

## تعیین شرایط بهینه با روش سطح پاسخ و مقایسه دو روش شبکه عصبی و رگرسیون در خشک کردن سیب زمینی پرتودیده با اشعه گاما

سیده هدی یوسفیان<sup>۱\*</sup>، آیت محمد رزداری<sup>۲</sup>، مرضیه سیحون<sup>۳</sup>، حسن کیانی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا همدان

۲- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

۳- عضو هیأت علمی پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران

۴- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران

(تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۲۱)

### چکیده

با فرآوری مواد غذایی به روش پرتودهی، کیفیت مواد غذایی حفظ شده و با کنترل میکروارگانیسم‌ها عوامل فساد کنترل می‌گردد. همزمان روش‌های مختلف خشک کردن نیز که به حفظ کیفیت و بافت محصول منجر می‌گردد، کاربرد زیادی دارند. در این پژوهش با کمک روش سطح پاسخ، شرایط بهینه خشک کردن سیب‌زمینی پرتو دیده با اشعه گاما تعیین شد. برای پرتودهی نمونه‌ها از چشمه کبالت ۶۰ (گاماسل ۲۲۰) استفاده شد. نمونه‌ها با دزهای صفر، ۵، ۲ و ۸ کیلوگری پرتودهی شدند و خشک کردن با استفاده از مایکروویو در سه توان ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ وات و در سه ضخامت ۵، ۷ و ۹ میلی‌متر انجام گرفت. شرایط بهینه مربوط به دز پرتودهی ۵ کیلوگری، ضخامت نمونه ۷ میلی‌متر و توان مایکروویو ۴۰۰ وات و برای  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$ ، تغییرات رنگ، زاویه هیو، کروما و شاخص قهوه‌ای شدن به ترتیب، ۵۷/۸۷، ۰/۹۵، ۴۲/۱۹، ۱۰/۷۳، ۱/۵۳، ۴۲/۲۲ و ۱۱۳/۵۹ پیشنهاد شد. علاوه بر تاثیر متغیرهای دز پرتودهی، ضخامت نمونه و توان خشک‌کن مایکروویو بر روی شاخص‌های رنگ از جمله  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$ ، شاخص قهوه‌ای شدن، کروما و زاویه هیو نیز بررسی شدند. با افزایش مقدار دز پرتودهی، افزایش ضخامت نمونه و توان مایکروویو، شاخص تغییرات رنگ کاهش، زاویه هیو افزایش و دانسیته رنگ کاهش می‌یابد. در نهایت با استفاده از مدل شبکه عصبی، خشک کردن سیب‌زمینی پرتودیده مدل‌سازی شده و توانایی این مدل در پیش‌بینی تغییرات رنگ با مدل رگرسیون و سطح پاسخ مقایسه گردید. در این مقایسه مدل شبکه عصبی داری قابلیت بالاتر در پیش‌بینی نسبت به مدل رگرسیون بود (ضریب تعیین ۰/۹۷۰۶).

کلید واژگان: اشعه گاما، خشک کردن، شبکه عصبی، RSM، رگرسیون.

## ۱- مقدمه

سیبزمینی با تولید سالانه ۳۰۰ میلیون تن، چهارمین محصول زراعی مهم در جهان می‌باشد و هم‌اکنون غذای اصلی بسیاری از مردم دنیا است. ایران با تولید ۵/۴ میلیون تن سیبزمینی به ترتیب پس از کشورهای چین، هند، آمریکا، روسیه، آلمان، اوکراین، بنگلادش، هلند، لهستان و فرانسه، رتبه ۱۱ را در تولید این محصول دارد [۱]. سیبزمینی از نظر اهمیت غذایی، سومین محصول پس از گندم و برنج در کشور ما بشمار می‌رود [۲]. غده سیبزمینی منبع غنی از انواع کربوهیدرات، پروتئین و ویتامین‌ها می‌باشد [۳].

روش‌های معمول فرآوری و نگهداری مواد غذایی مانند استفاده از افزودنی‌ها و نگهدارنده‌ها و یا فرآیندهای گرمایی مانند پاستوریزاسیون موجب از دست رفتن ارزش غذایی، تغییر ویژگی‌های حسی و اثرات منفی بر سلامت مصرف‌کننده می‌شود. امروزه روش‌های فرآیند و نگهداری غیرستنی به سرعت در حال گسترش می‌باشد. از روش‌های مختلف نگهداری مواد غذایی از قبیل فرآیندهای مختلف حرارتی، مصرف مواد شیمیایی، دوددهی و پرتودهی به عنوان روش‌هایی برای حفظ مواد غذایی استفاده می‌کنند. با فرآوری مواد غذایی به روش پرتودهی اشعه گاما و نگهداری محصولات با اشعه‌دهی در حد مطلوب، مواد غذایی عاری از وجود باکتری‌های بیماری‌زا، مخمرها، کپک‌ها و حشرات شده و رسیدگی، پیری و جوانه‌زنی میوه‌ها و سبزی‌ها کنترل می‌شود. ترکیبات شیمیایی مواد غذایی در جهت بهبود کیفیت مواد غذایی تغییر پیدا کرده و در نهایت بعد از پرتودهی هیچگونه سمی در مواد غذایی باقی نمی‌ماند [۴].

پرتودهی مواد غذایی عبارت است از قرار دادن ماده غذایی در مقابل مقدار مشخصی از تابش، به منظور جلوگیری از جوانه‌زنی بعضی محصولات غذایی مانند پیاز و سیبزمینی و همچنین کنترل آفات انبارداری، کاهش بار میکروبی و قارچی و تأخیر در رسیدن بعضی میوه‌ها به منظور افزایش زمان نگهداری آن‌ها [۵] از پرتوهای مورد استفاده در صنایع غذایی می‌توان به پرتوهای یونیزه کننده گاما، ایکس، پرتوهای الکترونی و پرتوهای غیر یونیزه

کننده، ماوراء بنفش (UV-B, UV-C)، مادون قرمز و امواج رادیویی اشاره کرد [۶]. پرتو گاما، تشعشعات الکترومغناطیس است که از هسته‌های برانگیخته شده عناصری مانند کبالت ۶۰ یا سزیم ۱۳۷ ساطع می‌شود. از آنجا که عناصر تولیدکننده این اشعه، فرآورده تجزیه اتمی بوده و جزء ضایعات اتمی محسوب می‌شود، اشعه مذکور ارزانترین شکل اشعه جهت نگهداری مواد غذایی است و از قدرت نفوذ بسیار خوبی برخوردار است [۷]. پرتودهی به عنوان یک فرایند سرد شناخته شده است که دما را بطور قابل توجهی افزایش می‌دهد و در اکثر غذاها تغییرات فیزیکی یا مشخصات حسی به جا نمی‌گذارد [۸].

خشک کردن یکی از معمول‌ترین روش‌های نگهداری در طی عملیات پس از برداشت است. خشک کردن یکی از روش‌های حذف رطوبت از محصولات کشاورزی و حفاظت آن‌ها در برابر حشرات، کپک‌ها و سایر میکروارگانیسم‌ها، افزایش ماندگاری محصول و کاهش هزینه حمل و نقل محسوب می‌شود. هدف خشک کردن حذف رطوبت تا یک سطح از پیش تعیین شده است [۹]. ضمن خشک کردن میوه‌ها و سبزیجات، فروپاشی سلول اتفاق می‌افتد، که نتیجه آن انسداد بیشتر حفرات است. که این پدیده فرآیند خشک کردن و به دنبال آن باز جذب آب را با مشکل مواجه می‌کند [۱۰]. رنگ نیز یکی از عوامل مهمی است که در نظر مصرف کنندگان پراهمیت است که بستگی به رنگ طبیعی نمونه تازه و تمایل انواع گونه‌ها به کدر شدن آنزیمی و غیر آنزیمی دارد. به عنوان مثال در آمریکا رنگ سفید سیبزمینی ترجیح داده می‌شود ولی در اروپا، مصرف کنندگان رنگ کرم روشن، زرد روشن و حتی زرد را می‌پسندند [۱۱].

تئوری و روش‌های بهینه‌سازی که روش‌های تازه در ریاضیات، ریاضیات تحلیلی و مسائل تحقیقاتی است، در علوم مهندسی، مدیریت تجارت، صنایع نظامی و تکنولوژی‌های فضایی بکار می‌رود. بهینه‌سازی، مطالعه شرایط مطلوب مسائل، ایجاد مدل مناسب و تعیین الگوریتم برای حل، ایجاد تئوری همگرایی برای الگوریتم‌ها و آزمایش‌های عددی با مسائل معمولی و مسائلی که در شرایط واقعی اتفاق می‌افتد را در بر می‌گیرد. یافتن روابط بین عوامل ناخواسته و محصول نهایی برای محققین بسیار

سیبزمینی و مزیت‌های پرتودهی بر روی این محصول، هدف این پژوهش تعیین شرایط بهینه خشک کردن سیبزمینی در خشک‌کن مایکروویو با استفاده از روش سطح پاسخ و بررسی تغییرات رنگ، کروما و شاخص قهوه‌ای شدن این محصول در طی فرآیند پرتودهی و خشک کردن آن می‌باشد. که در نهایت با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی، شاخص‌های اندازه‌گیری شده از آزمایش شبیه‌سازی شده و سپس با داده‌های واقعی بدست آمده از آزمایش مقایسه می‌گردند.

## ۲- مواد و روش‌ها

از فروشگاه تعاونی سازمان انرژی اتمی ایران، تعداد ۱۰۰ عدد سیب زمینی کاملاً تصادفی جدا شد و خریداری گردید. سیب-زمینی‌ها بمدت یک هفته در سردخانه (۴ درجه سانتی‌گراد) به منظور جلوگیری از تغییرات شیمیایی و درون‌بافتی نگهداری شدند. نمونه‌ها در کیسه‌های نایلونی استریل، به منظور پرتودهی بسته‌بندی گردید. برای پرتودهی نمونه‌ها از چشمه کبالت ۶۰ (گاماسل ۲۲۰) استفاده شد. نمونه‌ها با دزهای صفر (کنترل)، ۵، ۲ و ۸ کیلوگری پرتودهی، سپس بمدت ۴ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردیدند. آزمایش خشک کردن با استفاده از مایکروویو خانگی قابل برنامه ریزی (Feller, MW 3080 FRW, Germany) با حداکثر توان خروجی ۹۰۰ وات در سه توان ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ وات انجام گرفت. جهت تنظیم توان خروجی، دستگاه به ولوم کنترل کننده با نمایشگر دیجیتالی مجهز بوده و هم چنین زمان روشن بودن دستگاه نیز قابل برنامه ریزی است.

به وسیله دستگاه کالباس بر برگه‌های سیب‌زمینی در ضخامت‌های مورد نظر تهیه شدند [۱۳]. خشک کردن برگه‌های سیب زمینی با محتوی رطوبت اولیه تقریباً ۸۰٪ بر پایه تر در هر ۳۰ ثانیه شروع شد و تا زمانی‌که هیچگونه تغییری در جرم سیب‌زمینی مشاهده نشد، یعنی رسیدن به محتوی رطوبت ۲۰٪ بر پایه تر

ارزشمنداست. روش سطح پاسخ<sup>۱</sup> شامل مجموعه‌ای از راه‌کارها است که برای بررسی شرایط عملیاتی بهینه از طریق روش‌های تجربی کاربرد دارد. این روش شامل انجام آزمایشات مختلف، با استفاده از نتایج حاصل از یک آزمایش برای راهنمایی مسیری که بعداً باید پیمود، می‌باشد. به طور کلی روش سطح پاسخ شامل مراحل از جمله کدبندی داده‌ها، ایجاد طرح، برازش مدل سطح پاسخ و نمایش نموداری سطح پاسخ است [۱۲].

شبکه‌های عصبی مصنوعی از روش‌های مدل‌سازی با الهام از ویژگی‌های سیستم عصبی انسان می‌باشد، که در حوزه‌های مختلف علوم مهندسی برای پیش‌بینی پدیده‌های پیچیده و غیر خطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ساختار شبکه عصبی حداقل با داشتن سه لایه شامل لایه ورودی، حداقل یک لایه مخفی و یک لایه خروجی قابل تعریف می‌باشد. هر ورودی به شبکه عصبی به یک وزن سیناپسی ضرب شده است و با یک بایاس جمع می‌گردد. از الگوریتم‌های مختلف شبکه برای آموزش الگوی موجود بین داده‌ها استفاده می‌شود و از سه قسمت آموزش شبکه، اعتبارسنجی و تست شبکه چگونگی مدل دریافت شده قابل ارزیابی می‌باشد. الگوریتم پس انتشار به عنوان کارآمدترین الگوریتم برای شبکه‌های چندلایه پرسپترون پیش‌خوران شناخته می‌شود و برای بهینه‌سازی وزن‌ها و بایاس شبکه استفاده می‌شود که باعث بهبود عملکرد شبکه بعد از هر اپوچ می‌گردد. اکثر روش‌های مورد استفاده برای کاهش خطای شبکه عصبی از توابع گرادیان بر حسب الگوریتم پس انتشار تبعیت می‌کنند [۱۳].

کیفیت محصول خشک شده بوسیله ظاهر، طعم، رنگ، بافت، قابلیت برگشت‌پذیری، تخلخل و دیگر خصوصیات فزیکو-دانشیه و حجم ویژه مشخص می‌گردد. خشک کردن سیب‌زمینی باعث ایجاد سهولت در نگهداری و انبارداری محصول، جلوگیری از اتلاف محصول، کنترل بازار در مواقع حساس و تأمین سیب-زمینی مورد نیاز در زمان لازم می‌شود. با توجه به اهمیت محصول

1. Response Surface Method

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

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$H^\circ = \arctg\left(\frac{a^*}{b^*}\right)$$

## ۲-۲- تعیین شرایط بهینه با استفاده از روش

### سطح پاسخ

تأثیر سه متغیر مستقل (دز پرتودهی، ضخامت نمونه و توان مایکروویو) بر روی متغیرهای وابسته (تغییرات رنگ، کروما، شاخص قهوه‌ای شدن و زاویه هیو) با استفاده از طرح باکس بنکن<sup>۵</sup> بررسی شد. این روش دارای تعدادی نقاط طراحی و یک نقطه مرکزی تکرار شونده است. فرض می‌گردد که سه تابع ریاضی  $f_k$  برای  $y_k$  وجود داشته باشد که به صورت زیر است:

$$y_k = f_k(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3)$$

که در آن  $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3)$  متغیرهای طبیعی هستند که بر حسب واحدهای طبیعی اند.  $\varepsilon_1$  مقدار دز پرتودهی وارد شده،  $\varepsilon_2$  ضخامت نمونه‌ها و  $\varepsilon_3$  توان مایکروویو می‌باشند. در مسائل سطح پاسخ، متغیرهای طبیعی به متغیرهای کد شده  $(X_1, X_2, X_3)$  تبدیل می‌شوند:

$$y_k = f_k(x_1, x_2, x_3)$$

در این پژوهش برای مدل‌سازی فرآیند خشک کردن از یک مدل چندجمله‌ای مرتبه دوم استفاده شد [۱۸]:

$$y_k = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i x_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} x_i x_j$$

که در رابطه بالا  $y_k$  پاسخ پیش‌بینی شده می‌باشد که به عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شد ( $k=1,2,\dots,5$ ).  $X_i$  متغیرهای کد شده ورودی یا همان متغیر مستقل می‌باشد ( $i=1,2,3$ ). مقدار متغیرهای مستقل بین -۱ و +۱ کدبندی شد (جدول ۱). تمام ضرایب  $\beta$  پارامترهای ضرایب رگرسیون می‌باشند. با استفاده از مدل درجه دوم، پنج مدل ریاضی به فرم

ادامه یافت. تغییرات جرم سبب‌زمینی نیز توسط ترازوی دیجیتالی با دقت  $\pm 0.01$  گرم ثبت گردید [۱۴].

## ۱-۲- اندازه‌گیری رنگ

رنگ کیفیتی مهم برای مواد غذایی خشک شده است. بی‌رنگ شدن و قهوه‌ای شدن میوه‌ها ناشی از انواع واکنش‌های شیمیایی شامل پلیمر شدن فنل و تخریب ماده رنگی است. رنگ نمونه‌ها قبل و بعد از خشک کردن بوسیله هانتربل اندازه‌گیری شد و مقادیر رنگی به صورت  $L^*$  (میزان روشنی)،  $a^*$  (میزان قرمزی)،  $b^*$  (میزان زردی) بیان شدند. برای توصیف تغییرات رنگ در طول خشک کردن از شاخص  $\Delta E$  (اختلاف رنگ کل نمونه‌ها از برگه سبب زمینی زمینی تازه) استفاده شد که این شاخص با استفاده از رابطه (۱) تعریف می‌شود [۱۵].

$$\Delta E = \sqrt{(L_o^* - L^*)^2 + (a_o^* - a^*)^2 + (b_o^* - b^*)^2}$$

اندیس‌های  $L_o^*$ ،  $a_o^*$  و  $b_o^*$  مربوط به رنگ خوانده شده از برگه سبب‌زمینی تازه و  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  به ترتیب میزان روشنی، قرمزی و زردی نمونه‌های خشک است. در واقع برگه سبب‌زمینی تازه به عنوان شاهد استفاده شد. مقدار  $\Delta E$  زیاد نشان‌دهنده تغییر رنگ بیشتر نسبت به ماده شاهد است [۱۵]. شاخص قهوه‌ای شدن که خلوص رنگ قهوه‌ای را نشان می‌دهد و به عنوان یک عامل مهم مربوط به قهوه‌ای شدن در نظر گرفته می‌شود با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید [۱۶]. همچنین کروما (دانسیته رنگ) و زاویه هیو به ترتیب از روابط (۴) و (۵) محاسبه شد [۱۷].

$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{0.17}$$

2. Whiteness/darkness
3. Redness/greenness
4. Yellowness/blueness

مذکور برای هر متغیر وابسته ارزیابی گردید. در این طرح ۱۷ حاصل شد (جدول ۲).

واحد آزمایشی با ۵ تکرار در نقطه مرکزی برای تعیین مقدار خطا

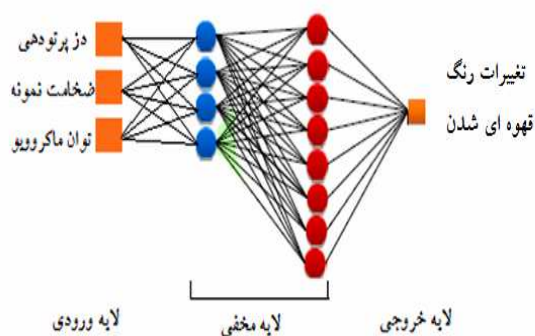
جدول ۱ متغیرهای مستقل آزمایش و سطوح انتخابی در تحلیل فرآیند

| سطوح |     |     | متغیرهای مستقل  |                 |                        |
|------|-----|-----|-----------------|-----------------|------------------------|
| -۱   | ۰   | +۱  | متغیرهای طبیعی  | متغیرهای کد شده |                        |
| ۸    | ۵   | ۲   | $\mathcal{E}_1$ | $X_1$           | دز پرتودهی (گری)       |
| ۹    | ۷   | ۵   | $\mathcal{E}_2$ | $X_2$           | ضخامت نمونه (میلی متر) |
| ۶۰۰  | ۴۰۰ | ۲۰۰ | $\mathcal{E}_3$ | $X_3$           | توان مایکروویو (وات)   |

جدول ۲ طرح آزمایش و نتیجه هر واحد آزمایشی

| پاسخها |       |        |            |       |       |       | فاکتورها                |                      | واحد<br>آزمایشی     |
|--------|-------|--------|------------|-------|-------|-------|-------------------------|----------------------|---------------------|
| BI     | HU    | Chroma | $\Delta E$ | b*    | a*    | L*    | توان<br>مایکروویو $X_3$ | ضخامت<br>نمونه $X_2$ | دز<br>پرتودهی $X_1$ |
| ۱۴۳/۳۶ | ۱/۵۳  | ۳۰/۲   | ۱۶/۹۶      | ۳۰/۱۸ | ۱/۱۴  | ۳۶/۹۶ | +۱                      | -۱                   | ۰                   |
| ۹۶/۲۷  | ۱/۲۴  | ۱۴/۶۸  | ۱۱/۳۴      | ۱۳/۸۹ | ۴/۷۴  | ۲۴/۱۵ | ۰                       | +۱                   | -۱                  |
| ۷۰/۶۶  | -۱/۳۸ | ۲۱/۵۵  | ۲۱/۲۶      | ۲۱/۱۷ | -۴/۰۴ | ۳۷/۰۵ | +۱                      | ۰                    | ۰                   |
| ۲۰۲/۴۴ | -۱/۵۳ | ۳۰/۶۸  | ۱۸/۰۸      | ۳۰/۶۷ | -۰/۹۵ | ۳۰/۹۴ | +۱                      | +۱                   | ۰                   |
| ۱۰۱/۸۶ | -۱/۵۵ | ۲۰/۰۶  | ۹/۳۵       | ۲۰/۰۶ | -۰/۲۷ | ۲۹/۷۳ | +۱                      | ۰                    | -۱                  |
| ۱۱۳/۵۹ | -۱/۵۳ | ۴۲/۲۲  | ۱۰/۱۸      | ۴۲/۱۹ | -۱/۷۱ | ۵۷/۸۷ | ۰                       | ۰                    | ۰                   |
| ۱۴۳/۹۷ | ۱/۴۶  | ۲۹/۹۴  | ۹/۳۵       | ۴۷/۲۹ | -۱/۱۳ | ۴۳/۶۶ | ۰                       | +۱                   | ۰                   |
| ۱۱۳/۵۹ | -۱/۵۳ | ۴۲/۲۲  | ۱۰/۱۸      | ۴۲/۱۹ | -۱/۷۱ | ۵۷/۸۷ | ۰                       | ۰                    | ۰                   |
| ۱۱۳/۵۹ | -۱/۵۳ | ۴۲/۲۲  | ۱۰/۱۸      | ۴۲/۱۹ | -۱/۷۱ | ۵۷/۸۷ | ۰                       | ۰                    | ۰                   |
| ۱۱۳/۵۹ | -۱/۵۳ | ۴۲/۲۲  | ۱۰/۱۸      | ۴۲/۱۹ | -۱/۷۱ | ۵۷/۸۷ | ۰                       | ۰                    | ۰                   |
| ۱۵۰/۸۴ | -۱/۴۷ | ۴۵     | ۱/۸۴       | ۴۴/۸  | -۴/۳۲ | ۵۱/۵  | -۱                      | ۰                    | ۰                   |
| ۵۲/۲۷  | ۱/۰۴  | ۵/۸۳   | ۱۱/۴۷      | ۵/۰۶  | ۲/۹   | ۱۵/۶  | ۰                       | -۱                   | -۱                  |
| ۲۲۵/۱۲ | -۱/۵۳ | ۴۲/۷۷  | ۱۲/۰۹      | ۴۲/۷۴ | -۱/۵۵ | ۴۱/۰۶ | -۱                      | -۱                   | ۰                   |
| ۱۵۷/۴۵ | -۱/۵  | ۴۱/۵   | ۹/۳        | ۴۱/۴  | -۲/۸۵ | ۴۶/۸۸ | ۰                       | -۱                   | ۰                   |
| ۱۴۲/۲۹ | -۱/۴۷ | ۴۱/۰۱  | ۷/۴۵       | ۴۰/۸۲ | -۳/۹۶ | ۴۸/۳۹ | -۱                      | +۱                   | ۰                   |
| ۱۱۳/۵۹ | -۱/۵۳ | ۴۲/۲۲  | ۱۰/۱۸      | ۴۲/۱۹ | -۱/۷۱ | ۵۷/۸۷ | ۰                       | ۰                    | ۰                   |
| ۸۲/۹۷  | ۱/۳۹  | ۱۶/۹۶  | ۵/۸۸       | ۱۶/۷۱ | ۲/۹   | ۳۰/۵۱ | -۱                      | ۰                    | -۱                  |

به عنوان شبکه رو به جلو که توانایی یادگیری رابطه بین ورودی و خروجی را دارند، شناخته می‌شوند، به طوری که به صورت یک پیش‌بینی‌کننده قوی شناخته شده‌اند. پرسپترون چند لایه یکی از موفق‌ترین و رایج‌ترین مدل شبکه عصبی مصنوعی است که در این بررسی بکار گرفته شده است.



شکل ۱: دیاگرام بهترین مدل شبکه عصبی مصنوعی

در شکل (۱) که مدل‌سازی برای پیش‌بینی تغییرات رنگ و شاخص قهوه‌ای شدن را نشان می‌دهد، ورودی از هر نرون در لایه ورودی به یک وزن ارتباطی ضرب شده است. در هر نرون، سیگنال ورودی وزن جمع شده و ورودی‌ها از طریق یک تابع انتقال، خروجی را ایجاد می‌کند. خروجی نرون به عنوان ورودی در لایه بعد استفاده می‌شود. برای مدل‌سازی تغییرات رنگ، مقدار دز پرتو دمی، ضخامت نمونه و توان مایکروویو به عنوان پارامترهای ورودی و تغییرات رنگ و شاخص قهوه‌ای شدن به عنوان پارامتر خروجی شبکه استفاده شد. در این مطالعه، ۸۰ درصد از داده‌ها برای آموزش و ۲۰ درصد از داده‌ها برای تست شبکه اختصاص داده شد. ساختارهای مختلفی با یک تا سه لایه مخفی با هدف پیدا کردن مدلی که بتواند بهترین پیش‌بینی تغییرات رنگ را داشته باشد، آموزش داده شد. برای لایه‌های پنهان توابع انتقال تانژانت هایپربولیک و برای لایه خروجی تابع انتقال خطی برای برآورد خروجی مورد نظر استفاده شد. برای ارزیابی بهترین شبکه، شاخص آماری ضریب تعیین ( $R^2$ ) مورد استفاده قرار گرفت.

طراحی آزمایشات و همچنین بهینه‌سازی فرآیند با استفاده از نرم‌افزار Design Expert8 انجام شد. همچنین تجزیه واریانس بر روی ضرایب مدل درجه دوم با استفاده از این نرم‌افزار صورت گرفت. جملات معنادار در مدل با استفاده از تجزیه واریانس برای هر پاسخ بدست آمد. در پژوهش حاضر با توجه به زیاد بودن عوامل تأثیرگذار بر بهینه‌سازی فرآیند خشک‌کردن سیب‌زمینی، روش آماری سطح پاسخ به عنوان گزینه مناسبی برای بهینه‌سازی فرآیند انتخاب شد. در روش سطح پاسخ، طرح‌های فاکتوریل مختلفی وجود دارد که در این پژوهش یک مدل با سه متغیر و پنج پاسخ به عنوان طرح باکس بنکن استفاده شد.

## ۲-۳- مدل‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی

قبل از بکارگیری داده‌های خام اولیه در آموزش شبکه، باید داده‌ها در دامنه مناسبی نرمالیزه شوند، زیرا الگوریتم یادگیری همراه با داده‌های خام نمی‌تواند عملکرد مناسبی داشته باشد و همچنین به دلیل دامنه تغییرات خروجی، تابع فعالیت سیگموئیدی [۱۰] بکارگرفته شده در لایه میانی، این امر ضروری به نظر می‌رسد. در غیر این صورت شبکه در طول فاز آموزش همگرا نخواهد شد و لذا نتایج مطلوب حاصل نخواهد شد [۱۹]. زمانی که از تابع فعالیت سیگموئیدی استفاده می‌شود، بهترین دامنه تبدیل داده‌ها [۰/۹ ۰/۱] می‌باشد [۲۰]. برای تبدیل داده‌ها از روش نرمالیزاسیون خطی معادله (۹) استفاده شد:

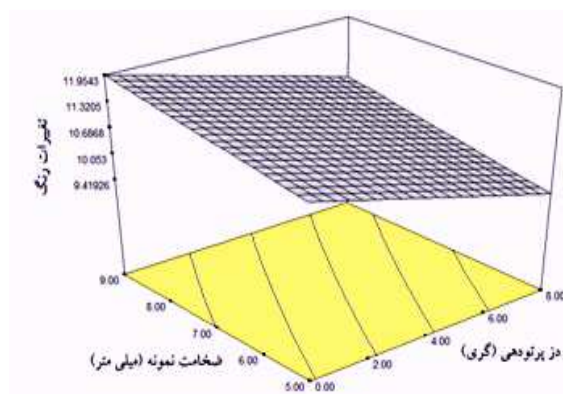
$$X_i' = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

در اینجا  $X_i$  داده خام اولیه،  $X_{\min}$  مقدار کمینه داده‌ها،  $X_{\max}$

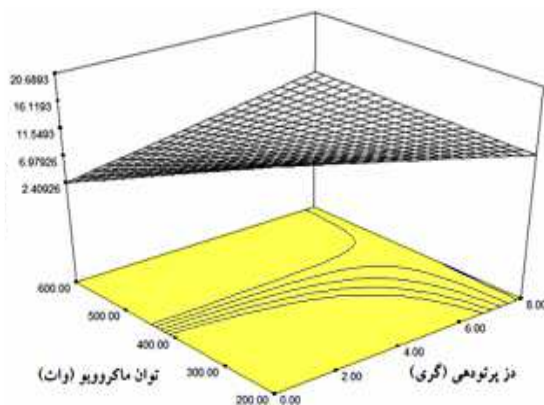
مقدار بیشینه داده‌ها و  $X_i'$  داده نرمالیزه شده است.

ساختار ANN یکی از پارامترهای مهم است که می‌تواند عملکرد یادگیری شبکه را تحت تأثیر قرار دهد. پرسپترون‌های چند لایه<sup>۶</sup>

6. Multiple Layer Perseptron



شکل ۲ تاثیر دز پرتو دهی و ضخامت نمونه در شاخص تغییرات رنگ



شکل ۳ تاثیر دز پرتو دهی و توان مایکروویو بر شاخص تغییرات رنگ

در واقع پارامترهای رنگ تحت تأثیر روش‌های خشک کردن هستند، همچنین پیش‌تیمارهای انجام شده قبل از خشک کردن روی تغییرات رنگ نمونه‌ها اثر معنی‌دار دارد. بنابراین پیش‌تیمار پرتو دهی بر روی شاخص‌های رنگ، تغییرات رنگ و شاخص قهوه‌ای شدن تأثیر معنی‌دار دارد (شمائی و امام جمعه، ۱۳۸۹). با افزایش مقدار دز پرتو دهی شاخص قهوه‌ای شدن کاهش یافت ولی با افزایش ضخامت نمونه، همانطور که انتظار می‌رفت، شاخص قهوه‌ای شدن افزایش یافت (شکل ۴). افزایش میزان دز پرتو دهی، باعث ایجاد ارتعاشات درون سلولی و در نتیجه باعث جلوگیری از اکسیداسیون شده و مقدار قهوه‌ای شدن کاهش یافته و با افزایش ضخامت نمونه، افت آب درون سلولی کاهش و مقدار قهوه‌ای شدن افزایش می‌یابد (عسگری و همکاران، ۱۳۸۴).

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{estimated} - Y_{target})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{target})^2} \right)$$

$Y_{estimated}$  عملکرد تخمینی شبکه و  $Y_{target}$  عملکرد واقعی هستند.

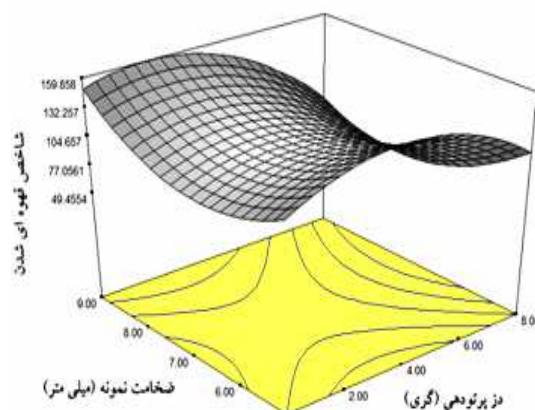
## ۴- نتایج و بحث

### ۳-۱- بهینه‌سازی

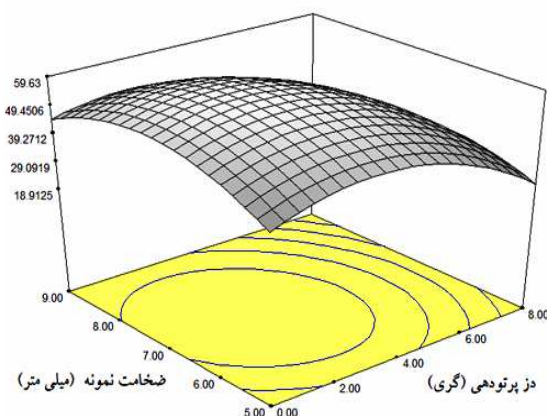
با استفاده از نرم افزار Design Expert8، ۱۷ انتخاب در بهینه‌سازی فرآیند برای رسیدن به هدف‌های مورد نظر پیشنهاد شد. در بین همه راه‌های انتخابی توسط نرم‌افزار نقطه بهینه با توجه به بیشترین مقدار شاخص  $L^*$  و کروما و کمترین مقدار شاخص‌های  $a^*$ ،  $b^*$ ، تغییرات رنگ و قهوه‌ای شدن انتخاب شد. شرایط بهینه مربوط به دز پرتو دهی ۵ کیلوگری، ضخامت نمونه ۷ میلی‌متر و توان مایکروویو ۴۰۰ وات بود. مقادیر بهینه برای  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$ ، تغییرات رنگ، زاویه هیو، کروما و شاخص قهوه‌ای شدن به ترتیب، ۵۷/۸۷، -۰/۹۵، ۴۲/۱۹، ۱۰/۷۳، -۱/۵۳، ۴۲/۲۲ و ۱۱۳/۵۹ پیشنهاد شد.

تغییر مقادیر  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  هنگام خشک شدن که در اثر تجزیه رنگ‌دانه‌های موجود در نمونه‌های غذایی اتفاق می‌افتد، می‌تواند باعث افزایش میزان تغییرات رنگ و شاخص قهوه‌ای شدن و در نهایت افت کیفی محصول خشک‌شده شود. بنابراین، به منظور تولید محصولی با کیفیت رنگی مناسب، می‌توان از پیش‌تیمارهای مختلف استفاده نمود. با توجه به نتایج بدست آمده با افزایش مقدار دز پرتو دهی، ضخامت نمونه و افزایش توان مایکروویو شاخص تغییرات رنگ کاهش یافت (شکل ۲ و ۳).

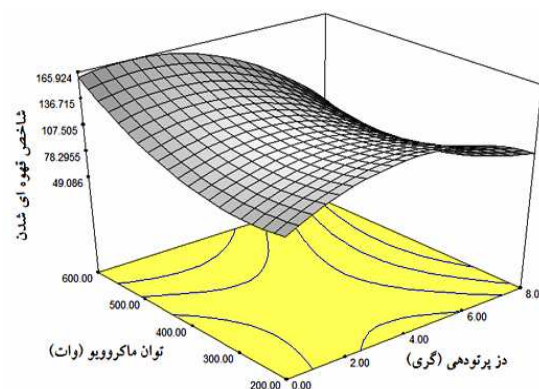
نمونه‌ها و توان مایکروویو، زاویه هیو افزایش و کروما یا دانسیته رنگ کاهش می‌یابد تغییر پارامترهای رنگی، با افزایش توان مایکروویو و افزایش دما، در تحقیقات مشابه دیده شده است [۲۲] و [۲۳]. با افزایش مقدار دز پرتودهی و افزایش ضخامت نمونه، مقدار  $a^*$  یا شاخص قرمزی افزایش و شاخص  $L^*$  و  $b^*$  کاهش می‌یابد (شکل ۶، ۷ و ۸). افزایش دز، ضخامت دیواره سلولی را کاهش می‌دهد و دیواره‌های سلولی را از طریق از بین بردن سیتوپلاسم نابود می‌کند [۲۴].



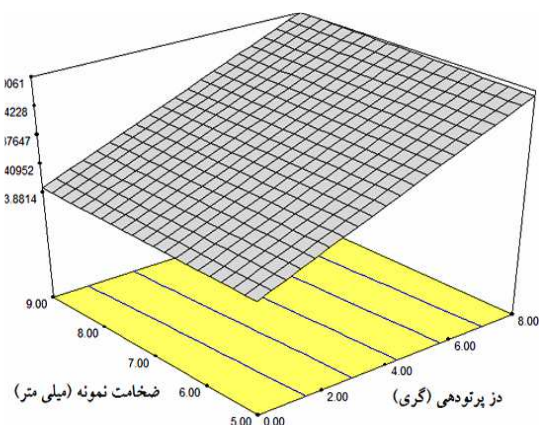
شکل ۴: تاثیر دز پرتودهی و ضخامت نمونه بر شاخص قهوه ای شدن



شکل ۶: تاثیر دز پرتودهی و ضخامت نمونه بر شاخص  $L^*$



شکل ۵: تاثیر دز پرتودهی و توان مایکروویو بر شاخص قهوه‌ای شدن



شکل ۷: تاثیر دز پرتودهی و ضخامت نمونه بر شاخص  $a^*$

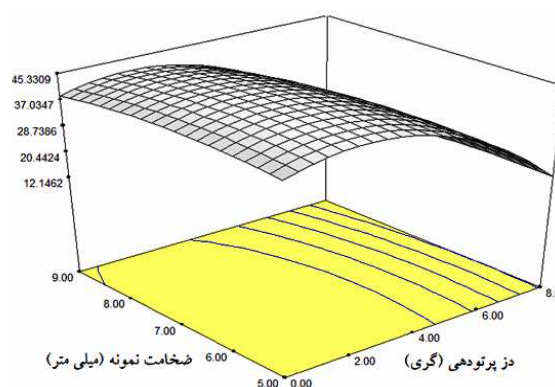
همانطور که از نتایج بدست آمد، با افزایش مقدار دز پرتودهی، شاخص قهوه‌ای شدن کاهش و همانطور که انتظار می‌رود با افزایش توان مایکروویو، مقدار قهوه‌ای شدن افزایش می‌یابد (شکل ۵). افزایش توان مایکروویو، حرارتی را در نمونه مورد نظر به وجود آورده و در اثر ایجاد حرارت و حذف آب، تغییراتی نظیر اکسیداسیون و تغییرات رنگ رخ می‌دهد. به این دلیل که کیفیت غذاهای خشک شده به میزان تغییرات فیزیکی و شیمیایی که در طول خشک کردن اتفاق می‌افتد، بستگی دارد، بنابراین استفاده از توان کمتر باعث حفظ بهتر بافت مواد غذایی می‌گردد. هر چند که باعث طولانی‌تر شدن زمان خشک کردن می‌شود. بر طبق نتایج محققان، دما و سرعت‌های بالای خشک کردن اگرچه باعث کاهش زمان خشک کردن می‌شود، اما از طرفی تغییرات رنگ را افزایش می‌دهد [۲۱]. با افزایش مقدار دز پرتودهی، ضخامت

بهترین مدل شبکه برای پیش‌بینی با دو لایه پنهان و با استفاده از الگوریتم آموزشی لورنبرگ مارکوارت، با توابع انتقالی تانژانت هائپربولیک برای لایه پنهان و تابع انتقال خطی برای لایه خروجی بود. برای پیش‌بینی تغییرات رنگ از یک لایه ورودی با سه متغیر ورودی، دو لایه پنهان با چهار و هشت نرون در هر لایه و یک لایه خروجی با یک متغیر خروجی (ساختار ۱-۸-۳-۴) استفاده می‌گردد. این توپولوژی برای پیش‌بینی تغییرات رنگ دارای بالاترین ضریب تعیین ۰/۹۷۰۱۶ بود. همچنین بهترین مدل برای پیش‌بینی شاخص قهوه‌ای شدن با همین ساختار و دارای ضریب تعیین ۰/۹۹۹۸ بود.

### ۳-۳- نتایج حاصل از مدل‌سازی رگرسیون با استفاده از نرم افزار SPSS

با توجه به داده‌های تجربی مربوط به تغییرات رنگ و شاخص قهوه‌ای شدن و پارامترهای مستقل، ضرایب از طریق مدل رگرسیون خطی چند متغیره با استفاده از نرم افزار SPSS 19 به صورت معادله (۱۲) و با ضریب تعیین ۰/۸۰۹ تعیین شدند. نتایج حاصل از محاسبات آنالیز واریانس برای برآورد پارامترهای مدل نشان می‌دهد که مدل ارائه شده در سطح ۰/۰۵ معنی دار است. (جدول ۳).

در طی فرآیند خشک کردن، اکسیداسیون صورت می‌گیرد و در نتیجه این اکسیداسیون از شدت رنگ کاسته می‌شود. در اثر حرارت ممکن است رنگدانه‌های سبز کلروفیل تبدیل به فتوفتین گردد که رنگ مایل به قهوه‌ای دارد. تغییر در رنگ دانه‌ها می‌تواند به علت تأثیر حرارت بر روی ترکیبات حساس به حرارت از قبیل کربوهیدرات، پروتئین و ویتامین باشد که همین امر موجب تغییر رنگ در طول فرآیند خشک کردن می‌گردد [۲۵].



شکل ۸ تأثیر دز پرتودهی و ضخامت نمونه بر شاخص \*b

### ۳-۲- شبکه‌های عصبی مصنوعی و پیش‌بینی تغییرات رنگ و شاخص قهوه‌ای شدن

جدول ۳ تحلیل واریانس مدل رگرسیون

| منبع تغییرات | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | مقدار F |
|--------------|--------------|------------|----------------|---------|
| رگرسیون      | ۳۷۶۷/۷۶۸     | ۳          | ۱۲۵۵/۹۲۳       | ۴۶/۶۲۸  |
| باقیمانده    | ۸۸۸/۸۴۹      | ۳۳         | ۲۶/۹۳۵         |         |
| جمع کل       | ۴۶۵۶/۶۱۷     | ۳۶         |                |         |

رنگ با ضرایب تعیین به ترتیب ۰/۹۴۳، ۰/۹۰۱، ۰/۹۰۴، ۰/۸۵۲ و ۰/۸۰۹ دارند. این متغیرهای مستقل تأثیرات معنی‌دار بر روی  $a^*$  و زاویه هیو با ضرایب تعیین به ترتیب ۰/۴۱۹ و ۰/۳۰۲ ندارد.

### ۳- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با کمک روش سطح پاسخ، شرایط بهینه جهت خشک کردن سیب زمینی پرتودیده با اشعه گاما تعیین شد. شرایط

در نتیجه مدل رگرسیون خطی محاسبه شده و اندازه‌گیری شده برای تغییرات رنگ و شاخص قهوه‌ای شدن به صورت زیر است:

$$\Delta E = 0.312D + 1.675t - 0.008P$$

$$BI = -2.352D + 14.91t + 0.083P$$

طبق این مدل متغیرهای مستقل مقدار دز پرتودهی، ضخامت نمونه و توان مایکروویو تأثیرات معنی‌دار در سطح ۰/۰۱٪ بر روی شاخص‌های  $L^*$ ،  $b^*$ ، کروما، مقدار قهوه‌ای شدن و تغییرات

- [6] Berk, Z. (2009). Food process engineering and technology, 1th edn. Oxford, UK.
- [7] Lester, G. E. and Hallman, G. J. (2010).  $\Gamma$ -irradiation dose: effects on baby-leaf spinach ascorbic acid, carotenoids, folate, r-tocopherol, and phyloquinone concentrations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58: 4901-4906.
- [8] Muhammad Razdari, A., Raeisi, M., Ebrahimi, R. and Kiani, H. 1392. Science and the effect of increasing the shelf life of food irradiation, the twenty-first National Congress of Food Science, University of Shiraz.
- [9] Liu, G., J. Chen, M. Lui, and X.Wan. 2012. Shrinkage, prosiy and density behavior during convective drying. *Journal of Food Engineering* 31: 634-640.
- [10] Lozano J. E., Rotestein, E. and Urbican, M. J. 1980. Total porosity and open-pore porosity in the drying of fruits. *Food Science*. 45, 1403-1407.
- [11] Haji Kazemi, H. And Hatami Pour M.S. 1383. Evaluation of the potatoes and dry conditions to facilitate maintenance. Ninth National Congress of Chemical Engineering. Iran University of Science and Technology.
- [12] Alborzi, M. 1380. Introduction to Neural Networks. Translation. By Jackson, R. and Bill, t. Sharif University Press.
- [13] Nadi, F. 1390. Sliced apples, dried under vacuum to simulate the finite element method. Thesis in Tarbiat Modarres University.
- [15] Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot-air and Microwave drying. *Food Engineering*. 48, 177-182.
- [16] Askari, G. R., Emam-Djomeh, Z. and Mousavi, S. M. 2006. Effects of combined coating and microwave assisted hot-air drying on the texture, microstructure and rehydration characteristics of apple Slices. *Food Science and Technology International*. 12(1), 39-46.
- [17] Abbasi, S., Azari, S. 2009. Novel Microwave-Freeze drying of onion slices. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 974-979.
- [18] Lin, Y.P., T.Y. Lee, J.H, Tsen, and V.A.E. King. V.A.E 2007. Dehydration of yam slices using FIR assisted freezing drying. *Journal of Food Engineering* 79: 1295-1301.

بهینه مربوط به دز پرتودهی ۵ کیلوگری، ضخامت نمونه ۷ میلی-متر و توان مایکروویو ۴۰۰ وات بود. مقادیر بهینه برای  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$ ، تغییرات رنگ، زاویه هیو، کروما و شاخص قهوه‌ای شدن به ترتیب، ۵۷/۸۷، ۰/۹۵، ۴۲/۱۹، ۱۰/۷۳، ۱/۵۳، ۴۲/۲۲ و ۱۱۳/۵۹ تعیین گردید. علاوه بر تعیین شرایط بهینه، تاثیر چندین متغیر مستقل از جمله میزان دز پرتودهی، ضخامت نمونه و توان خشک‌کن مایکروویو بر روی شاخص‌های رنگ از جمله  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$ ، شاخص قهوه‌ای شدن، کروما یا دانسیته رنگ و زاویه هیو نیز بررسی شدند. با افزایش مقدار دز پرتودهی، افزایش ضخامت نمونه و توان مایکروویو، شاخص تغییرات رنگ کاهش یافته، زاویه هیو افزایش و دانسیته رنگ کاهش می‌یابد. با افزایش مقدار دز پرتودهی، کاهش ضخامت نمونه و افزایش توان مایکروویو، شاخص قهوه‌ای شدن کاهش می‌یابد و با افزایش دز پرتودهی و ضخامت نمونه، شاخص  $a^*$  افزایش و  $L^*$  و  $b^*$  کاهش می‌یابد. با اجرای مدل سازی شبکه عصبی و رگرسیون در این تحقیق، مدل شبکه عصبی با ضریب تعیین ۰/۹۷۰۶ قابلیت بهتری نسبت به مدل‌سازی رگرسیون با ضریب تعیین ۰/۸۰۹ برای بررسی تغییرات رنگ دارد. به منظور بررسی شاخص قهوه‌ای شدن، باز هم شبکه عصبی قابلیت بهتری با ضریب تعیین ۰/۹۹۹۸ دارد.

#### ۴- منابع

- [1] FAO. 2012. [www.Faostat.org](http://www.Faostat.org)
- [2] Hasanpanh, D., Nikshad, KH., and Hasani, M. 1386. Evaluation of the potatoes grown in the plains of Ardabil. Agriculture Organization of Ardebil province.
- [3] Weekly health. 1385. The second year. 91.
- [4] Yoosefian, S.H. and Ahmadi, A. 1392. An overview of the use of food irradiation. Eighth National Congress of Agricultural Machinery and mechanization. Mashhad.
- [5] Ahari Mostavafi, H., Mirmajlesi, M., Mirjalili, M., Fatholahi, H., Mansuripoor, M., Babaie, M. 1390. The effect of gamma radiation on spore germination and growth of Patty Sylym Akpansym row causes of postharvest fruit. *Journal of Nuclear Science and Technology of Iran's Atomic Energy Organization*, Volume 4 (No. 58), pages 49 to 54.

- [22] Rasouli, M., Ghasemzadeh, H. R., Nalbandi, H. (2011). Convective drying of garlic (*Allium sativum*): Part1:Drying Kinetics, mathematical modeling and change in color. *Australian Journal of Crop Science*, 5, 1707-1714.
- [23] Seiedlou, S., Ghasemzadeh, H. R., Hamdami, N., Talati, F. T., Moghaddam, M. 2010. Convective drying of apple: Mathematical modeling and determination of some quality parameters. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12, 171-178.
- [24] Yu Y. and Wang J. 2006. Effect of Gamma-ray Irradiation on Drying Characteristics of Wheat. *Biosystems Engineering*, 95: 219-225.
- [25] Fatemi, H. 1391. *Principles of Food Preservation Technology*. Fifth Edition. Publishing Company.
- [19] Taghavifar, H., Mardani, A., and Taghavifar, L. 2013. Ahybridized artificial neural network and imperialist competitive algorithm optimization approach for prediction of soil compaction in soil bin facility. *Measurment*. 46(8), 2288-2299.
- [20] Askari, Gh. R., Emamjome, Z. and Ebrahimzadeh Mousavi, S.M.A. 1384. Changes microscopy, histological features and capacity to reabsorb water, dried apple slices with different methods. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. Volume 36. 4. S1001-1010.
- [21] Ahmadi Ghavidelan, M., Amiri Chayjan, R. 1392. Determine the optimal conditions hazelnut infrared dried using response surface methods. Eighth national congress of agricultural machinery and mechanization of Mashhad.

## Determination of optimal conditions using response surface method and comparison of neural network and regression method of drying gamma irradiated potato

Yoosefian, S. H.<sup>1\*</sup>, Razdari, A. M.<sup>2</sup>, Seyhoun, M.<sup>3</sup>, Kiani, H.<sup>4</sup>

1. MSc Student, Department of Biosystems Engineering, University of Bu-Ali Sina, Hamadan.

2. PhD Student, Department of Biosystems Engineering, University of Shahre Kord.

3. Faculty member of the Institute of Nuclear Science and Technology, Atomic Energy Organization of Iran.

4. MSc Student, Department of Biosystems Engineering, Tehran Azad University, Science and Research.

(Received: 93/6/11 Accepted: 93/10/21)

By irradiation as Food processing method, Food quality is maintained and control of microorganism causes prevention of corruption. Simultaneously, Methods of drying, which leads to maintaining the quality and texture, are used. In this study, optimal conditions were determined by drying gamma rays irradiated potatoes with response surface method. For sample, the source of 60 Co irradiation (Gamma Cell 220) was used. Samples with 0, 2, 5 and 8 kGy doses were irradiated. Drying using microwave power at 200, 400 and 600 W and in three thicknesses of 5, 7 and 9 mm of sample was performed. Optimal conditions for radiation dose of 5 kGy, sample thickness of 7 mm and a microwave power of 400 W and  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , color changing, hue angle, Croma and browning index were proposed to 57.87, -0.95, 42.19, 10.73, -1.53, 42.22 and 113.59, respectively. In addition to the effects of radiation variables, the thickness of the sample and the microwave drying effect on indicators such as  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , browning index, Croma and hue angle was investigated. With increasing irradiation dose, increasing the thickness of the sample and the microwave power, the color index decrease, Hue angle color and color density increases and decrease, respectively. Finally, using the neural network model, drying of irradiated potato was modeling and ability of the model to predict of the color changes in regression and response surface method was compared. In this comparison the neural network model was capable for prediction higher than the regression model ( $R^2 = 0.9706$ ).

**Keywords:** Gamma ray, Drying, Neural Network, RSM, Regresion.

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: hoda.mchanic@yahoo.com