

ویژگی‌های خرمalo خشک شده با استفاده از خشک کن 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 خرمalo می‌باشد. در این پژوهش جهت افزایش زمان ماندگاری خرمalo و تولید محصولی با کیفیت بالا، از خشک کن فروسرخ استفاده و سیستیک انتقال جرم، دانسیته، آبگیری مجدد و رنگ نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که توان لامپ پرتودهی و فاصله لامپ از نمونه تأثیر معنی‌داری بر سیستیک 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 آبگیری مجدد برای نمونه‌های خشک شده در سامانه فروسرخ به ترتیب برابر 639 kg/m^3 و 270 درصد به دست آمد. میانگین تغییرات رنگ (ΔE) محاسبه شده برای توانهای 200، 300 و 400 وات به ترتیب برابر با $14/43$ و $10/09$ 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 سیستیک خشک کردن خرمalo را پیشگویی نمود.

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

*مسئول مکاتبات: Hosseinighaboos@yahoo.com

۱- مقدمه

شدن و ضریب نفوذ رطوبت در طی خشک شدن کدوحلوایی در قالب طرح کاملاً تصادفی توسط حسینی قابوس و همکاران (2016) بررسی شد. توان 272 وات، دمای 75 درجه سلسیوس و ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر به عنوان بهترین شرایط خشک کردن کدو گزارش شده است. اثر توان حرارتی مادون‌قرمز و دمای هوای داغ بر تغییرات ضریب نفوذ مؤثر کدوحلوایی بررسی و مشخص شد که مقدار ضریب نفوذ مؤثر با افزایش توان منع حرارتی و دمای هوای داغ افزایش می‌یابد. در مدل‌سازی فرآیند خشک شدن نیز مدل نیوتون خطی کمتری در مقایسه با سایر مدل‌ها داشته است [7].

خرمالو^۱ باتان علمی *Diospyros kaki* دارای واریته‌های مختلفی است. مناسب‌ترین اقلیم برای کاشت این درخت آب‌وهوای نیمه گرمسیری است ولی باوجود‌داین در نواحی سرد معتدل نیز می‌توان برخی ارقام خرمالو را کشت نمود. حدود 20 هزارتن خرمالو در کشور تولید می‌شود [8]. در برخی از واریته‌ها میوه کاملاً کریوی 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 معذنی و بتاکاروتون است، به‌طوری‌که این میوه به میوه ضد بیماری معروف است. میوه خرمالو به علت دارا بودن مواد معذنی، برای رشد و نمو بدن بسیار مفید است و آهن موجود در آن جهت خون‌سازی و پتانسیم موجود در آن اشتها آور است [9]. یکی از روش‌های افزایش زمان نگهداری خرمالو خشک کردن است. ویژگی‌های کیفی برگه خرمالو خشک شده در آون در محدوده دمایی 55-65 درجه سلسیوس توسط محققان بررسی شده است. بر اساس نتایج ارزیابی حسی، برگه خرمالو خشک شده 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 خشک شده 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 گستردگی به منظور مدل‌سازی فرآیندهای صنایع غذایی و پیشگویی پارامترهای

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 حمل و نقل را کاهش داده و مدت نگهداری را طولانی‌تر نماید [1]. خشک کردن به وسیله اشعه فروسرخ 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]. اشعه فروسرخ 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 فروسرخ 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 فروسرخ در خشک‌کن‌های متعددی مورد استفاده قرار می‌گیرد که باعث افزایش راندمان خشک کردن و کاهش فضای شود. شارما و همکاران (2005) بیان نمودند در خشک کردن لایه نازک قطعات پیاز با استفاده از خشک‌کن فروسرخ و هوای داغ، با تغییر توان فروسرخ از 300 به 500 ولت، افزایش دمای هوا از 35 به 45 درجه سلسیوس و افزایش سرعت جریان هوا از یک به ۱/۵ متر بر ثانیه، زمان خشک شدن ۲/۵ برابر کاهش پیدا کرد [5]. داس و همکاران (2004) یک خشک‌کن فروسرخ مجهز به سیستم لرزشی را طراحی نمودند و با استفاده از آن خشک‌شدن دانه برنج قهوه‌ای را در شدت‌تشعشع ۴290-3100 وات بر مترمربع و عمق بستر ۱۶-12 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 و 238 و 272 وات، دمای هوای داغ در سه سطح 55 و 65 و 75 درجه سلسیوس و ضخامت نمونه‌ها در دو سطح 0/5 و 0/7 سانتی‌متر بر زمان، سیستمیک خشک

وات در فواصل 5 و 15 سانتی متری از لامپ ها قرار گرفته و در سه تکرار تا رطوبت 10 درصد بر پایه مرطوب خشک شدن. نمونه های خشک شده درسته های پلی پروپیلن تا زمان انجام آزمایش ها نگهداری شدند.

2-2- اندازه گیری دانسیته

دانسیته نمونه ها با استفاده از روش حجمی جایه جایی دانه های کلزا اندازه گیری شد [16].

2-3- پردازش تصویر

نمونه های خشک شده ابتدا درون دیسکاتور خنک و بالا فاصله رنگ سطحی با یک دستگاه اسکنر رنگی اچ بی⁵ و با دقت 200 DPI اسکن و با فرمت JPG و کیفیت بالا ذخیره شدند. سپس توسط نرم افزار ImageJ نسخه g 1.3 و به وسیله افزودنی⁶ برنامه با عنوان color space converter، تصاویر به فضای *L*a*b* تبدیل گردید. برای این منظور پس از باز نمودن عکس در فضای برنامه ImageJ از منو، و سپس color speace converter را انتخاب و گزینه های تبدیل به فضای رنگی *L*a*b* تنظیم می شود. مقادیر میانگین پیکسل های تصویر *L*a*b* با استفاده از گزینه Analyse و سپس Measure به دست می آید. بدین ترتیب، مقادیر *L (روشنایی)، *a (سبزی تا قرمزی) و *b (آبی تا زردی) هر یک از تصاویر مربوط به نمونه ها محاسبه و میانگین آنها گزارش می شوند. L* شاخص روشنایی تصویر می باشد که در محدوده 100-100 بوده که با نزدیک شدن به عدد 100، نمونه روشن تر می شود. a* شاخص سبزی تا قرمزی بودن تصویر است و محدوده آن از 120-120 برای سبزی و +120 برای قرمزی است. b* شاخص آبی تا زردی بودن تصویر است و محدوده آن از 120-120 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 می باشد [17, 18].

(1)

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

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

مورد نظر در طراحی و توسعه سیستم ها استفاده می شوند. شبکه های عصبی قادر به مدل سازی سیستم های غیر خطی و پیچیده با تعداد زیادی داده ورودی و خروجی می باشد [12-14]. توانایی پیشگویی یک شبکه عصبی به نوع تابع فعال سازی، تعداد لایه ها و تعداد نرون های لایه پنهان بستگی دارد. تخمین تعداد نرون های لایه پنهان عموماً به وسیله آزمون و خطا انجام می شود که وقت گیر بوده و دارای خطای می باشد. لذا روش های بهینه سازی از قبیل الگوریتم رنگی¹ درجهت غلبه بر این مشکل ذاتی شبکه های عصبی و به دست آوردن تعداد بهینه نرون ها در لایه پنهان مورد استفاده قرار گیرند. الگوریتم رنگی الهام گرفته از طبیعت است و بر این اساس که بهترین ها حق بقا دارند، شکل گرفته است. مفاهیم اصلی الگوریتم رنگی شامل عملکردهای سه گانه انتخاب²، آمیزش³ و جهش⁴ که در مورد سیستمهای مصنوعی بکار می روند، می باشد [15].

با توجه به بررسی منابع متشرشده مشخص شد که تاکنون پژوهشی در خصوص مدل سازی فرآیند خشک کردن خرمالو در خشک کن فروسرخ به روش الگوریتم رنگی-شبکه عصبی مصنوعی صورت نگرفته است. لذا هدف این تحقیق بررسی اثر توان لامپ پرتودهی فروسرخ و فاصله لامپ بر خصوصیات خرمالو خشک شده و مدل سازی آن به روش الگوریتم رنگی-شبکه عصبی مصنوعی می باشد.

2- مواد و روش ها

2-1- خشک کردن

فرآیند خشک کردن فروسرخ با استفاده از خشک کن فروسرخ انجام شد. حرارت دهنده فروسرخ الکتریکی (فیلیپس، ژاپن) با توان های 200، 300 و 400 وات در بخش بالایی اتاق نصب شدند. تغییرات وزن با استفاده از ترازوی تعییش شده در زیر خشک کن با دقت ±0/01 گرم و در فاصله زمانی یک دقیقه در رایانه ثبت شد. لامپ های فروسرخ 15 دقیقه قبل از شروع هر آزمایش روشن می شدند تا به شرایط پایدار و یکنواختی رسند. جهت بررسی اثر خشک کن فروسرخ، ورقه های خرمالو 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

۵-۲- 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 روشنایی روش فروسرخ در نظر گرفته شد. برای رسیدن به ترکیبی مناسب از تعداد نرون‌ها در لایه مخفی که حداقل خطای را در بر داشته باشد، فرآیند بهینه‌سازی شبکه عصبی توسط روش آزمون و خطای انجام گرفت. برای این منظور شبکه‌های عصبی مختلف با ۲ تا ۲۰ نرون در لایه پنهان ساخته شد. روش پس انتشار خطای یکی از پر کاربردترین الگوریتم‌های به کار رفته جهت آموزش شبکه‌های عصبی در مدل‌سازی این پژوهش به کار گرفته شد. در این پژوهش تکنیک اپتیمیم سازی لونبرگ-مارکوت² که یکی از پر کاربردترین قوانین یادگیری است، به منظور یادگیری شبکه مورد استفاده قرار گرفت [12]. تعداد سیکل‌های یادگیری برابر ۱۰۰۰ انتخاب شد و برای جلوگیری از یادگیری بیش از حد، فرآیند یادگیری در صورتی که میانگین مربعات خطای³ یادگیری پس از ۱۰۰ سیکل یادگیری تغییری نمی‌کرد، متوقف می‌شد. به منظور ارزیابی شبکه‌های عصبی و انتخاب بهترین تопولوژی شبکه برای پیشگویی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص میانگین مربعات خطای میانگین مربعات خطای نرم‌الیزه⁴ شده، میانگین خطای مطلق⁵ و ضریب همبستگی⁶ استفاده گردید (معادلات ۶ تا ۹). ضریب همبستگی مقداری بین -۱ و ۱ دارد که اطلاعاتی درباره آموزش شبکه می‌دهد. هر چه عدد ضریب همبستگی به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان می‌دهد که آموزش به خوبی انجام شده است [15, 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 کرومَا (C^*)^۱ اندازه‌گیری نمود. تغییرات کرومَا بیانگر تقریب اریب اجزای رنگ غالب (a^* یا b^*) می‌باشد. کرومَا بیانگر شدت رنگ با تقریب اریب قوی به سمت رنگ غالب است. شدت رنگ (کرومَا) (C) (را بطه ۲) و زاویه هیو (را بطه ۳ و ۴) در مقایسه با نمونه تازه از معادلات زیر قابل محاسبه هستند. مقادیر اختلاف نمایانگر تغییرات رنگ نسبت به نمونه تازه می‌باشد. شدت رنگ (کرومَا) 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.

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

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

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

۴-۲- باز جذب آب

جهت بررسی مقدار باز جذب آب توسط خرمالو‌های خشک‌شده، ابتدا، نمونه خرمالو خشک توزین و درون آب با دمای ۵۰ درجه سلسیوس غوطه‌ور شدند. نسبت وزنی خرمالو به آب برابر ۱ به ۲۵ در نظر گرفته شد. سپس، بعد از گذشت زمان ۳۰ دقیقه از آب خارج شده و وزن کشی با استفاده از تکرار انجام و میانگین آن‌ها گزارش شد. نسبت باز جذب آب توسط معادله ۵ محاسبه شد [19, 7].

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

در این معادله M وزن نمونه بعد از باز جذب آب و M_0 وزن نمونه خشک می‌باشد.

در این مطالعه، آزمایش‌ها در سه تکرار و در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی موربدبرسی قرار گرفتند. برای رسم نمودارها از برنامه Excel (2007) و برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار Minitab 16 در سطح معنی‌داری ۵٪ استفاده شد.

1. Hue angle, and chroma values

3- نتایج و بحث

3-1- انتقال جرم در خشک کن فروسرخ

جهت بررسی اثر توان لامپ فروسرخ بر سرعت خشک شدن برش های خرمالو، از سه لامپ فروسرخ با توان های 200، 300 و 400 وات استفاده گردید. نتایج نشان داد که تغییر توان لامپ اثر معنی داری ($P<0.05$) بر خروج آب از برش های خرمالو دارد و با افزایش توان لامپ، زمان خشک شدن کاهش می یابد. همان طور که در شکل 1 ملاحظه می شود، با افزایش توان لامپ فروسرخ از 200 به 400 وات زمان خشک شدن خرمالو ۵۹/۹ درصد کاهش یافت.

افزایش دما منجر به افزایش تحرک مولکول های آب و در نتیجه مهاجرت آسان تر این مولکول ها از بخش های داخلی خرمالو به سطح محصول می شود. افزایش دما 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 درنهایت باعث کاهش زمان خشک شدن می گردد [20].

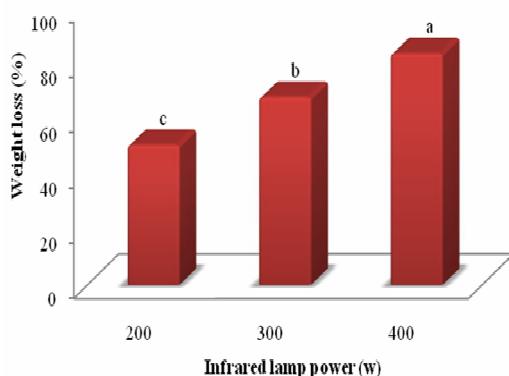


Fig 1 Effect of infrared lamp power on weight loss of persimmon (24 min and 10 cm).

نتایج حاکی از معنی دار بودن ($P<0.05$) اثر تغییر فاصله لامپ از نمونه ها، بر مقدار کاهش وزن برش های خرمالو دارد و با کاهش فاصله لامپ، زمان خشک شدن کاهش می یابد. در شکل 2 اثر فاصله لامپ فروسرخ از ورقه های خرمالو بر درصد کاهش وزن نمونه های به نمایش در آمد. همان طور که ملاحظه می شود با افزایش فاصله نمونه ها از منبع فروسرخ،

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

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

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

در معادلات فوق T و O به ترتیب مقادیر پیشگویی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی و واقعی داده N تعداد داده ها و 0.5 واریانس داده ها می باشند. T_m با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد:

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

تعداد نرون های لایه های ورودی و خروجی براساس تعداد متغیرهای ورودی به شبکه و تعداد متغیرهای خروجی مورد نظر تعیین می شود. در این تحقیق سه ورودی و یک خروجی برای هر روش درنظر گرفته شد. تعداد نرون های لایه پنهان وابسته به کاربرد شبکه و شرایط تعیین پارامترهای شبکه داد. برای رسیدن به ترکیبی مناسب از تعداد نرون ها در لایه پنهان که حداقل خطأ را در بر داشته باشد، فرآیند بهینه سازی تعداد نرون ها در لایه پنهان شبکه عصبی به روش الگوریتم ژنتیک انجام گرفت. جمعیت اولیه برای تولید نسل ها 100 و حداقل تعداد نسل ها نیز 50 نسل در نظر گرفته شده است. احتمال آمیزش و جهش بر اساس توصیه راهنمای نرم افزار 0/9 و 0/01؛ و تعداد نرون ها جهت بهینه سازی 1 تا 30 عدد در نظر گرفته شد. از توابع فعال سازی¹ خطی، سیگموئیدی² و تانژانت هیپربولیک³ که متدائل ترین نوع توابع فعال سازی هستند، در لایه پنهان و خروجی استفاده گردید [12, 13, 15].

نرم افزار نرسولوشن 4 نسخه⁴ جهت مدل سازی استفاده گردید. در این نرم افزار با تغییر تعداد نرون ها در لایه پنهان، نوع تابع انتقال (تانژانت هیپربولیک، سیگموئیدی و خطی)، تعداد داده های استفاده شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی؛ قاعده یادگیری (لیونبرگ-مارکت و مومنتم)، بهترین توپولوژی⁵ شبکه جهت دست یابی 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 می‌شود با افزایش توان پرتودهی، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. با افزایش زمان خشک شدن نیز مقدار رطوبت خارج شده از نمونه‌ها افزایش می‌یابد.

سرعت خشک شدن و کاهش رطوبت نمونه‌های خرمالو کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله لامپ 200 وات از 5 به 15 سانتی‌متر، باعث افزایش زمان خشک کردن از 39 دقیقه به 49 دقیقه شد.

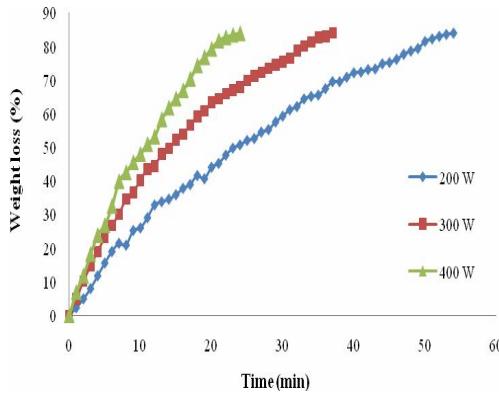


Fig 3 Effect of infrared lamp power and drying time of on weight loss of persimmon (10 cm).

در طی خشک کردن خرمالو، مدت زمان رسیدن وزن نمونه‌ها 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.

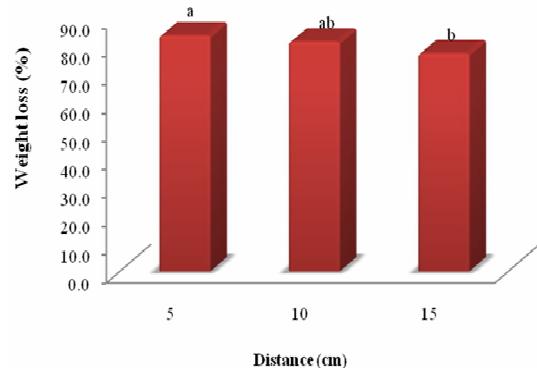


Fig 2 Effect of infrared lamp distance from persimmon slices on weight loss (88 min and 300 W).

با افزایش ضخامت ماده غذایی کاهش همزنایی در قابلیت انتقال امواج و افزایش در قابلیت جذب رخ می‌دهد و محصولات با ضخامت کم برای فراوری توسط پرتو فروسرخ توصیه شده‌اند (هیار و همکاران، 2004). در شکل 3 اثر مدت زمان خشک کردن ورقه‌های خرمالو توسط سامانه فروسرخ بر

درصد کاهش وزن نمونه‌ها به نمایش در آمده است. همان‌طور

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	

خشک‌کن می‌گردد 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 می‌شود و درنهایت باعث کاهش زمان خشک شدن می‌گردد. کاهش فاصله لامپ از نمونه از 15 به 5 سانتی‌متر، باعث کاهش 63/04٪ زمان خشک شدن ورقه‌های خرمالو گردید و آهنگ خشک شدن افزایش می‌یابد.

همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود اثر فاکتورهای توان و فاصله بر زمان خشک شدن معنی‌دار بوده در حالی که اثر متقابل توان×فاصله بر مدت زمان خشک شدن معنی‌دار نشده است. اثر فاکتورهای مورد بررسی در پژوهش بر تغییرات مقدار رطوبت با زمان در شکل‌های 4 و 5 به نمایش درآمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش توان لامپ فروسرخ، سرعت خشک شدن و کاهش رطوبت نمونه‌های خرمالو افزایش می‌یابد. افزایش توان لامپ باعث افزایش دمای

توان‌های 200، 300 و 400 وات به ترتیب برابر 666 kg/m^3 ، 600 kg/m^3 و 620 kg/m^3 و 631 kg/m^3 به دست آمد.

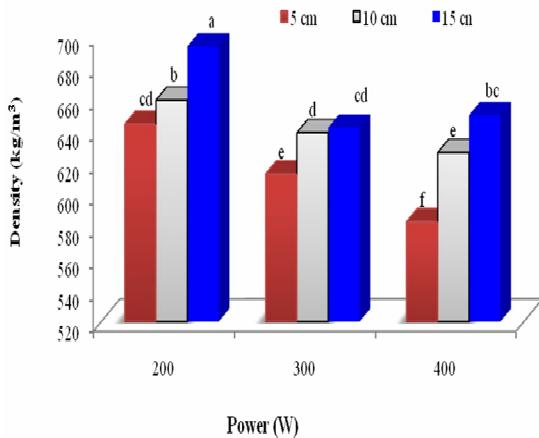


Fig 6 The density of dried persimmons at different condition using infrared dryer.

3-3- نتایج پردازش تصویر

در جدول 2 خصوصیات رنگی مربوط به نمونه‌های خشک شده در خشک کن فروسرخ گزارش شده است. با افزایش فاصله لامپ پرتودهی فروسرخ از 5 به 15 سانتی متر، نمونه‌ها تیره‌تر شده و شاخص L^* کاهش یافته است. روشن ترین نمونه مربوط شده و شاخص a^* افزایش یافته است. تیره ترین نمونه مربوط به توان 300 وات و فاصله 5 سانتی متری بود و توان‌های 200 و 400 وات در رده‌های بعدی قرار دارند. با افزایش فاصله ورقه‌های خرمالو از منبع پرتودهی تیرگی نمونه‌های خشک شده افزایش یافته و نمونه‌های خشک شده در فاصله 15 سانتی متری بیش‌ترین تغییرات رنگی (ΔE) را داشته و تیره‌تر بودند.

میانگین تغییرات رنگ (ΔE) محاسبه شده برای توان‌های 200 و 300 و 400 وات به ترتیب برابر با $10/09$ ، $14/43$ 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 نمونه های افزایش یافته و نمونه ها تیره‌تر شدند. اگرچه پرتودهی با فروسرخ فرآیند خشک کردن را تسهیل می‌نماید، اگر شدت پرتودهی (عامل اصلی مؤثر بر دمای محصول) به صورت مناسب تنظیم نشود، مواد غذایی و محصولات کشاورزی با ماهیت حساس به حرارت آسیب دیده و یا تجزیه می‌شوند.

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

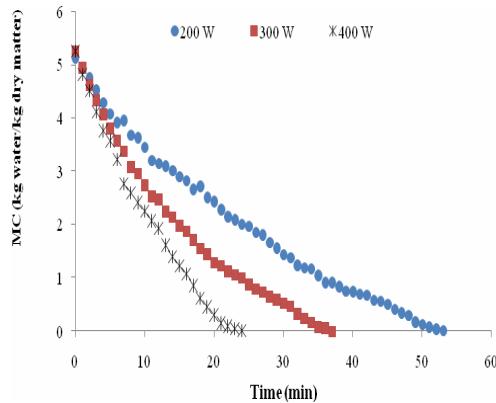


Fig 4 Variations of moisture content of persimmon with drying time and infrared power (10 cm)

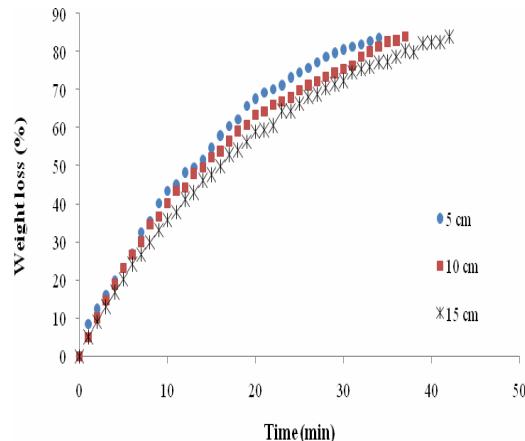


Fig 5 Variations of moisture content of persimmon with drying time and distance (300 w)

بیش‌ترین زمان خشک شدن مربوط به توان 200 وات و فاصله 15 سانتی متری 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 سانتی متری لامپ است که مدت زمان ثبت شده برای این تیمار 14 دقیقه بود.

2-3- چگالی خرمالو خشک شده

در شکل 6 نتایج مربوط به چگالی برش‌های خشک شده خرمالو درون خشک کن فروسرخ به نمایش درآمده است. مقدار چگالی خرمالو خشک شده درون خشک کن فروسرخ در محدوده 620 kg/m^3 - 666 kg/m^3 به دست آمد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با کاهش توان لامپ فروسرخ و افزایش فاصله نمونه‌ها از لامپ، به دلیل افزایش زمان خشک کردن و کاهش تخلخل نمونه‌ها، چگالی نمونه‌ها افزایش یافته است. مقدار چگالی مشاهده شده برای خرمالوهای خشک شده 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
	5	47.18	40.97	16.73	6.84	50.06	40.47
300	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
	5	39.45	38.66	9.00	17.86	40.46	77.16
400	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

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 تائزانت هیبریولیک به دست آمد، این نوع تابع به عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب گردید.

بر اساس روش آزمون و خطای 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 آموزش دیده استفاده گردید. 60 درصد باقی مانده داده‌ها نیز به منظور ارزیابی شبکه استفاده گردید.

نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای 15 نرون در لایه پنهان کمترین میزان میانگین مربعات خطای 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 استفاده شده توسط شبکه (و پیش‌گویی شده درصد کاهش وزن توسط شبکه عصبی) بهینه (3/15/1) در شکل 8 نشان داده شده است. مقدار بالای ضریب همبستگی (0/991) نشان‌دهنده کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی بود.

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

4-3- آبگیری مجدد

در شکل 7 نتایج مربوط به آبگیری مجدد برش‌های خشک شده خرمالو درون خشککن فروسرخ به نمایش درآمده است. مقدار آبگیری برش‌های خشک شده خرمالو درون خشک کن فروسرخ در محدوده 242/4-2997 درصد به دست آمد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش توان لامپ فروسرخ 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. مقدار آبگیری مجدد مشاهده شده برای خرمالوهای خشک شده در توان‌های 200، 300 و 400 وات به ترتیب برابر 269/6، 251/2 و 288/6 درصد به دست آمد.

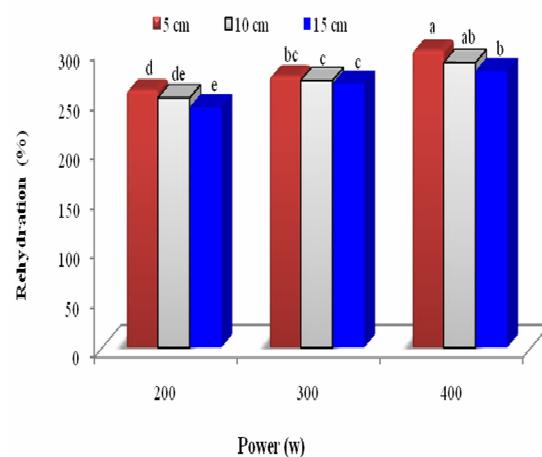


Fig 7 Rehydration of dried persimmons at different condition using infrared dryer.

5-3- نتایج مدل‌سازی خشک کن فروسرخ

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

برای پیشگویی انتقال جرم زردآلو آبگیری 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 ($R=0.97$)، درصد کاهش آب ($R=0.98$) و مقدار جذب مواد جامد ($R=0.96$) در طی فرآیند خشک کردن اسمری 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 مدل سازی نمودند. نتایج نشان داد که کمترین خطای با یک لایه پنهان و 4 نرون حاصل می‌شود. مقایسه مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی با مدل‌های تجربی نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به مدل‌های تجربی، رفتار خشک شدن را با دقت بالاتری پیش‌بینی می‌کند [21]. صالحی و همکاران (2015) به بررسی مدل‌سازی فرآیند خشک کردن اسمری 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 خشک کن فروسرخ می‌باشد.

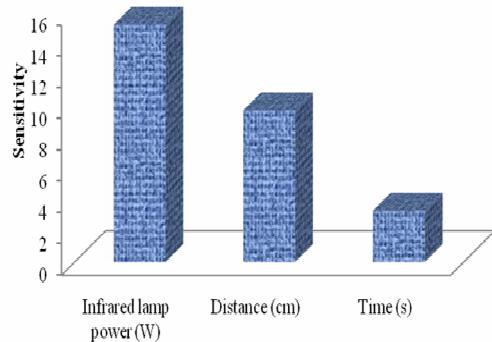


Fig 9 Sensitivity analysis results of persimmon drying modeling using infrared method by optimized neural network.

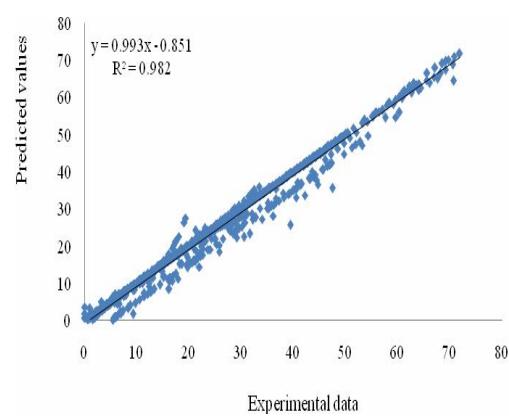


Fig 8 Experimental data versus predicted values of weight loss during persimmon drying by infrared method.

به منظور بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تأثیر گذارترین عامل، تست آنالیز حساسیت¹ برروی 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 physicochemical 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 فروسرخ (200، 300 و 400 وات) و فاصله نمونه از لامپ (5، 10 و 15 سانتی‌متر) بر خشک کردن خرمالو درون خشک‌کن فروسرخ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد تأثیر توان و فاصله لامپ پرتووده‌ی بر فرآیند خشک شدن خرمالو معنی‌دار می‌باشد. با افزایش توان لامپ فروسرخ از 200 به 400 وات زمان خشک شدن خرمالو 59/9 درصد کاهش یافت. با افزایش فاصله نمونه‌ها از منبع فروسرخ، 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 پرتووده‌ی 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 خشک شده کاهش یافت. کمترین تغییرات رنگ مشاهده شده برای نمونه خشک شده با توان 300 وات بود. با افزایش توان لامپ فروسرخ 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 نشان داد 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 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 سیستمیک 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