

بهینه‌سازی اعمال نیروی گریز از مرکز جهت کاهش جذب روغن با استفاده از روش سطح پاسخ و الگوریتم ژنتیک

مسعود هاشمی شهرکی^۱ - امان محمد ضیایی فر^{۲*} - مهدی کاشانی نژاد^۳ - محمد قربانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۳/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۲۲

چکیده

قسمت عمده‌ی جذب روغن در مرحله سردکردن فرآیند سرخ کردن صورت می‌گیرد و ناشی از جذب روغن چسبیده به سطح محصول سرخ‌شده در اثر ایجاد خلاء درون محصول می‌باشد. در این پژوهش از اعمال نیروی گریز از مرکز در مرحله سردکردن محصول سرخ‌شده به‌عنوان عاملی جهت زدودن روغن چسبیده به سطح استفاده شد. جهت بهینه‌سازی دور نیروی گریز از مرکز (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ دور بر دقیقه) و زمان اعمال نیروی گریز از مرکز (۲۰، ۵۰ و ۸۰ ثانیه)، دمای سرخ کردن (۱۴۰، ۱۷۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان سرخ کردن (۴، ۸ و ۱۲ دقیقه) از روش سطح پاسخ استفاده شد. بهینه‌سازی فاکتورها با توجه به خصوصیات کیفی محصول نظیر محتوای روغن، محتوای رطوبت، پارامترهای رنگی و بافت محصول صورت گرفت. در ادامه ضرایب مدل بدست آمده از روش سطح پاسخ، با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک بهینه شدند و مشاهده شد که داده‌های آزمایشی با مدل بهینه شده با الگوریتم ژنتیک، در مقایسه با مدل‌های روش سطح پاسخ برآزش بهتری نشان دادند. در این مطالعه شرایط بهینه برای انجام پس تیمار ۳۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۸۰ ثانیه و سرخ کردن در دمای ۱۸۰-۱۷۵ درجه سانتیگراد به مدت ۸-۷ دقیقه بود.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی، جذب روغن، سرخ کردن، روش سطح پاسخ

مقدمه

قابل ملاحظه جذب روغن در محصولات سرخ شده می‌گردند. کاهش محتوای رطوبت اولیه محصول با استفاده از خشک کردن توسط هوای داغ (Pedreschi & Moyano, 2005)، غوطه‌ور شدن در محلول ۳٪ NaCl (Bunger et al., 2003)، بکار بردن پوشش‌های خوراکی (Rimac-Brnčić et al.; Mellema, 2003; Khalil, 1999)، استفاده از میکروویو جهت سرخ کردن (Oztop et al., 2004)، سرخ کردن تحت خلاء (Ga rayo & Ra, 2002)، (Moreno & Mariscal & Bouchon., 2008)؛ (Bouchon., 2008) از جمله‌ی این روش‌ها می‌باشند. برخی از مطالعات با تمرکز بر مرحله سردکردن، موجبات کاهش جذب روغن را فراهم آورده‌اند (Southern et al., 2000)؛ (Bouchon et al., 2003). استفاده از نیروی گریز از مرکز در مرحله سردکردن محصول سرخ شده موجب حذف مقدار قابل توجه روغن چسبیده به سطح می‌گردد و از جذب روغن به‌علت خلاء ایجاد شده در محصول جلوگیری می‌کند (Rungsinee, 2011). برخی از تحقیقات به بررسی مرحله

فرآیند سرخ کردن محصولات غذایی به‌علت تولید محصولات با بافت و طعم مناسب یکی از محبوب‌ترین فرآیندهای آماده‌سازی محصولات غذایی می‌باشد (Rimac-Brnčić et al., 2004). با توجه به نگرانی‌های موجود نسبت به ابتلا به بیماری‌های قلبی و عروقی در اثر مصرف محصولات با محتوای روغن بالا، کاهش جذب روغن محصولات سرخ شده مورد توجه می‌باشد (Moreira & Barrufet, 1998)؛ (Bouchon & Pyle., 2005). از فاکتورهای اصلی که بر جذب روغن در محصولات سرخ شده موثرند، می‌توان به درجه کیفی روغن سرخ کردنی، دما، فشار و زمان سرخ کردن، شکل هندسی محصول، ترکیب شیمیایی ماده غذایی خام، شکل سطح و تخلخل محصول سرخ شده اشاره نمود (Saguy & Bouchon, 2002)؛ (Dana, 2003). برخی از پیش تیمارهای سرخ کردن موجب کاهش

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیاران گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
* - نویسنده مسئول:
(Email: ziaifar@gmail.com)

بررسی معنی‌دار بودن آثار فاکتورها در پاسخ‌های مورد مطالعه مفید بوده و امکان مطالعه تاثیرات در نمودارهای سه بعدی فراهم می‌آید. الگوریتم ژنتیک یک روش جستجوی اتفافی بر اساس ساز و کار انتخاب طبیعی و ژنتیک طبیعی است. الگوریتم ژنتیک، اصل بقای بهترین را بروی جمعیتی از راه حل‌های ممکن یک مسئله، برای تولید راه حل‌های بیشتر و بهتر اعمال می‌کند. عملکرد این روش بر پایه جستجوی اتفافی است که توانایی فراوانی در حل مسائل گسسته دارد. این شیوه بهینه‌سازی با متغیرهای طراحی به صورت رشته‌هایی با طول معین که به صورت ۰ و ۱ رمزگذاری شده‌اند، کار می‌کند. هر یک از این رشته‌ها همانند کروموزم در یک دستگاه زنده و رمزهای دودویی ۰ و ۱، مشابه ژن‌ها می‌باشد. هر رشته نماینده یک طرح است. طرح‌های مطلوب‌تر برای ایجاد نسل انتخاب شده و با عملگرهایی همانند تکثیر، پیوند و جهش، نسل جدیدی با مطلوبیت بالاتری ایجاد می‌کنند. با تکرار نسل‌ها، طرح‌ها با توجه به معیارهای انتخاب شده، بهبود یافته و سرانجام، طرح بهینه به دست می‌آید (وطنی اسکویی و سریع الاطلاق فرد، ۱۳۸۸).

هدف از این مطالعه بهینه‌سازی دما و زمان سرخ کردن به‌عنوان پارامترهای اصلی فرآیند سرخ کردن و همچنین بررسی و بهینه‌سازی اعمال نیروی گریز از مرکز در مرحله سردکردن بر خصوصیات کیفی محصول سرخ‌شده (نظیر محتوای جذب روغن، محتوای رطوبت، پارامترهای رنگی و بافت) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

سیب زمینی (آگریا) از بازارهای محلی در گرگان خریداری گردید. سیب زمینی‌ها تا شروع آزمایشات در دمای ۸ درجه سانتی‌گراد و در تاریکی نگهداری شدند. روغن مخصوص سرخ کردنی (ترکیبات این روغن شامل روغن آفتابگردان، سویا و پنبه دانه، آنتی اکسیدان (۰/۰۱) TBHQ % و اسید سیتریک ۰/۰۱ %) بود (بهار، ساخت ایران) جهت ایجاد بستر حرارتی فرآیند سرخ کردن مورد استفاده قرار گرفت.

فرآیند

سرخ کردن

خلال‌های سیب زمینی به ابعاد $1 \times 1 \times 6$ سانتی‌متری داخل دستگاه سرخ‌کن قرار داده شدند که به این ترتیب با فراهم آوردن، نسبت وزن سیب زمینی به حجم روغن (m/v) مناسب از تغییرات و افت درجه حرارت در طی سرخ کردن جلوگیری به عمل آمد. انجام فرآیند سرخ کردن بر طبق طرح روش سطح پاسخ انجام شد. طرح مربوط دارای ۳۰ آزمایش بوده که نمونه‌ها در ترکیبی از دمای سرخ کردن (۱۴۰، ۱۷۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد)، زمان سرخ کردن (۴، ۶ و ۸ دقیقه)،

سردکردن و مکانیسم‌ها و مدل‌های انتقال جرم در این مرحله پرداخته‌اند (Durán et al., ; Yamsaengsung & Moreira, 2002). محققین نشان داده‌اند که مقدار کمی روغن در طی مرحله سرخ کردن جذب می‌شود و اکثر جذب در مرحله سردکردن اتفاق می‌افتد (Bouchon et al., 2003). همچنین با استفاده از روغن‌های رنگی و یا روغن‌های نشانه‌گذاری شده (Saguy et al., 1997) یا با استفاده از شستشوی متوالی با حلال (Moreira et al., 1997) نشان دادند که جذب روغن به‌طور عمده در مرحله سردکردن اتفاق می‌افتد. محققین بوسیله اندازه‌گیری فشار داخلی درون یک مدل نشاسته‌ای در طی فرآیند سرخ کردن و سردکردن مشاهدات قبلی را اثبات نمودند (Vitrac et al., 2000). در طی مرحله سرخ کردن، فشاری در حدود ۴۵ کیلوپاسکال، درون محصول ایجاد می‌گردد و از مهاجرت روغن به درون ماده غذایی جلوگیری می‌کند. در مقابل در مرحله سردکردن سریع پوسته، کندانس شدن سریع بخار در حوزه جاذب رطوبت (پوسته) صورت می‌گیرد و موجب کاهش فشار به ۳۵ کیلوپاسکال می‌گردد. کاهش فشار درون محصول در طی مرحله سردکردن، موجب مکیده شدن روغن چسبیده به سطح محصول می‌گردد. حال با اعمال روشی که بتواند این روغن سطحی را حذف کند، می‌توان جذب روغن محصول را کاهش داد. مقالات مروری بسیاری در مورد مکانیسم‌های مختلف جذب روغن ارائه شده است که مدل‌های انتقال در محصولات سرخ شده را مورد بررسی قرار می‌دهند (Bouchon., 2002; Yamsaengsung & Moreira, 2002).

مقدار جذب روغن، بافت و رنگ از جمله خصوصیات کیفی محصول سرخ شده می‌باشند (Hindra & Baik., 2006). محصول خلال سیب زمینی سرخ شده با کیفیت مطلوب دارای بافتی ترد و رنگ زرد طلایی می‌باشد. رنگ محصول تولید شده نتیجه واکنش‌های مایلارد بوده که تحت تاثیر دمای فرآیند می‌باشد (Marquez & Anon, 1986). در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی دانشگاه‌ها کاربرد سیستم‌های بصری کامپیوتری برای نظارت کیفی و درجه‌بندی در حال توسعه می‌باشد. اندازه‌گیری رنگ و تحلیل آن در اکثر مواد غذایی از جمله سبزیجات و میوه جات مورد استفاده قرار گرفته است. هاشمی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از این روش به بررسی رنگ خلال‌های سرخ‌شده سیب زمینی با پیش‌ تیمار مایکروویو پرداختند و نتایج تاثیر قابل ملاحظه این پیش تیمار را بر خصوصیات کیفی محصول از جمله رنگ نشان دادند.

روش سطح پاسخ روشی آماری جهت حل معادلات چند متغیبری می‌باشد. در این روش از تحلیل‌های رگرسیونی جهت بدست آوردن معادلات بهینه برای تخمین مقادیر استفاده می‌شود (Roy et al., 2002). جهت بهینه‌سازی، استفاده از یک طرح مرکب مرکزی^۱ با

سرخ شده به قطر ۰/۲ میلی متر با سرعت حرکت پروب ۱/۷ میلی متر بر ثانیه استفاده شد و حداکثر مقاومت به نفوذ در بافت (F_{max}) اندازه گیری گردید (Bunger *et al.*, 2003).

تغییرات رنگ

جهت اندازه گیری رنگ محصول سرخ شده از رنگ سنجی به روش پردازش تصویر استفاده شد. سنجش پارامترهای رنگی خلال سیب زمینی سرخ شده یک ساعت پس از سرخ کردن انجام شد. خلاصه ای از مبانی این روش به صورت ذیل می باشد:

الف-دوربین: تصویربرداری با استفاده از یک دوربین دیجیتال (کانن اس ایکس ۴۰، ساخت ژاپن) انجام گردید. تنظیمات دوربین در حین تصویربرداری در جدول ۱ ارائه شده است (Hashemi *et al.*, 2014). روشن بودن بزرگنمایی موجب به دست آمدن تصاویر بهتر در تصویربرداری های از فاصله نزدیک می شود. استفاده از سرعت های شاتر بالاتر (طولانی تر) موجب ورود نور بیش از حد به دوربین شده و باعث انحراف نتایج می گردد (Hashemi *et al.*, 2014).

ب-محیط عکسبرداری: با استفاده از لامپ های فلورسنت (۴ لامپ ۱۰ وات) استاندارد روشنایی ۶۵۰۰ درجه کلومین بر محیط اعمال شد. از یک نور سنخ (کنکو، ساخت ژاپن) جهت اندازه گیری درجه روشنایی و یکنواختی نور استفاده شد. در محیط عکسبرداری مقدار روشنایی، یکنواخت بوده و دیواره های این محیط جهت جلوگیری از آلودگی نوری و جلوگیری از انعکاس نور، با استفاده از پارچه مشکی پوشانیده شد. نور در زاویه ۴۵ درجه به نمونه تابانیده شد تا نور ورودی به دوربین حاصل از انعکاس نور توسط نمونه باشد. تصویر برداری از نمونه تحت زاویه ی ۹۰ درجه انجام شد.

میزان نیروی گریز از مرکز (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ دور بر دقیقه) و زمان اعمال نیروی گریز از مرکز (۲۰، ۵۰ و ۸۰ ثانیه) سرخ شدند. آزمایشات در سه تکرار انجام شد.

اعمال نیروی گریز از مرکز

جهت حذف روغن های سطحی از نمونه ها در مرحله سرد کردن از یک دستگاه اعمال کننده ی نیروی گریز از مرکز با قابلیت تنظیم سرعت چرخش استفاده شد. در شکل ۱ شمای دستگاه نشان داده شده است.

بلافاصله بعد از انجام عملیات سرخ کردن نمونه ها به صورت دستی به دستگاه اعمال کننده ی نیروی گریز از مرکز منتقل شدند و عملیات سرد کردن با استفاده از دستگاه گریز از مرکز بر طبق طرح روش سطح پاسخ در ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۲۰، ۵۰ و ۸۰ ثانیه اعمال گردید.

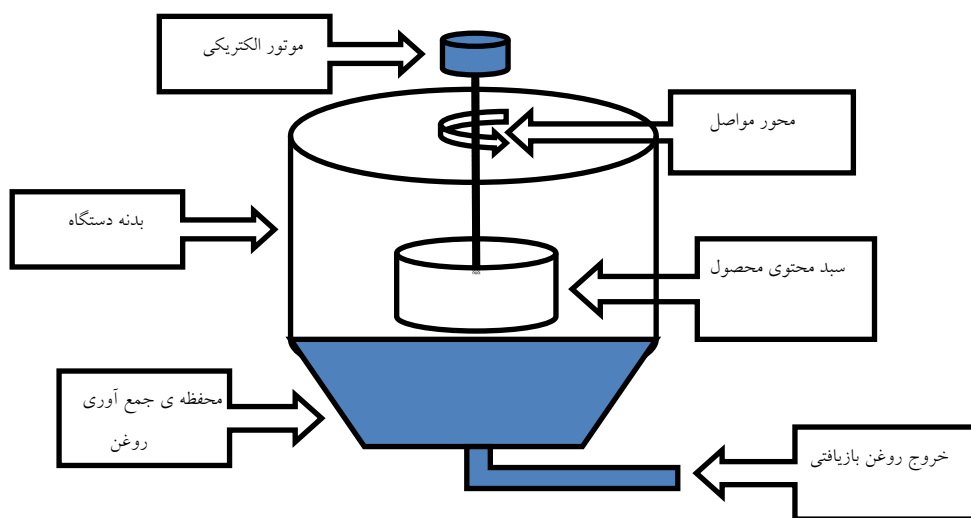
خصوصیات کیفی

محتوای رطوبت و محتوای روغن

محتوای رطوبت نمونه ها به روش AOAC (2005) صورت گرفت. آزمایشات مربوط به محتوای رطوبت در سه تکرار انجام شد. از روش سوکسله براساس استاندارد AOAC (2005) جهت اندازه گیری محتوای نمونه های سرخ شده استفاده شد. آزمایشات مربوط به محتوای رطوبت و جذب روغن در سه تکرار انجام شد.

تغییرات بافت

سنجش بافت خلال سیب زمینی سرخ شده، یک ساعت بعد از سرخ کردن با استفاده از دستگاه بافت سنج (استیل میکروسیستم، ساخت انگلیس) انجام گردید. از پروب مخصوص خلال سیب زمینی



شکل ۱- شمایی از دستگاه اعمال کننده ی نیروی گریز از مرکز

نتایج و بحث

محتوای رطوبت و محتوای روغن

با توجه به نتایج تجزیه واریانس مشاهده می‌شود که تغییرات سرعت چرخش سبدها و زمان اعمال پس تیمار تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر محتوای رطوبت محصول نهایی ندارد ($p > 0.05$) (جدول ۳). علت این امر حذف مقادیر رطوبت بیشتر محصول در طی فرآیند با دمای بالاتر و زمان بیشتر می‌باشد. گوپتا و همکاران (۲۰۰۰) نیز نتایج مشابهی در طی بررسی سینتیکی فرآیند سرخ کردن سیب زمینی بدست آوردند. اما محتوای رطوبت با افزایش دما و زمان فرآیند سرخ کردن کاهش می‌یابد ($p < 0.05$) (شکل ۲). مدل توصیف کننده تاثیر فاکتورهای مورد مطالعه را بر محتوای رطوبت، معادله درجه دوم با مربع ضریب همبستگی $0.97/0.52$ بود. مدل و ضرایب مربوطه در معادله ۱ نشان داده شده است. به لحاظ آماری زمان سرخ کردن دارای موثرترین پارامتر بر محتوای رطوبت بوده است.

تغییرات محتوای جذب روغن تحت تاثیر سرعت چرخش، زمان اعمال نیروی نیروی گریز از مرکز و دما و زمان سرخ کردن در شکل ۳ نشان داده شده است. با افزایش سرعت چرخش، زمان اعمال نیروی گریز از مرکز و دمای سرخ کردن میزان جذب روغن به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد ($p < 0.05$) اما با افزایش زمان سرخ کردن میزان جذب روغن افزایش یافت.

علت کاهش جذب روغن در اثر افزایش سرعت چرخش سبدها و زمان اعمال نیروی گریز از مرکز در ارتباط با حذف بیشتر روغن‌های چسبیده به سطح در اثر افزایش سرعت چرخش سبدها و زمان اعمال نیروی گریز از مرکز می‌باشد (Rungsinee, 2011). با توجه به نتایج تجزیه واریانس سرعت چرخش سبدها موثرترین عامل در کاهش جذب روغن مشخص شده است. مدل درجه دوم با مربع ضریب همبستگی $0.97/0.63$ بهترین رابطه را میان جذب روغن و فاکتورهای مورد مطالعه بر قرار ساخته است (معادله ۲). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که با افزایش دمای سرخ کردن محتوای رطوبت محصول کاهش می‌یابد (Olajide et al., 2000; Krokida et al., 2001; Gupta et al., 2009). علت این امر کاهش رطوبت محصول بیان شده است.

$$\begin{aligned} & + (X2) / 0.15879 - (X1) / 0.05359 - 8/3579.06 = \text{محتوای روغن} \\ & + 2/9E-5 (X1)(X2) + 5/1E-5 (X4) - 3/38266 (X3) - 0/317555 (X3) \\ & - 5 (X1)(X3) + 0/000172 (X1)(X4) + 0/000222 (X2)(X3) - \\ & 0/000439 (X2)(X4) + 0/0004635 (X3)(X4) + 5/18E-5 \\ & (X4) + 0/264452 (X3)^2 - 0/000115 (X2)^2 + 0/000831 (X1)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

X1: سرعت چرخش؛ X2: زمان اعمال نیروی گریز از مرکز؛ X3: دمای سرخ کردن؛ X4: زمان سرخ کردن.

جدول ۱- تنظیمات دوربین بکار برده شده طی فرآیند تصویربرداری

فلاش	خاموش
بزرگنمایی	روشن
ISO velocity	۱۰۰
تعادل سفیدی	Fluorescence H
ماکرو	روشن
سرعت شاتر	۱/۴۰۰ ثانیه

ج- نرم افزار: تصاویر مربوطه در نرم افزار Image J 1.44 پردازش گردید. ابتدا نویز تصویر به میزان زیادی کاهش داده شده و فضای رنگی تصویر مربوطه به فضای رنگی استاندارد کمسیون بین المللی روشنایی (CIE) ^۱ تبدیل شد. در طی تبدیل فضای رنگی، استاندارد روشنایی ۶۵۰۰ درجه کلورین در نظر گرفته شد. در ادامه مقادیر کمی شاخص‌های رنگی محیط انتخاب شده در تصاویر تبدیل شده بدست آمد.

بهینه سازی فرآیند

بهینه سازی با استفاده از روش سطح پاسخ

در این طرح سرعت چرخش سبدها (X1) و زمان اعمال نیروی گریز از مرکز (X2)، دمای سرخ کردن (X3) و زمان سرخ کردن (X4) به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند (جدول ۲). بهینه سازی فاکتورها با توجه به ویژگی‌های کیفی خلال سیب زمینی سرخ شده انجام گردید. محتوای روغن (Y1)، محتوای رطوبت (Y2)، روشنایی (Y3)، قرمزی (Y4)، زردی (Y5) و حداکثر مقاومت به نفوذ در بافت (Y6) به عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شدند.

بهینه سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

ضرایب مدل‌های به دست آمده برای هر یک از پاسخ‌های طرح روش سطح پاسخ با استفاده از نرم افزار Yearstretch GA Solver 2.7.7 انجام گردید. تابع هدف در بهینه سازی تابع ضریب همبستگی بود که می‌بایست به حداکثر ممکن رسانیده شود. انجام بهینه‌سازی در طی ۵۰۰ نسل (۵۰۰ مرحله انتخاب نتایج بهتر) انجام شد و مقادیر مرزی (مقادیر محدود کننده فرآیند) برای ضرایب، مقادیر پیش بینی شده توسط نرم افزار انتخاب گردید.

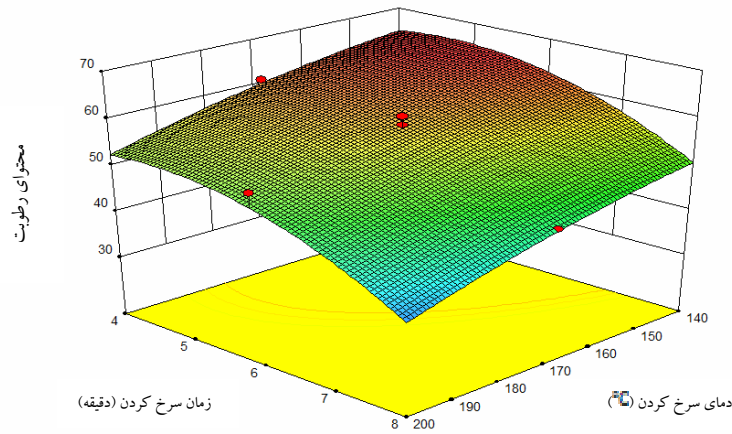
ارزیابی مدل

جهت ارزیابی مدل آزمایشات مربوط (۳۰ آزمایش طرح روش سطح پاسخ) برای پاسخ محتوای رطوبت و روغن دوباره تکرار شد و نتایج با مدل‌های روش سطح پاسخ و مدل‌های بهینه شده با الگوریتم ژنتیک برازش گردید.

1- Commission Internationale Eclairage(CIE)

جدول ۲- متغیرهای مستقل کد شده در فرآیند پس تیمار اعمال نیروی گریز از مرکز

فاکتور	نام	واحد	کمینه	میانگین	بیشینه
X ₁	سرعت چرخش	دور بر دقیقه	۱۴۰	۱۷۰	۲۰۰
X ₂	زمان اعمال نیروی گریز از مرکز	ثانیه	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰
X ₃	دمای سرخ کردن	درجه سانتیگراد	۲۰	۵۰	۸۰
X ₄	زمان سرخ کردن	دقیقه	۴	۶	۸

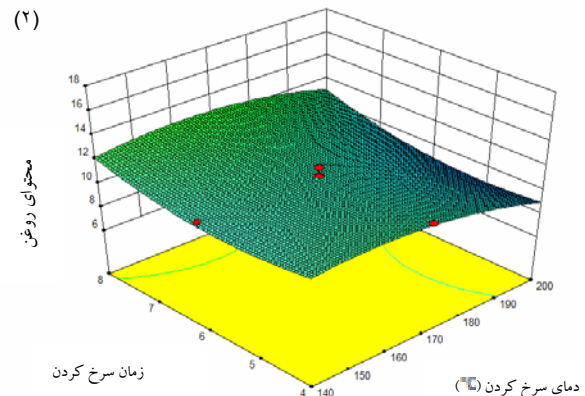
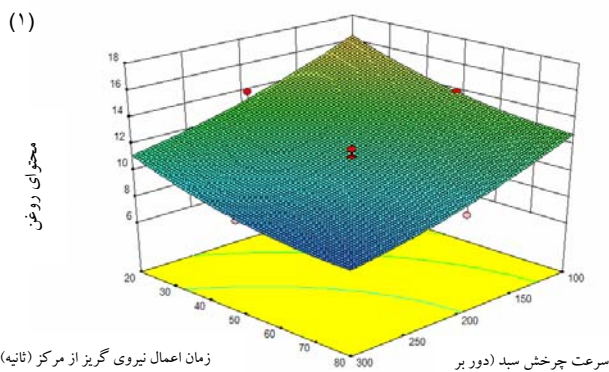


شکل ۲- تغییرات محتوای رطوبت در برابر فاکتورهای مورد مطالعه؛ (۱): تاثیر دمای سرخ کردن و زمان سرخ کردن بر محتوای رطوبت محصول، متغیرهای دیگر در مقادیر متوسط ثابت در نظر گرفته شده اند.

$$\text{محتوای رطوبت} = 4/0.1726 + 0/0.61162 (X1) + 0/1.32121 (X2) + 0/3.88911 (X3) + 14/0.6088 (X4) - 0/0.001 (X1)(X2) - 0/0.0016 (X1)(X3) - 0/0.196 (X1)(X4) - 0/0.0012 (X2)(X3) + 0/0.00448 (X2)(X4) - 0/0.0632 (X3)(X4) - 5/7E-5 (X1)^2 - 0/0.101 (X2)^2 - 0/0.156 (X3)^2 - 1/36691 (X4)^2$$

معادله (۱)

X₁: سرعت چرخش؛ X₂: زمان اعمال نیروی گریز از مرکز؛ X₃: دمای سرخ کردن؛ X₄: زمان سرخ کردن.

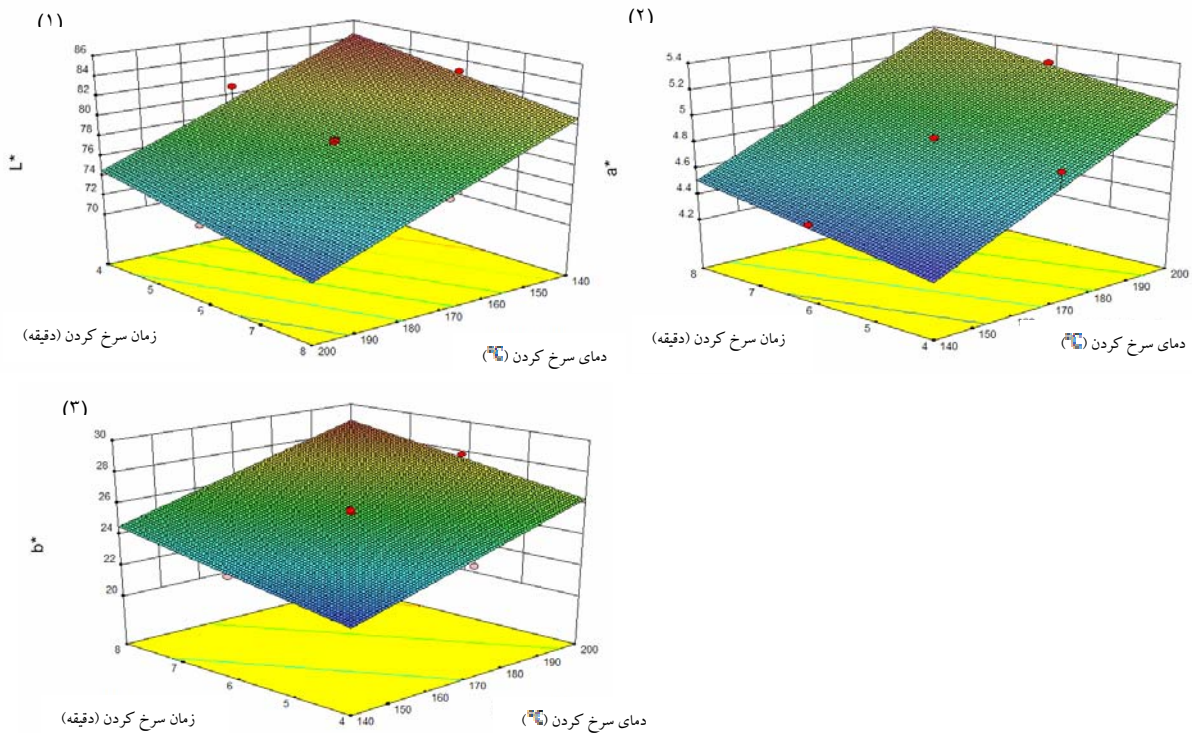


شکل ۳- تغییرات محتوای روغن در برابر فاکتورهای مورد مطالعه؛ (۱): تاثیر سرعت چرخش سب و زمان اعمال نیروی گریز از مرکز؛ (۲): تاثیر دمای سرخ کردن و زمان سرخ کردن بر محتوای روغن محصول، متغیرهای دیگر در مقادیر متوسط ثابت در نظر گرفته شده اند.

شاخص قرمز و زردی محصول شد ($p < 0.05$). نحوه تغییرات شاخص‌های رنگی در برابر فاکتورهای مورد مطالعه در شکل ۴ نشان داده شده است.

تغییرات رنگ

با توجه به جدول ۴ سرعت چرخش سب و زمان اعمال پس تیمار تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر هیچ یک از شاخص‌های $L^*a^*b^*$ نداشت و تنها دما و زمان سرخ کردن موجب کاهش شاخص روشنایی، افزایش



شکل ۴- تغییرات شاخص های رنگی در برابر فاکتورهای مورد مطالعه؛ (۱): تاثیر دمای سرخ کردن و زمان سرخ کردن بر شاخص روشنایی محصول؛ (۲): تاثیر دمای سرخ کردن و زمان سرخ کردن بر شاخص قرمزی محصول، (۳): تاثیر دمای سرخ کردن و زمان سرخ کردن بر شاخص زردی متغیرهای دیگر در مقادیر متوسط ثابت در نظر گرفته شده‌اند.

جدول ۳- تجزیه واریانس برای محتوای رطوبت، محتوای روغن و حداکثر نیرو در آزمایشات پس تیمار گریز از مرکز

میانگین مربعات			
محتوای رطوبت	محتوای روغن	حداکثر مقاومت به نفوذ در بافت	
۱۶۰/۴۱۱۹*	۱۴/۰۱۱۷*	۴/۹۷۰۴*	مدل
۷/۲۲	۱۰۶/۸۷۲۲*	۵/۰۶۶۸*	سرعت چرخش سبدها (A)
۰/۶۵۳۶	۴۷/۴۹۸۷*	۵/۰۹۸۶۸*	زمان اعمال نیرو (B)
۷۶۶/۷۵۲۸*	۱۲/۴۳۳۴*	۲۳/۱۲*	دمای سرخ کردن (C)
۱۰۳۲/۲۴۵*	۱۱/۱۷۰۶*	۱۲/۵۳۳۳*	زمان سرخ کردن (D)
۱/۴۵۸	۰/۳۷۵۱	۰/۴۴۵۵	AB
۳/۸۵۱۴	۰/۱۲۰۷	۵/۷۲۴۰*	AC
۲/۴۵۷	۰/۰۱۸۹	۷/۱۱۵۵*	AD
۰/۱۸۲۷	۰/۶۳۶۰	۰/۵۸۹	BC
۰/۰۱۱۵	۱/۱۰۷۷	۲/۱۹۷۸*	BD
۲/۳۰۲۸	۱/۲۳۷۶	۴/۵۴۷۵*	CD
۰/۸۴۹۵	۰/۶۹۴۶	۰/۵۸۲۸	A ²
۲/۱۳۴۳	۱/۴۴۸۸*	۰/۴۵۵۵	B ²
۵/۰۹۷۲	۲/۷۶۰۴*	۰/۴۳۷	C ²
۷۷/۴۵۵۲*	۲/۸۹۹۱*	۱/۷۸۷۸*	D ²
۳/۰۴۳۹	۰/۳۹۳۶	۲/۸۳۷	عدم برازش
۵/۳۳۶۱	۰/۱۶۳۳	۰/۱۵۲۳	خطای مطلق

*- معنی دار

سیب زمینی سرخ شده مشابهی در مطالعات دیگر محققین یافت شده است (Bunger *et al.*, 2003). روند مشابهی در افزایش میزان شاخص قرمزی در محصولات سرخ شده مختلف گزارش گردیده است اما در این میان روند تغییرات شاخص زردی با زمان سرخ کردن در محصولات مختلف، متفاوت گزارش شده است (Baik and Mittal., 2003; 2006; Sosa-Morales *et al.*, Vélez-Ruiz *et al.*, 2003; 2006; Ngadi *et al.*, 2007). هاشمی و همکاران (۲۰۱۴) نیز با بررسی تغییرات رنگی خلال های سیب زمینی سرخ شده در طی فرآیند سرخ کردن، با کاهش شاخص روشنایی محصول و افزایش شاخص های قرمزی و زردی محصول در برابر افزایش دما و زمان سرخ کردن مواجه شدند.

مدل های خطی با مربع ضریب همبستگی ۹۴/۲۳ (برای شاخص روشنایی)، ۹۳/۳۳ (برای شاخص قرمزی) و ۹۹/۰۴ (برای شاخص زردی) توصیف کننده ی تاثیر پارامترها بر شاخص های رنگی بودند (معادلات ۳ تا ۵). نتایج آماری نشان می دهد که در ارتباط با تغییرات هر سه پارامتر رنگی، دمای سرخ کردن بالاترین تاثیر را داشته است که نتایج بدست آمده با نتایج هاشمی و همکاران (۲۰۱۴) مشابه می باشد.

علت اصلی کاهش شاخص روشنایی یا تیرگی خلال سیب زمینی سرخ شده می تواند شدت یافتن واکنش های قهوه ای شدن غیرآنزیمی مایلارد، در پی افزایش دما و زمان فرآیند سرخ کردن باشد (Sobukola *et al.*, 2010). روند تغییر در شاخص روشنایی محصول

جدول ۴- تجزیه واریانس برای پاسخ های شاخص روشنایی، قرمزی و زردی

میانگین مربعات			
L*	a*	b*	
۱۲۹/۳۶۷۹ *	*۰/۹۵۶۴	*۶۵۳۷۲۸	مدل
۰/۵۱۶۸	۰/۰۳۸۲	۰/۰۵۱۲	سرعت چرخش سبدها (A)
۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۰۰۸۸	۰/۱۸۶۰	زمان اعمال نیرو (B)
*۴۴۹/۹	*۳/۴۱۴۷	*۸۴/۶۳	دمای سرخ کردن (C)
۰۴۸۲۶۷ *	*۰/۳۷۲۶	*۲۹/۷۴۷۷	زمان سرخ کردن (D)
۱/۲۲۱۵	۰/۰۱۱۴	۰/۰۵۰۵	عدم برازش
۱/۴۵۰۳	۰/۰۰۸۸	۰/۰۲۸۷	خطای مطلق

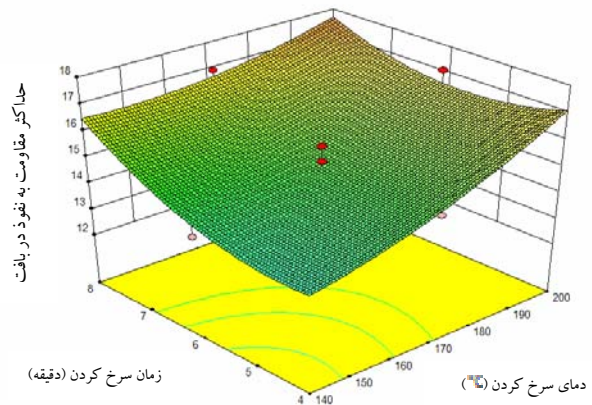
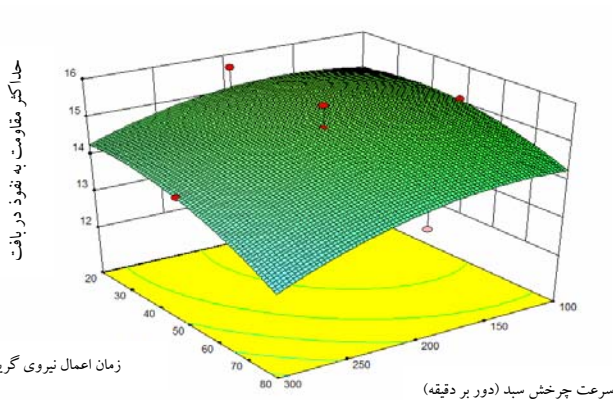
*- معنی دار

$$(3) \quad X_4 - 0.965 + 0.16665(X_3) - 7.4E-5(X_2) + 0.1694(X_1) + 111.4411 = \text{شاخص روشنایی}$$

$$(4) \quad X_4 + 0.071944(X_3) + 0.14519(X_2) + 0.015(X_1) + 0.00461(X_1) + 1.813333 = \text{شاخص قرمزی}$$

$$(5) \quad X_4 + 0.642778(X_3) + 0.0722787(X_3) - 0.0339(X_2) - 0.0053(X_1) - 9.561556 = \text{شاخص زردی}$$

X1: سرعت چرخش؛ X2: زمان اعمال نیروی گریز از مرکز؛ X3: دمای سرخ کردن؛ X4: زمان سرخ کردن.



شکل ۵- تغییرات شاخص حداکثر نیرو در برابر فاکتورهای مورد مطالعه؛ (۱): تاثیر سرعت چرخش سبدها و زمان اعمال نیروی گریز از مرکز؛ (۲): تاثیر دمای سرخ کردن و زمان سرخ کردن بر شاخص حداکثر نیرو محصول، متغیرهای دیگر در مقادیر متوسط ثابت در نظر گرفته شده اند.

تغییرات بافت

نحوه‌ی تغییر شاخص بافتی حداکثر مقاومت به نفوذ در بافت از اثر تغییر سرعت چرخش سید، زمان اعمال نیروی گریز از مرکز و دمای سرخ کردن در شکل ۵ نشان داده شده است. این شاخص بافتی در اثر افزایش دما و زمان سرخ کردن افزایش و با افزایش سرعت چرخش سید و زمان اعمال نیروی گریز از مرکز کاهش می‌یابد. در سرعت‌های بالاتر ۳۰۰ دور بر دقیقه بافت محصول خلال سیب زمینی سرخ شده دچار آسیب بافتی می‌گردد. نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ نشان داده شده است. دمای سرخ کردن موثرترین عامل بر تغییرات بافتی بود. معادله درجه دوم با مربع ضریب همبستگی ۰/۹۵/۰۸ بهترین مدل جهت پیش بینی تغییرات شاخص بافتی محصول در اثر سرعت چرخش سید، زمان اعمال نیروی گریز از مرکز و دمای سرخ کردن بود (معادله ۶).

در محصولات با نشاسته‌ی بالا نظیر سیب‌زمینی قسمت عمده تغییرات بافتی مربوط به زلاتینه شدن نشاسته در طی حرارت دهی می‌باشد (Andersson *et al.*, 1994). شرایط فرآیند سرخ کردن شدیداً بر خصوصیات بافتی چپس سیب زمینی و خلال سیب زمینی سرخ شده موثر می‌باشد (Pedreschi and Moyano., 2005)؛ (Pedreschi *et al.*, 2005). پدرسچی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش نمودند که دماهای بالاتر سرخ کردن، موجب سریع‌تر شدن پخت قسمت مرکزی و سفت شدن پوسته می‌گردد و در مرحله بعد پوسته شروع به تشکیل و سفت شدن می‌کند که نتایج بدست آمده منطبق بر یافته‌های آنان می‌باشد.

$$\begin{aligned}
 & \text{شخص بافتی حداکثر مقاومت به نفوذ در بافت} = ۸/۹۱۰۶۴ + \\
 & ۰/۰۷۰۳۴۸ (X1) - ۰/۰۳۳۳۳ (X2) - ۰/۰۳۴۸۵ (X3) - ۰/۰۲۰۶۳۴ \\
 & (X4) - ۵/۶E-۵ (X1)(X2) - ۰/۰۰۰۲ (X1)(X3) - ۰/۰۰۳۳۳ \\
 & (X1)(X4) + ۰/۰۰۰۲۱۳ (X2)(X3) + ۰/۰۰۶۱۷۷ (X2)(X4) - \\
 & ۰/۰۰۸۸۹ (X3)(X4) - ۴/۷E-۵ (X1)^۲ - ۰/۰۰۰۴۷ (X2)^۲ + \\
 & ۰/۰۰۰۴۵۶ (X3)^۲ + ۰/۰۲۰۷۶۷۵ (X4)^۲ \quad (۶)
 \end{aligned}$$

X1: سرعت چرخش؛ X2: زمان اعمال نیروی گریز از مرکز؛ X3: دمای سرخ کردن؛ X4: زمان سرخ کردن.

بهینه سازی روش سطح پاسخ

جهت بهینه سازی فاکتورهای فرآیند سرخ کردن به همراه پس- تیمار اعمال نیروی گریز از مرکز بالاترین سطح مطلوبیت در خصوصیات کیفی در نظر قرار داده شده است. در فرآیند بهینه‌سازی پایین بودن محتوای رطوبت، جذب روغن و حداکثر مقاومت به نفوذ در بافت برای بافت محصول و بالا بودن شاخص روشنایی، قرمزی و زردی محصول در نظر گرفته می‌شود. خلاصه‌ای از شرایط بهینه- سازی در جدول ۵ ارائه گردیده است. بهینه سازی در ۵۲ مرحله حل انجام شد. مقادیر بهینه چهار فاکتور در شکل ۶ نشان داده شده‌اند. شاخص مطلوبیت مقدار عددی بین صفر و ۱ می‌باشد که سطوح بالاتر بودن مطلوبیت برای هر پارامتر، نشان دهنده‌ی مطلوب بودن شرایط فرآیند برای پارامتر مورد نظر می‌باشد (Hashemi *et al.*, 2014). بالاترین سطح مطلوبیت (۰/۸۵۱۶) برای جذب روغن محصول و کمترین مطلوبیت (۰/۳۴۱۷) برای شاخص روشنایی بدست آمد. مقادیر مطلوبیت برای پاسخ‌های محتوای رطوبت، شاخص بافتی، قرمزی و زردی محصول به ترتیب ۰/۶۰۸۹، ۰/۶۳۲۱، ۰/۵۹۵۵ و ۰/۶۹۲۰ بدست آمد.

روش الگوریتم ژنتیک

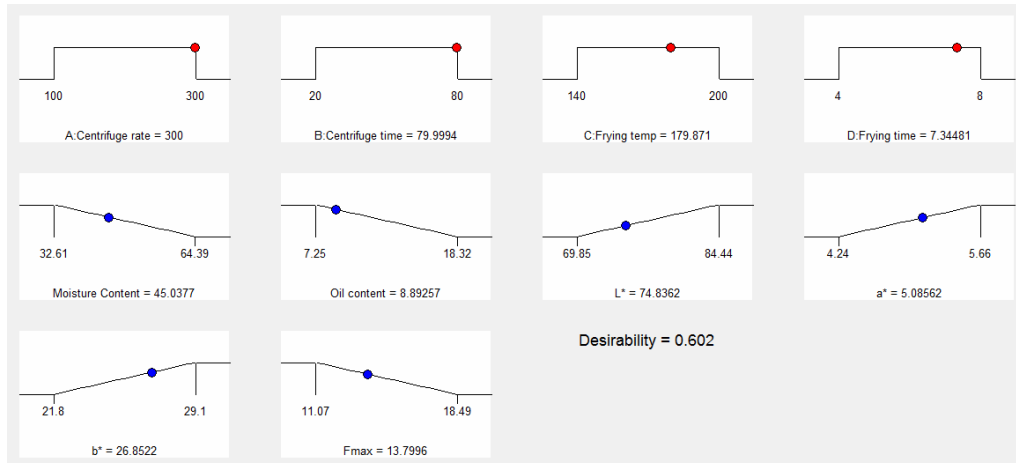
جهت بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی مدل‌های رگرسیونی مد نظر قرار داده شد. این امر با بهینه‌سازی ضرایب مدل صورت گرفت. تمامی ضرایب یک مدل به عنوان یک کروموزم در نظر گرفته شد و ضریب همبستگی بین نتایج آزمایشی و داده‌های حاصل از مدل به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شد (Hashemi *et al.*, 2014). نتایج بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در جدول ۶ و ۷ نشان داده شده است. با جایگذاری ضرایب جدید در مدل می‌توان به نتایجی با نزدیکی بیشتر به داده‌های آزمایشی دست یافت.

جدول ۵- خلاصه‌ای از اطلاعات جهت بهینه‌سازی فاکتورهای مورد مطالعه

نام فاکتور و پاسخ	مقادیر هدف	حداقل ممکن	حداکثر ممکن	وزن دهی	درجه اهمیت از ۵
سرعت چرخش سید (A)	در محدوده	۱۰۰	۳۰۰	۱	۳
زمان اعمال نیرو (B)	در محدوده	۲۰	۸۰	۱	۳
دمای سرخ کردن (C)	در محدوده	۱۴۰	۲۰۰	۱	۳
زمان سرخ کردن (D)	در محدوده	۴	۸	۱	۳
محتوای روغن	حداقل	۷/۱۹۲۵	۱۸/۳۲	۱	۵
محتوای رطوبت	حداقل	۳۲/۶۱	۶۴/۳۹	۱	۴
L*	حداکثر	۶۹/۸۵	۸۴/۴۴	۱	۴
a*	حداکثر	۴/۲۴	۵/۶۶	۱	۳
b*	حداکثر	۲۱/۸	۲۹/۱	۱	۲
حداکثر مقاومت به نفوذ در بافت	حداقل	۹/۷۶	۱۹/۴۲	۱	۵

جدول ۶- مقایسه مربع ضریب همبستگی مدل‌ها قبل و بعد از بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک

b*	a*	L*	حداکثر نیرو	محتوای رطوبت	محتوای روغن	مدل
خطی	خطی	خطی	درجه دوم	درجه دوم	درجه دوم	قبل از بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک
۹۹/۰۴	۹۳/۳۳	۹۴/۲۳	۹۵/۰۸	۹۷/۵۲	۹۷/۶۳	بعد از بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک
۹۹/۵۹	۹۹/۲۱	۹۹/۰۱	۹۹/۵۷	۹۹/۷۴	۹۹/۶۸	



شکل ۶- مقادیر انتخاب شده برای فاکتورهای مورد مطالعه و بهترین نتایج به دست آمده طی فرآیند بهینه‌سازی روش سطح پاسخ

جدول ۷- ضرایب مدل رگرسیونی قبل و بعد از بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

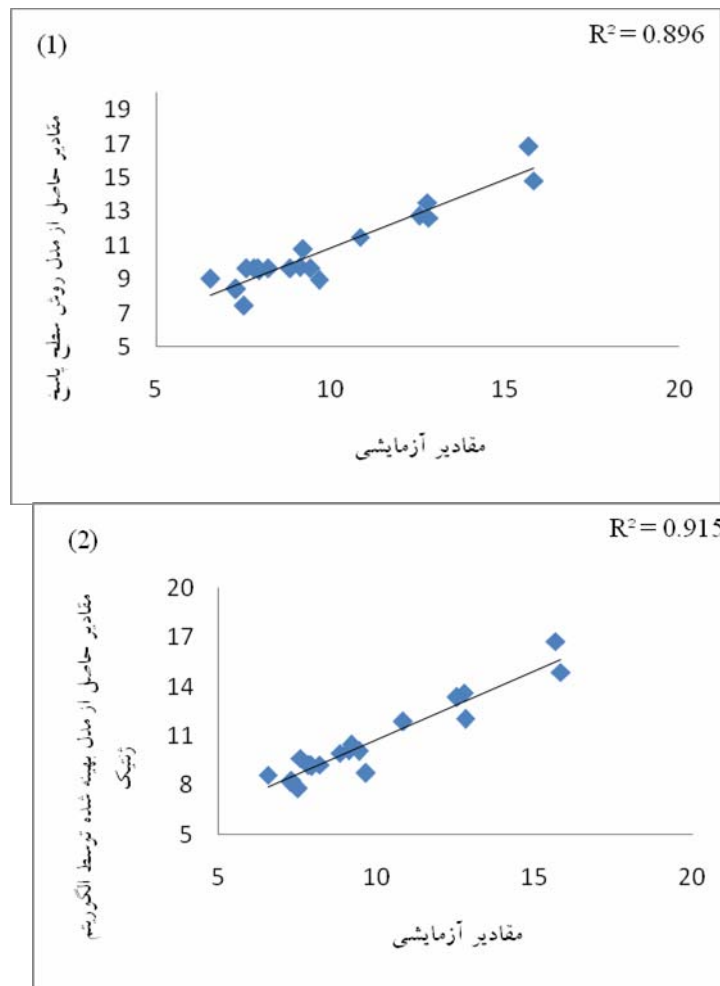
b*	a*		L*		حداکثر مقاومت به نفوذ در بافت		محتوای رطوبت		محتوای روغن		ضرایب	
	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل		
۹/۳۹۹	۹/۵۷۳۴	۱/۷۶	۱/۸۱۳۳	۱۱۴/۶۹۰۳	۱۱۱/۴۴۱۱	۸/۷۸۱۷	۸/۹۱۰۶	۳/۹۸۱۳	۴/۰۱۷۲	۸/۳۱۴۵	۸/۳۵۷۹	a
-۰/۰۰۰۵۳	-۰/۰۰۰۵۳	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴۶	-۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱۶	-۰/۰۷۲۶	-۰/۰۷	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱۱	-۰/۰۵۳۷	-۰/۰۵۳۵۹	b
-۰/۰۰۳۶۴	-۰/۰۰۳۷۶	-۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۰۷۴	-۰/۰۰۰۰۶	-۰/۰۰۰۰۶۳	-۰/۰۳۴۱	-۰/۰۳۳۳	۰/۱۳۳۱	۰/۱۳۳۱	-۰/۱۵۵۷	-۰/۱۵۸۷	c
-۰/۰۷۵۲۳	-۰/۰۷۲۲۷	-۰/۰۱۳۹۱	۰/۰۱۴۵	-۰/۱۵۸۹	-۰/۱۶۶۶	-۰/۰۳۵۲۹	-۰/۰۳۴۸	۰/۳۶۹۵	۰/۳۸۸۹	-۰/۳۰۴۹	۰/۳۱۷۵	d
۰/۶۵۳۹	۰/۶۴۲۷	-۰/۰۷۱۳۷	۰/۰۷۱۹۴	-۰/۰۹۶۳۹	-۰/۰۹۶۵	-۰/۲۱۶۴	-۰/۲۰۶۳	۱۴/۵۲۸۹	۱۴/۰۶۰۸	-۳/۳۹۸۶	-۳/۳۸۲۶	e
						-۰/۰۰۰۰۵۵	-۰/۰۰۰۰۵۶	-۰/۰۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۴۹	۰/۰۰۰۰۵۱	f
						-۰/۰۰۰۰۲	-۰/۰۰۰۰۲	-۰/۰۰۰۰۲	-۰/۰۰۰۰۱۶	-۰/۰۰۰۰۳	-۰/۰۰۰۰۲۹	g
						-۰/۰۰۰۳۴۵	-۰/۰۰۰۳۳	-۰/۰۰۰۱۹۲	-۰/۰۰۰۱۹۶	۰/۰۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۰۱۷	h
						۰/۰۰۰۲۰۹	۰/۰۰۰۲۱۳	-۰/۰۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۲۱	۰/۰۰۰۰۲۲	i
						۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۶۱۷۷	۰/۰۰۰۰۴۸۹	۰/۰۰۰۰۴۴۸	-۰/۰۰۰۰۴۳۲	-۰/۰۰۰۰۴۳۹	j
						-۰/۰۰۰۰۹۱۶	-۰/۰۰۰۰۸۸۹	-۰/۰۰۰۰۶۱۸	-۰/۰۰۰۰۶۳۲	۰/۰۰۰۰۴۶۴۸	۰/۰۰۰۰۴۶۳	k
						-۰/۰۰۰۰۰۴۹	-۰/۰۰۰۰۰۴۷	-۰/۰۰۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۰۵۱	l
						-۰/۰۰۰۰۰۴۵	-۰/۰۰۰۰۰۴۷	-۰/۰۰۰۰۰۱۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۸۱۷	۰/۰۰۰۰۰۰۸۳۱	m
						۰/۰۰۰۰۰۴۳۹	۰/۰۰۰۰۰۴۵۶	-۰/۰۰۰۰۰۱۵۴	-۰/۰۰۰۰۰۱۵۶	-۰/۰۰۰۰۰۱۱۴	-۰/۰۰۰۰۰۱۱۵	n
						۰/۲۱۷۲	۰/۲۰۷۶	-۱/۳۰۳۸	-۱/۳۶۶۹	۰/۲۷۴۶	۰/۲۶۴۴	o

$$\text{Response} = a + b(X1) + c(X2) + d(X3) + e(X4) + f(X1)(X2) + g(X1)(X3) + h(X1)(X4) + i(X2)(X3) + j(X2)(X4) + k(X3)(X4) + l(X1)^2 + m(X2)^2 + n(X3)^2 + o(X4)^2$$

استخراج شده از روش سطح پاسخ نشان (۰/۸۹۶۹) داده اند. همچنین داده‌های حاصل از تکرار آزمون محتوای رطوبت مربع ضریب همبستگی بالاتری (۰/۹۵۶۱) با مدل بهینه شده با الگوریتم ژنتیک نسبت به مدل استخراج شده از روش سطح پاسخ (۰/۹۱۳۴) نشان دادند. نتایج بدست آمده نشان دهنده‌ی کارایی الگوریتم ژنتیک، در بهینه‌سازی فرآیندهای مواد غذایی می‌باشد.

ارزیابی مدل

جهت ارزیابی مدل تمامی ۲۰ آزمون اول طرح روش سطح پاسخ برای محتوای رطوبت و محتوای جذب روغن مجدداً انجام شد و نتایج با مدل‌های رگرسیونی روش سطح پاسخ و بهینه‌شده با الگوریتم ژنتیک مقایسه گردید. از مقایسه نتایج می‌توان دریافت که داده‌های حاصل از محتوای روغن (شکل ۷) مربع ضریب همبستگی بالاتری (۰/۹۱۵۸) با مدل بهینه شده با الگوریتم ژنتیک نسبت به مدل



شکل ۷- مقادیر آزمایشی محتوای روغن در مقابل مقادیر محتوای روغن حاصل از پیش بینی مدل‌ها؛ (۱): مقادیر آزمایشی در برابر مقادیر حاصل از مدل روش سطح پاسخ؛ (۲): مقادیر آزمایشی در برابر مقادیر حاصل از مدل بهینه شده توسط الگوریتم ژنتیک

نتیجه گیری

متلاشی می‌شد. شرایط بهینه برای انجام پس تیمار ۳۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۸۰ ثانیه و سرخ کردن در دمای ۱۷۵-۱۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۷-۸ دقیقه بدست آمد. از دیگر نتایج این مطالعه، نشان دادن توانمندی روش بهینه‌سازی ترکیبی روش سطح پاسخ و الگوریتم ژنتیک جهت بهینه سازی فرآیندهای غذایی می‌باشد.

همانطور که مشاهده شد با استفاده از اعمال نیروی گریز از مرکز در مرحله سرد کردن فرآیند سرخ کردن میزان جذب روغن کاهش یافت. این پس تیمار تأثیری بر محتوای رطوبت و شاخص‌های رنگی محصول نداشت. در ارتباط با شدت اعمال نیروی گریز مرکز، در سرعت‌های بالاتر از ۳۰۰ دور بر دقیقه، بافت محصول نرم و تقریباً

منابع

- وطني اسکویی، ا. و سریع الاطلاق فرد، س.، ۱۳۸۸، استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی قاب های فولادی با اتصالات نیمه صلب. نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد. سال پنجم. شماره ششم. پاییز و زمستان. ۱۰۷-۱۲۰.
- A.O.A.C. 2005. Official method of analysis of the association of analytical chemists. 18 ed. Washington .D.C.
- Andersson, A., Gekas, V., Lind, I., Oliveira, F. and Oste, R., 1994, Effect of preheating on potato texture. Food Science and Nutrition 34: 229-251.
- Baik, O. D. and Mittal G. S., 2003, Kinetics of tofu color changes during deep-fat frying. Lebensmittel-Wissenschaft

und-Technologie 36(1): 43-48.

Bouchon, P., 2002, Modeling oil uptake during frying, Reading University, England. PhD thesis.

Bouchon, P., Aguilera J. M. and Pyle D. L., 2003, Structure oil-absorption relationships during deep-fat frying. *Journal of Food Science* 68: 2711-2716.

Bouchon, P. and Pyle D. L., 2005, Modelling Oil Absorption During Post-Frying Cooling :II: Solution of the Mathematical Model, Model Testing and Simulations. *Food and Bioproducts Processing* 83(4): 261-272.

Bunger, A., Moyano P. C. and Rioseco V. K., 2003, NaCl soaking treatment for improving the quality of French fried potatoes. *Food Research International* 36 (2): 161- 166.

Durán, M., Pedreschi F., Moyano P. and Troncoso E., 2007. Oil partition in pre-treated potato slices during frying and cooling. *Journal of Food Engineering* 81: 257-265.

Ga rayo, J. and R. M. ra., 2002, Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering* 55: 181-191.

Granda, C., Moreira R. and Tichy S. E., 2004, Reduction of acrylamide formation in potato chips by low-temperature vacuum frying. *Journal of Food Science* 68: 405-411.

Gupta, P., Shivhare U. S. and Bawa A. S., 2000, Studies on frying kinetics and quality of French fries. *Drying Technology* 18: 311-321.

Hashemi, M., Ziaiiifar A. M., Kashaninejad M. and Ghorbani M., 2014, Optimization of pre-fry microwave drying of french fries using response surface methodology (RSM) and genetic algorithms. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38 (2014) 535–550.

Hindra, F. and Baik O. D., 2006, Kinetics of quality changes during food frying. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 46(3): 239-258.

Khalil, A. H., 1999, Quality of French fried potatoes as influenced by coating with hydrocolloids. *Food Chemistry* 66: 201-214.

Krokida, M. K., Oreopoulou V., Maroulis Z. B. and Marinou-Kouris D., 2001, Effect of pre-treatment on viscoelastic behaviour of potato strips. *Journal of Food Engineering* 50(1): 11-17.

Mariscal, M. and Bouchon P., 2008, Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food Chemistry* 107: 1561-1569.

Marquez, G. and Anon M., 1986, Influence of reducing sugar and amino acids in the colour development of fried potatoes. *Journal of Food science* 51: 157-160.

Mellema, M., 2003, Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Food Science and Technology* 14: 364-373.

Moreira, R. G. and Barrufet M. A., 1998, A new approach to describe oil absorption in fried foods: a simulation study. *Journal of Food Engineering* 35(1): 1-22.

Moreira, R. G., Sun X. and Chen Y., 1997, Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep fat frying. *Journal of Food Engineering* 31: 485–498.

Moreno, C. and Bouchon P., 2008. Effect of freeze, air and osmotic drying on tissue composition, oil absorption and location during potato frying. *Journal of Food Science* 73: E122-128.

Ngadi, M., Li Y. and Oluka S., 2007, Quality changes in chicken nuggets fried in oils with different degrees of hydrogenation. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 40: 1784-1791.

Olajide Sobukola, S., Olusegun Awonorin S. L., Oladimeji B. F. and Olukayode, 2009, Optimization of pre-frying of yam slices using response surface methodology. *Journal of Food Process Engineering* 33(4): 626-648.

Oztop, M., Sahin S. and Sumnu G., 2007, Optimization of microwave frying of potato slices by using taguchi technique. *Journal of Food Engineering* 79: 83-91.

Pedreschi, F. and Moyano P., 2005, Effect of pre-drying on texture and oil uptake of potato chips. *LWT - Food Science and Technology* 38(6): 599-604.

Pedreschi, F., Moyano P., Hernández P. and Figueroa C., 2005, Modeling water loss during frying of potato slices. *International Journal of Food Properties* 8: 289-299.

Pedreschi, F., Segnini S., and Dejmek P., 2004, Evaluation of the texture of fried potatoes. *Journal of Texture Studies* 35: 277-291.

Rimac-Brnčić, S., Lelas V., Rade D. and Šimundić B., 2004, Decreasing of oil absorption in potato strips during deep fat frying. *Journal of Food Engineering* 64(2): 237-241.

Roy, D., Daoudi L. and Azaola A., 2002, Optimization of galacto-oligosaccharide production by *Bifidobacterium infantis* RW-8120 using response surface methodology. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 29: 281-285.

Rungsinee, S., 2011, Edible coating and post-frying centrifuge step effect on quality of vacuum-fried banana chips. *Journal of Food Engineering* 107(3–4): 319-325.

Saguy, I. and Dana D., 2003, Integrated approach to deep fat frying: Engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal of Food Engineering* 56: 143-152.

- Saguy, I. S., Gremaud E., Gloria H. and Turesky R. J., 1997, Distribution and quantification of oil uptake in french fries utilizing radiolabeled ^{14}C palmitic acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45: 4286–4289.
- Sobukola, O. P., Awonorin S. O., Oladimeji S. L. and Olukayode B. F., 2010, Optimization of pre-fry drying of yam slices using response surface methodology. *Journal of Food Process Engineering* 33(4): 626-648.
- Sosa-Morales, M. E., Orzuna-Espíritu R., and Vélez-Ruiz J. F., 2006, Mass, thermal and quality aspects of deep-fat frying of pork meat. *Journal of Food Engineering* 77: 731-738.
- Southern, C. R., Chen X. D., Farid M. M., Howard B. and Eyres L., 2000, Determining internal oil uptake and water content of fried thin potato crisps. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers* 78 (Part C): 119-125.
- Vélez-Ruiz, J. F. and Sosa-Morales M. E., 2003, Evaluation of physical properties of dough of donuts during deep-fat frying at different temperatures. *International Journal of Food Properties* 6: 341-353.
- Vitrac, O., Trystram G. and Raoult-Wack A. L., 2000, Deep-fat frying of food: Heat and mass transfers, transformations and reactions inside the frying material. *European Food Research and Technology* 102: 529–538.
- Yamsaengsung, R. and Moreira R. G., 2002, Modeling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying: Part I: model development. *Journal of Food Engineering* 53(1): 1-10.