بهینه‌سازی فرآیند سرخ کردن تحت خلا برش‌های لوبیا سبز با استفاده از روش رویه پاسخ

مهسا نیک‌خواه عشقی[a]، بابک غیاثی طرزی[b*]، علیرضا بصیری[c]

[a] دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[b] دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[c] استادیار پژوهشکده صنایع شیمیایی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۶/۲۸

چکیده

مقدمه: سرخ کردن تحت خلا، فناوری نوینی است که موجب بهبود تولید میان وعده های جدید از قبیل چیپس میوه و سبزیجات می‌گردد. دلیل این امر کاهش حضور اکسیژن و دمای کمتر فرایند است. هدف از انجام این تحقیق، تعیین تأثیر پارامترهای فرآیند (زمان، فشار، درجه حرارت) بر روی ویژگی‌های کیفی لوبیا سبز سرخ شده به منظور دستیابی به شرایط بهینه فرایند می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، ابتدا با انجام پیش آزمایش و سپس بررسی پارامترهای کیفی محصول، محدوده‌ی درجه حرارت ۸۰ تا ۱۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، فشار ۲۸۰ تا ۳۲۰ میلی بار و مدت زمان ۱۰ تا ۲۵ دقیقه در نظر گرفته شد و با استفاده از مدل آماری رویه‌ی پاسخ، نمونه‌ها، در درجه حرارت و فشار، زمان‌های طرح ریزی شده فرآوری گردیدند. اثر مدت زمان سرخ کردن، فشار و دمای سرخ کردن بر ویژگی‌های فیزیکی، نظیر افت رطوبت و جذب روغن، چروکیدگی، بافت، رنگ مورد بررسی قرار گرفت.

یافته ها: پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها، شرایط بهینه شامل دمای سرخ کردن ۱۱۹/۱۳ درجه سانتی‌گراد، فشار ۲۸۵ میلی‌بار و زمان ۱۴/۶۳ دقیقه به دست آمد. نتایج حاکی از آن بود که مدت زمان در معرض سرخ شدن فرآورده، رابطه مستقیم و معنی داری با فشار تحت خلا دارد. میزان رطوبت نمونه، وابسته به میزان زمان سرخ شدن می‌باشد. که با افزایش زمان سرخ نمودن میزان رطوبت نمونه‌ها به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد ($p<۰/۰۵$). میزان جذب روغن، ارتباط معنی‌داری با درجه حرارت و زمان دارد ($p<۰/۰۱$).

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که سرخ کردن تحت خلا سبب دستیابی به محصولات جدید با طعم و بافت مطلوب، ارزش تغذیه‌ای بالا و صرف هزینه اندک، جهت جلوگیری از افزایش ضایعات محصولات می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: *بهینه سازی فرآیند، روش شناسی مدل آماری رویه پاسخ، سرخ کردن در خلا، لوبیا سبز*

[*] نویسنده مسئول مکاتبات email: babakghiassi@hotmail.com

مقدمه

سرخ کردن، یک فرایند آماده سازی مواد غذایی است که همراه با از دست دادن آب و انتقال جرم و حرارت به طور همزمان انجام می‌گیرد. در نتیجه آن جریانی از بخار آب (حباب‌ها) و روغن در سطح قطعه ماده غذایی در خلاف جهت یکدیگر ایجاد می‌شود (Passos *et al*., 2010). سرخ کردن در پختن انواع مواد غذایی نظیر گوشت، ماهی و سبزیجات مفید است. هدف این فرایند، ترکیب زمان کوتاه پخت با مشخصات بی نظیر در فرآورده سرخ شده است(Dna & Saguy, 2006) .

این آماده سازی آسان و سریع، موجب تولید فرآورده های با کیفیت مطلوب‌تر (رنگ و بافت و آروما) می‌شود که به همین دلیل مورد توجه مصرف کنندگان قرار می‌گیرد (Mir-Bel *et al*., 2009).

همچنین این روش باعث تشکیل ترکیبات ضد تغذیه‌ای، مثل آکریل آمیدها و افزایش میزان جذب روغن توسط ماده‌ی غذایی می‌گردد (Mariscal & Bouchon, 2008).

امروزه روش‌های نوین سرخ کردن مانند سرخ کردن تحت خلا، سرخ کردن تحت فشار و سرخ کردن در ماکروویو به منظور بهبود کیفیت فرآورده مورد توجه قرارگرفته‌اند (Sahin & Smnu, 2009). سرخ کردن تحت خلا یک انتخاب برای تولید میوه، سبزیجات و فرآورده‌های دیگر با محتوای روغن کم و با ویژگی‌های بافتی و طعم مطلوب است. در این شیوه ماده غذایی در فشار کمتر از فشار اتمسفری حرارت می‌بیند که نتیجه آن کاهش نقطه جوش آب موجود در ماده غذایی می‌باشد. در نتیجه آب موجود در ماده غذایی در دمای کمتری تبخیر می‌شود که نهایتا این امکان را می‌دهد که درجه حرارت سرخ کردن کاهش یابد (Grayo & Moreira, 2002).

سرخ کردن تحت خلا، به دلیل کاهش دما و حضور کم اکسیژن سبب افزایش کیفیت غذاهای سرخ شده می‌شود. از این رو محصولات سرخ شده تحت خلا دارای رنگ، بافت و طعم مطلوب‌تری نسبت به روش سرخ کردن تحت فشار محیط هستند. در این روش، سرخ کردن در محفظه‌ای بسته در فشارهای کمتر از فشار محیط انجام می‌شود (Da Silva *et al*., 2008).

هدف از این پژوهش دستیابی به شرایط بهینه برای تولید محصولی دارای طعم و بافت مطلوب با ارزش تغذیه‌ای بالا، با صرف هزینه و زمان اندک می‌باشد. نتایج به دست آمده از این تحقیقات حاکی از آن است که روش سرخ کردن تحت خلا می‌تواند روشی مناسب جهت فرآوری لوبیا سبز با محتوای چربی کمتر و تولید محصولاتی با کیفیت بالاتری باشد.

مواد و روش‌ها

- آماده سازی نمونه‌ها

در این پژوهش لوبیا سبز (واریته ساندری) از بازار میادین در ورامین تهیه و روغن سرخ کردنی آفتابگردان لادن مورد استفاده قرار گرفت. پس از خریداری لوبیا سبزهای سالم و تازه شست‌وشو و توسط خشک کن دستی خشک شده و تا شروع آزمایشات در داخل یخچال نگهداری شدند. قبل از شروع هر آزمایش از داخل یخچال خارج شده و در درجه حرارتی محیط، به مدت ۳۰ دقیقه تا رسیدن به درجه حرارتی محیط قرار گرفت. پس از برش دادن به وسیله چاقو، لوبیا سبزها به برش‌هایی به طول ۱/۵ سانتیمتر تبدیل شدند. در ادامه برش‌های لوبیا سبز (به میزان ۳۰ عدد در هر فرآیند سرخ کردن) در سبد توری دستگاه سرخ کن قرار گرفتند.

- محفظه سرخ کردن تحت خلا

جهت انجام این پژوهش یک سرخ کن تحت خلا در مقیاس آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. محفظه سرخ کن از جنس پیرکس نشکن با ظرفیت یک و نیم لیتر تهیه شد. برای اندازه گیری میزان درجه حرارت درون محفظه سرخ کن از یک دماسنج با قابلیت اندازه گیری درجه حرارت تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. جهت شکستن خلا در انتهای فرآیند و تنظیم میزان فشار درون محفظه از شیر فشار شکن دستی استفاده شد. همچنین جهت سنجش فشار درون محفظه از یک فشار سنج با دقت ۱± میلی بار استفاده گردید. برای اندازه گیری مدت زمان فرآیند، از زمان سنج دستی برحسب ثانیه مورد استفاده قرار گرفت، که دقیقاً در لحظه وارد شدن نمونه‌ها درون روغن تا لحظه خارج شدن آن‌ها مدت زمان سرخ کردن محاسبه شد. جهت تامین حرارت مورد نیاز فرآیند، از یک گرم کننده الکتریکی ۵۰۰ وات استفاده شد. در این پژوهش، برش‌های لوبیا سبز

درون یک سبد مشبک از جنس استنلس استیل قرار گرفته به صورتی که سبد توسط یک میله فلزی به منظور بالا و پایین بردن نمونه‌ها درون محفظه استفاده می‌شد که یک سر آن به سبد توری متصل شده و طرف دیگر آن به صورت دستی بوده که حرکت دادن سبد را درون محفظه ممکن می‌ساخت.

- سنجش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها

- اندازه‌گیری محتوای روغن در نمونه‌های سرخ شده

در این پژوهش، جهت اندازه‌گیری میزان روغن موجود در لوبیا سبز خام و لوبیا سبز فرآوری شده تحت شرایط آزمایش، از روش سوکسله و حلال ان- هگزان استفاده شد. برای اندازه گیری محتوای رطوبت نمونه های سرخ شده، حدود ۲ گرم از نمونه توزین و داخل کارتوش قرار داده شد، سپس در قسمت استخراج کننده سوکسله به مدت ۲ ساعت جهت استخراج چربی استفاده شد. مقدار چربی اندازه گیری شده از میزان چربی اولیه کسر شده و میزان روغن بر مبنای وزن خشک محاسبه گردید. (Fireston, 1994)

- اندازه‌گیری محتوای رطوبت

برای اندازه گیری میزان رطوبت نمونه‌ها، حدود ۲ گرم از نمونه توزین گشته و در آون با درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵-۳ ساعت قرار داده شده تا به وزن ثابت برسد (AOAC, 2000).

- اندازه‌گیری چروکیدگی نمونه‌ها

در این پژوهش به منظور تعیین میزان چروکیدگی لوبیا سبز فرآوری شده، از روش جابه‌جایی سیال استفاده شد. به این ترتیب که در ابتدا ۲ قطعه لوبیا سبز به صورت تصادفی انتخاب شده و در درون استوانه مدرج ۱۰۰ میلی لیتری با دقت ۰/۱±که حاوی ۵۰ میلی لیتر تولوئن بود قرار داده شده و میزان جابه‌جایی سیال که در واقع حجم قطعات لوبیا می‌باشد ثبت شد. در ادامه، همان نمونه‌ها فرآوری شده و مجدد داخل ظرف حاوی تولوئن قرار داده شده و میزان جابه‌جایی سیال ثبت گردید که این عمل در ۳ تکرار برای هر آزمون انجام شد و در نهایت از رابطه زیر بدین منظور استفاده گردید.

$$\text{درصد چروکیدگی} = \frac{V_0 - V_t}{V_0} \times 100$$

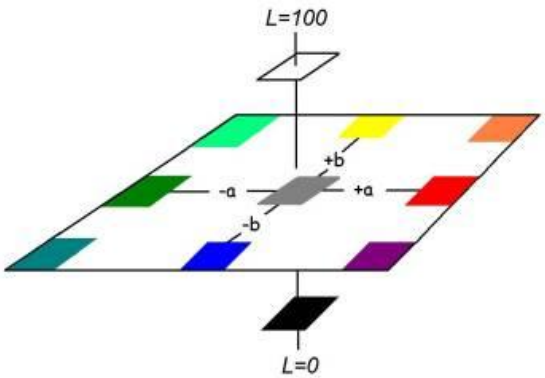
V_0 : حجم اولیه نمونه

V_t : حجم نمونه در پایان فرآیند

- اندازه گیری تغییرات رنگ

ارزیابی تغییرات رنگ در نمونه‌های فرآوری شده، با استفاده از دستگاه هانترلب[1] نوعCHOROMA METR مدل CR-400 انجام شد. هانترلب ۳ شاخص رنگی نمونه‌ها شامل L^*، a^*، b^* ارزیابی گردید. a^* نشان دهنده‌ی رنگ قرمز – سبز، L^* نماینده روشنایی بوده و b^* رنگ زرد – آبی را نشان می‌دهد. داده‌های سه جانبه هانتر L^*، a^* و b^* می‌توانند به یک تابع رنگی واحد که «تفاوت رنگ»[2] نام دارد، تبدیل شوند. «تفاوت رنگ» اندازه‌گیری فاصله موجود بین دو رنگ در فضای رنگی است. رنگ‌سنج، ابتدا با استفاده از صفحه کالیبراسیون سیاه و سپس سفید کالیبره گردید و پس از آن نمونه‌ها تک تک داخل دستگاه قرار گرفتند و آزمون برای هر محصول در ۳ تکرار صورت پذیرفت. رنگ برش‌های لوبیا سبز به وسیله بازتاب بر روی رنگ‌سنج هانتر با پارامترهای L^* (روشنی)، a^* (قرمزی)، b^* (زردی) اندازه‌گیری شده و تفاوت رنگ بین نمونه فرآوری شده و لوبیا سبز خام یعنی ΔE، به وسیله رابطه ذیل محاسبه گردید

$$\Delta E = \sqrt{(L - Lref)^2 + (a - aref)^2 + (b - bref)^2}$$



شکل ۱ - فضای رنگی موجود در سیستم رنگ سنجی هانتر لب

- اندازه‌گیری میزان سختی بافت نمونه‌ها

[1] Hunter Lab [2] Total Color Difference (ΔE)

در این پژوهش جهت بررسی تردی نمونه‌های برش‌های لوبیا سبز، از دستگاه خمش سه نقطه‌ای[1] استفاده گردید. این آزمون روشی است، که بر مبنای آن مقاومت ماده در برابر شکستن[2] ارزیابی می‌شود. نمونه مورد آزمون، همزمان تحت سه تنش کششی، تراکمی و برشی قرار گرفتند.

- **تجزیه و تحلیل آماری**

در این پژوهش، به منظور تجزیه و تحلیل آماری از روش شناسی رویه پاسخ[3] طرح اپتیمال استفاده گردید. در این مدل متغیرهای مستقل عبارتند از دما، فشار و زمان بوده و به دلیل وجود سه عامل و با در نظر گرفتن سطوح بالا و پایین عوامل، در مجموع ۲۰ آزمایش برای هر کدام از متغیرهای پاسخ انجام شد. برای بهینه سازی و تحلیل آزمایش‌ها از نرم افزار آماری Design-Expert نسخه ۸ و همچنین جهت تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از ارزیابی حسی از آزمون ناپارامتری ویلکاکسون[4] استفاده گردید.

یافته‌ها

در این پژوهش، در ابتدا برای سنجش محدوده‌ی دما و زمان، فشار مورد نیاز برای فرایند سرخ کردن، با تغییراتی در میزان اعمال پارامترهای مذکور و سپس بررسی شاخص-های کیفی فرآورده، محدوده درجه حرارت فرایند (۱۲۰–۸۰ درجه سانتی‌گراد)، فشار (۳۲۰–۲۸۰ میلی بار) و مدت زمان (۲۵–۱۰ دقیقه) تعیین گردید. سپس جهت تعیین طرح آزمایش‌ها و بهینه سازی فرآیند از مدل آماری رویه پاسخ‌ها استفاده شد. با توجه به شاخص کیفی مطلوب، برای برش‌های سرخ شده لوبیا سبز (میزان رطوبت و چروکیدگی کمتر، بیش‌ترین میزان تردی و کاهش جذب روغن) در نظر گرفته شد. با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌های فوق توسط روابط آماری رویه پاسخ، بهینه‌ترین شرایط، جهت فرآوری لوبیا سبز دمای ۱۱۹/۱۳ درجه سانتی‌گراد، فشار ۲۸۵ میلی بار و مدت زمان فرآیند ۱۴/۶۳ دقیقه برای فرایند تعیین گردید.

جدول ۱- نتایج حاصل از انجام آزمون

آزمون	فشار (میلی بار)	دما (سانتی‌گراد)	زمان (دقیقه)	رطوبت (درصد)	چروکیدگی (درصد)	چربی (درصد)	تردی (نیوتن)	رنگ ΔE
	اتمسفر	۱۰۰	۱۷/۵۰	۷۶	۲۰	۷/۷۳	۱/۳۴	۱۵/۱۸۷
۱	۲۸۰	۸۰	۱۰	۷۳/۶۶۸	۶۶/۶۶	۷/۷۶	۸/۶۷۷	۱۷/۵۶۷
۲	۳۲۰	۸۰	۱۰	۷۲/۷۲۹	۳۳/۳۳	۶/۲۶	۴/۶۰۳	۲۰/۲۶۴
۳	۲۸۰	۱۲۰	۱۰	۳۲/۹۸۱	۵۰	۳۲/۰۹	۲/۳۱۹	۱۹/۱۸۵
۴	۳۲۰	۱۲۰	۱۰	۲۳/۶۷۵	۶۶/۶۶	۳۳/۴۶	۴/۰۵۴	۱۷/۳۷۸
۵	۲۸۰	۸۰	۲۵	۳۳/۱۵۹	۷۵	۱۱/۹۵	۸/۹۰۴	۱۸/۶۱۸
۶	۳۲۰	۸۰	۲۵	۴۶/۸۱۷	۳۳/۳۳	۱۳/۱۲	۱۰/۹۱۴	۱۶/۳۳۹
۷	۲۸۰	۱۲۰	۲۵	۰/۵۶۴	۵۰	۴۶/۷۹	۵/۳۹۶	۱۴/۳۸۴
۸	۳۲۰	۱۲۰	۲۵	۰/۸۶۱	۵۰	۶۳/۶۴	۵/۴۷۰	۱۵/۳۷۹
۹	۲۶۶/۳۶	۱۰۰	۱۷/۵۰	۱۵/۱۸۳	۶۶/۶۶	۴۱/۸۹	۱۰/۷۷۸	۲۴/۸۲۸
۱۰	۳۳۳/۵۴	۱۰۰	۱۷/۵۰	۲۰/۶۱۲	۵۰	۳۳/۲۸	۱۲/۶۳۸	۲۲/۵۰۳
۱۱	۳۰۰	۶۶/۳۶	۱۷/۵۰	۷۷/۹۷۵	۴۰	۷/۴۷	۷/۵۶۱	۱۷/۲۷۷
۱۲	۳۰۰	۱۳۳/۶۴	۱۷/۵۰	۵/۶۴۵	۷۵	۳۸/۰۷	۹/۶۱۸	۱۵/۰۱۹
۱۳	۳۰۰	۱۰۰	۴/۸۹	۷۲/۷۳۹	۵۰	۳/۲۳	۷/۸۹۳	۱۵/۹۳۲
۱۴	۳۰۰	۱۰۰	۳۰/۱۱	۱۹/۴۲۶	۷۵	۲۸/۷۳	۱۱/۶۹۰	۱۸/۰۱۱
۱۵	۳۰۰	۱۰۰	۱۷/۵۰	۱۹/۶۲۴	۷۵	۳۱/۸۲	۹/۵۹۷	۱۹/۹۷۲
۱۶	۳۰۰	۱۰۰	۱۷/۵۰	۲۸/۷۷۰	۳۳/۳۳	۱۷/۹۱	۱۰/۶۹۳	۱۸/۵۲۷
۱۷	۳۰۰	۱۰۰	۱۷/۵۰	۲۰/۵۶۹	۵۰	۲۰/۶۳	۱۱/۱۳۱	۱۸/۲۰۹
۱۸	۳۰۰	۱۰۰	۱۷/۵۰	۱۳/۴۳۴	۵۰	۲۶/۱۹	۱۴/۰۳۰	۲۱/۳۳۶
۱۹	۳۰۰	۱۰۰	۱۷/۵۰	۸۸۱,۱۷	۷۵	۱۹/۹۲	۱۳/۵۶۵	۱۲/۸۳۳
۲۰	۳۰۰	۱۰۰	۱۷/۵۰	۲۴/۲۴۲	۶۶/۶۶	۲۲/۳۹	۱۱/۲۱۲	۱۶/۲۲۱

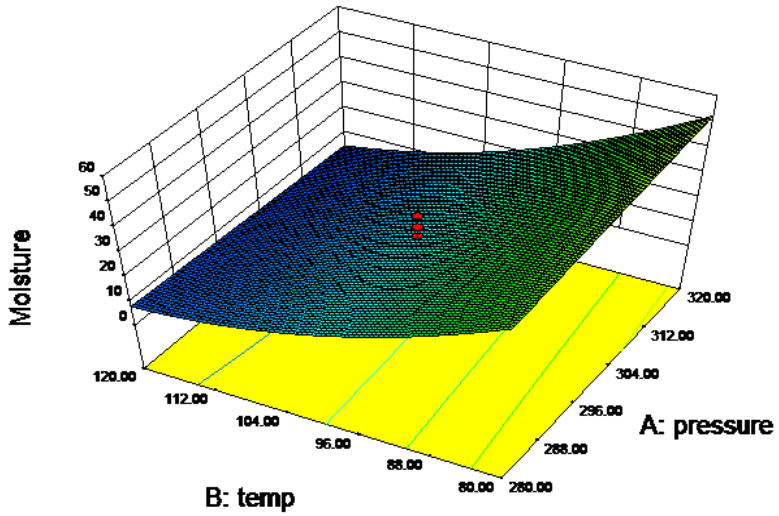
[1] Three- Point Bending [2] Breaking Strength [3] Response Surface Methodology [RSM] [4] Wilcoxon

بحث

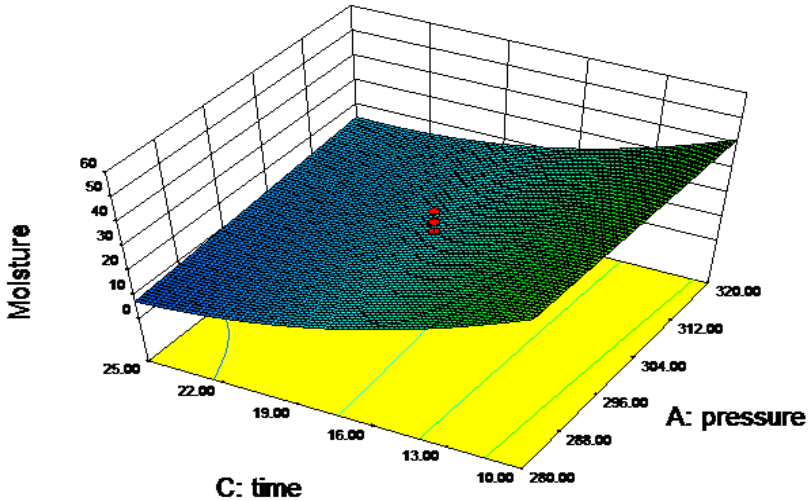
- تأثیر شرایط فرایند بر محتوی رطوبت فرآورده

همان‌طور که در نمودار ۱ و ۲ مشاهده می‌شود محتوی رطوبتی برش‌های لوبیا سبز سرخ شده با افزایش دما و زمان کاهش می‌یابد. این در حالتی است که فشار اختلاف معناداری را بر جای نمی‌گذارد. دمای سرخ کردن نیز بر افت رطوبت اثر گذار بوده زیرا میزان بیشتری از رطوبت از محصول خارج شده و هر چه دمای سرخ کردن افزایش یافت میزان رطوبت باقیمانده در فرآورده کمتر بود ($p<۰/۰۱$). این امر به این دلیل است، لوبیا سبز سرخ شده، فرصت بیشتری را برای خروج رطوبت در اختیار دارد. در نتیجه این امر، محتوی رطوبتی محصول کمتر می‌شود. این یافته با نتایج Fan و همکاران در سال ۲۰۰۵ مطابقت دارد.

در تحقیقی که توسط آن‌ها صورت گرفت، به بررسی شرایط پردازش سرخ کردن در شرایط خلا بر روی برش‌های هویج پرداختند و دریافتند که در طول سرخ کردن تحت خلا، میزان محتوای رطوبتی، رنگ، و نیروی شکستن برش‌های هویج کاهش می‌یابد در حالی که میزان افزایش محتوای چربی در ارتباط با افزایش میزان دما و زمان سرخ شدن است. همچنین این یافته‌ها، با نتایج Yassaiو همکاران در سال ۲۰۱۲ که بر روی بهینه سازی فرایند سرخ کردن کدو حلوایی بوده، تایید می‌گردد. نتایج حاکی از آن بود، که در طول سرخ کردن تحت خلا، درجه حرارت یکی از عوامل کلیدی موثر بر سرعت از دست دادن آب، طعم، رنگ و ارزش غذایی محصولات است.



نمودار ۱- منحنی سه بعدی رویه پاسخ، تراز تاثیر فشار (میلی‌بار) و دما (سانتی‌گراد) بر روی محتوی رطوبتی



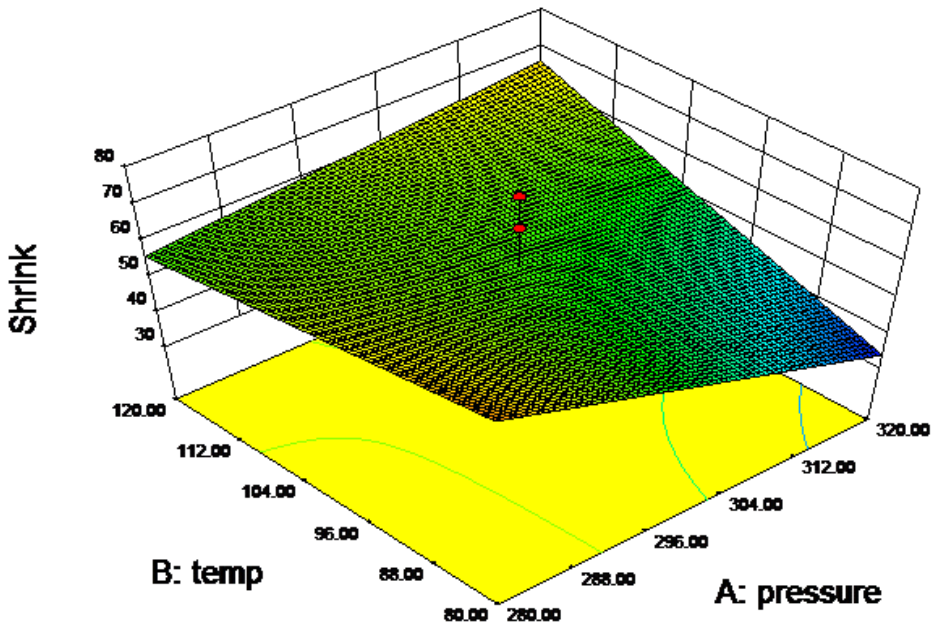
نمودار ۲- منحنی سه بعدی رویه پاسخ، تراز تاثیر فشار (میلی‌بار) و زمان (دقیقه) بر روی محتوی رطوبتی

- تأثیر شرایط فرایند بر میزان چروکیدگی فرآورده

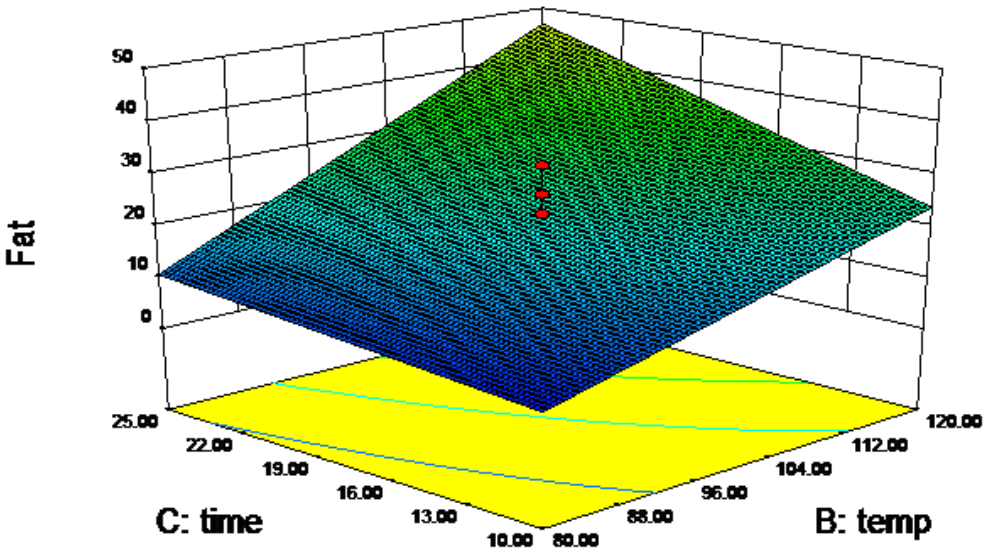
نتایج آزمون‌های آماری در نمودار ۳ نشان می‌دهد، که میزان چروکیدگی برش‌های لوبیا سبز سرخ شده در دماهای بالاتر میزان چروکیدگی کمتر بوده است. هرچند این اختلاف معنی‌دار نبود ($p>۰/۰۵$). در حالی که در مورد فشار رابطه‌ی معنی‌داری وجود ندارد. نتایج نشان داد، که میزان چروکیدگی در محدوده مشخصی (درجه حرارت حدود ۸۰-۱۰۰ سانتی‌گراد و فشار ۳۰۰- ۳۲۰ میلی بار) حداقل می‌باشد که با افزایش فشار و کاهش دما، میزان کم‌تری رطوبت از محصول خارج شده و در نتیجه، میزان چروکیدگی کاهش می‌یابد. در اغلب موارد میزان چروکیدگی در فرایند سرخ کردن، به سرعت انتقال رطوبت وابسته است. از آنجا که با افزایش دما و مدت زمان فرآیند، میزان رطوبت بیش‌تری از محصول خارج می‌گردد، در نتیجه چروکیدگی بیش‌تری در محصول اتفاق می‌افتد. همچنین نتایج، نشان دادند که با افزایش فشار، میزان چروکیدگی محصول کاهش می‌یابد. دلیل این امر نیز این است که با افزایش فشار، میزان کمتری رطوبت از محصول خارج شده و در نتیجه، میزان چروکیدگی کاهش می‌یابد. البته فشار، اختلاف معنی‌داری را برجای نگذاشته است.

- تاثیر شرایط فرآیند بر میزان چربی فرآورده

همان‌گونه که در نمودار ۴ مشاهده می‌شود، دما و زمان سرخ کردن نیز اثر معنی‌داری بر جذب روغن دارند. با افزایش دما و زمان سرخ کردن میزان جذب روغن افزایش یافت ($p<۰/۰۱$). در حالی که فشار تأثیری بر محتوای چربی ندارد ($p>۰/۰۵$). این امر به این دلیل می‌باشد که با افزایش دما و زمان فرایند محتوای جذب چربی در فرآورده افزایش می‌یابد. که این نشان می‌دهد میزان محتوای روغن در لوبیا سبز سرخ شده، تابعی از درجه حرارت سرخ کردن و زمان سرخ می‌باشد. نتایج حاصل با نتایج تحقیق Shyu and Hawang در سال ۲۰۰۱ مطابقت می‌کند. در این تحقیق به بررسی تأثیر پیش تیمارها و شرایط تحت خلا بر روی برش‌های هویج پرداختند و نتایج نشان داد که با افزایش دما و زمان سرخ کردن محتوای رطوبتی محصول کاهش می‌یابد در صورتی که میزان جذب روغن افزایش میابد.



نمودار ۳- منحنی سه بعدی رویه پاسخ، تراز تاثیر فشار (میلی‌بار) و درجه حرارت (سانتی‌گراد) بر روی میزان چروکیدگی



نمودار ٤- منحنی سه بعدی رویه پاسخ، تراز تاثیر درجه حرارت (سانتی‌گراد) و زمان (دقیقه) بر روی محتوی چربی

- تاثیر شرایط فرآیند بر میزان تردی فرآورده

نتایج موجود در نمودار ۵ نشان می‌دهد، دما و زمان اختلاف معنی‌داری بر میزان بافت فرآورده بر جای نمی‌گذارند ($p>۰/۰۵$). درحالی‌که فاکتور دما تابع درجه دوم بوده و بر روی بافت فرآورده اثر گذار است ($p<۰/۰۵$).

تراز رویه پاسخ بر میزان بافت فرآورده فارغ از تاثیر فشار افزایش پیدا می‌کند. احتمالاً این امر به این دلیل است که با افزایش دما و زمان فرآیند سرخ کردن، میزان رطوبت بیش‌تری از محصول خارج گردیده و در نتیجه محصول حاصل بافت تردتری پیدا می‌کند.

این نتایج با نتایج بدست آمده توسط Ghiassi و همکاران در سال ۲۰۱۱ وShyu and Hwang در سال ۲۰۰۱ مطابقت دارد. نتایج حاصل از این تحقیقات نشان دادند که محصولات فرایند شده در دماها و مدت زمان‌های بالاتر دارای بافت تردتر و مطلوب‌تری می‌باشند.

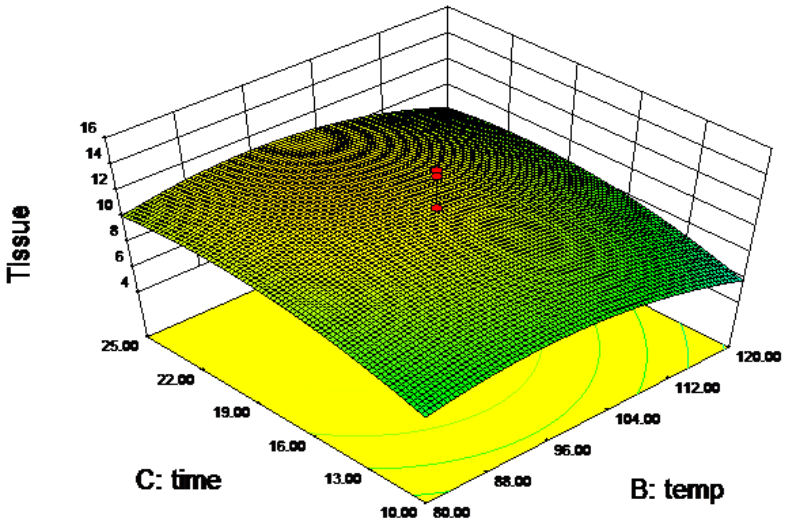
- تأثیر شرایط فرایند بر میزان رنگ فرآورده

با توجه به نمودار ۶، می‌توان به این نتیجه رسید که رنگ نهایی فرآورده (ΔE) به طور معنی داری تحت تاثیر درجه حرارت فرآیند قرار گرفته است ($p<۰/۰۵$). درحالی‌که زمان و فشار تاثیر معنی‌داری را برجای نمی‌گذارد ($p>۰/۰۵$). با توجه به مدل برازش شده با افزایش درجه حرارت تفاوت رنگ محصول با فرآورده اولیه افزایش می‌یابد.

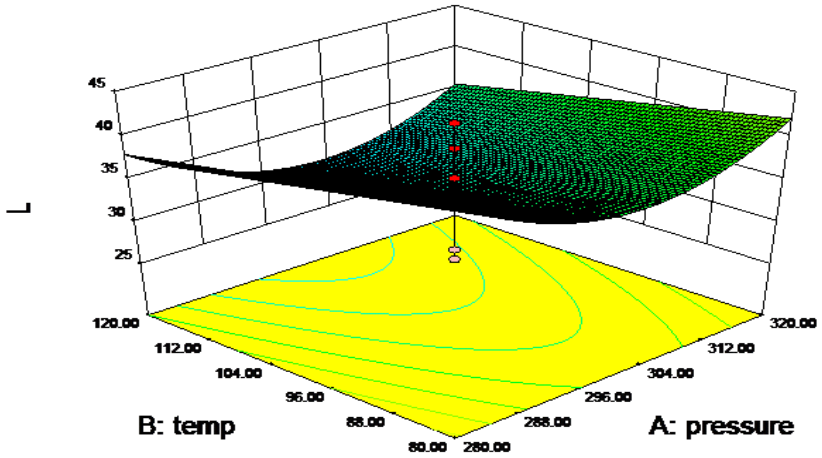
- نتیجه بهینه‌سازی رویه پاسخ برای تعین مطلوبیت

برای تعیین پارامتر مطلوبیت، با توجه به شاخص‌های کیفی مطلوب (میزان رطوبت و چروکیدگی کمتر، بیش‌ترین میزان تردی و کاهش جذب روغن) برای لوبیا سبز سرخ شده تعیین گردیدند. در این شرایط نمونه بهینه تعیین گردید و میزان مطلوبیت برابر با ۰/۷۶ بود و در بازه دمایی ۱۱۰ الی ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و بازه فشار ۲۸۰-۳۰۴ میلی بار، که نشان دهنده یک سطح مطلوب برای لوبیا سبز سرخ شده می‌باشد.

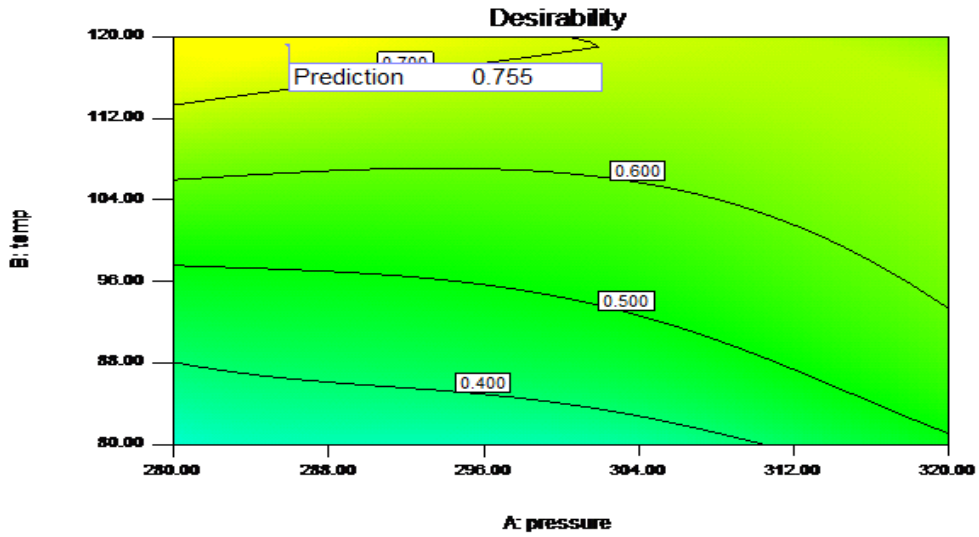
میزان رطوبتی که به شرایط نقطه بهینه نزدیک است برابر ۱۶/۰۹ می‌باشد. که در درجه حرارت ۱۱۳-۱۲۰ سانتی‌گراد و با فشار ۲۸۸-۳۰۰ میلی بار قابل حصول می‌باشد. ولی همان‌گونه که نمودار ۸ نشان می‌دهد که دما اثر معنی داری را بر روی رطوبت دارد. با افزایش درجه حرارت مقدار رطوبت لوبیا سبز سرخ شده، کاهش می‌یابد. این در حالی است که فشار اختلاف معنی‌داری را بر جا نمی‌گذارد.



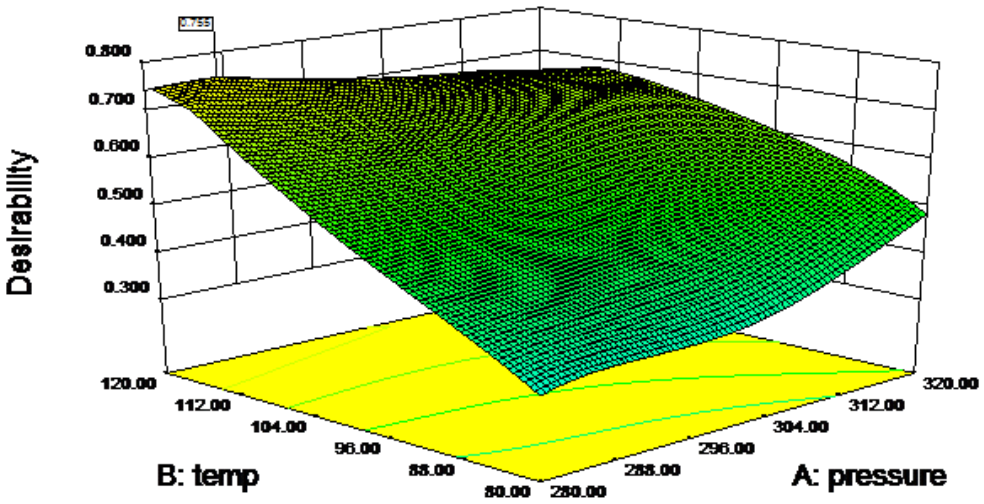
نمودار ۵- منحنی سه بعدی رویه پاسخ، تراز تاثیر درجه حرارت (سانتی‌گراد) و زمان (دقیقه) بر روی تردی



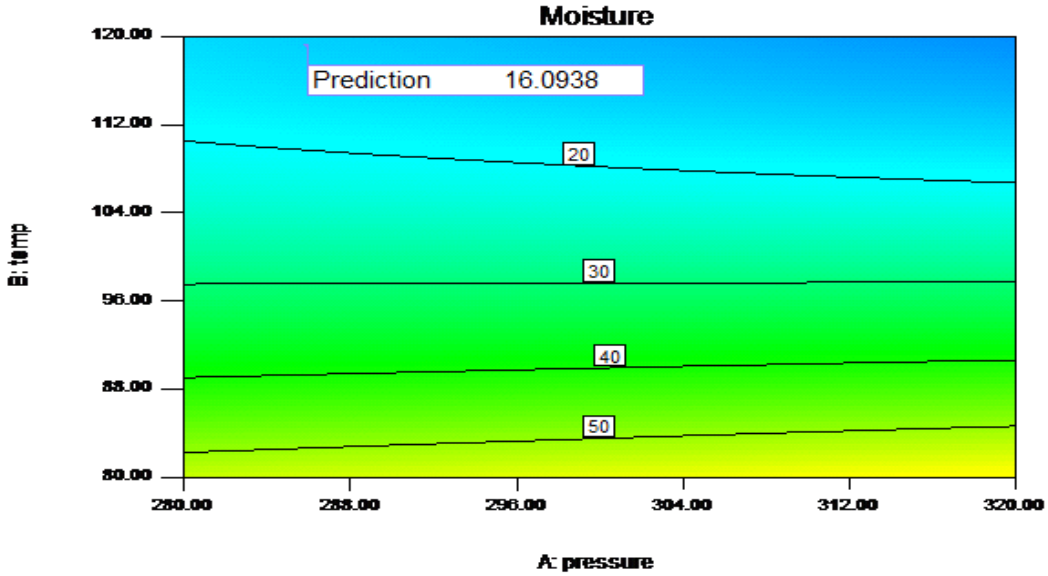
نمودار ٦- منحنی سه بعدی رویه پاسخ و تراز تاثیر فشار (میلی‌بار) و درجه حرارت (سانتی‌گراد) بر روی رنگ



نمودار ۷- نتایج بهینه برای تعیین مطلوبیت- درجه حرارت (سانتی‌گراد) فشار (میلی بار)



نمودار ۸-منحنی سه بعدی رویه پاسخ برای تعیین مطلوبیت، تراز تاثیر فشار (میلی بار) و درجه حرارت (سانتی‌گراد)

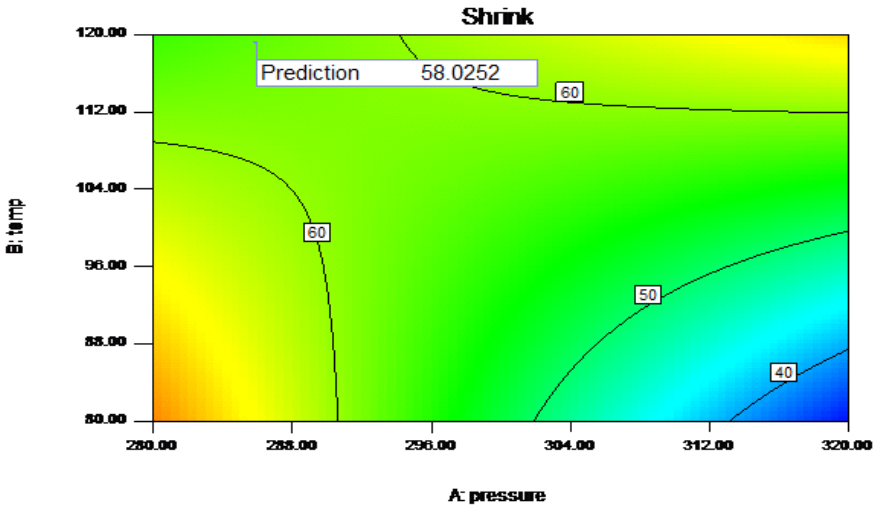


نمودار ۹ – نتایج بهینه بر محتوی رطوبت- فشار (میلی بار) درجه حرارت (سانتی‌گراد)

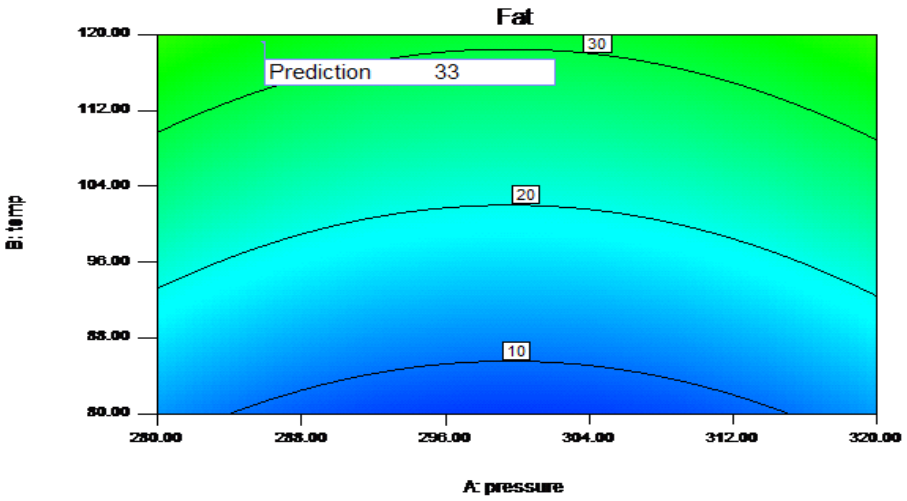
نمودار ۹ نشان دهنده آنالیز بهینه رویه پاسخ، برای متغیر چروکیدگی است. همان گونه که در این نمودار مشخص است، میزان چروکیدگی ارزیابی شده با استفاده از روش آماری رویه پاسخ طرح اپتیمال، ۵۸/۰۳ می‌باشد. که این مقدار چروکیدگی در محدوده فشار ۲۸۵ الی ۳۰۴ میلی بار و در بازه دمایی ۱۰۰–۱۲۰ درجه سانتی‌گراد (۱۱۲ درجه سانتی‌گراد) حاصل شده است.

آنالیز بهینه رویه پاسخ برای متغیر چربی در این نمودار نشان می‌دهد میزان چربی ارزیابی شده در حدود، ۳۳ می‌باشد. که در درجه حرارت ۱۱۰–۱۲۰ سانتی‌گراد و فشار ۲۸۵–۳۰۴ میلی بار حاصل گردیده است.

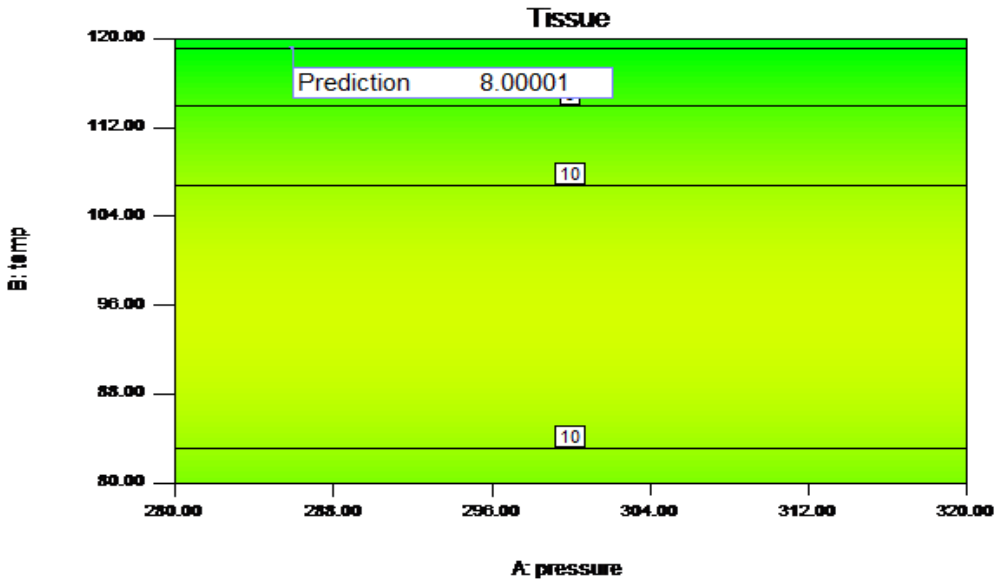
آنالیز بهینه رویه پاسخ، برای متغیر بافت نشان می‌دهد، میزان بافت ارزیابی شده حدود ۸ می‌باشد. در محدوده فشار ۲۸۵–۳۰۴ میلی‌بار و درجه حرارت ۱۱۴–۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، می‌باشد. نتایج حاصل از آزمایشات نشان می‌دهد که افزایش دما اثر معنی‌داری را بر روی بافت می‌گذارد با افزایش دمای سرخ کردن میزان تردی بافت افزایش پیدا می‌کند.



نمودار ۱۰- نتایج بهینه بر محتوی چروکیدگی- درجه حرارت (سانتی‌گراد) فشار (میلی بار)



نمودار ۱۱- نتایج بهینه برای متغیر چربی- درجه حرارت (سانتی‌گراد) فشار (میلی بار)



نمودار ۱۲- نتایج بهینه برای متغیر بافت- درجه حرارت (سانتی‌گراد) فشار (میلی بار)

نتیجه‌گیری

سرخ کردن تحت خلا، یک تکنولوژی نسبتاً جدید است که گزینه قابل دوام برای تولید تنقلات از میوه‌ها و سبزیجات، با محتوای چربی کمتر و تولید محصولاتی با کیفیت بالاتر است. در طول سرخ کردن تحت خلا، درجه حرارت یکی از عوامل کلیدی موثر بر سرعت از دست دادن آب، طعم، رنگ و ارزش غذایی محصولات است. افزایش درجه حرارت سرخ کردن در خلا، باعث کاهش زمان سرخ کردن، برش‌های غذاهای سرخ شده می‌شود. لوبیا سبز محصولی با ماندگاری و ارزش تغذیه‌ای بالا می‌باشد که طعم آن نیز مطلوب و مورد پسند مصرف کننده است. با این وجود هیچ گونه فرآوری بر روی این محصول انجام نشده و میزان ضایعات آن در کشورمان بسیار بالا می‌باشد. با استفاده از روش سرخ کردن تحت خلا برش‌های لوبیا سبز، می‌توان به محصولی با طعم و بافت مطلوب با ارزش تغذیه‌ای بالا با صرف هزینه و زمان اندک دست یافت.

یکی از کاربردهای اصلی مدل سازی و روش رویه پاسخ، بهینه یابی متغیرهای فرایند تولید می‌باشد که به بهبود کارایی سیستم‌ها و افزایش بازده فرایندها بدون افزایش هزینه، کمک بسزایی می‌کند. بهینه یابی، به گونه ای صورت می‌گیرد که مجموع پاسخ‌هایی که برای صفات مورد نظر بدست می‌آید، بیشترین امتیاز ممکن را دریافت نمایند. در این تحقیق شرایط بهینه جهت سرخ کردن تحت خلا لوبیا سبز درجه حرارت ۱۱۹/۱۳ درجه سانتی‌گراد، فشار ۲۸۵ میلی بار و مدت زمان ۱۴/۶۳ دقیقه تعیین گردید. با توجه به درجه حرارت مورد استفاده در فرآیند، میزان رطوبت موجود در لوبیا سبز سرخ شده نهایی نسبتاً بالا می‌باشد، لذا بررسی استفاده از پیش تیمارهایی نظیر روش‌های اسمز، انجماد قبل از فرآیند سرخ کردن جهت کاهش میزان رطوبت نهایی محصول پیشنهاد می‌گردد.

منابع

AOAC. (2000). Official methods of analysis of AOAC international, 17th edition. Association of Official Analytical Chemists.

Dana, D. & Saguy, I. S. (2006). Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth-a review. Advances in Colloid and Interface science, 128-130, 267-272.

Da Silva, P. & Moreira, R. (2008). Vacuum frying of high quality fruit and vegetable based snacks. Food Science and Technology, 41(10), 1758-1767.

Deman, J. M. (1999). Principles of food chemistry, An Aspen publication,3th edition.

Fan, L., Zhang, M., Xiao, G., Sun, J. & Tao, Q. (2005). The optimization of vacuum frying to dehydrate carrot chips. International Journal of Food and Technology, 40(9), 911-919.

Firestone, D. (1994). Official methods and recommended Practices of the American Oil Chemists Society. 4th edition. AOCs press, Champaign, IL.

Garayo, J. & Moreira, R. (2002). Vacuum frying of potatoes chips. Journal of Food Engineering. 55(2), 181–191.

Ghiassi, B., Bassiri, B., Ghavami, M. & Bameni moghadam, M. (2011). Process optimization in vacuum frying of mushroom using response surface methodology. Journal of Food Biosciences and Technology. 14, 960-966

Granda, C., Moreir, R. & Tichy, S. E. (2004). Reduction of acrylamide formation in potato chips by low-temperature vacuum frying. Food Engineering and Physical properties, 69(8), 405-411.

Mariscal, M. & Bouchon, P. (2008). Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. Department of Chemical and Bioprocess Engineering. 107(4), 1561-1569.

Mir-Bel, J., Oira, R. & Salvador, M. L. (2009). Influence of the vacuum break conditions on oil uptake during potato post-frying cooling. Journal of Food Engineering, 95(3), 416-422.

Passos, M. L. & Ribeiro, C. P. (2010). Innovation in food engineering: New techniques and product. contemporary food engineering series.

Sahin, S. & Sumnu, G. (2009). Advance in deep-fat frying of food. New York: Taylor & Francis Group.

Shyu, S. L., Hau L. B. & Hwang. L. S. (1998). Effect of vacuum frying on the oxidative stability of oils, Journal of the American Oil Chemists Society. 75(10), 1393-1398.

Shyu, S. L. & Hawang, L. C. (2001). Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. Food research international. 34(2-3), 133-142

Yassai Mehrjardi, P., Ghiassi, B. & Bassiri, A. (2012). Developing vacuum fried pumpkin (Cucurbita Moschata Dutch) snack. Word Applied Sciences Journal. 18(2), 214-220.