

ویژگی‌های خرما لو خشک شده با استفاده از خشک‌کن فروسرخ و مدل‌سازی فرآیند به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

میترا فدایی¹، سید حسین حسینی قابوس^{2*}، بابک بهشتی³

1- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

2- استادیار مرکز تحقیقات صنایع غذایی شرق گلستان، واحد آزادشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، آزادشهر، ایران

3- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: 97/11/26 تاریخ پذیرش: 98/10/25)

چکیده

خشک کردن یکی از روش‌های نگهداری میوه خرما لو می‌باشد. در این پژوهش جهت افزایش زمان ماندگاری خرما لو و تولید محصولی با کیفیت بالا، از خشک‌کن فروسرخ استفاده و سینتیک انتقال جرم، دانسیته، آبیگری مجدد و رنگ نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که توان لامپ پرتودهی و فاصله لامپ از نمونه تأثیر معنی‌داری بر سینتیک افت رطوبت و زمان خشک کردن دارند ($P < 0/05$). با افزایش توان پرتودهی و همچنین کاهش فاصله نمونه‌ها از منبع پرتودهی، زمان خشک کردن کاهش یافت. میانگین چگالی و آبیگری مجدد برای نمونه‌های خشک‌شده در سامانه فروسرخ به ترتیب برابر 639 kg/m^3 و 270 درصد به دست آمد. میانگین تغییرات رنگ (ΔE) محاسبه‌شده برای توان‌های 200، 300 و 400 وات به ترتیب برابر با 14/43، 10/09 و 20/04 به دست آمد. نتایج مدل‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که ترکیب شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم ژنتیک نتیجه بهتری ارائه می‌کند و با ترکیب آن‌ها سرعت تحلیل و دقت فرآیند مدل‌سازی افزایش می‌یابد. با استفاده از شبکه‌ای با تعداد 15 نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک و درصد داده‌های مورد استفاده برای تربیت/آزمون/ارزیابی برابر 60/20/20 می‌توان به خوبی سینتیک خشک کردن خرما لو را پیشگویی نمود.

کلید واژگان: الگوریتم ژنتیک، پردازش تصویر، خرما لو، خشک کردن، فروسرخ.

*مسئول مکاتبات: Hosseinighaboos@yahoo.com

1- مقدمه

خشک کردن به عنوان یکی از روش‌های قدیمی نگهداری مواد غذایی با هدف کاهش و یا حذف رطوبت، همواره مورد توجه و استفاده بشر بوده است. به این ترتیب، با کاهش فعالیت آبی، مدت انبارداری با بسته‌بندی حداقل، طولانی‌تر می‌شود. استفاده از روش مناسب جهت کاهش رطوبت محصول، می‌تواند خطر آلودگی، هزینه نگهداری و حمل‌ونقل را کاهش داده و مدت نگهداری را طولانی‌تر نماید [1]. خشک‌کردن به وسیله اشعه فرسوخ به ویژه به شکل لایه نازک روش مناسبی است. در این روش حرارت در محصول بدون ایجاد تغییرات نامطلوب ایجاد می‌شود، در نتیجه کیفیت ساختاری محصول نهایی افزایش و هزینه‌های فرآیند خشک شدن کاهش می‌یابد. همچنین ضایعات محصول به حداقل می‌رسد [2, 3]. اشعه فرسوخ سبب ایجاد حرارت سریع و مستقیم بر روی محصول می‌شود که نسبت به خشک‌کن‌های همرفتی که در آن بخشی از حرارت توسط خروج هوا به هدر می‌رود سریع‌تر است و راندمان بالاتری دارد. بیشتر اشعه فرسوخ توسط مولکول‌های سطحی جذب می‌شود. این پدیده سبب گرم شدن سریع محصول شده و سبب کاهش تنش‌های حرارتی در محصول و در نتیجه حفظ کیفیت آن می‌شود [4].

استفاده از پرتودهی با فرسوخ در خشک‌کن‌های متعددی مورد استفاده قرار می‌گیرد که باعث افزایش راندمان خشک کردن و کاهش فضا می‌شود. شارما و همکاران (2005) بیان نمودند در خشک کردن لایه نازک قطعات پیاز با استفاده از خشک‌کن فرسوخ و هوای داغ، با تغییر توان فرسوخ از 300 به 500 ولت، افزایش دمای هوا از 35 به 45 درجه سلسیوس و افزایش سرعت جریان هوا از یک به 1/5 متر بر ثانیه، زمان خشک شدن 2/5 برابر کاهش پیدا کرد [5]. داس و همکاران (2004) یک خشک‌کن فرسوخ مجهز به سیستم لرزشی را طراحی نمودند و با استفاده از آن خشک‌شدن دانه برنج قهوه‌ای را در شدت‌تشنش 3100-4290 وات بر مترمربع و عمق بستر 16-12 میلی‌متر آزمایش نمودند و دریافتند که در شرایط یادشده، عمق بستر دانه اثر معنی‌داری بر سرعت خشک کردن هر سه رقم مورد استفاده در این مطالعه ندارد [6]. تأثیر توان لامپ پرتودهی در سه سطح 204، 238 و 272 وات، دمای هوای داغ در سه سطح 55، 65 و 75 درجه سلسیوس و ضخامت نمونه‌ها در دو سطح 0/5 و 0/7 سانتی‌متر بر زمان، سینتیک خشک

شدن و ضریب نفوذ رطوبت در طی خشک شدن کدو حلوایی در قالب طرح کاملاً تصادفی توسط حسینی قابوس و همکاران (2016) بررسی شد. توان 272 وات، دمای 75 درجه سلسیوس و ضخامت 0/5 سانتی‌متر به عنوان بهترین شرایط خشک کردن کدو گزارش شده است. اثر توان حرارتی مادون قرمز و دمای هوای داغ بر تغییرات ضریب نفوذ مؤثر کدو حلوایی بررسی و مشخص شد که مقدار ضریب نفوذ مؤثر با افزایش توان منبع حرارتی و دمای هوای داغ افزایش می‌یابد. در مدل‌سازی فرآیند خشک شدن نیز مدل نیوتن خطای کمتری در مقایسه با سایر مدل‌ها داشته است [7].

خرمالو¹ بانام علمی *Diospyros kaki* دارای وارپته‌های مختلفی است. مناسب‌ترین اقلیم برای کاشت این درخت آب‌وهوای نیمه گرمسیری است ولی با وجود این در نواحی سرد معتدل نیز می‌توان برخی ارقام خرمالو را کشت نمود. حدود 20 هزارتن خرمالو در کشور تولید می‌شود [8]. در برخی از وارپته‌ها میوه کاملاً کروی و در برخی دیگر نسبتاً کشیده است. این میوه حاوی مقادیر بالایی مواد قندی، تانن و ویتامین است. رنگ آن‌ها از نارنجی و زرد روشن تا نارنجی و قرمز تیره متفاوت می‌باشد. میوه خرمالو سرشار از مواد مغذی و بتاکاروتن است، به طوری که این میوه به میوه ضد بیماری معروف است. میوه خرمالو به علت دارا بودن مواد معدنی، برای رشد و نمو بدن بسیار مفید است و آهن موجود در آن جهت خون‌سازی و پتاسیم موجود در آن اشتهاآور است [9]. یکی از روش‌های افزایش زمان نگهداری خرمالو خشک کردن است. ویژگی‌های کیفی برگه خرمالو خشک‌شده در آن در محدوده دمایی 65-55 درجه سلسیوس توسط محققان بررسی شده است. بر اساس نتایج ارزیابی حسی، برگه خرمالو خشک‌شده در سطح رطوبت 10 درصد جهت تولید و نگهداری بلندمدت این محصول توصیه شده است. با کاهش رطوبت محصول، طعم گسی آن کمتر شده و محصول خشک‌شده شیرین‌تر به نظر می‌آید. زمان خشک کردن با روش‌های سنتی طولانی بوده و باعث کاهش کیفیت محصول نهایی می‌شود. لذا بررسی روش‌های نوین جهت خشک کردن این محصول ضروری می‌باشد [10, 11].

شبکه‌های عصبی مصنوعی به طور گسترده‌ای به منظور مدل‌سازی فرآیندهایی صنایع غذایی و پیشگویی پارامترهای

1. Persimmon

وات در فواصل 5، 10 و 15 سانتی متری از لامپها قرار گرفته و در سه تکرار تا رطوبت 10 درصد بر پایه مرطوب خشک شدند. نمونه‌های خشک شده در بسته‌های پلی پروپیلن تا زمان انجام آزمایش‌ها نگهداری شدند.

2-2- اندازه‌گیری دانسیته

دانسیته نمونه‌ها با استفاده از روش حجمی جابه‌جایی دانه‌های کلزا اندازه‌گیری شد [16].

2-3- پردازش تصویر

نمونه‌های خشک شده ابتدا درون دسیکاتور خنک و بلافاصله رنگ سطحی با یک دستگاه اسکنر رنگی اچ پی⁵ و با دقت 200 DPI اسکن و با فرمت JPG و کیفیت بالا ذخیره شدند. سپس توسط نرم افزار ImageJ، نسخه 1.3 g و به وسیله افزودنی⁶ برنامه با عنوان color space converter، تصاویر به فضای *a*b*L تبدیل گردید. برای این منظور پس از باز نمودن عکس در فضای برنامه ImageJ از منو، plugin و سپس color space converter را انتخاب و گزینه‌های تبدیل به فضای رنگی *a*b*L تنظیم می‌شود. مقادیر میانگین پیکسل‌های تصویر *a*b*L با استفاده از گزینه Analyze و سپس Measure به دست می‌آید. بدین ترتیب، مقادیر *L (روشنایی)، *a (سبزی تا قرمزی) و *b (آبی تا زردی) هر یک از تصاویر مربوط به نمونه‌ها محاسبه و میانگین آن‌ها گزارش می‌شوند. *L شاخص روشنایی تصویر می‌باشد که در محدوده 0-100 بوده که با نزدیک شدن به عدد 100، نمونه روشن تر می‌شود. *a شاخص سبزی تا قرمزی بودن تصویر است و محدوده آن از 120- برای سبزی و 120+ برای قرمزی است. *b شاخص آبی تا زردی بودن تصویر است و محدوده آن از 120- برای آبی و 120+ برای زردی است. مقادیر تغییر رنگ (ΔE) در مقایسه با نمونه تازه، با استفاده از معادله 1 محاسبه شد. مقادیر اختلاف نمایانگر تغییرات رنگ نسبت به نمونه تازه می‌باشد [17, 18].

(1)

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

پایداری رنگ میوه خشک را می‌توان به صورت کمی با استفاده از مقادیر *a, *b, *L CIE، مقدار اختلاف رنگ (ΔE)،

مورد نظر در طراحی و توسعه سیستم‌ها استفاده می‌شوند. شبکه‌های عصبی قادر به مدل‌سازی سیستم‌های غیر خطی و پیچیده با تعداد زیادی داده ورودی و خروجی می‌باشند [12-14]. توانایی پیشگویی یک شبکه عصبی به نوع تابع فعال‌سازی، تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌های لایه پنهان بستگی دارد. تخمین تعداد نرون‌های لایه پنهان عموماً به وسیله آزمون و خطا انجام می‌شود که وقت‌گیر بوده و دارای خطا می‌باشد. لذا روش‌های بهینه‌سازی از قبیل الگوریتم ژنتیک¹ در جهت غلبه بر این مشکل ذاتی شبکه‌های عصبی و به دست آوردن تعداد بهینه نرون‌ها در لایه پنهان مورد استفاده قرار گیرند. الگوریتم ژنتیک الهام گرفته از طبیعت است و بر این اساس که بهترین‌ها حق بقا دارند، شکل گرفته است. مفاهیم اصلی الگوریتم ژنتیک شامل عملگرهای سه‌گانه انتخاب²، آمیزش³ و جهش⁴ که در مورد سیستم‌های مصنوعی بکار می‌روند، می‌باشد [15].

با توجه به بررسی منابع منتشر شده مشخص شد که تاکنون پژوهشی در خصوص مدل‌سازی فرآیند خشک کردن خرما در خشک‌کن فرورسرخ به روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی صورت نگرفته است. لذا هدف این تحقیق بررسی اثر توان لامپ پرتودهی فرورسرخ و فاصله لامپ بر خصوصیات خرما خشک شده و مدل‌سازی آن به روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

2- مواد و روش‌ها

2-1- خشک کردن

فرآیند خشک کردن فرورسرخ با استفاده از خشک‌کن فرورسرخ انجام شد. حرارت‌دهنده فرورسرخ الکتریکی (فیلیپس، ژاپن) با توان‌های 200، 300 و 400 وات در بخش بالایی اتاقک نصب شدند. تغییرات وزن با استفاده از ترازوی تعبیه شده در زیر خشک‌کن با دقت $\pm 0/01$ گرم و در فاصله زمانی یک دقیقه در رایانه ثبت شد. لامپ‌های فرورسرخ 15 دقیقه قبل از شروع هر آزمایش روشن می‌شدند تا به شرایط پایدار و یکنواختی برسند. جهت بررسی اثر خشک‌کن فرورسرخ، ورقه‌های خرما با ضخامت 0/5 سانتی متر در سه سطح توان 200، 300 و 400

1. Genetic Algorithm(GA)
2. Selection
3. Crossover
4. Mutation

5. HP Scanjet 300 Flatbed Photo Scanner, China.
6. Plugins

2-5- مدل‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک-

شبکه عصبی مصنوعی

مدل‌سازی فرآیند خشک کردن میوه خرمالو با روش فروسرخ جهت پیشگویی درصد کاهش وزن به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی، توسط شبکه‌های عصبی سه لایه پرسپترون پیشخور انجام می‌پذیرد. در این مطالعه توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ و مدت زمان خشک کردن به عنوان ورودی‌های سیستم و درصد کاهش وزن خرمالو به عنوان خروجی برای روش فروسرخ در نظر گرفته شد. برای رسیدن به ترکیبی مناسب از تعداد نرون‌ها در لایه مخفی که حداقل خطا را در بر داشته باشد، فرآیند بهینه‌سازی شبکه عصبی توسط روش آزمون و خطا انجام گرفت. برای این منظور شبکه‌های عصبی مختلف با 2 تا 20 نرون در لایه پنهان ساخته شد. روش پس انتشار خطا یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های به کار رفته جهت آموزش شبکه‌های عصبی در مدل‌سازی این پژوهش به کار گرفته شد. در این پژوهش تکنیک اپتیمم‌سازی لوئرگ-مارکوت² که یکی از پرکاربردترین قوانین یادگیری است، به منظور یادگیری شبکه مورد استفاده قرار گرفت [12]. تعداد سیکل‌های یادگیری برابر 1000 انتخاب شد و برای جلوگیری از یادگیری بیش از حد، فرآیند یادگیری در صورتی که میانگین مربعات خطای³ یادگیری پس از 100 سیکل یادگیری تغییری نمی‌کرد، متوقف می‌شد. به منظور ارزیابی شبکه‌های عصبی و انتخاب بهترین توپولوژی شبکه برای پیشگویی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص میانگین مربعات خطا، میانگین مربعات خطای نرمالیزه⁴ شده، میانگین خطای مطلق⁵ و ضریب همبستگی⁶ استفاده گردید (معادلات 6 تا 9). ضریب همبستگی مقداری بین 1- و 1 دارد که اطلاعاتی درباره آموزش شبکه می‌دهد. هر چه عدد ضریب همبستگی به 1 نزدیک‌تر باشد، نشان می‌دهد که آموزش به خوبی انجام شده است [15, 13, 12].

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - T_i)^2}{N} \quad (6)$$

2. Levenberg-Marquardt (LM)
3. Mean squared error (MSE)
4. Normalized Mean squared error (NMSE)
5. Mean absolute error (MAE)
6. Correlation coefficient (r)

زاویه هیو و مقادیر کروما (*C) اندازه‌گیری نمود. تغییرات کروما بیانگر تقریب اریب اجزای رنگ غالب (*a یا *b) می‌باشد. کروما بیانگر شدت رنگ با تقریب اریب قوی به سمت رنگ غالب است. شدت رنگ (کروما) (*C) (رابطه 2) و زاویه هیو (رابطه 3 و 4) در مقایسه با نمونه تازه از معادلات زیر قابل محاسبه هستند. مقادیر اختلاف نمایانگر تغییرات رنگ نسبت به نمونه تازه می‌باشد. شدت رنگ (کروما) نشان‌دهنده‌ی اشباعیت رنگ است. زاویه هیو بیانگر رنگ غالب است و هر چه این زاویه به صفر نزدیک‌تر باشد بیانگر قرمز رنگ بودن نمونه است.

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

$$Hue = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \dots \text{when } a^* > 0 \text{ and } b^* > 0 \quad (3)$$

$$Hue = 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \dots \text{when } a^* < 0 \quad (4)$$

2-4- باز جذب آب

جهت بررسی مقدار باز جذب آب توسط خرمالو های خشک‌شده، ابتدا، نمونه خرمالو خشک توزین و درون آب با دمای 50 درجه سلسیوس غوطه‌ور شدند. نسبت وزنی خرمالو به آب برابر 1 به 25 در نظر گرفته شد. سپس، بعد از گذشت زمان 30 دقیقه از آب خارج‌شده و وزن کشتی با استفاده از ترازو با دقت یک هزارم گرم انجام شد. تمام تیمارها در سه تکرار انجام و میانگین آن‌ها گزارش شد. نسبت باز جذب آب توسط معادله 5 محاسبه شد [7, 19].

$$RR = \frac{M}{M_0} \times 100 \quad (5)$$

در این معادله M وزن نمونه بعد از باز جذب آب و M₀ وزن نمونه خشک می‌باشد.

در این مطالعه، آزمایش‌ها در سه تکرار و در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفتند. برای رسم نمودارها از برنامه Excel (2007) و برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار 16 Minitab در سطح معنی‌داری 5% استفاده شد.

1. Hue angle, and chroma values

3- نتایج و بحث

3-1- انتقال جرم در خشک‌کن فروسرخ

جهت بررسی اثر توان لامپ فروسرخ بر سرعت خشک شدن برش‌های خرمالو، از سه لامپ فروسرخ با توان‌های 200، 300 و 400 وات استفاده گردید. نتایج نشان داد که تغییر توان لامپ اثر معنی‌داری ($P < 0/05$) بر خروج آب از برش‌های خرمالو دارد و با افزایش توان لامپ، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل 1 ملاحظه می‌شود، با افزایش توان لامپ فروسرخ از 200 به 400 وات زمان خشک شدن خرمالو 59/9 درصد کاهش یافت.

افزایش دما منجر به افزایش تحرک مولکول‌های آب و در نتیجه مهاجرت آسان‌تر این مولکول‌ها از بخش‌های داخلی خرمالو به سطح محصول می‌شود. افزایش دما از یک‌طرف باعث افزایش ظرفیت جذب رطوبت هوا به دلیل افزایش اختلاف دما بین هوا و محصول شده و از طرف دیگر باعث گرم شدن سریع‌تر محصول و تبخیر بهتر آب از آن می‌شود و در نهایت باعث کاهش زمان خشک شدن می‌گردد [20].

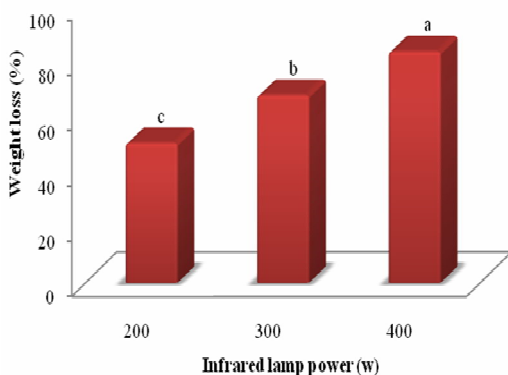


Fig 1 Effect of infrared lamp power on weight loss of persimmon (24 min and 10 cm).

نتایج حاکی از معنی‌دار بودن ($P < 0/05$) اثر تغییر فاصله لامپ از نمونه‌ها، بر مقدار کاهش وزن برش‌های خرمالو دارد و با کاهش فاصله لامپ، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. در شکل 2 اثر فاصله لامپ فروسرخ از ورقه‌های خرمالو بر درصد کاهش وزن نمونه‌های به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش فاصله نمونه‌ها از منبع فروسرخ،

$$NMSE = \frac{1}{\sigma^2} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - T_i)^2 \quad (7)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |O_i - T_i| \quad (8)$$

$$r = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^N [O_i - T_i]^2}{\sum_{i=1}^N [O_i - T_m]^2}} \quad (9)$$

در معادلات فوق O و T به ترتیب مقادیر پیشگویی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی و واقعی داده N ، تعداد داده‌ها و σ^2 واریانس داده‌ها می‌باشند. T_m با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$T_m = \frac{\sum_{i=1}^N O_i}{N} \quad (10)$$

تعداد نرون‌های لایه‌های ورودی و خروجی براساس تعداد متغیرهای ورودی به شبکه و تعداد متغیرهای خروجی مورد نظر تعیین می‌شود. در این تحقیق سه ورودی و یک خروجی برای هر روش در نظر گرفته شد. تعداد نرون‌های لایه پنهان وابسته به کاربرد شبکه و شرایط تعیین پارامترهای شبکه داد. برای رسیدن به ترکیبی مناسب از تعداد نرون‌ها در لایه پنهان که حداقل خطا را در بر داشته باشد، فرآیند بهینه‌سازی تعداد نرون‌ها در لایه پنهان شبکه عصبی به روش الگوریتم ژنتیک انجام گرفت. جمعیت اولیه برای تولید نسل‌ها 100 و حداکثر تعداد نسل‌ها نیز 50 نسل در نظر گرفته شده است. احتمال آمیزش و جهش بر اساس توصیه راهنمای نرم‌افزار 0/9 و 0/01؛ و تعداد نرون‌ها جهت بهینه‌سازی 1 تا 30 عدد در نظر گرفته شد. از توابع فعال‌سازی¹ خطی، سیگموئیدی² و تانژانت هیپربولیک³ که متداول‌ترین نوع توابع فعال‌سازی هستند، در لایه پنهان و خروجی استفاده گردید [12, 13, 15].

نرم‌افزار نروسولوشن 4 نسخه 6 جهت مدل‌سازی استفاده گردید. در این نرم‌افزار با تغییر تعداد نرون‌ها در لایه پنهان؛ نوع تابع انتقال (تانژانت هیپربولیک، سیگموئیدی و خطی)؛ تعداد داده‌های استفاده شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی؛ قاعده یادگیری (لیونبرگ-مارکت و مومتم)، بهترین توپولوژی⁵ شبکه جهت دستیابی به شبکه بهینه بررسی شد.

1. Activation function
2. Sigmoid functions
3. Hyperbolic tangent function
4. Neurosolution software (Excel software release 6.0) presented by NeuroDimension, Inc., USA
5. Topology

که ملاحظه می شود با افزایش توان پرتو دهی، زمان خشک شدن کاهش می یابد. با افزایش زمان خشک شدن نیز مقدار رطوبت خارج شده از نمونه ها افزایش می یابد.

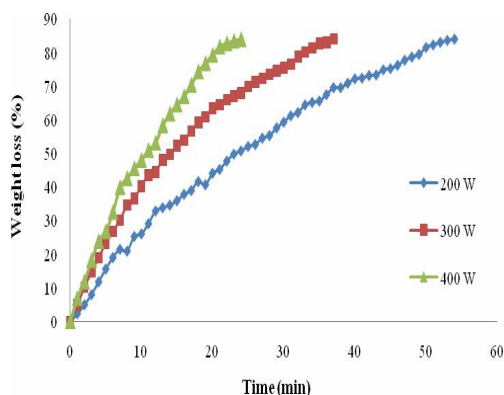


Fig 3 Effect of infrared lamp power and drying time of on weight loss of persimmon (10 cm).

در طی خشک کردن خرمالو، مدت زمان رسیدن وزن نمونه ها به محدوده رطوبت 10 درصد (بر پایه مرطوب) یادداشت و به عنوان زمان خشک شدن استفاده گردید. نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر توان لامپ و فاصله بر زمان خشک شدن خرمالو آنالیز و در جدول 1 به نمایش درآمده است.

Table 1- Results of analysis of variance of the effects of lamp power and distance on persimmon drying time.

Source	Degrees of freedom	Sum of squares	p
Power	2	2056.44	0.000
Distance	2	192.44	0.000
Power× distance	4	8.89	0.753
Error	9	42.0	
Total	17	2299.78	

خشک کن می گردد که از یک طرف باعث افزایش ظرفیت جذب رطوبت هوا به دلیل افزایش اختلاف دما بین هوا و محصول شده و از طرف دیگر باعث گرم شدن سریع تر محصول و تبخیر بهتر آب از آن می شود و در نهایت باعث کاهش زمان خشک شدن می گردد.

کاهش فاصله لامپ از نمونه از 15 به 5 سانتی متر، باعث کاهش 63/04% زمان خشک شدن ورقه های خرمالو گردید و آهنگ خشک شدن افزایش می یابد.

سرعت خشک شدن و کاهش رطوبت نمونه های خرمالو کاهش می یابد. با افزایش فاصله لامپ 200 وات از 5 به 15 سانتی متر، باعث افزایش زمان خشک کردن از 39 دقیقه به 49 دقیقه شد.

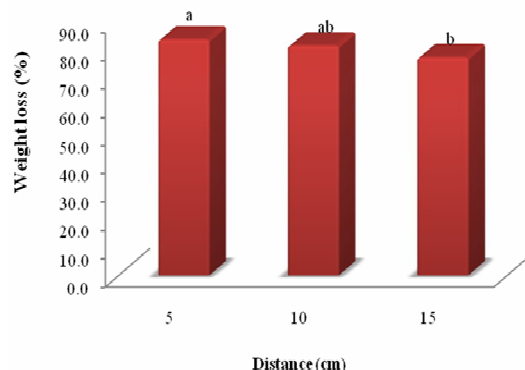


Fig 2 Effect of infrared lamp distance from persimmon slices on weight loss (88 min and 300 W).

با افزایش ضخامت ماده غذایی کاهش همزمانی در قابلیت انتقال امواج و افزایش در قابلیت جذب رخ می دهد و محصولات با ضخامت کم برای فراوری توسط پرتو فرسرخ توصیه شده اند (هبار و همکاران، 2004). در شکل 3 اثر مدت زمان خشک کردن ورقه های خرمالو توسط سامانه فرسرخ بر

درصد کاهش وزن نمونه ها به نمایش در آمده است. همان طور

همان گونه که در این جدول مشاهده می شود اثر فاکتورهای توان و فاصله بر زمان خشک شدن معنی دار بوده در حالی که اثر متقابل توان×فاصله بر مدت زمان خشک شدن معنی دار نشده است. اثر فاکتورهای مورد بررسی در پژوهش بر تغییرات مقدار رطوبت با زمان در شکل های 4 و 5 به نمایش درآمده است. همان طور که ملاحظه می شود با افزایش توان لامپ فرسرخ، سرعت خشک شدن و کاهش رطوبت نمونه های خرمالو افزایش می یابد. افزایش توان لامپ باعث افزایش دمای

توان‌های 200، 300 و 400 وات به ترتیب برابر 666 kg/m^3 ، 631 kg/m^3 و 620 kg/m^3 به دست آمد.

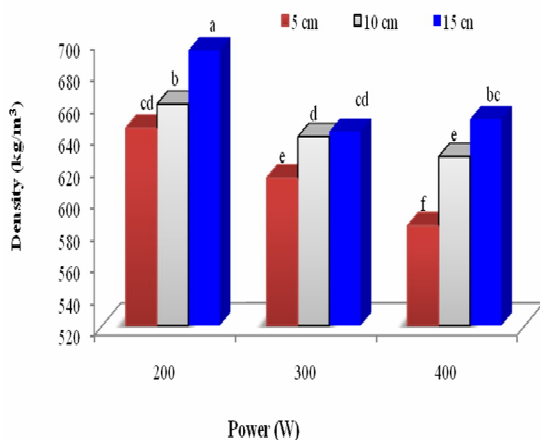


Fig 6 The density of dried persimmons at different condition using infrared dryer.

3-3- نتایج پردازش تصویر

در جدول 2 خصوصیات رنگی مربوط به نمونه‌های خشک‌شده در خشک‌کن فرسوخ گزارش شده است. با افزایش فاصله لامپ پرتودهی فرسوخ از 5 به 15 سانتی متر، نمونه‌ها تیره‌تر شده و شاخص L^* کاهش یافته است. روشن‌ترین نمونه مربوط به توان 300 وات و فاصله 5 سانتی‌متری بود و توان‌های 200 و 400 وات در رده‌های بعدی قرار دارند. با افزایش فاصله ورقه‌های خرمالو از منبع پرتودهی تیرگی نمونه‌های خشک‌شده افزایش یافته و نمونه‌های خشک‌شده در فاصله 15 سانتی‌متری بیش‌ترین تغییرات رنگی (ΔE) را داشته و تیره‌تر بودند. میانگین تغییرات رنگ (ΔE) محاسبه‌شده برای توان‌های 200، 300 و 400 وات به ترتیب برابر با 14/43، 10/09 و 20/04 به دست آمد. کمترین تغییرات رنگ مشاهده شده برای نمونه خشک شده با توان 300 وات بود. با افزایش توان لامپ پرتودهی به دلیل افزایش دمای سطحی، تغییرات رنگ سطح نمونه‌های افزایش یافته و نمونه‌ها تیره‌تر شدند.

اگرچه پرتودهی با فرسوخ فرآیند خشک کردن را تسهیل می‌نماید، اگر شدت پرتودهی (عامل اصلی مؤثر بر دمای محصول) به صورت مناسبی تنظیم نشود، مواد غذایی و محصولات کشاورزی با ماهیت حساس به حرارت آسیب‌دیده و یا تجزیه می‌شوند.

برای بالا بردن سرعت فرایند خشک کردن بدون تأثیر بر کیفیت محصول باید فرایند خشک کردن را در دمای پایین‌تر انجام داد.

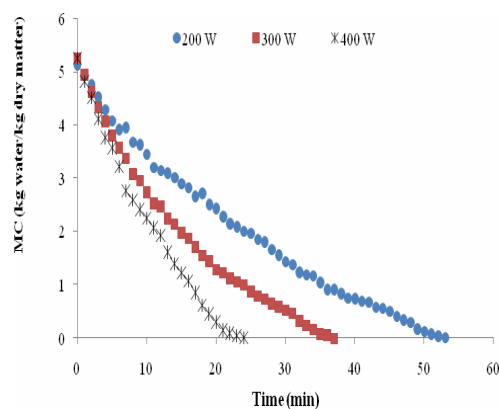


Fig 4 Variations of moisture content of persimmon with drying time and infrared power (10 cm)

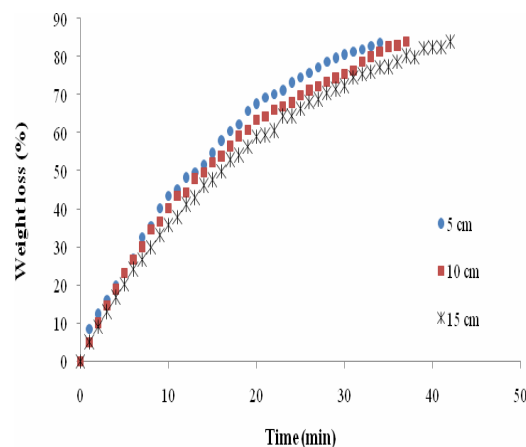


Fig 5 Variations of moisture content of persimmon with drying time and distance (300 w)

بیش‌ترین زمان خشک شدن مربوط به توان 200 وات و فاصله 15 سانتی‌متری لامپ بود که برای انجام فرآیند در این تیمار 49 دقیقه زمان صرف شد. همچنین کمترین زمان خشک شدن مربوط به توان 400 وات و فاصله 5 سانتی‌متری لامپ است که مدت‌زمان ثبت‌شده برای این تیمار 14 دقیقه بود.

3-2- چگالی خرمالو خشک‌شده

در شکل 6 نتایج مربوط به چگالی برش‌های خشک‌شده خرمالو درون خشک‌کن فرسوخ به نمایش درآمده است. مقدار چگالی خرمالو خشک‌شده درون خشک‌کن فرسوخ در محدوده 620 kg/m^3 - 666 kg/m^3 به دست آمد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با کاهش توان لامپ فرسوخ و افزایش فاصله نمونه‌ها از لامپ، به دلیل افزایش زمان خشک کردن و کاهش تخلخل نمونه‌ها، چگالی نمونه‌ها افزایش یافته است. مقدار چگالی مشاهده‌شده برای خرمالوهای خشک‌شده در

Table 2 The color parameters of dried persimmons at different condition

Power (w)	Distance (cm)	b*	L*	* a	ΔE	C*	Hue value (°)
200	5	44.75	39.23	14.30	10.55	46.98	72.28
	10	41.90	37.12	11.45	15.01	43.43	74.72
	15	39.05	36.01	10.60	17.74	40.46	74.79
300	5	47.18	40.97	16.73	6.84	50.06	40.47
	10	45.84	39.07	14.369	9.98	48.05	72.59
	15	42.71	38.60	12.26	13.45	44.43	73.96
400	5	39.45	38.66	9.00	17.86	40.46	77.16
	10	38.43	37.36	7.98	19.56	39.25	78.27
	15	35.41	35.67	6.96	22.70	36.09	78.88

3-4- آبیگری مجدد

در شکل 7 نتایج مربوط به آبیگری مجدد برش‌های خشک‌شده خرمالو درون خشک‌کن فرسرخ به نمایش درآمده است. مقدار آبیگری برش‌های خشک‌شده خرمالو درون خشک‌کن فرسرخ در محدوده 242/4-299/7 درصد به دست آمد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش توان لامپ فرسرخ از 200 به 400 وات و کاهش فاصله نمونه‌ها از لامپ، به دلیل کاهش زمان خشک کردن و افزایش تخلخل نمونه‌ها، آبیگری نمونه‌ها افزایش یافت. مقدار آبیگری مجدد مشاهده‌شده برای خرمالوهای خشک‌شده در توان‌های 200، 300 و 400 وات به ترتیب برابر 251/2، 269/6 و 288/6 درصد به دست آمد.

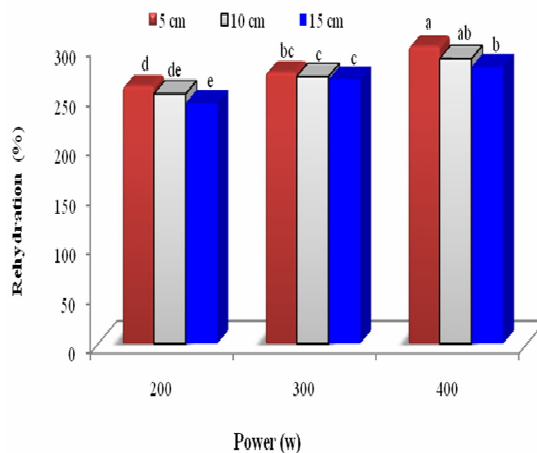
فاصله نمونه از لامپ و مدت زمان خشک کردن خرمالو به عنوان ورودی‌های شبکه در نظر گرفته شدند و درصد کاهش وزن به عنوان خروجی شبکه انتخاب گردید. با توجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک به دست آمد، این نوع تابع به عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب گردید.

بر اساس روش آزمون و خطا مشخص شد در صورتی که 20 درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد. 20 درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش‌دیده استفاده گردید. 60 درصد باقی‌مانده داده‌ها نیز به منظور ارزیابی شبکه استفاده گردید.

نتایج این پژوهش نشان‌داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای 15 نرون در لایه پنهان کمترین میزان میانگین مربعات خطا، میانگین مربعات خطای نرمالیزه و میانگین خطای مطلق (به ترتیب 1/113، 0/004 و 0/415) برای پیش‌گویی سرعت خشک شدن خرمالو را دارد.

هدف از فرآیند آموزش شبکه عصبی مصنوعی به دست آوردن بردارهای وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه است. در جدول 3، مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون برای شبکه عصبی دارای 15 نرون در لایه پنهان آورده شده است. مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی (60 درصد داده استفاده‌نشده توسط شبکه) و پیش‌گویی شده درصد کاهش وزن توسط شبکه عصبی بهینه (3/15/1) در شکل 8 نشان‌داده شده است. مقدار بالای ضریب همبستگی (0/991) نشان‌دهنده کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی بود.

موقرنژاد و نیکزاد (2007) فرآیند خشک کردن گوجه‌فرنگی در خشک‌کن قفسه‌ای را توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی با سه ورودی توان گرم‌کننده، سرعت جریان هوا و زمان خشک

**Fig 7** Rehydration of dried persimmons at different condition using infrared dryer.**3-5- نتایج مدل‌سازی خشک‌کن فرسرخ**

به منظور پیش‌گویی درصد کاهش وزن در طی خشک کردن خرمالو با روش فرسرخ از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. توان لامپ،

برای پیشگویی انتقال جرم زردآلو آبیگری شده را مورد آزمون قرار داده و نتایج گزارش شده نشان داد شبکه‌ای با تعداد 14 نرون در یک لایه پنهان به خوبی درصد کاهش وزن ($R=0/98$)، درصد کاهش آب ($R=0/97$) و مقدار جذب مواد جامد ($R=0/96$) در طی فرآیند خشک کردن اسمزی زردآلو را پیشگویی نماید. این مدل می‌تواند به منظور تولید محصولی با کیفیت مطلوب، طراحی مناسب تجهیزات فرآوری و بهینه‌سازی فرآیند مورد استفاده قرار گیرد [22].

کردن و یک خروجی نسبت رطوبت گوجه‌فرنگی خشک شده مدل‌سازی نمودند. نتایج نشان داد که کمترین خطا با یک لایه پنهان و 4 نرون حاصل می‌شود. مقایسه مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی با مدل های تجربی نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به مدل های تجربی، رفتار خشک شدن را با دقت بالاتری پیش‌بینی می‌کند [21]. صالحی و همکاران (2015) به بررسی مدل‌سازی فرآیند خشک کردن اسمزی زردآلو با استفاده از الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. ساختارهای مختلف شبکه عصبی چند لایه پرسپترون

Table 3. The weights and bias values of optimized neural network (3-15-1).

Hidden neurons	Bias	Input neurons		Output neurons	
		Infrared lamp power (W)	Distance (cm)	Time (s)	Weight loss
1	0.166	-0.968	-0.968	2.051	-3.236
2	-2.356	-2.426	1.256	-0.325	1.235
3	5.106	-0.092	-0.895	5.106	-0.426
4	0.236	-2.356	3.983	4.104	1.326
5	0.193	-2.047	-0.023	-0.256	0.998
6	-0.635	-0.968	1.026	-0.365	0.236
7	1.124	1.311	-0.148	0.166	2.032
8	1.231	-0.092	-0.895	5.106	-1.256
9	-0.326	-0.986	-1.236	0.166	-0.895
10	0.256	0.731	0.632	1.124	1.235
11	0.166	1.390	-2.792	-3.809	0.365
12	-1.124	-3.809	1.326	-0.966	-2.968
13	1.125	1.265	-0.720	1.265	2.326
14	-0.325	1.471	1.236	1.965	1.985
15	0.125	-1.254	-3.809	0.236	0.225
Bias					2.254

می‌شود در میان متغیرهای ورودی، توان لامپ فروسرخ به عنوان مؤثرترین عامل در هنگام پیشگویی درصد کاهش وزن در طی خشک کردن خرمالو با خشک‌کن فروسرخ می‌باشد.

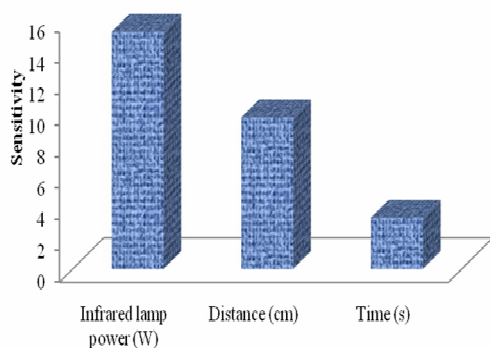


Fig 9 Sensitivity analysis results of persimmon drying modeling using infrared method by optimized neural network.

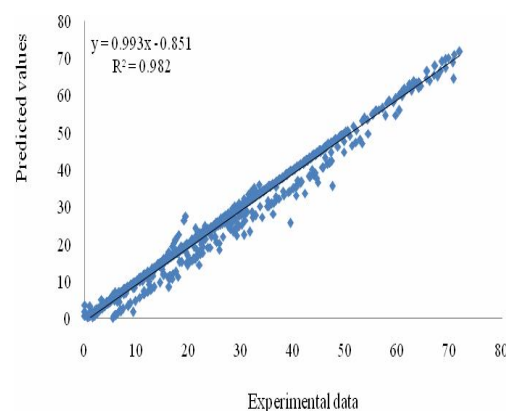


Fig 8 Experimental data versus predicted values of weight loss during persimmon drying by infrared method.

به منظور بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تأثیر گذارترین عامل، تست آنالیز حساسیت¹ بروی شبکه بهینه انجام شد. همان‌طوری که در شکل 9 مشاهده

- [3] Salehi, F., Kashaninejad, M., Jafarianlari, A. 2017. Drying kinetics and characteristics of combined infrared-vacuum drying of button mushroom slices, *Heat and Mass Transfer*. 53, 1751-1759.
- [4] Salehi, F. 2019. Recent applications and potential of infrared dryer systems for drying various agricultural products: A review, *International Journal of Fruit Science*. 1-17.
- [5] Sharma, G., Verma, R., Pathare, P. 2005. Mathematical modeling of infrared radiation thin layer drying of onion slices, *Journal of Food Engineering*. 71, 282-286.
- [6] Das, I., Das, S., Bal, S. 2004. Specific energy and quality aspects of infrared (IR) dried parboiled rice, *Journal of Food Engineering*. 62, 9-14.
- [7] Hosseini Ghaboos, S. H., Seyedain Ardabili, S. M., Kashaninejad, M., Asadi, G., Aalami, M. 2016. Changes in the physico-chemical and engineering parameters of pumpkin (*C. moschata*) with infrared drying method, *Journal of Innovation in Food Science and Technology*. 8, 93-102.
- [8] Salehi, F., Kashaninejad, M., Siahmansouri, P., Moradi, E. 2017. Moisture loss kinetics of persimmon during combined hot air-infrared drying process, *Journal of Food Technology and Nutrition*. 14, 39-48.
- [9] Karaman, S., Toker, Ö. S., Yüksel, F., Çam, M., Kayacier, A., Dogan, M. 2014. Physicochemical, bioactive, and sensory properties of persimmon-based ice cream: Technique for order preference by similarity to ideal solution to determine optimum concentration, *Journal of Dairy Science*. 97, 97-110.
- [10] Hazbavi, E., Minaei, S. 2010. Making and investigation quality properties of dried persimmon slice, *Journal of Food Science Technology*. 7, 65-72.
- [11] Purkayastha, M. D., Nath, A., Deka, B. C., Mahanta, C. L. 2013. Thin layer drying of tomato slices, *Journal of Food Science and Technology*. 50, 642-653.
- [12] Bahramparvar, M., Salehi, F., Razavi, S. 2014. Predicting total acceptance of ice cream using artificial neural network, *Journal of Food Processing and Preservation*. 38, 1080-1088.
- [13] Bahram-Parvar, M., Salehi, F., Razavi, S. M. A. 2017. Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) simulation for predicting overall acceptability of ice cream, *Engineering in Agriculture, Environment and*

5- نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر توان لامپ فرسرخ (200، 300 و 400 وات) و فاصله نمونه از لامپ (5، 10 و 15 سانتی‌متر) بر خشک کردن خرما‌لو درون خشک‌کن فرسرخ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان‌داد تأثیر توان و فاصله لامپ پرتودهی بر فرآیند خشک شدن خرما‌لو معنی‌دار می‌باشد. با افزایش توان لامپ فرسرخ از 200 به 400 وات زمان خشک شدن خرما‌لو 59/9 درصد کاهش یافت. با افزایش فاصله نمونه‌ها از منبع فرسرخ، سرعت خشک شدن و کاهش رطوبت نمونه‌های خرما‌لو کاهش یافت. همچنین با افزایش فاصله لامپ 200 وات از 5 به 15 سانتی‌متر، باعث افزایش زمان خشک کردن از 39 دقیقه به 49 دقیقه شد. با افزایش توان لامپ پرتودهی و کاهش فاصله لامپ از سطح نمونه به دلیل افزایش سرعت خشک شدن و در نتیجه تغییرات کمتر در حجم و تخلخل بیشتر بافت، چگالی برش‌های خرما‌لو خشک‌شده کاهش یافت. کمترین تغییرات رنگ مشاهده شده برای نمونه خشک شده با توان 300 وات بود. با افزایش توان لامپ فرسرخ از 200 به 400 وات و کاهش فاصله نمونه‌ها از لامپ، به دلیل کاهش زمان خشک کردن و افزایش تخلخل نمونه‌ها، آبگیری نمونه‌ها افزایش یافت.

نتایج مدل‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی نشان‌داد که ترکیب شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم ژنتیک نتیجه بهتری را ارائه می‌کند و با ترکیب آن‌ها سرعت تحلیل و دقت فرآیند مدل‌سازی افزایش می‌یابد. با استفاده از شبکه‌های با تعداد 15 نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک و درصد داده‌های مورد استفاده برای تربیت/آزمون/ارزیابی برابر 60/20/20 می‌توان به خوبی سینتیک خشک کردن خرما‌لو را پیشگویی نمود.

6- منابع

- [1] Mehrnia, M. A., Bashti, A., Salehi, F. 2017. Experimental and modeling investigation of mass transfer during infrared drying of Quince, *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 12, 758-766.
- [2] Rastogi, N. K. 2012. Recent trends and developments in infrared heating in food processing, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 52, 737-760.

- oleracea var. gongylodes*) slice, International Journal of Food Properties. 22, 511-519.
- [19] Hosseini Ghaboos, S. H., Seyedain Ardabili, S. M., Kashaninejad, M., Asadi, G., Aalami, M. 2016. Combined infrared-vacuum drying of pumpkin slices, Journal of Food Science and Technology. 53, 2380-2388.
- [20] Doymaz, I., Pala, M. 2003. The thin-layer drying characteristics of corn, Journal of Food Engineering. 60, 125-130.
- [21] Movagharnejad, K., Nikzad, M. 2007. Modeling of tomato drying using artificial neural network, Computers and Electronics in Agriculture. 59, 78-85.
- [22] Salehi, F., Abbasi Shahkoh, Z., Godarzi, M. 2015. Apricot osmotic drying modeling using genetic algorithm - artificial neural network, Journal of Innovation in Food Science and Technology. 7, 65-76.
- Food. 10, 79-86.
- [14] Salehi, F. 2019. Recent advances in the modeling and predicting quality parameters of fruits and vegetables during postharvest storage: a review, International Journal of Fruit Science. 1, 1-15.
- [15] Ramzi, M., Kashaninejad, M., Salehi, F., Sadeghi Mahoonak, A. R., Ali Razavi, S. M. 2015. Modeling of rheological behavior of honey using genetic algorithm-artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system, Food Bioscience. 9, 60-67.
- [16] Sahin, S., Sumnu, S. G. 2006. Physical properties of foods, Springer Science & Business Media,
- [17] Salehi, F. 2018. Color changes kinetics during deep fat frying of carrot slice, Heat and Mass Transfer. 54, 3421-3426.
- [18] Salehi, F. 2019. Color changes kinetics during deep fat frying of kohlrabi (*Brassica*

Characterization of Dried Persimmon using Infrared Dryer and Process Modeling using Genetic Algorithm-Artificial Neural Network Method

Fadaie, M. ¹, Hosseini Ghaboos, S. H. ^{2*}, Beheshti, B. ³

1. MSc Student, Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran , Iran.
2. Assistant Professor, Food science and technology research center of East Golestan, Azadshahr branch, Islamic Azad university, Azadshahr, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran , Iran.

(Received: 2019/02/14 Accepted: 2020/01/15)

Drying is one of the ways of storing of persimmon. In this study, to increasing shelf life of persimmon and producing high-quality products, infrared dryer was used and mass transfer kinetics, density, rehydration and color of samples were measured. The results showed that radiation lamp power and distance of lamp from sample had significant effect on the moisture loss kinetics and drying time ($P < 0.05$). With increasing in radiation power, as well as reducing the distance of samples from the source of radiation, drying time decreased. The average density and rehydration for the dried samples in infrared were 639 kg/m^3 and 270 %, respectively. The average calculated color changes (ΔE) for the power of 200, 300 and 400 w were 14.43, 10.09 and 20.04, respectively. The results of modeling by genetic algorithm-artificial neural network showed that artificial neural network combined with genetic algorithm provides better results and with combine them the speed of analysis and accuracy of modeling process increases. Using a network with 15 neurons in the hidden layer and using the hyperbolic tangent activation function and percentage data used to training/validation/testing equal 20/20/60 may be predicted drying kinetics of persimmon.

Keywords: Drying, Genetic algorithm, Image processing, Infrared, Persimmon.

* Corresponding Author Email Address: Hosseinighaboos@yahoo.com