

بهینه‌سازی شرایط برشته کردن مغز بادام زمینی با هوای داغ توسط روش سطح پاسخ

هادی باقری^{a*}، مهدی کاشانی نژاد^b، مهران اعلمی^c، امان محمد ضیائی فر^d

^a دانش‌آموخته دکتری مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^b استاد گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^c دانشیار گروه تکنولوژی مواد غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^d استادیار گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۹/۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۲/۸

چکیده

مقدمه: برشته کردن یک فرآیند حرارتی با دمای بالا و زمان پایین می‌باشد که منجر به تشدید طعم و بهبود خصوصیات بافتی و حسی مغزها می‌گردد و شرایط برشته کردن نقش مهمی در بروز خصوصیات بافتی و حسی دارد. برشته کردن به طور مستقیم در کیفیت (چیپسی، رنگ و طعم و مزه) و زمان ماندگاری محصول نهایی اثرگذار است، بنابراین برشته نمودن درست و اصولی مغزها و آجیل‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق، فرایند برشته کردن با هوای داغ برای تولید اسنک بادام زمینی با استفاده از روش سطح پاسخ (طرح مرکب مرکزی) در محدوده دمایی ۱۴۰-۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های مختلف ۱۰-۳۰ دقیقه بهینه‌یابی شد. پارامترهای رنگی شامل شاخص روشنایی (L^*)، شاخص قرمزی (a^*)، شاخص زردی (b^*)، و تغییرات کلی رنگ (ΔE)، بافت (سفتی و انرژی فشاری)، خصوصیات حسی، مقدار رطوبت و میزان مصرف انرژی به عنوان پاسخ برای توسعه یک مدل پیشگویی و بهینه‌یابی فرآیند برشته کردن مورد استفاده قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که افزایش دما و زمان برشته کردن باعث کاهش مقدار L^* ، b^* ، مقدار رطوبت، سفتی و انرژی فشاری و افزایش ΔE و میزان مصرف انرژی گردید. نتایج آنالیز روش سطح پاسخ نشان داد که پارامترهای کیفی می‌توانند برای کنترل برشته کردن مغز بادام زمینی در برشته کن هوای داغ مورد استفاده قرار بگیرند. برای رسیدن به یک پارامتر کیفی مطلوب، نقطه اپتیمم برای تولید اسنک بادام زمینی، دمای ۱۶۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۹ دقیقه تعیین شد.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از تحقیق بیانگر کارایی مفید روش سطح پاسخ در بهینه‌یابی فرآیند برشته کردن با هوای داغ بود. براساس نتایج بدست آمده هر دو فاکتور دمای هوای داغ و زمان برشته کردن تاثیر قابل توجه‌ای بر خصوصیات کیفی و میزان مصرف انرژی داشتند و باعث بهبود خصوصیات حسی و بافتی مغز بادام زمینی گردیدند.

واژه‌های کلیدی: انرژی مصرفی، بادام زمینی، برشته کردن، روش سطح پاسخ، ویژگی‌های کیفی

مقدمه

از نظر کشت، بادام زمینی جزء دومین بقولات بعد از سویا محسوب می‌شود و می‌تواند تامین کننده مهم‌ترین نیازهای تغذیه‌ای انسان باشد (Jiao *et al.*, 2015). این ماده غذایی با ارزش حاوی ۳۶ تا ۵۴ درصد روغن، ۱۶ تا ۳۶ درصد پروتئین و ۱۰ تا ۲۰ درصد کربوهیدرات می‌باشد. ارزش غذایی بالا، خوشمزه بودن، هضم راحت و کالری بالا از ویژگی‌هایی است که باعث شده این محصول جزء آجیل‌های پرمصرف شناخته شود، به علاوه بادام زمینی منبعی سرشار از مواد معدنی و ویتامین‌های مختلف به شمار می‌آید (Vollmann & Rajcan, 2010). به جزء روغن کشتی، بادام زمینی به علت دارا بودن ارزش تغذیه‌ای بالا همچون اسنک قابل استفاده و مصرف می‌باشد.

برشته کردن یکی از مراحل اصلی تولید مغزها به شمار می‌آید و به طور مستقیم در کیفیت (چیبسی، رنگ و طعم و مزه) و زمان ماندگاری محصول نهایی اثرگذار است (Chen *et al.*, 2010). برشته نمودن دانه‌های آجیلی منجر به ایجاد تغییر در رنگ، طعم، بافت و ظاهر آن‌ها می‌گردد، بنابراین برشته نمودن درست و اصولی مغزها و آجیل‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. برشته شدن بیش از حد و یا عدم برشته نمودن مناسب مغزها در طی فرآیند از جمله مهم‌ترین مشکلاتی است که همراه با تولید آجیل‌ها مطرح است، از طرفی استفاده از ترکیب‌های دما - زمان نامناسب منجر به کاهش کیفیت فرآورده، کاهش زمان ماندگاری و از دست دادن عطر و طعم مغزها خواهد شد. در چنین مواقعی تعیین شرایط بهینه‌ی فرآیند که در آن آجیل با بهترین خواص کیفی به دست می‌آید، حائز اهمیت خواهد بود. در این میان، روش سطح پاسخ بیشترین کاربرد را دارد (Horuz *et al.*, 2012).

روش سطح پاسخ مجموعه‌ای از تکنیک‌های ریاضی و آماری است که جهت توسعه و بهینه کردن فرآیندهای مختلف به کار می‌رود که پاسخ مورد نظر توسط تعدادی از متغیرها تحت تأثیر قرار می‌گیرد و هدف، توصیف رابطه‌ی بین پاسخ و متغیرهای مستقل توسط مدل‌های ریاضی و بهینه‌سازی این پاسخ می‌باشد (Bas *et al.*, 2007). مدل مورد استفاده در روش سطح - پاسخ، عموماً رابطه‌ی درجه

دوم می‌باشد و برای ارزیابی کفایت مدل، تکنیک‌های مختلفی وجود دارند. تعدادی از این تکنیک‌ها شامل آنالیز خطا^۱، مقیاس‌بندی خطاها^۲، مجموع مربع‌های خطای پیش‌بینی^۳ و آزمون ضعف برازش^۴ می‌باشند (Rouissi *et al.*, 2007; Koc *et al.*, 2010).

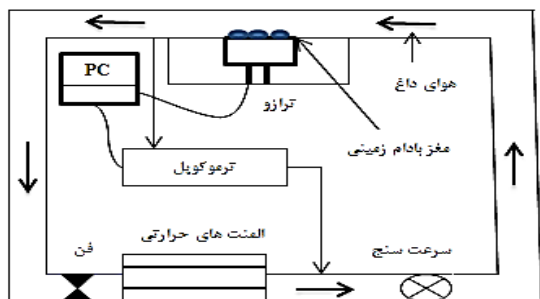
بررسی بهینه‌یابی فرآیند برشته کردن مغزها توسط محققانی همچون Ozdemir و Devres (۲۰۰۰)؛ Saklar و همکاران (۲۰۰۱) (بهینه‌یابی فرآیند برشته کردن فندق)؛ Kahyaoglu و Kaya (۲۰۰۶) (بهینه‌یابی فرآیند برشته کردن کنجد)؛ Mendes و همکاران (۲۰۰۱) (بهینه‌یابی فرآیند برشته کردن قهوه)؛ Kahyaoglu و Nikzadeh و Sedaghat (۲۰۰۸) (بهینه‌یابی فرآیند برشته کردن پسته) انجام گرفته است. این محققان با بررسی اثر زمان و دما بر خصوصیات کیفی مغزها نقاط بهینه برای تولید مغز برشته شده با بهترین کیفیت را مشخص کردند و عنوان کردند که روش سطح پاسخ می‌تواند یکی از راه‌های مناسب برای کنترل و بهینه‌سازی شرایط مختلف برشته کردن باشد.

برشته کردن بادام زمینی و بررسی خصوصیات بافتی، شیمیایی و حسی توسط پژوهشگران مختلفی همچون McDaniel و همکاران (۲۰۱۲)؛ Jiao و همکاران (۲۰۱۴) و Chen و همکاران (۲۰۱۰) مورد بررسی قرار گرفته است و با توجه به بررسی انجام شده تاکنون هیچ تحقیقی در خصوص بهینه‌سازی برشته کردن مغز بادام زمینی (رقم گلی) با هوای داغ با استفاده از روش سطح پاسخ منتشر نشده است. بنابراین هدف از این مطالعه در مرحله اول استفاده از روش سطح پاسخ برای بهبود و به کارگیری استفاده از مدل‌های پیشگویی برای توصیف تغییرات رنگ، بافت، رطوبت و پذیرش کلی مغز بادام زمینی طی برشته شدن با هوای داغ و سپس تعیین شرایط بهینه فرآیند تولید مغز بادام زمینی بود. بنابراین در این پژوهش از روش سطح پاسخ برای تعیین شرایط بهینه تولید مغز بادام زمینی به منظور دستیابی به بهترین ویژگی‌های کیفی مغز تولید شده، استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

¹ Residual Analysis² Scaling Residuals³ Prediction Error Sum of Squares (PRESS)⁴ Lack of Fit

سفید خالص) متغیر است. مقادیر مولفه a^* بین منفی ۱۲۰ تا مثبت ۱۲۰ قرار دارد و مقادیر مثبت معادل رنگ قرمز و مقادیر منفی معادل رنگ سبز می‌باشد و مقادیر b^* نیز مانند مولفه a^* می‌باشد و مقادیر منفی معادل رنگ آبی و مقادیر مثبت معادل رنگ زرد است.



شکل ۱ - شماتیک برشته‌کن هوای داغ مورد استفاده در این مطالعه

به‌منظور بررسی خصوصیات رنگی، نمونه‌های برشته شده پس از انجام فرآیند درون دسیکاتور خنک شدند و بلافاصله رنگ سطحی آنها با یک دستگاه اسکنر رنگی مدل کانن (Canon, Cano Scan, LiDE 120) (Scanner) و با دقت ۶۰۰ DPI تعیین 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 speace 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 ۵ نقطه از تصویر محاسبه و میانگین آن‌ها گزارش شد.

پارامتر دیگری که از پارامترهای رنگی فوق به‌دست می‌آیند، شامل تغییرات کلی رنگ^۱ (ΔE) است که توسط

بادام زمینی خام (رقم گلی) از مزرعه مینودشت تهیه و پس از آن به روش 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 بادام زمینی حدود ۵/۱ درصد بر پایه ماده خشک بود و متوسط ابعاد بادام زمینی استفاده شده در این آزمایش به ترتیب حدود ۱۸/۶۸، ۹/۶۳ و ۷/۸۵ میلی‌متر بود.

آماده‌سازی نمونه‌ها

برای آماده‌سازی نمونه‌ها، مغزهای بادام زمینی به مدت ۳۰ دقیقه با نسبت وزنی یک به پنج در محلول آب نمک ۲۵ 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 فرآیند برشته کردن بر روی بادام زمینی‌ها انجام گرفت. در این مرحله رطوبت مغز بادام زمینی‌ها به حدود ۸/۲۷ درصد بر پایه ماده خشک رسید.

فرآیند برشته کردن

به منظور ایجاد شرایط ثابت در اتاقک برشته‌کن، دستگاه به مدت ۱۵ دقیقه قبل از شروع فرآیند روشن گردید. مغزهای بادام زمینی به صورت تک لایه در اتاقک برشته‌کن قرار گرفتند. در این مطالعه سرعت دمیدن (وزش) هوای داغ بر روی مواد ثابت در نظر گرفته شد و مقدار آن ۱ متر بر ثانیه بود. برشته کردن مغزهای بادام زمینی با سامانه هوای داغ (شکل ۱) در رنج دمایی بین ۱۴۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و رنج زمانی ۱۰ تا ۳۰ دقیقه منطبق با روش سطح پاسخ انجام گردید. سپس مغز برشته شده در پلاستیک‌های پلی اتیلنی بسته بندی شده و تا زمان انجام آزمایشات نگهداری شدند.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

میزان رنگ و تغییرات آن

به منظور بررسی خصوصیات رنگی از فضای رنگی $L^*a^*b^*$ استفاده شد. مولفه L^* نشان دهنده میزان روشنی نمونه می‌باشد و دامنه‌ی آن از صفر (سیاه خالص) تا ۱۰۰

¹ Total Colour Difference

بهینه‌سازی شرایط برشته‌کردن مغز بادام زمینی با هوای داغ توسط روش سطح پاسخ

معادله ۱ تعیین گردید.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad \text{معادله ۱}$$

مقادیر اختلاف رنگ نمایانگر تغییرات رنگ نسبت به نمونه خام می‌باشد (Chung et al., 2014).

- رطوبت نهایی

رطوبت نهایی براساس وزن خشک ماده محاسبه شد. بدین ترتیب که ۱۰ گرم مغز بادام زمینی پودر شده درون آون با دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد و سنجش‌ها در ۴ تکرار انجام و میانگین داده‌ها گزارش شد (McDaniel et al., 2012).

- 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 به‌صورت فایل اکسل ذخیره شد و در نهایت میزان انرژی مصرفی توسط معادله ۲ مورد محاسبه قرار گرفت که P نشان دهنده توان مصرفی بوسیله سیستم و t مدت زمان برشته کردن می‌باشد

$$\text{Energy} = \int_{t_0}^{t_1} Pt \quad \text{معادله ۲}$$

- خصوصیات بافتی

برای انجام آزمون بافت، ابتدا مغز بادام زمینی به دو نیمه تقسیم و از ۳ قسمت کاملاً یکسان برای انجام آزمون بافت استفاده شد. بدین منظور برای انجام آزمون فشاری از دستگاه بافت‌سنج TA-XT Plus Texture Analyzer (Micro Systems Ltd., Surrey, UK TA-XT Plus, Stable, England) استفاده شد. پروب استوانه‌ای شکل به قطر ۲۵ میلی‌متر و با سرعت ۵ میلی‌متر بر دقیقه مورد استفاده قرار گرفت. اتمام آزمون زمانی بود که بافت کاملاً تخریب شده باشد. دانه‌های نصف شده بادام زمینی از قسمت تعادل (بعد ضخامت) مورد آزمون فشاری قرار گرفتند. خروجی‌های به دست آمده توسط دستگاه بافت سنج به صورت نیرو - زمان می‌باشد. بنابراین واحد

پارامترهای بافتی هم بر اساس نیوتون و ثانیه محاسبه شد. پارامترهای مکانیکی بافتی به دست آمده شامل سفتی و انرژی فشاری بودند. سفتی به عنوان حداکثر نیرو در طول آزمایش در نظر گرفته شد و انرژی فشاری سطح زیر منحنی نیرو - زمان می‌باشد که بیانگر مقدار کار تا حداکثر نیروی نهایی است (Mohammadi Moghaddam et al., 2015).

- خصوصیات حسی

برای بررسی خصوصیات حسی مغز بادام زمینی برشته شده از ۱۰ دانشجوی صنایع غذایی آموزش دیده به عنوان داور استفاده گردید. در این بررسی از مقیاس هیدونیک ۵ نقطه‌ای استفاده گردید.

- تجزیه و تحلیل آماری

طرح مورد استفاده روش سطح پاسخ در این مطالعه، طرح مرکب مرکزی بود که بیشترین کاربرد در میان طرح‌های روش سطح پاسخ را به خود اختصاص داده است. در این پژوهش اثر متغیرهای مستقل شامل دمای هوای هوای داغ و زمان فرایند برشته‌کردن، هر کدام در سه سطح مورد ارزیابی قرار گرفت. از نرم‌افزار Minitab 16 جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات استفاده شد و رسم نمودارهای مربوط به روش سطح پاسخ صورت گرفت. مدل مورد استفاده در روش RSM معمولاً معادله‌ی درجه دوم است. در روش RSM برای هر متغیر وابسته، مدلی تعریف شده که آثار اصلی و متقابل فاکتورها را بر روی هر متغیر جداگانه بیان می‌نماید، مدل چند متغیره به صورت معادله ۳ می‌باشد (Bas et al., 2007).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 \quad \text{معادله ۳}$$

در معادله ذکر شده Y پاسخ پیش بینی شده، X_1 و X_2 متغیرهای مستقل دمای هوای داغ و زمان فرآیند، β_0 ضریب ثابت و β_1 و β_2 اثرات خطی و β_{11} و β_{22} اثر مربعات و β_{12} اثرات متقابل می‌باشند.

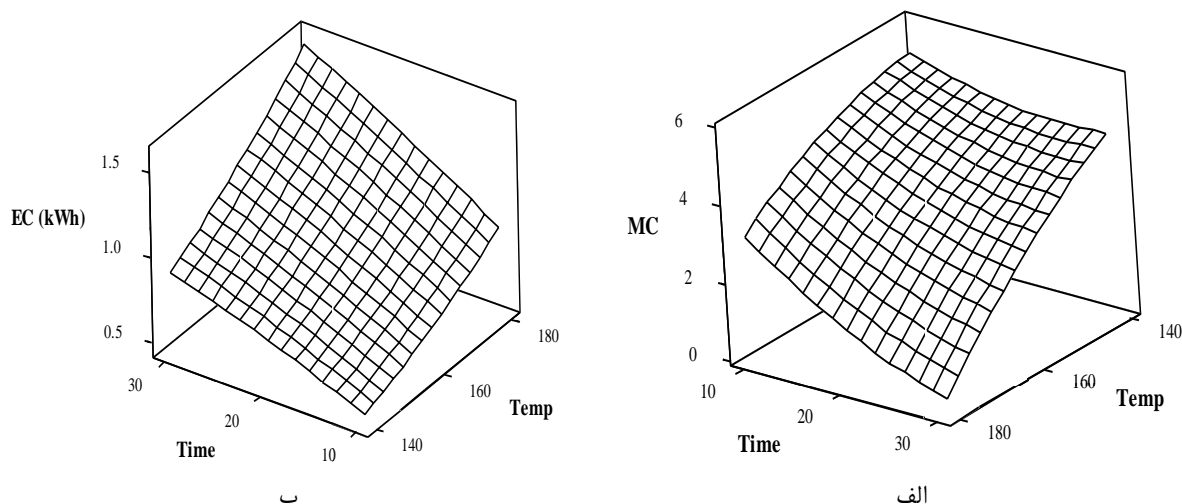
پس از برازش داده‌ها با مدل درجه دوم به کمک جدول آنالیز واریانس، معنی‌دار بودن عبارات مختلف، در سطح ۹۵

رطوبتی مغز بادام زمینی، انرژی مصرفی، پارامترهای رنگی، خصوصیات بافتی و پذیرش کلی در شکل‌های ۲ الی ۴ نشان داده شده است و داده‌های تجربی پارامترهای پاسخ در برشته کن هوای داغ در جدول ۱ آورده شده است. همچنین نتایج آنالیز واریانس متغیرهای وابسته در فرآیند برشته کردن با هوای داغ مغز بادام زمینی در جدول ۲ نشان داده شده است.

درصده بررسی گردید و برای ارزیابی کفایت مدل از آزمون ضعف برازش استفاده شد. مرحله آخر، بهینه‌سازی شرایط است. هدف از بهینه‌سازی تعیین شرایط مطلوب فرآیند برشته کردن بود که بوسیله مقدار مطلوبیت که بین ۰ تا ۱ بود اعتبار شرایط بهینه مورد سنجش قرار گرفت.

یافته‌ها

اثر شرایط فرآیند برشته کردن با هوای داغ بر محتوی



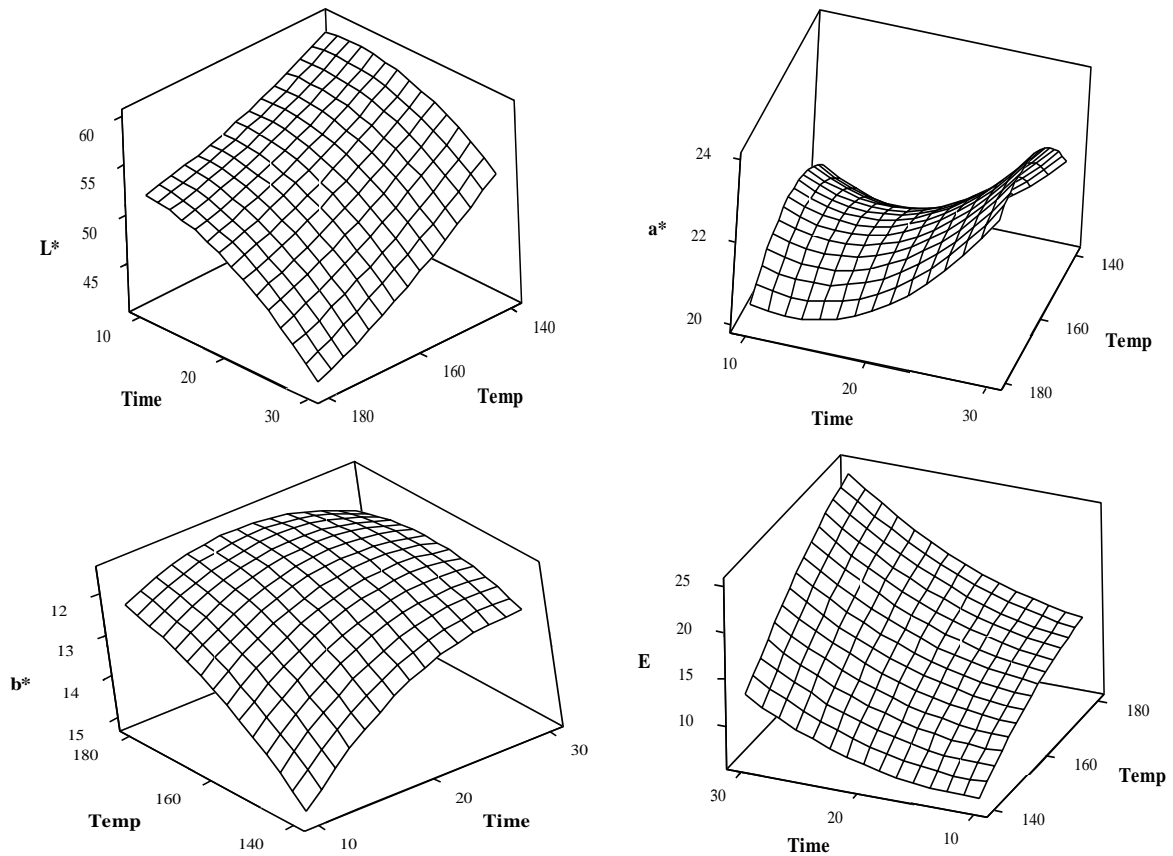
شکل ۲- اثر شرایط فرآیند برشته کردن با هوای داغ بر محتوی رطوبتی مغز بادام زمینی (الف) و میزان انرژی مصرفی (ب)

جدول ۱- داده‌های تجربی پارامترهای پاسخ در مغز بادام زمینی برشته شده با برشته‌کن هوای داغ

پارامترهای کیفی										شرایط فرآیند	
پذیرش کلی (TA)	انرژی مصرفی (EC)	انرژی فشاری (CE)	سفتی (N) (IH)	شاخص تغییر رنگ کلی (AE)	شاخص زردی (b*)	شاخص قرمزی (a*)	شاخص روشنایی (L*)	محتوی رطوبتی (MC)	زمان (دقیقه)	دمای فرآیند (سانتی‌گراد)	
۴/۶۵	۰/۱۱۶۱	۴۹۷/۳۰	۶۱/۹۹	۱۹/۳۰	۱۱/۹۲	۲۳/۴۱	۴۷/۱۵	۲/۹۷	۳۰	۱۶۰	
۴/۰۵	۰/۰۸۵۴	۵۲۳/۴۱	۷۶/۹۶	۱۲/۳۵	۱۳/۳۹	۲۱/۸۳	۵۳/۷۶	۴/۴۳	۱۰	۱۶۰	
۳/۹۰	۰/۱۳۶۱	۵۶۸/۲۸	۸۱/۷۴	۵/۴۴	۱۵/۴۱	۲۰/۳۱	۶۰/۳۱	۵/۳۱	۱۰	۱۴۰	
۴/۴۵	۰/۰۶۱۸	۵۰۵/۹۹	۵۸/۸۷	۱۶/۲۱	۱۲/۳۴	۲۰/۶۲	۴۹/۸۶	۱/۲۱	۲۰	۱۸۰	
۴/۱۰	۰/۰۷۸۱	۳۶۰/۴۱	۶۹/۳۰	۸/۹۸	۱۲/۴۲	۲۰/۴۰	۵۷/۳۴	۴/۸۱	۲۰	۱۴۰	
۴/۱۵	۰/۲۵۹۹	۲۵۸/۰۸	۶۱/۰۵	۱۳/۹۹	۱۲/۰۲	۲۱/۴۳	۵۲/۱۸	۳/۳۷	۲۰	۱۶۰	
۴/۲۰	۰/۱۲۶۱	۵۰۸/۱۳	۶۳/۹۸	۱۴/۲۹	۱۱/۴۹	۲۱/۳۰	۵۲/۳۱	۳/۵۰	۲۰	۱۶۰	
۳/۹۵	۰/۱۳۳۶	۴۹۳/۹۱	۴۸/۸۹	۲۵/۹۷	۱۱/۹۵	۲۳/۹۶	۴۰/۳۷	۰/۳۴	۳۰	۱۸۰	
۴/۲۵	۰/۱۹۴۳	۴۱۹/۰۱	۶۲/۴۹	۱۲/۷۱	۱۲/۸۹	۲۲/۰۱	۵۳/۵۳	۴/۴۲	۳۰	۱۴۰	
۴/۲۰	۰/۰۴۷۲	۵۵۰/۰۸	۷۸/۹۶	۱۴/۳۰	۱۱/۸۷	۲۰/۳۱	۵۱/۹۲	۳/۳۴	۱۰	۱۸۰	
۴/۲۵	۰/۱۱۶۱	۴۹۷/۳۱	۶۶/۵۴	۱۳/۳۹	۱۲/۱۱	۲۱/۳۵	۵۴/۲۸	۳/۴۳	۲۰	۱۶۰	

داده‌های تجربی پارامترهای پاسخ میانگین ۳ تکرار اندازه‌گیری می‌باشند.

بهینه‌سازی شرایط برشته‌کردن مغز بادام زمینی با هوای داغ توسط روش سطح پاسخ

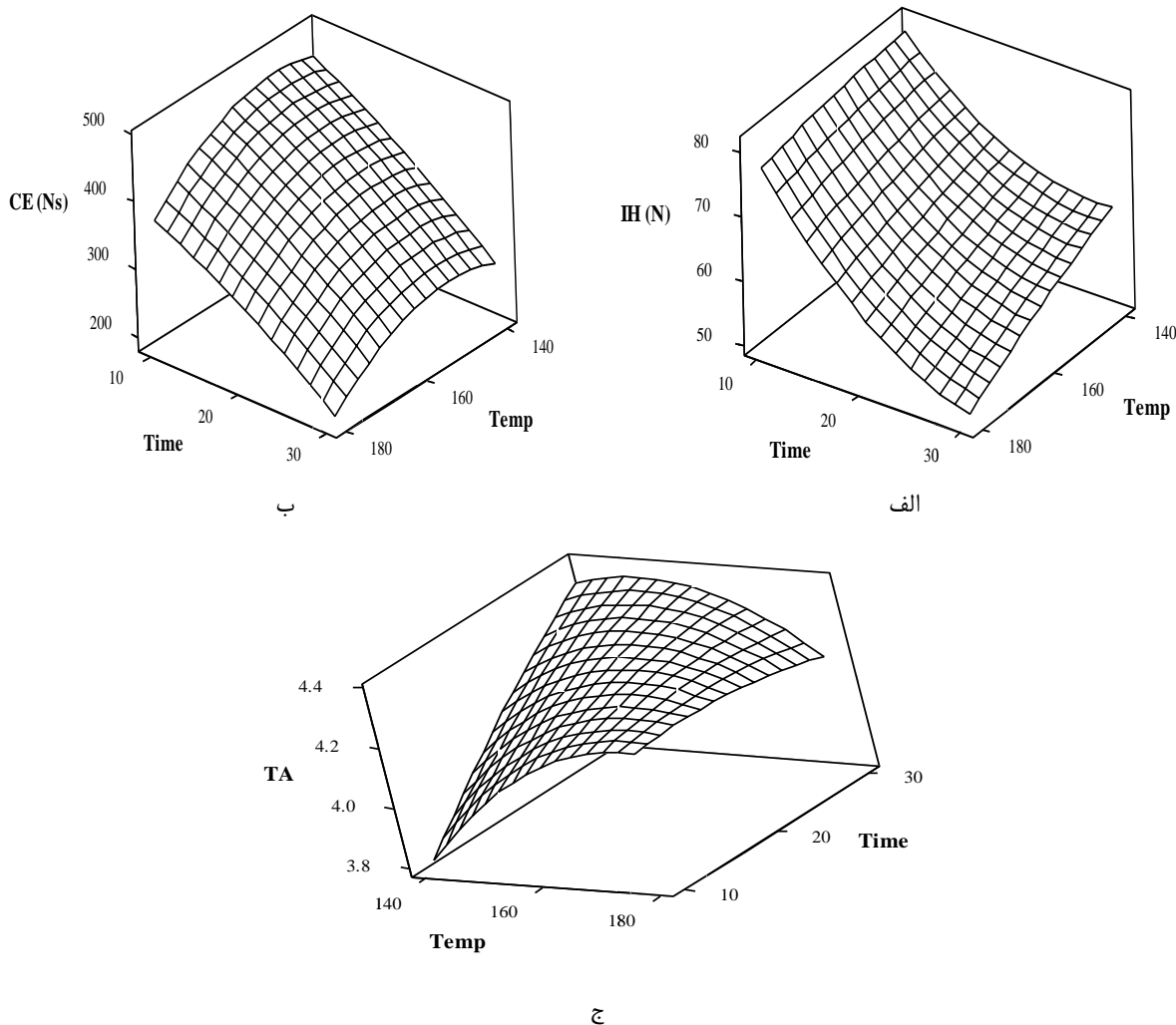


شکل ۳- اثر شرایط فرآیند برشته کردن با هوای داغ بر پارامترهای رنگی

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس متغیرهای وابسته در فرآیند برشته کردن هوای داغ مغز بادام زمینی

P values										
منبع	درجه آزادی	محتوی رطوبتی (MC) (% , db)	شاخص روشنایی (L*)	شاخص قرمزی (a*)	شاخص زردی (b*)	شاخص تغییر رنگ کلی (AE)	سفتی (N) (IH)	اثرژی فشاری (CE) (N*S)	اثرژی مصرفی (EC) (KWh)	پذیرش کلی (TA)
خطی (A, B)	۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۲۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۹۱
دما (A)	۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۵۲	۰/۰۲۷	۰/۰۰۰	۰/۰۱۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰	۰/۵۳۰
زمان (B)	۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۴۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۳۵
درجه دوم	۲	۰/۰۴۴	۰/۱۰۰	۰/۰۰۵	۰/۱۲۱	۰/۰۹۹	۰/۱۴۶	۰/۰۴۹	۰/۱۶۶	۰/۶۵۶
A ²	۱	۰/۰۲۷	۰/۳۳۳	۰/۰۰۹	۰/۲۹۵	۰/۱۶۲	۰/۷۵۵	۰/۰۲۹	۰/۰۷۴	۰/۴۴۹
B ²	۱	۰/۰۵۶	۰/۰۴۱	۰/۰۰۳	۰/۱۱۶	۰/۰۴۹	۰/۰۶۳	۰/۰۵۵	۰/۳۶۳	۰/۸۰۷
متقابل										
AB	۱	۰/۰۰۳	۰/۱۳۰	۰/۰۳۸	۰/۰۸۳	۰/۱۳۱	۰/۱۴۷	۰/۷۲۵	۰/۰۱۰	۰/۲۱۶
مدل	۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۴۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۴۸۳
ضعف برازش	۳	۰/۰۶۰	۰/۴۳۹	۰/۰۲۱	۰/۱۷۳	۰/۰۸۳	۰/۴۱۹	۰/۷۱۸	۰/۳۱۹	۰/۰۳۳
R ²		۹۹/۱۱	۹۶/۸۱	۹۵/۹۳	۸۴/۸۳	۹۷/۳۳	۹۴/۷۳	۹۶/۰۳	۹۹/۵۳	۵۵/۰۱
R ² (adj)		۹۸/۲۲	۹۳/۶۲	۹۱/۸۶	۶۹/۶۶	۹۴/۶۶	۸۹/۴۵	۹۲/۰۶	۹۹/۰۶	۲۲/۰۱
R ² (pred)		۹۰/۹۶	۷۵/۲۴	۵۷/۵۹	۴۳/۳۸	۷۲/۹۸	۵۸/۸۳	۸۳/۶۹	۹۶/۲۴	۲/۰۰
Press ¹	۲	۶۷/۲۶	۶/۳۳۴۲	۱۷/۱۳	۷۵/۲۹	۸۹ ۳/۱۴۰	۱۱۵۴۶/۶	۰/۰۳۵۹	۲/۰۳	
خطای خالص	۴									
کل	۱۰									

¹ Prediction Error Sum of Squares



شکل ۴- اثر شرایط فرآیند برشته کردن با هوای داغ بر پارامترهای بافتی (الف و ب) و میزان پذیرش کلی (ج)

بحث

یکی از پارامترهای مهم که باید طی فرآیند برشته کردن کنترل شود؛ میزان رطوبت نهایی مغز برشته شده است (Ozdemir & Devres, 1999). مقدار رطوبت در مغزهای برشته شده به عنوان یک فاکتور بحرانی در نظر گرفته می‌شود، چرا که بر طعم، بافت و زمان ماندگاری مغز برشته شده تاثیرگذار است (Bagheri et al., 2016). همچنین این پارامتر تاثیر معنی‌داری بر واکنش‌های اثر گذار بر طعم و مزه همچون میلارد، کاراملیزاسیون و واکنش‌های شیمیایی در حین فرآیند تولید و در طول دوره نگهداری پس از تولید دارد، بنابراین اثر مستقیمی بر کیفیت و زمان ماندگاری محصول نهایی دارد (Nikzadeh & Sedaghat, 2008).

جدول آنالیز واریانس برای ارزیابی معنی‌داری مدل استفاده شد. برای هر یک از عبارتهای مدل یک مقدار P مشخص شده که هر چقدر میزان P کمتر باشد عبارت مورد نظر تاثیر

بیشتری در میزان پاسخ و در واقع میزان معنی‌داری بیشتری خواهد داشت (Quanhong & Caili, 2005) با توجه به جدول آنالیز واریانس (جدول ۲) مشاهده شد که مدل درجه دوم برای میزان رطوبت نهایی نمونه‌ها از نظر آماری معنی‌دار است. از نظر آماری مدلی مناسب است که آزمون ضعف برازش آن معنی‌دار نباشد و بالاترین مقدار ضریب تبیین (R^2)، ضریب تبیین تعدیل شده (R^2 adjusted) و ضریب تبیین پیش‌بینی (R^2 predicted) و مجموع مربعات باقی مانده خطای پیش‌بینی (PRESS) پایین را داشته باشد (Bas et al., 2007). عبارتهای مدل که معنی‌دار شده‌اند شامل دمای هوای داغ، زمان برشته کردن، برهم کنش میان دمای هوای داغ و زمان برشته کردن و عبارت درجه دوم دمای هوای داغ می‌باشد.

شکل ۲- الف، بیانگر تأثیر متغیرهای مستقل بر میزان محتوی رطوبتی به صورت شمایی سه بعدی سطح پاسخ

بهینه‌سازی شرایط برشته‌کردن مغز بادام زمینی با هوای داغ توسط روش سطح پاسخ

سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار نبود که نشان دهنده مناسب بودن مدل برازش شده است.

میزان روشنایی (L^*) بین صفر تا ۱۰۰ تغییر می‌کند و هر چه مقدار آن بزرگتر باشد، نمونه روشن‌تر می‌باشد (Dadali *et al.*, 2007). شکل ۳ تأثیر دمای هوای داغ و زمان را بر میزان شاخص روشنایی نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، کمترین میزان روشنایی مربوط به نمونه برشته در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۳۰ دقیقه و بیشترین روشنایی مربوط به نمونه برشته شده در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۰ دقیقه می‌باشد.

در ارتباط با کاهش مقدار L^* در طی برشته کردن فندق و قهوه نتایج مشابهی توسط Ozdemir و Devres (۲۰۰۰) و Mendes و همکاران (۲۰۰۱) مشاهده شد. کاهش مقدار L^* ممکن است ناشی از تشکیل پیگمان‌های قهوه‌ای در اثر واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی باشد (Danehy, 1986)، بنابراین مقدار ترکیبات قهوه‌ای متناسب با افزایش دما و زمان فرایند در مغزهای بادام زمینی افزایش یافت. از طرفی کاهش میزان رطوبت بادام زمینی در طی فرایند برشته کردن باعث تغییر قابلیت انعکاس نور شده و در نتیجه باعث تغییر رنگ بادام زمینی می‌شود (Dadali *et al.*, 2007). همچنین Chung و همکاران (۲۰۱۴) 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 برشته کردن باشد.

مدل نهایی به دست آمده (معادله ۵) برای شاخص روشنایی (L^*) براساس داده‌های کد شده و معنی دار بودن آن براساس جدول ۲ عبارت است از:

$$L^* = 52.8403 - 4.8383X_1 - 4.1567X_2 - 2.2582X_2^2 \quad \text{معادله ۵}$$

شاخص قرمزی (a^*) در صورت مثبت بودن بیانگر قرمزی بیشتر نمونه است. به طور متداول جهت بررسی صحت مدل از ضریب تبیین (R^2) و آزمون ضعف برازش استفاده می‌شود. معنی دار بودن آزمون ضعف برازش برای یک مدل بیان‌گر این است که نقاط به خوبی اطراف مدل قرار نگرفته‌اند و نمی‌توان از این مدل برای پیش‌گویی مقادیر متغیرهای تابع استفاده نمود. از طرفی عدم معنی‌داری آزمون ضعف برازش نشان این است که مدل به خوبی می‌تواند بر داده‌های مورد بررسی برازش شود (Kahyaoglu, 2008). با توجه به جدول

می‌باشد. رابطه‌ی دمای هوای داغ و مدت زمان برشته شدن با میزان محتوی رطوبتی در شکل ۲- الف، مشاهده می‌شود. با افزایش دمای هوای داغ و زمان برشته شدن میزان محتوی رطوبتی مغز بادام زمینی کاهش یافت، که علت این امر به خاطر تامین انرژی بالاتر و بیشتر در دما و زمان بالاتر می‌باشد (Saklar *et al.*, 2001) با توجه به شکل، پائین‌ترین میزان رطوبت مربوط به مغز بادام زمینی برشته شده در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه است. Kahyaoglu و Kaya (۲۰۰۶) و Prakash و Bhattacharya (۱۹۹۷) نشان دادند که با افزایش دمای برشته کردن، محتوی رطوبتی مغزها به طور معنی‌داری در طی برشته کردن کاهش می‌یابد.

بررسی میزان محتوی رطوبتی نشان می‌دهد که معادله حاصل از R^2 adjusted و R^2 متناسب، بالا و بسیار معنی‌داری ($p < 0.001$) برای پیش‌گویی آن برخوردار است (جدول ۲). آزمون ضعف برازش آن بی‌معنی ($p > 0.05$) و مقدار Press آن نیز پائین می‌باشد که نشان دهنده مناسب بودن مدل ارائه شده است.

مدل نهایی به دست آمده (معادله ۴) برای محتوی رطوبتی براساس داده‌های کد شده و معنی‌دار بودن آن براساس جدول ۲ عبارت است از:

$$MC = 3.416 - 1.6107X_1 - 0.8918X_2 - 0.3877X_1^2 - 0.5269X_1X_2 \quad \text{معادله ۴}$$

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 به عنوان یکی از شاخص‌های کیفی تجربی برای فرایند در نظر گرفته می‌شود (Ozdemir & Devres, 2000; Maskan, 2001)

تجزیه واریانس برای تعیین معنی‌دار بودن تأثیر متغیرهای فرایند بر شاخص روشنایی (L^* value) در جدول ۲ آمده است، همان‌طور که جدول دیده می‌شود، اثر خطی دمای هوای داغ و زمان برشته کردن و همچنین عبارت درجه دوم زمان تأثیر معنی‌داری بر میزان شاخص روشنایی داشتند و دمای هوای داغ در مقایسه با زمان برشته کردن، تأثیر بیشتری بر شاخص روشنایی دارد. معادله بدست آمده از R^2 و R^2 adjusted متناسب، بالا و بسیار معنی‌داری ($p < 0.001$) برخوردار است. همچنین مقدار ضعف برازش برای مدل در

Kaya و Kahyaoglu (۲۰۰۶) در برشته کردن دانه‌های کتجد گزارش شده است. Ozdemir و Devres (۲۰۰۰) نشان دادند که با افزایش دما و زمان فرایند مقدار b در فندق تغییر معنی‌داری نشان نداد.

مدل نهایی به دست آمده (معادله ۷) برای شاخص زردی (b^*) براساس داده‌های کد شده و معنی‌دار بودن آن براساس جدول ۲ عبارت است از:

$$b^* = 11.8937 - 0.7583X_1 - 0.6500X_2 \quad \text{معادله ۷}$$

مقدار ΔE نشان دهنده تفاوت کلی پارامترهای رنگی اندازه‌گیری شده رنگ بین نمونه خام و نمونه برشته شده است (Kahyaoglu & Kaya, 2006; Danehy, 1986) و می‌توان از آن به عنوان یک شاخص اصلی برای بررسی تغییرات رنگ در طی فرایند برشته کردن استفاده نمود (Chung *et al*, 2014). مقدار میانگین a^* و b^* در نمونه خام بادام زمینی به ترتیب $۶۵/۷۲$ و $۱۹/۵۷$ و $۱۵/۶۲$ بود. جداول ۱ و ۲ به ترتیب نشان دهنده اثر شرایط مختلف برشته کردن بر مقدار ΔE و آنالیز واریانس مدل مورد استفاده برای پیشگویی مقدار ΔE می‌باشد. اثرات خطی دما و زمان برشته کردن و همچنین اثر درجه دوم زمان بر مقدار ΔE معنی‌دار بود ($P < 0.05$) (جدول ۲). در نمونه‌های برشته شده تغییرات مقدار ΔE در دامنه $۲۵/۸۲۵ - ۵/۳۹۸$ قرار داشت و با افزایش دما و زمان مقدار آن افزایش پیدا کرد (شکل ۳). این یافته در تطابق با یافته‌های Chung و همکاران (۲۰۱۴) می‌باشد.

افزایش مقدار ΔE ناشی از توسعه واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی در طی فرایند برشته کردن می‌باشد (Chung *et al*, 2014). شروع واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی از واکنش میان گروه‌های آمین آزاد پروتئین و گروه هیدروکسیل گلوکوزیدی قندهای احیا کننده یا ترکیبات کربنیلی مثل آلدئیدها و کتون‌ها صورت می‌گیرد؛ در طی فرایند برشته کردن مقدار ترکیبات آمینی و هیدروکسیلی زیاد شده و در نتیجه سرعت انجام واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی افزایش می‌یابد (Ozdemir & Devres, 2000). شکل (۳) نشان دهنده نمودار سطح پاسخ اثر دما و زمان بر مقدار ΔE طی فرایند برشته کردن می‌باشد همان طور که در نمودار سطح پاسخ دیده می‌شود با افزایش دما و زمان، مقدار ΔE افزایش یافت. به طور کلی تغییر در رنگ مغزها در دماهای بیشتر از

۲، نتایج تجزیه واریانس مربوط به شاخص قرمزی (a^*) نشان دهنده عدم کارایی مدل به دست آمده برای پیش‌گویی مقادیر متغیرهای پاسخ می‌باشد. با وجود معنی‌دار بودن مدل درجه دوم به دلیل معنی‌دار بودن آزمون ضعف برازش، این مدل کارایی لازم برای پیشگویی داده‌ها را ندارد. (جدول ۲).

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، جمله‌های مدل که معنی‌دار بوده‌اند، شامل عبارت خطی زمان برشته کردن، عبارت درجه‌ی دوم زمان و دما و همچنین اثرات متقابل زمان و دما بودند. جملات مربوط به اثرات درجه دوم، به شکل مدل حالت انحنا بخشیده‌اند. تأثیر زمان بر شاخص قرمزی بدون لحاظ نمودن تغییرات سایر متغیرها، به گونه‌ای بود که با افزایش دما به تدریج شاخص قرمزی افزایش یافته و سپس روند کاهش نسبی شاخص زردی دیده شد (شکل ۳).

مدل نهایی به دست آمده (معادله ۶) برای شاخص قرمزی (a^*) براساس داده‌های کد شده و معنی‌دار بودن آن براساس جدول ۲ عبارت است از:

$$a^* = 21.3858 + 1.1550X_2 - 0.9145X_1^2 + 1.1955X_2^2 + 0.4875X_1X_2 \quad \text{معادله ۶}$$

مثبت بودن شاخص زردی (b^*) بیانگر زرد بودن نمونه است. همانطور که جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد، شرایط برشته کردن بصورت معادله درجه اول بر شاخص زردی موثر هستند و در میان شرایط مورد بررسی، دمای هوای داغ بیشترین اثر را بر شاخص زردی دارد (جدول ۱). به عبارت دیگر اثر خطی دما و زمان برشته کردن بر شاخص زردی مغزهای بادام زمینی معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل و اثرات درجه دوم این دو عامل اثر معنی‌داری بر شاخص زردی نداشتند ($P < 0.05$) (جدول ۲). با توجه به ارزیابی مدل ارائه شده برای این شاخص، مشخص گردید که معادله حاصل از R^2 و $R^2(\text{adj})$ نسبتاً بالا برای پیشگویی برخوردار است و آزمون ضعف برازش آن نیز بی‌معنی می‌باشد که تأیید کننده قدرت این مدل است.

بررسی تغییرات شاخص زردی از طریق مدل ارائه شده در جدول ۲ و نیز مشاهده نمودار سطح پاسخ آن در شکل ۳، نشان می‌دهد که مقدار شاخص زردی نمونه‌ها در دامنه $۱۵/۴۰ - ۱۱/۴۹$ قرار دارد و با افزایش دما و زمان فرایند به طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۳). نتایج مشابهی توسط محققان دیگر همچون Kahyaoglu (۲۰۰۸) در برشته کردن پسته؛ Chung و همکاران (۲۰۱۴) در برشته کردن ذرت و

بهبوده‌سازی شرایط برشته‌کردن مغز بادام زمینی با هوای داغ توسط روش سطح پاسخ

۱۰۰ درجه سانتی‌گراد عمدتاً مربوط به واکنش‌های غیر آنزیمی قهوه‌ای شدن می‌شود، چرا که در این چنین دماهای (۲۰-۲۲۰- ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد)، بیشتر آنزیم‌های مواد غذایی غیر فعال می‌شوند (Driscoll & Madamba, 1994; Moss & Otten, 1989).

براساس جدول ۲ مدل نهایی داری آزمون ضعف برآزش بی معنی و معادله حاصل از R^2 و $R^2(\text{adj})$ نسبتاً بالای برخوردار است که نشان دهنده مدل برای برآزش پارامتر مورد نظر می‌باشد.

مدل نهایی به دست آمده (معادله ۸) برای ΔE براساس داده‌های کد شده و معنی‌دار بودن آن براساس جدول ۲ عبارت است از:

$$\Delta E = 13.878 + 4.889X_1 + 4.313X_2 + 1.972X_2^2 \quad \text{معادله ۸}$$

سفتی یکی از پارامترهای مهم و تاثیرگذار است که باید طی فرآیند برشته کردن کنترل شود (Mohammadi Moghaddam et al., 2015). بررسی آنالیز واریانس نشان داد که اثرات خطی دما و زمان برشته کردن بر سفتی بافت معنی‌دار است، اما اثرات متقابل و درجه دوم دما و زمان بر میزان سفتی معنی‌دار نبود. به عبارت دیگر، شرایط برشته کردن بصورت معادله درجه اول بر شاخص سفتی موثر هستند. مطابق جدول ۲ اثر زمان برشته کردن نسبت به دمای هوای داغ تاثیر معنی‌داری بیشتری بر میزان کاهش سفتی داشته است. این بدین معنی است که قدرت بافت مغز بادام زمینی در طی فرآیند برشته کردن کاهش می‌یابد. برشته کردن دانه‌های آجیلی منجر به نفوذ تدریجی گرما در مغز شده و در نتیجه باعث کاهش رطوبت و سختی و افزایش تردی مغز می‌شود (Mohammadi Moghaddam et al., 2015).

شکل ۴-الف، نشان دهنده سطح پاسخ شاخص سفتی در برابر دمای هوای داغ و زمان برشته کردن می‌باشد، همان طور که در شکل دیده می‌شود، با افزایش دما و زمان، شاخص سفتی به طور معنی‌داری کاهش یافت. با افزایش دما و زمان فرآیند، میزان رطوبت در مغز بادام زمینی کاهش یافته و مغز بادام زمینی ترد و شکننده می‌شود، بنابراین شاخص سفتی کاهش می‌یابد. طی فرآیند برشته کردن بافت مغزها شکننده می‌شوند که این ویژگی یکی از خصوصیات فرآورده‌های برشته شده است (Vincent, 2004). مدل برآزش شده از R^2 نسبتاً بالای برخوردار بود و آزمون برآزش نشان دهنده مناسب بودن

مدل مورد استفاده است (جدول ۲). مدل نهایی به دست آمده (معادله ۹) برای شاخص سفتی براساس داده‌های کد شده و معنی‌دار بودن آن براساس جدول ۲ عبارت است از:

$$IH = 64.2120 - 4.4676X_1 - 10.7127X_2 \quad \text{معادله ۹}$$

انرژی فشاری نشان دهنده میزان کار لازم برای رسیدن به نقطه نهایی شکست یعنی سفتی می‌باشد و از محاسبه سطح زیر منحنی نیرو-زمان بدست می‌آید؛ به عبارت دیگر انرژی فشاری نشان دهنده میزان قدرت پیوندهای بین ملکولی در ماده است (Mohammadi Moghaddam et al., 2015).

بررسی جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد که زمان برشته کردن در مقایسه دمای هوای داغ، تاثیر بیشتری بر میزان انرژی فشاری دارد. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که زمان، دمای هوای داغ و نیز عبارت درجه دوم دمای هوای داغ موجب کاهش معنی‌دار میزان انرژی فشاری شدند. بررسی تغییرات انرژی فشاری، نشان می‌دهد که معادله حاصل از R^2 و $R^2(\text{adj})$ بالا برخوردار است و همچنین عدم معنی‌دار بودن آزمون ضعف برآزش و پایین بودن مقدار Press نشان دهنده مناسب بودن مدل ارائه شده است.

روند تغییر بازده انرژی فشاری با توجه به شرایط برشته کردن و به صورت نمودار سطح پاسخ در شکل ۴-ب مشاهده می‌گردد. به طوری که با افزایش دما و زمان فرآیند میزان انرژی فشاری کاهش یافت ($P < 0.05$). مقدار انرژی فشاری مشاهده شده برای مغز بادام زمینی در رنج ۴۹۶-۱۹۹ نیوتون × ثانیه قرار داشت.

مدل نهایی به دست آمده (معادله ۱۰) برای انرژی فشاری براساس داده‌های کد شده و معنی‌دار بودن آن براساس جدول ۲ عبارت است از:

$$CE = 378.798 - 41.143X_1 - 92.388X_2 - 45.035X_1^2 \quad \text{معادله ۱۰}$$

با افزایش دما و زمان برشته کردن، میزان انرژی که صرف برشته کردن مغزهای بادام زمینی می‌شود، افزایش یافت. جدول (۲)

اثر شرایط مختلف برشته کردن را بر میزان مصرف انرژی نشان می‌دهد. مطابق با جدول ۲، اثر متغیرهای دما و زمان بر میزان انرژی مصرفی به صورت خطی معنی‌دار می‌باشد، همچنین بین متغیرهای دما و زمان اثر متقابل معنی‌داری

(2013). برای مغز بادام زمینی برشته شده، پارامتری‌های کیفی رنگ، بافت، رطوبت و میزان پذیرش حسی به عنوان پاسخ‌های اصلی برای تعیین درجه برشته کردن در نظر گرفته می‌شود و همچنین میزان مصرف انرژی داری اهمیت فراورنی در تعیین شرایط بهینه است. در فرایند بهینه‌یابی، اهمیت پاسخ‌ها با یکدیگر برابر در نظر گرفته شد و بهینه‌سازی با تکنیک بهینه‌یابی عددی انجام شد (Li et al., 2013). با توجه به شرایط موجود، دمای هوای داغ ۱۶۲ درجه سانتی‌گراد و زمان برشته کردن ۲۹ دقیقه به عنوان شرایط بهینه برشته کردن یافت شد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحقیق بیانگر کارایی مفید متدولوژی روش سطح پاسخ در بهینه‌یابی فرآیند برشته کردن با هوای داغ بود. براساس نتایج بدست آمده هر دو فاکتور دمای هوای داغ و زمان برشته کردن تاثیر قابل توجه‌ای بر خصوصیات کیفی و میزان مصرف انرژی داشتند و باعث بهبود خصوصیات حسی و بافتی مغز بادام زمینی گردیدند. مقدار L^* ، b^* مقدار رطوبت، سفتی و انرژی فشاری به عنوان تابعی از دما و زمان فرآیند برشته کردن روند کاهشی نشان دادند و افزایش ΔE و میزان مصرف انرژی با افزایش دما و زمان فرآیند مشهود بود. مدل‌های پیشنهادی در این پژوهش، تقریباً دارای مقادیر R^2 بالایی بودند و در بیشتر مدل‌ها، آزمون ضعیف برازش بی‌معنی بود که نشان دهنده کارایی مدل‌های ارائه شده در این مطالعه می‌باشد. نتایج آزمون بهینه‌یابی نیز نشان داد که شرایط مطلوب برای برشته نمودن بادام زمینی با استفاده از برشته کن هوای داغ، به کارگیری دمای ۱۶۲ درجه سانتی‌گراد و زمان ۲۹ دقیقه می‌باشد. با توجه به ظهور و کاربرد روش‌های جدید برشته کردن، همچون ماکروویو، فرورسرخ و روش‌های ترکیبی، مطالعه و بهینه‌سازی این روش‌ها برای برشته کردن مغز بادام زمینی و سایر توصیه و پیشنهاد می‌شود.

منابع

- Bagheri, H., Kashaninejad, M., Ziaifar, A. M. & Alami, M. (2016). Novel hybridized infrared-hot air method for roasting of peanut kernels. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 37, 106-114.
- Bas, D., Boyaci, H., & Smail, H. (2007). Modeling and optimization I: Usability of response surface

وجود دارد. براساس مقدار P values و ضرایب موجود در جدول ۲ برای پاسخ مقدار انرژی مصرفی، هر دو فاکتور دما و زمان به یک اندازه در میزان انرژی مصرفی تاثیر گذاراند. شکل ۲-ب نشان دهنده میزان انرژی مصرفی در سامانه هوای داغ در دما و زمان‌های مختلف است. همان طور که در شکل دیده می‌شود، پائین‌ترین مقدار مصرف انرژی برای برشته کردن مغز بادام زمینی در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۰ دقیقه دیده شد و بالاترین میزان مصرف انرژی مربوط به دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۳۰ دقیقه می‌باشد. نتایج مشابهی توسط Celma و همکاران (۲۰۱۱) برای خشک کردن لجن‌های ناشی از گوجه فرنگی گزارش شده است.

مدل نهایی به دست آمده (معادله ۱۱) برای میزان انرژی مصرفی براساس داده‌های کد شده و معنی‌دار بودن آن براساس جدول ۲ عبارت است از.

$$EC = 0.95522 + 0.28598X_1 + 0.27139X_2 + 0.06074X_1X_2 \quad \text{معادله ۱۱}$$

فرآیند برشته کردن منجر به ایجاد طعم، رنگ و مزه مطلوب در مغزها و در نتیجه منجر به افزایش پذیرش کلی محصول می‌شود (Buckholz et al., 1980). بررسی نتایج حاصل از استفاده از مدل درجه دوم برای پیشگویی پذیرش کلی نشان دهنده عدم کارایی این مدل برای این سطح پاسخ می‌باشد. به طوری که اثر تمام فاکتورها فرآیند بر میزان پذیرش در این مدل معنی‌دار نشدند و مقدار تست عدم برازش نیز معنی‌دار بود. از طرفی مقدار R^2 (adj) و R^2 (pred) در این مدل بسیار پایین بود که این مقادیر نشان دهنده عدم کارایی مدل مورد استفاده است.

به طور کلی و با توجه به منحنی سطح پاسخ (شکل ۴-ج) با افزایش دما و زمان فرآیند برشته کردن، میزان پذیرش کلی افزایش یافت به طوری که بالاترین میزان پذیرش کلی مربوط به نمونه برشته شده در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه می‌باشد و استفاده از دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه منجر به کاهش پذیرش کلی و نهایی فرآورده گردید که علت آن احتمالاً به خاطر ایجاد رنگ تیره و طعم ناشی از آن می‌باشد.

یکی از اهداف اصلی طرح سطح پاسخ، پیدا کردن شرایط اپتیم برای فرآیند مورد نظر می‌باشد (Li et al.,)

- methodology. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 836-845.
- Bhattacharya, S. & Prakash, M. (1997). Kinetics of roasting of split chickpea (*Cicer arietinum*). *International Journal of Food Science and Technology*, 32, 81-84.
- Buckholz, L. L., Daun, H., Stier, E. & Trout, R. (1980). Influence of roasting time on sensory attributes of fresh roasted peanuts. *Journal of Food Science*, 45, 547-554.
- Celma, A. R., Cuadros, F. & López-Rodríguez, R. (2012). Convective drying characteristics of sludge from treatment plants in tomato processing industries. *Food and Bioproducts Processing*, 90, 224-234.
- Chen, T., Kang, B., Chen, S., Chen, H. & Lin, H. (2010). Optimized parameters and quality analysis of salty and crisp peanut by far infrared roasting. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26(8), 320-325.
- Chung, H. S., Kim, J. K., Moon, K. D. & Youn, K. S. (2014). Changes in color parameters of corn kernels during roasting. *Food Science and Biotechnology*, 23(6), 1829-1835.
- Dadali, G., Demirhan, E. & Özbek, B. (2007). Color change kinetics of spinach undergoing microwave drying. *Drying Technology*, 25, 1713-1723.
- Danehy, J. P. (1986). Maillard reactions: Nonenzymatic browning in food systems with special reference to the development of flavor. *Advances in Food Research*, 30, 77-138.
- Driscoll, R. H. & Madamba, P. S. (1994). Modeling the browning kinetics of garlic. *Food Australia* 46, 66-71.
- Horuz, E., Altan, A. & Maskan, M. (2012). Spray drying and process optimization of unclarified pomegranate (*Punica granatum*) juice. *Drying Technology*, 30(7), 787-798.
- Jiao, S., Zhu, D., Deng, Y. & Zhao, Y. (2015). Effects of hot air-assisted radio frequency heating on quality and shelf-life of roasted peanuts. *Food Bioprocess Technology*, 15-1624-1637.
- Kahyaoglu, T. (2008). Optimization of the pistachio nut roasting process using response surface methodology and gene expression programming. *LWT- Food Science and Technology*, 41, 26-33.
- Kahyaoglu, T. & Kaya, S. (2006). Modelling of moisture, color and texture changes in sesame seeds during the conventional roasting. *Journal of Food Engineering*, 75(2), 167-177.
- Koc, B., Yilmazer, M. S., Balkr, P. & Ertekin, F. K. (2010). Spray drying of yogurt: Optimization of process conditions for improving viability and other quality attributes. *Drying Technology*, 28(4), 495-507.
- Li, J., Zhang, L. & Liu, Y. (2013). Optimization of extraction of natural pigment from purple sweet potato by response surface methodology and its stability. *Journal of Chemistry*, 2, 1-5.
- Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48, 169-175.
- McDaniel, K. A., White, B. L., Dean, L. L., Sanders, T. H. & Davis, J. P. (2012). Compositional and mechanical properties of peanuts roasted to equivalent colors using different time/temperature combinations. *Journal of Food Science*, 77(12), 1-7.
- Mendes, L. C., De Menezes, H. C., Aparecida, M. & Da Silva, A. P. (2001). Optimization of the roasting of robusta coffee (*C. canephora conillon*) using acceptability tests and RSM. *Food Quality and Preference*, 12 (2), 153-162.
- Mohammadi Moghaddam, T., Razavi, S. M. A., Taghizadeh, M. & Sazgarnia, A. (2015). Sensory and instrumental texture assessment of roasted pistachio nut/kernel by partial least square (PLS) regression analysis: effect of roasting conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 53 (1), 370-380.
- Moss, J. R. & Otten, L. (1989). A relationship between color development and moisture content during roasting of peanut. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 22(1), 34-39.
- Myers, R. H. & Montgomery, D. C. (2009). *Response surface methodology: process and product optimization under designed experiments*. 3rd ed. New York, Wiley and Sons, 255-80.
- Nikzadeh, V. & Sedaghat, N. (2008). Physical and sensory changes in pistachio nuts as affected by roasting temperature and storage. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 4, 478-483.
- Ozdemir, M. & Devres, O. Y. (1999). The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering*, 42, 225-233.
- Ozdemir, M. & Devres, O. Y. (2000). Analysis of color development during roasting of hazelnuts using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 45, 17-24.
- Quanhong, L. & Caili, F. (2005). Application of response surface methodology for extraction optimization of germinant pumpkin seeds protein. *Food Chemistry*, 92, 701-706.
- Rouissi, T., Mahmoudi, A., Tyagi, R. D., Brar, S. K., Prvost, D. & Surampalli, R. Y. (2007). Optimization of spray drying by response surface methodology for the production of *Sinorhizobium meliloti* powder formulation by using starch industry waste water. *Biosystems Engineering*, 114(3), 334-343.
- Saklar, S., Katnas, S. & Ungan, S. (2001). Determination of optimum hazelnut roasting conditions. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 271-281.
- Vincent, J. F. V. (2004). Application of fracture mechanics to the texture of food. *Engineering Failure Analysis*, 11, 695-704.
- Vollmann, J. & Rajcan, I. (2010). *Oil Crops*, Springer London.