دمای هوای داغ و زمان و هم‌چنین اثر هم‌زمان و متقابل آن‌ها بر شاخص قهوه‌ای شدن مغزها در سطح 5 درصد معنی‌دار شده است ($p < 0/05$) (جدول 2).

جدول (5) ضرایب همبستگی بین پارامترهای رنگی، رطوبت و انرژی مصرفی

	L*	a*	b*	ΔE	Hue	SI	WI	BI	MC	Energy
L*	1									
a*	-0/7990	1								
b*	0/6770	-0/3673	1							
ΔE	-0/9996	0/8021	-0/6932	1						
Hue	0/9083	-0/7635	0/8702	-0/9193	1					
SI	-0/4519	0/8462	0/1836	0/4463	-0/3097	1				
WI	0/9958	-0/8425	0/6195	-0/9946	0/8906	-0/5310	1			
BI	-0/9020	0/8849	-0/3184	0/8953	-0/7124	-0/7456	-0/9351	1		
MC	0/9011	-0/5126	0/6030	-0/8944	0/7321	-0/1890	0/8779	-0/7679	1	
Energy	0/9732	0/7087	-0/6819	0/9721	-0/8679	0/3530	-0/9615	0/8598	0/9475	1



شکل (6) میزان رطوبت نهایی در مغز بادامزمینی برشته شده با هوای داغ



شکل (7) میزان مصرف انرژی در برشته کردن مغز بادامزمینی با هوای داغ

افزایش دمای برشته کردن از 140 به 180 درجه سانتی‌گراد باعث کاهش رطوبت نهایی به میزان 66 درصد شد. که علت آن به خاطر تامین انرژی بالاتر در دمای 180 درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای 140 درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

3-11- همبستگی بین پارامترهای رنگی، رطوبت و انرژی مصرفی

جدول (5) ضرایب همبستگی پیرسون بین پارامترهای رنگی، رطوبت و انرژی مصرفی در بادام‌زمینی برشته شده در دما و زمان‌های متفاوت را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که بین میزان رطوبت نهایی و برخی پارامترهای رنگی مانند L^* و WI همبستگی بالا و مثبتی وجود دارد، به طوری که هر چه مقدار WI و L^* کاهش یافت، به همان نسبت میزان رطوبت نهایی مغزها نیز کاهش یافت. این در حالی است که همبستگی بین رطوبت نهایی و BI بالا و منفی است. این بدین معنی است که با افزایش شاخص قهوه‌ای شدن، میزان رطوبت به همان نسبت کاهش یافت. بالاترین همبستگی مثبت بین پارامتر L^* و WI دیده شد و بالاترین همبستگی منفی مربوط به پارامتر L^* و ΔE بود. کم‌ترین همبستگی نیز بین پارامترهای SI و b^* دیده شد. با توجه به این نتایج می‌توان از این همبستگی برای برآورد پارامترهای رنگ و کیفی استفاده نمود.

نتایج مشابهی توسط کایاگلو و کایا و باتاچرا و پراکاش در ارتباط با رطوبت نهایی مغزها گزارش شده است. این پژوهشگران نشان دادند که با افزایش دمای برشته کردن، رطوبت نهایی مغزها به طور معنی‌داری در طی برشته کردن کاهش می‌یابد [2، 21]. بین زمان برشته کردن و میزان رطوبت رابطه معکوس وجود دارد و با افزایش زمان برشته کردن از 10 به 30 دقیقه میزان رطوبت به 2/5772 درصد بر پایه ماده خشک رسید (جدول 3).

شکل (6) نشان دهنده اثر همزمان و متقابل دما و زمان بر میزان رطوبت نهایی مغز برشته شده بادام‌زمینی می‌باشد. با توجه به شکل، پائین‌ترین میزان رطوبت مربوط به مغز بادام‌زمینی برشته شده در دمای 180 درجه سانتی‌گراد به مدت 30 دقیقه است.

3-10- میزان مصرف انرژی

افزایش دما و زمان برشته کردن، میزان انرژی که صرف برشته کردن مغزهای بادام‌زمینی می‌شود، را افزایش می‌دهد. جدول (3) اثر شرایط مختلف برشته کردن را بر میزان مصرف انرژی نشان می‌دهد. اثر دما و زمان برشته کردن بر انرژی مصرفی و همچنین اثر همزمان دما و زمان بر میزان مصرف انرژی معنی‌دار بود ($p < 0/05$) (جدول 2). با افزایش 40 درجه‌ای دمای فرایند میزان انرژی مصرفی حدود 81 درصد افزایش نشان داد و با افزایش 20 دقیقه‌ای زمان برشته کردن، افزایش میزان انرژی مصرفی حدود 79 درصد بود (جدول 3). شکل (7) نشان دهنده میزان انرژی مصرفی در سامانه هوای داغ در دما و زمان‌های مختلف است. همان‌طور که در شکل (7) دیده می‌شود، پایین‌ترین مقدار مصرف انرژی برای برشته کردن مغز بادام‌زمینی در دمای 140 درجه سانتی‌گراد و زمان 10 دقیقه دیده شد و بالاترین میزان مصرف انرژی مربوط به دمای 180 و زمان 30 دقیقه می‌باشد (شکل 7). نتایج مشابهی توسط سلما و همکاران برای خشک کردن لجن‌های ناشی از

4- نتیجه‌گیری

برشته کردن یکی از روش‌های بهبود طعم و رنگ در مغزها و آجیل‌ها به‌شمار می‌آید. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان اذعان کرد که با افزایش دما بسیاری از پارامترهای رنگی تغییر می‌کند و امکان استفاده از این پارامترها برای کنترل فرایند برشته کردن وجود دارد. از میان پارامترهای رنگی، مقادیر ΔE^* ، L^* ، زاویه هیو، شاخص سفیدی و شاخص قهوه‌ای شدن در تناسب با تغییرات دما و زمان تغییر می‌کنند، این در حالی است برخی از پارامترهای رنگی مانند a^* ، b^* و شاخص اشباعیت این گونه نیستند و در تناسب با تغییرات دما و زمان تغییر نمی‌کند، بنابراین مقادیر ΔE^* ، L^* ، زاویه هیو، شاخص سفیدی و شاخص قهوه‌ای شدن قابلیت استفاده به‌عنوان شاخص رنگی برای کنترل فرایند برشته کردن را دارند.

- [12] Ozdemir, M., Devres, O. (2000). Kinetics of color changes of hazelnuts during roasting. *J. Food Eng.*, 44, 31-38.
- [13] Mendes, L.C., Menezes, H.C., Aparecida, M., Silva, A.P. (2001). Optimization of the roasting of robusta coffee (*C. canephora conillon*) using acceptability tests and RSM. *Food Qual. Preffer.*, 12, 153-162.
- [14] Krysiak, W. (2006). Influence of roasting conditions on coloration of roasted cocoa beans. *J. Food Eng.*, 77, 449-453
- [15] Kahyaoglu, T. (2008). Optimization of the pistachio nut roasting process using response surface methodology and gene expression programming. *LWT-Food Sci. Technol.*, 41, 26-33
- [16] Dadali, G., Demirhan, E., Özbek, B. (2007). Color change kinetics of spinach undergoing microwave drying. *Dry. Technol.*, 25, 1713-1723.
- [17] Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *J. Food Eng.*, 48, 169-175.
- [18] Driscoll, R.H., Madamba, P.S. (1994). Modeling the browning kinetics of garlic. *Food Aust.*, 46, 66±71.
- [19] Moss, J.R., Otten, L. (1989). A relationship between color development and moisture content during roasting of peanut. *Can. J. Food Sc. Tech. J.*, 22, 34-39.
- [20] Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A., Tabil, L.G. (2007). Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. *J. Food Eng.*, 78, 98-108.
- [21] Bhattacharya, S., Prakash, M. (1997). Kinetics of roasting of split chickpea (*Cicer arietinum*). *Int. J. Food Sci. Tech.*, 32, 81-84.
- [22] Celma, A.R., Cuadros, F., López-Rodríguez, R. (2012). Convective drying characteristics of sludge from treatment plants in tomato processing industries. *Food Bioprod. Process.*, 90, 224-234.
- [1] Chung, H.S., Kim, J.K., Moon, K.D., Youn, K.S. (2014). Changes in Color Parameters of Corn Kernels during Roasting. *Food Sci. Biotech.*, 23(6), 1829-1835.
- [2] Kahyaoglu, T., Kaya, S. (2006). Modeling of moisture, color, and texture changes in sesame seeds during the conventional roasting. *J. Food Eng.*, 75, 167-177.
- [3] Kato, H., Doi, Y., Tsugita, T., Kosai, K., Kamiya, T., Kurata, T. (1981) Changes in volatile flavour components of soybeans during roasting. *Food Chem.*, 7, 87-94.
- [4] Jayalekshmy, A., Mathew, A. (1990). Changes in the carbohydrates and proteins of coconut during roasting. *Food Chem.*, 37, 123-134
- [5] Pittia, P., Rosa, M.D., Lericci, C.R. (2001). Textural changes of coffee beans as affected by roasting conditions. *LWT-Food Sci. Technol.*, 34, 168-171.
- [6] Saklar, S., Ugan, S., Katnas, S. (1999). Instrumental crispness and crunchiness of roasted hazelnuts and correlation with sensory assessment. *J. Food Sci.*, 64, 1015-1019.
- [7] Danehy, J.P. (1986). Maillard Reactins: Nonenzymatic browning in food systems with special reference to the development of flavor. *Adv. Food Res.*, 77-138
- [8] Friedman, M. (1996). Food browning and its prevention: An overview. *J. Agr. Food Chem.*, 44, 631-653.
- [9] Baek, S.H., Kwon, S.Y., Lee, H.G., Baek, H.H. (2008) Maillard browning reaction of D-psicose as affected by reaction factors. *Food Sci. Biotech.*, 17, 1349-1351.
- [10] Namiki, L.C. (1988). Chemistry of Maillard reactions: Recent studies on the browning reaction mechanism and the development of antioxidants and mutagens. *Adv. Food Res.*, 32, 115-184.
- [11] Yaylayan, V.A., Kaminsky, E. (1998). Isolation and structural analysis of maillard polymers: caramel and melanoidin formation in glycine/ glucose model system. *Food Chem.*, 63, 25-31.

منابع