

## مدل سازی فرایند خشک کردن بادمجان توسط سامانه مادون قرمز به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

فخرالدین صالحی<sup>۱\*</sup>، علیرضا اسدی امیرآبادی<sup>۲</sup> و مهدی کاشانی نژاد<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، گروه مهندسی ماشین‌های صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران  
<sup>۲</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران  
<sup>۳</sup> استاد، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۵

### چکیده

**سابقه و هدف:** به دلیل بهره‌وری پایین انرژی و مدت زمان طولانی خشک کردن محصولات کشاورزی با روش‌های متداول ضروری است روش‌های نوین بررسی شوند. استفاده از تابش فروسرخ یکی از روش‌های جدید خشک کردن است که باعث افزایش سرعت خشک کردن، حفظ کیفیت محصول نهایی و کاهش هزینه‌های فرآیند می‌شود. در این پژوهش رفتار خشک کردن لایه‌نازک ورقه‌های بادمجان در یک خشک‌کن مادون قرمز بررسی گردید.

**مواد و روش‌ها:** اثر توان لامپ مادون قرمز (۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات)، فاصله نمونه از لامپ (۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر)، ضخامت نمونه‌ها (۰/۵ و ۱ سانتی‌متر) و زمان خشک کردن بر خشک شدن ورقه‌های بادمجان مورد بررسی قرار گرفت. برای اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها در طی آزمایش بدون خروج آن‌ها از خشک‌کن، سینی با نمونه‌ها بر روی ترازوی دیجیتال قرار گرفتند. همچنین در این پژوهش مدل‌سازی فرآیند به روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی با چهار ورودی (توان، فاصله لامپ، ضخامت نمونه و زمان خشک کردن) و یک خروجی جهت پیشگویی کاهش وزن انجام شد.

**یافته‌ها:** نتایج خشک کردن بادمجان به روش مادون قرمز نشان داد با افزایش توان لامپ و کاهش فاصله نمونه‌ها از منبع حرارتی، سرعت خشک کردن افزایش می‌یابد. افزایش ضخامت برش‌های بادمجان اثر معنی‌داری بر مقدار کاهش وزن آن‌ها در طی پرتودهی داشت ( $p < 0/05$ ). همچنین با افزایش ضخامت نمونه‌ها، زمان خشک شدن و در نتیجه مقدار رطوبت خارج شده از نمونه‌ها نیز افزایش یافت. با افزایش توان لامپ از ۱۵۰ به ۳۷۵ وات، مقدار کاهش وزن از ۳۱/۰۸ به ۹۲/۴۴ درصد افزایش یافت. با افزایش فاصله لامپ از ۵ به ۱۵ سانتی‌متر، میزان وزن از ۹۲/۴۴ به ۳۱/۱۵ درصد، کاهش یافت. با توجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده تابع فعال‌سازی سیگموئیدی به دست آمد، این نوع تابع به‌عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب گردید. بر اساس روش آزمون و خطا مشخص شد در صورتی که ۲۰ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها است. ۲۰ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش دیده استفاده گردید. ۶۰ درصد باقی مانده داده‌ها نیز به منظور ارزیابی شبکه استفاده گردید.

**نتیجه‌گیری:** نتایج مدل‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی نشان داد با استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئیدی و شبکه‌ای با تعداد ۱۴ نرون در یک لایه پنهان می‌توان به خوبی درصد کاهش وزن در طی فرآیند خشک کردن بادمجان به روش مادون قرمز را پیشگویی نمود ( $R=0/99$ ). نتایج آنالیز حساسیت توسط شبکه عصبی بهینه نشان داد که توان لامپ مادون قرمز به‌عنوان مؤثرترین عامل برای کنترل کاهش وزن بادمجان است.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم ژنتیک، آنالیز حساسیت، بادمجان، پیشگویی، مادون قرمز

\*مسئول مکاتبه: [f.salehi@Basu.ac.ir](mailto:f.salehi@Basu.ac.ir)

بادمجان<sup>۱</sup> به‌طور گسترده‌ای در سراسر نقاط گرمسیری و معتدل جهان رشد می‌کند و به‌عنوان یکی از سبزی‌های مهم بازار کشورهای آسیایی و مدیترانه‌ای مطرح است. ترکیه یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان این محصول در جهان با تولید حدود ۷۹۱/۱۹۰ تن در سال است. روش فراوری بادمجان برش خورده یکی از مشکلات عمده طی نگهداری این محصول است (۶، ۸).

محدودیت اصلی نگهداری تکه‌های بادمجان، اکسیداسیون توسط آنزیم پلی فنول اکسیداز است که موجب تولید رنگ‌دانه‌های عامل قهوه‌ای شدن می‌شود و میوه‌ها و سبزی‌ها را فاسد می‌کند. پلی فنول اکسیداز در اندامک‌های درون سلولی از جمله کلروپلاست، میتوکندری و پراکسی زوم‌ها به‌صورت پایدار و محکم به غشاء متصل هستند و حتی ممکن است در بخش سیتوپلاسم نیز وجود داشته باشد (۶). خشک‌کردن یکی از روش‌هایی است که مدت زمان نگهداری این محصول را افزایش و هزینه نگهداری و حمل‌ونقل را کاهش می‌دهد.

خشک‌کردن فرآیندی است که طی آن آب موجود در یک ماده با استفاده از یک منبع حرارتی تحت شرایط دقیق و کنترل‌شده، به‌وسیله تبخیر یا تصعید خارج می‌شود. به‌منظور جلوگیری از بروز تنش‌های حرارتی و رطوبتی که باعث بالا رفتن افت کمی و کیفی محصول می‌گردد، اعمال کنترل‌های دقیق فرایند خشک‌کردن ضروری است. خشک‌کردن محصولات کشاورزی به دو صورت طبیعی و مصنوعی انجام می‌گیرد. گرچه استفاده از هوای داغ در خشک‌کردن روش مرسوم است، اما اثرات سوئی بر کیفیت محصول از جمله تغییر رنگ و سفتی بافت محصول خشک‌شده دارد. به همین علت می‌بایست از

روش‌های دیگر خشک‌کردن در بهبود کیفیت محصول نهایی استفاده نمود (۱۶).

با توجه به موارد ذکرشده، بررسی و یافتن روش مناسب برای خشک‌کردن بادمجان با کیفیت بالا ضروری است (۲). آکینار و بیسر (۲۰۰۵) رفتار خشک‌شدن لایه‌نازک ورقه‌های بادمجان را در خشک‌کردن هوای داغ مورد بررسی قرار دادند (۲). دماهای هوای خشک‌کن برابر ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد و سرعت هوا نیز در دو سطح ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شدند. نتایج گزارش‌شده حاکی از این است که دمای هوای خشک‌کن نسبت به‌سرعت جریان هوا، تأثیر معنی‌دارتری بر خشک‌کردن ورقه‌های بادمجان داشته است (۲).

یکی از روش‌های تیمار حرارتی مواد غذایی استفاده از پرتو مادون‌قرمز<sup>۲</sup> (IR) است که در مقابل روش‌های مرسوم از مزایای متعددی شامل کاهش زمان فرآیند، بازده بالای انرژی، کیفیت بالای محصول خشک‌شده و دمای یکنواخت محصول برخوردار است. پرتو مادون‌قرمز بخشی از طیف الکترومغناطیسی بوده و به سه دسته مادون‌قرمز نزدیک با دامنه ۱/۴-۰/۷۵ میکرومتر، مادون‌قرمز متوسط با دامنه ۳-۱/۴ میکرومتر و مادون‌قرمز دور با دامنه ۱۰۰۰-۳ میکرومتر تقسیم می‌شود. همچنین می‌توان اندازه و حجم تجهیزات مورد استفاده را کاهش و امکان پایش پارامترهای فراوری را فراهم آورد (۱۱، ۱۳، ۱۶). در این روش جذب پرتو توسط مواد غذایی عمدتاً به میزان آب، ضخامت و ماهیت فیزیکیوشیمیایی محصول بستگی دارد (۵، ۱۵).

افضل و همکاران (۱۹۹۹) پژوهش‌هایی پیرامون خشک‌کردن لایه‌نازک دانه جو تحت اثر گرم‌کردن ترکیبی اشعه مادون‌قرمز- هوای گرم و هوای گرم به‌تنهایی انجام دادند (۱). نتایج آزمایش آن‌ها نشان داد

2. Infrared Radiation (IR)

1. *Solanum melongena* L.

بررسی ساختارهای مختلف شبکه عصبی چندلایه پرسپترون برای پیشگویی انتقال جرم زردآلو آبیگری شده نشان داد شبکه‌ای با تعداد ۱۴ نرون در یک‌لایه پنهان به‌خوبی درصد کاهش وزن ( $R^2=0/98$ )، درصد کاهش آب ( $R^2=0/97$ ) و مقدار جذب مواد جامد ( $R^2=0/96$ ) در طی فرآیند خشک‌کردن اسمزی زردآلو را پیشگویی می‌نماید. این مدل می‌تواند به‌منظور تولید محصولی با کیفیت مطلوب، طراحی مناسب تجهیزات فرآوری و بهینه‌سازی فرآیند مورد استفاده قرار گیرد (۱۴).

ارتورک و ارتورک (۲۰۰۷) نیز از روش‌های الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن هویج استفاده نمودند. نتایج این محققان حاکی از قدرت بالای این روش جهت مدل‌سازی فرآیندهای خشک‌کردن مواد غذایی است (۷).

در پژوهشی لرتوراسیریکل و ساتان (۲۰۱۰) مدل‌سازی انتقال جرم آبیگری اسمزی پوست لیموی آفریقایی را توسط شبکه‌ی عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار دادند (۱۰). نتایج پیش‌بینی میزان دفع آب و جذب مواد جامد توسط شبکه عصبی چندلایه با سه ورودی (دما، زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی و غلظت مواد جامد) نشان داد که بهترین شبکه با کمترین مجموع مربعات خطا برابر ۰/۰۰۶۶ و بیشترین میانگین ضریب رگرسیون ۰/۹۷۲۵ با یک‌لایه مخفی، پنج نرون و روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکوت به دست می‌آید (۱۰).

هدف از این پژوهش بررسی اثر توان لامپ پرتودهی مادون قرمز، فاصله نمونه از لامپ، ضخامت نمونه‌ها و زمان بر خشک‌کردن بادمجان به روش مادون قرمز است. همچنین مدل‌سازی فرآیند انتقال جرم با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی انجام و ویژگی‌های ساختار شبکه عصبی بهینه گزارش می‌شود.

که طی استفاده از اشعه مادون قرمز نرخ خشک شدن افزایش و همچنین مصرف انرژی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. از طرفی شدت سطح ۰/۳۳۳ وات بر سانتی‌مترمربع به‌عنوان دوز بهینه اشعه طی خشک‌کردن به‌دست آمد. همچنین آن‌ها دریافتند سرعت هوا تأثیر زیادی بر مصرف انرژی داشت و با افزایش شدت اشعه مادون قرمز پارامترهای کیفیتی مانند قوه نامیه بذر و چگالی دانه کاهش یافت (۱).

شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>۱</sup> (ANN) به‌طور گسترده‌ای به‌منظور مدل‌سازی فرآیندهای صنایع غذایی و پیشگویی پارامترهای مورد نظر در طراحی و توسعه دستگاه‌ها استفاده می‌شوند. شبکه‌های عصبی قادر به مدل‌سازی دستگاه‌های غیرخطی و پیچیده با تعداد زیادی داده ورودی و خروجی می‌باشند (۱۲).

توانایی پیشگویی یک شبکه عصبی به نوع تابع فعال‌سازی، تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌های لایه پنهان بستگی دارد. تخمین تعداد نرون‌های لایه پنهان عموماً به‌وسیله آزمون و خطا انجام می‌شود که وقت‌گیر بوده و با خطا همراه است. لذا روش‌های بهینه‌سازی از قبیل الگوریتم ژنتیک<sup>۲</sup> (GA) جهت غلبه بر این مشکل ذاتی شبکه‌های عصبی و به دست آوردن تعداد بهینه نرون‌ها در لایه پنهان مورد استفاده قرار می‌گیرند. الگوریتم ژنتیک الهام گرفته از طبیعت است و مفاهیم اصلی آن شامل عملگرهای سه‌گانه انتخاب<sup>۳</sup>، آمیزش<sup>۴</sup> و جهش<sup>۵</sup> بوده که در مورد دستگاه‌های مصنوعی به‌کار می‌روند (۴، ۱۲).

صالحی و همکاران (۲۰۱۵) به‌منظور پیشگویی کاهش وزن، کاهش آب و جذب مواد جامد، در طی خشک‌کردن اسمزی زردآلو، از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمودند (۱۴).

1. Artificial Neural Network (ANN)
2. Genetic Algorithm (GA)
3. Selection
4. Crossover
5. Mutation

**مواد و روش ها**

**خشک کردن:** برای انجام آزمایش‌ها بادمجان از یک مزرعه واقع در گرگان تهیه گردید. برای انجام فرآیند ابتدا بادمجان‌ها به‌طور عمودی به قطعاتی با ضخامت ۰/۵ و ۱ سانتی‌متر برش داده شدند. ورقه‌های بادمجان بلافاصله پس از برش جهت پرتودهی مورد استفاده قرار گرفتند. جهت خشک کردن نمونه‌های برش خورده با سامانه مادون قرمز از متغیرهایی شامل توان‌های متفاوت لامپ (نورلامپ، ایران) مادون قرمز (۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات) در فواصل متغیر لامپ از نمونه (۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر) در دو ضخامت ۰/۵ و ۱ سانتی‌متر و طی مدت‌زمان ۱ تا ۱۸۰ دقیقه استفاده شد. تغییرات وزن نمونه‌ها در طی خشک شدن هر یک دقیقه توسط ترازوی دیجیتالی (لوترون جی ام ۳۰۰ پی، تایوان) با دقت ۰/۰۱ ثبت گردید. میزان کاهش وزن (WR)<sup>۱</sup> از طریق رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$WR = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

که در آن WR، درصد کاهش وزن ورقه‌های بادمجان،  $A_0$ : جرم اولیه نمونه (گرم) و  $A_t$ : جرم نمونه بعد از خشک شدن (گرم) است. آزمایش‌ها در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. برای رسم نمودارها از برنامه اکسل (۲۰۰۷) و برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار مینی تب ۱۶ در سطح معنی‌داری ۵ درصد استفاده شد.

**مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی:**

مدل‌سازی فرآیند خشک کردن بادمجان به روش مادون قرمز جهت پیشگویی درصد کاهش وزن به روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی، توسط شبکه‌های عصبی سه لایه پرسپترون پیشخور انجام پذیرفت. نرون‌ها در این نوع شبکه در سه لایه ورودی، پنهان و خروجی دسته‌بندی می‌شوند.

خروجی نرون‌های لایه پنهان و خروجی (y) از طریق افزایش بایاس<sup>۲</sup> به مجموع ورودی‌های وزن‌دار شده با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (۱۴).

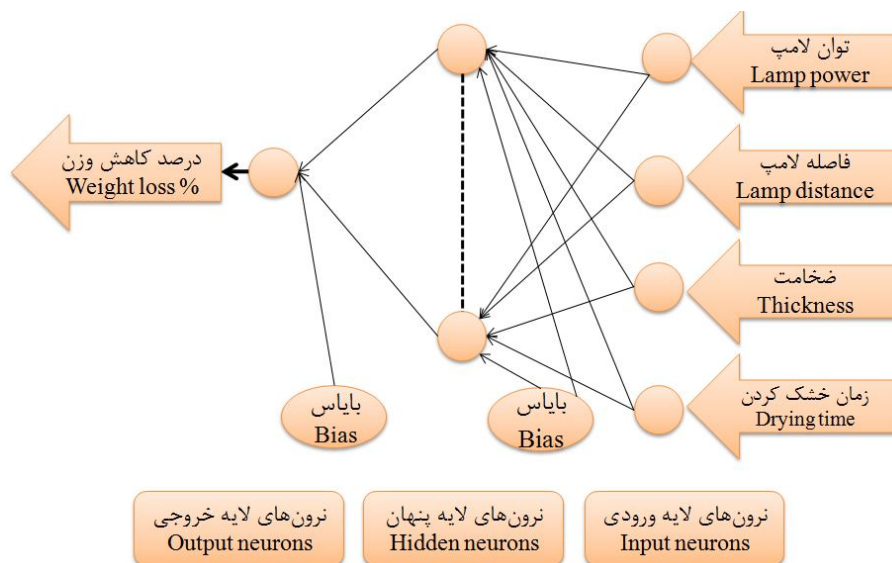
$$y_j = \sum_{i=1}^p f(W_{ij}x_i + b_j) \quad (2)$$

در رابطه فوق  $W_{ij}$  ضریب وزنی نرون شماره i است که به نرون شماره j متصل می‌باشد. p تعداد ورودی‌های هر نرون و  $b_j$  بردار بایاس نرون j است.

در این پژوهش چهار ورودی (توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ، مدت‌زمان خشک کردن و ضخامت ورقه‌های بادمجان) و یک خروجی (درصد کاهش وزن) در نظر گرفته شد (شکل ۱). تعداد نرون‌های لایه پنهان به نوع کاربرد و شرایط تعیین پارامترهای شبکه وابسته است. برای رسیدن به ترکیبی مناسب از تعداد نرون‌ها در لایه پنهان که حداقل خطا را در برداشته باشد، فرآیند بهینه‌سازی تعداد نرون‌ها در لایه پنهان شبکه عصبی به روش الگوریتم ژنتیک انجام گرفت. جمعیت اولیه برای تولید نسل‌ها ۱۰۰ و حداکثر تعداد نسل‌ها نیز ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. احتمال آمیزش و جهش بر اساس توصیه راهنمای نرم‌افزار نروسولوشن<sup>۳</sup> (نسخه ۶)، ۰/۹ و ۰/۰۱؛ و تعداد نرون‌ها جهت بهینه‌سازی ۱ تا ۳۰ عدد در نظر گرفته شد. از توابع فعال‌سازی<sup>۴</sup> خطی، سیگموئیدی<sup>۵</sup> (رابطه ۳) و تانژانت هیپربولیک<sup>۶</sup> (رابطه ۴) که متداول‌ترین نوع توابع فعال‌سازی هستند، در لایه پنهان و خروجی استفاده گردید. در این پژوهش روش بهینه‌سازی لوبنبرگ-مارکوت<sup>۷</sup> که یکی از پرکاربردترین قوانین یادگیری است، به‌منظور یادگیری شبکه مورد استفاده قرار گرفت (۴، ۱۷).

2. Bias
3. Neurosolution software (Excel software release 6.0), NeuroDimension, Inc., USA
4. Activation function
5. Sigmoid functions
6. Hyperbolic tangent function
7. Levenberg-Marquardt

**1. Weight Reduction**



شکل ۱- ساختار شمایک ورودی و خروجی‌های شبکه عصبی مصنوعی سه لایه (۴/ن/۱).  
Figure 1- Three-layer artificial neural network inputs and output structure (4/n/1).

بادمجان دارد و با افزایش توان لامپ، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، در یک فاصله ثابت از نمونه‌ها و در مدت زمان ۱۵ دقیقه، با افزایش توان لامپ از ۱۵۰ به ۳۷۵ وات، مقدار کاهش وزن از ۳۱/۰۸ به ۹۲/۴۴ درصد افزایش یافت (فاصله ۵ سانتی‌متر و ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر). آکپینار و بیسر (۲۰۰۵) رفتار خشک شدن ورقه‌های بادمجان (ضخامت ۶ میلی‌متر) در خشک کردن هوای داغ را بررسی و گزارش کردند زمان رسیدن به مقدار رطوبت ۰/۰۴ درصد بر پایه وزن خشک در شرایط مختلف خشک کردن بین ۱۸۰ تا ۳۴۰ دقیقه است (۲). امیری چایجان و همکاران (۲۰۱۳) از یک خشک‌کن مادون‌قرمز با توان‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ وات جهت خشک کردن پسته استفاده کردند (۳). نتایج حاکی از افزایش نفوذپذیری رطوبت با افزایش توان مادون‌قرمز است. همچنین افزایش توان مادون‌قرمز اثر معنی‌داری بر کاهش زمان خشک شدن پسته داشت (۳).

$$\text{Sig} = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

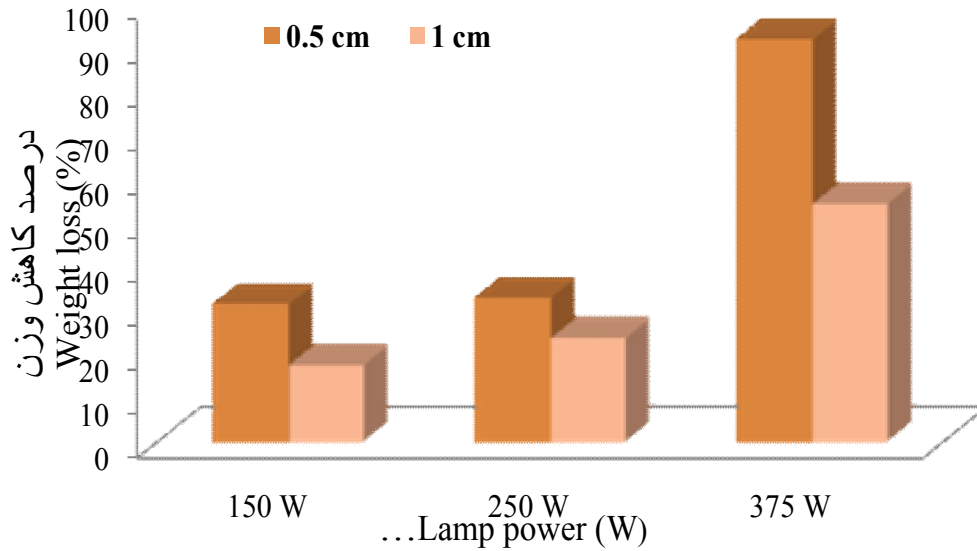
$$\text{tanh} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

به منظور ارزیابی شبکه عصبی مورد بررسی و پیشگویی پارامترها از شاخص ضریب همبستگی<sup>۱</sup> استفاده گردید (۱۷). نرم‌افزار نروسولوشن جهت مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی استفاده گردید. در این نرم‌افزار با تغییر نوع تابع فعال‌سازی (تانژانت هیپربولیک، سیگموئیدی و خطی)؛ تعداد داده‌های استفاده شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی و قاعده یادگیری لوبنبرگ-مارکوت، بهترین ساختار<sup>۲</sup> شبکه جهت دستیابی به شبکه بهینه بررسی شد.

## نتایج و بحث

**خشک کردن:** جهت بررسی اثر توان لامپ مادون‌قرمز بر سرعت خشک شدن برش‌های بادمجان، از سه لامپ مادون‌قرمز با توان‌های ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات استفاده گردید. نتایج نشان داد که تغییر توان لامپ اثر معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) بر خروج آب از برش‌های

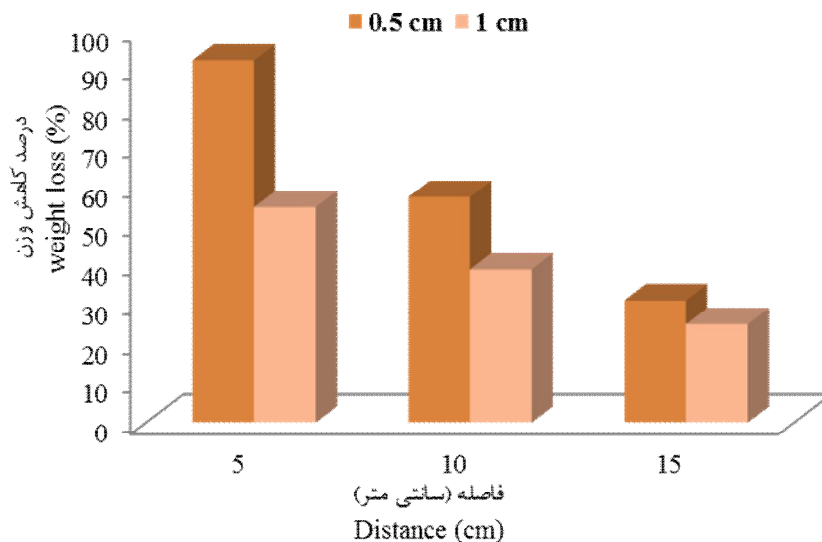
1. Correlation coefficient (r)
2. Topology



شکل ۲- تأثیر توان لامپ مادون قرمز بر درصد کاهش وزن بادمجان (۱۵ دقیقه اعمال پرتو و ۵ سانتی متر فاصله)  
 Figure 2- Effect of infrared lamp power on eggplant weight loss (15 min and 5 cm distance)

(شکل ۳). برای نمونه بادمجان با قطر ۰/۵ سانتی متر با افزایش فاصله لامپ ۳۷۵ وات از ۵ به ۱۵ سانتی متر، کاهش وزن از ۹۲/۴۴ به ۳۱/۱۵ درصد رسید.

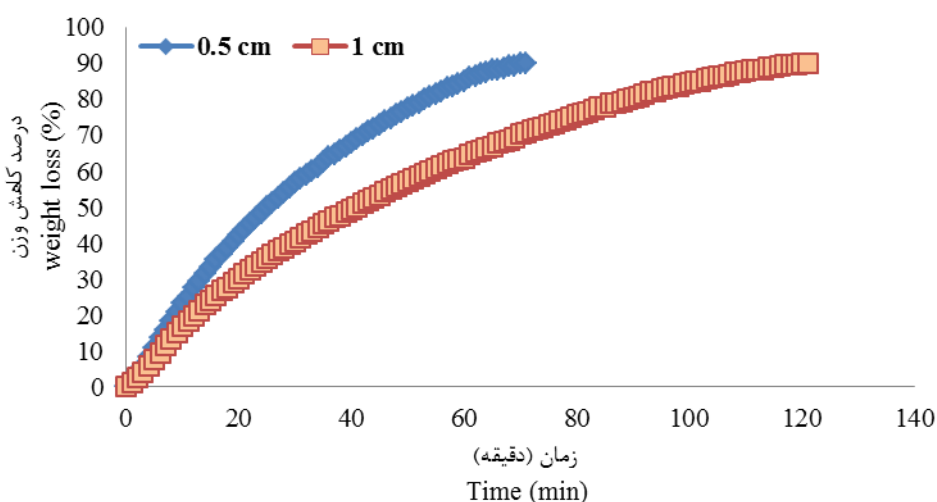
تغییر فاصله لامپ مادون قرمز از نمونه‌ها بر مقدار کاهش وزن برش‌های بادمجان در این پژوهش اثر معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) داشت (شکل ۳). با افزایش فاصله نمونه‌ها از منبع مادون قرمز، زمان خشک شدن و درصد کاهش رطوبت نمونه‌های بادمجان کاهش یافت



شکل ۳- تأثیر فاصله لامپ مادون قرمز از ورقه‌های بادمجان بر درصد کاهش وزن (۱۵ دقیقه اعمال پرتو و توان ۳۷۵ وات)  
 Figure 3- Effect of infrared lamp distance from eggplant slice on weight loss (15 min and 375 W)

مادون قرمز و با استفاده از لامپ ۲۵۰ وات، بعد از ۱۲۰ دقیقه، تغییر محسوسی در وزن ورقه‌های بادمجان با ضخامت ۱ سانتی‌متر مشاهده نشد. داس و همکاران (۲۰۰۴) در طی خشک کردن برنج با اشعه مادون قرمز به نتایج مشابهی دست یافتند و گزارش کردند شدت اشعه و عمق بستر نمونه‌ها تأثیر معنی‌داری بر کارایی خشک کردن و کیفیت نهایی محصول می‌گذارند (۵).  
اجرای مطالعات تخمینی خشک کردن هویج و سیب‌زمینی توسط هبار و همکاران (۲۰۰۴) با سیستم هوای گرم و مادون قرمز و همچنین به صورت ترکیبی نشان داد در خشک کردن ترکیبی کاهش ۴۸ درصدی در زمان خشک شدن و ۶۳ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی حاصل می‌شود (۹). همچنین پیشنهاد شد خشک‌کن‌های تجاری هوای گرم می‌توانند به صورت مناسبی با سامانه مادون قرمز اصلاح شوند (۹).

با افزایش ضخامت ماده غذایی کاهش همزمانی در قابلیت انتقال امواج و افزایش در قابلیت جذب روی می‌دهد؛ بنابراین برای فراوری توسط پرتو مادون قرمز، محصولات با ضخامت کم توصیه شده‌اند (۹). افزایش ضخامت برش‌های بادمجان اثر معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) بر مقدار کاهش وزن آن‌ها در طی پرتو دهی دارد و با افزایش ضخامت نمونه‌ها، زمان خشک شدن افزایش می‌یابد. در شکل ۴ اثر مدت زمان خشک کردن ورقه‌های بادمجان توسط سامانه مادون قرمز بر درصد کاهش وزن نمونه‌ها نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با کاهش ضخامت نمونه‌ها، زمان خشک شدن کاهش یافت و نمونه‌های با قطر ۰/۵ سانتی‌متر، نسبت به نمونه‌های ضخیم‌تر (۱ سانتی‌متر)، زودتر خشک شدند. با افزایش زمان خشک شدن نیز مقدار رطوبت خارج شده از نمونه‌ها افزایش یافت. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در فاصله ۵ سانتی‌متری از منبع



شکل ۴. تأثیر مدت زمان خشک کردن ورقه‌های بادمجان توسط سامانه مادون قرمز بر درصد کاهش وزن (۵ سانتی‌متر فاصله و ۲۵۰ وات)

Figure 4- Effect of drying time of eggplant slice using infrared system on weight loss (5 cm distance and 250 W)

طی خشک کردن بادمجان به روش مادون قرمز از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی

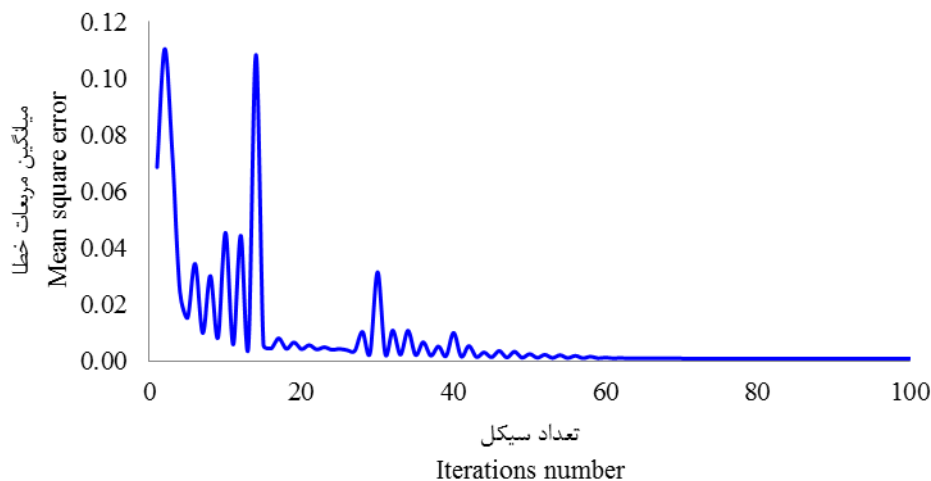
نتایج مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی: به منظور پیشگویی درصد کاهش وزن در

داده‌ها به منظور ارزیابی شبکه استفاده گردیدند. براساس نتایج این پژوهش شبکه عصبی مصنوعی دارای ۱۴ نرون در لایه پنهان می‌تواند به خوبی درصد کاهش وزن ( $R^2=0/99$ ) در طی خشک کردن به روش مادون قرمز را پیشگویی نماید.

مقدار میانگین مربعات خطا در برابر تعداد نسل‌های تشکیل شده، در شکل ۵ به نمایش درآمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در همان نسل‌های اول مقدار خطا کاهش می‌یابد و بعد از تشکیل حدود ۶۰ نسل، مقدار خطا به مقدار ثابتی می‌رسد.

استفاده گردید. توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ، مدت زمان خشک کردن و ضخامت ورقه‌های بادمجان به عنوان ورودی‌های شبکه و درصد کاهش وزن به عنوان خروجی شبکه انتخاب گردید. با توجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده تابع فعال‌سازی سیگموئیدی 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 ۲۰ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها است. ۲۰ درصد داده‌ها نیز برای آزمون شبکه آموزش دیده و ۶۰ درصد باقی‌مانده



شکل ۵- مقادیر میانگین مربعات خطا به عنوان تابعی از تعداد نسل‌های تشکیل شده  
Figure 5- Mean square error values as a function of the learning iterations number

نشان‌دهنده کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی است. به منظور بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تأثیرگذارترین عامل، آزمون آنالیز حساسیت<sup>۱</sup> بر روی شبکه بهینه انجام شد. همان‌طوری که در شکل ۷ مشاهده می‌شود در میان متغیرهای ورودی، توان لامپ مادون قرمز به عنوان مؤثرترین عامل در پیشگویی درصد کاهش وزن طی خشک کردن بادمجان به روش مادون قرمز است.

هدف از فرآیند آموزش شبکه عصبی مصنوعی به دست آوردن بردارهای وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه است. در جدول ۱، مقادیر وزن و بایاس متناظر با هر نرون برای شبکه عصبی دارای ۱۴ نرون در لایه پنهان آورده شده است.

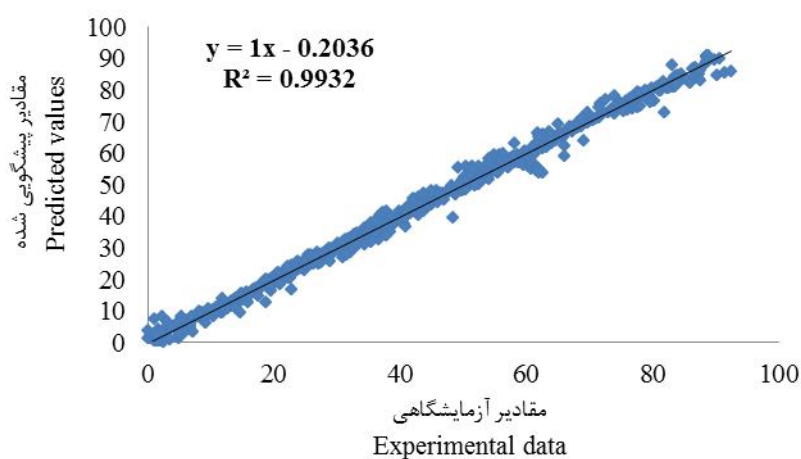
مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی (۶۰ درصد داده استفاده نشده توسط شبکه) و پیشگویی شده درصد کاهش وزن توسط شبکه عصبی بهینه (۴/۱۴/۱) در شکل ۶ نشان داده شده است. مقدار بالای ضریب همبستگی

## 1. Sensitivity Analysis



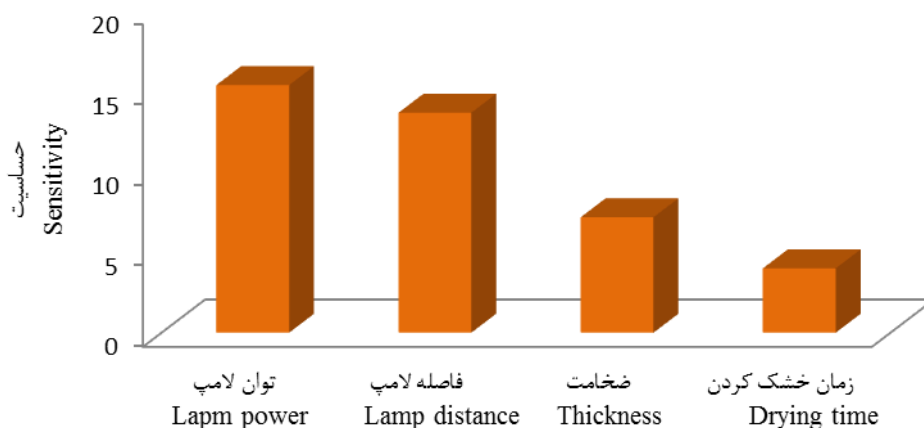
Table 1- The weights and bias values of optimized neural network

نرون خروجی Output neurons		نرون‌های ورودی Input neurons			بایاس Bias	نرون لایه پنهان Hidden neurons
درصد کاهش وزن Weight loss %	زمان خشک کردن Drying time	ضخامت Thickness	فاصله لامپ Lamp distance	توان لامپ Lamp power		
0.1256	0.3652	3.6325	1.0256	-0.3652	1.2389	1
1.2654	0.8526	-0.0238	0.5586	-2.4265	-2.3562	2
-0.0658	1.8624	1.9857	1.4507	1.3413	-2.0478	3
0.3658	1.2082	-1.1256	3.9831	-0.0928	-1.6343	4
0.1457	1.1661	-0.6352	-0.0238	-3.1688	2.0515	5
1.2645	0.2564	1.1245	1.0265	-0.9685	-1.4308	6
-2.0325	0.1661	-3.8096	-0.1489	1.3113	-2.0238	7
1.2564	5.1063	-0.9685	0.8956	0.1928	1.2310	8
3.6524	-1.3265	-0.5130	1.1129	-0.3665	0.1112	9
0.1936	0.0238	-2.4265	0.6324	0.7313	0.5684	10
3.5682	-1.6582	1.1043	-2.7924	1.3906	0.3256	11
0.5384	-0.7208	0.6987	1.3265	-3.8096	2.8954	12
2.3265	1.2658	-1.6251	-0.7208	-0.9685	4.1043	13
1.9865	1.9654	1.3524	1.4715	-1.6582	2.9857	14
-0.9865						بایاس Bias



شکل ۶- مقادیر تجربی داده‌های ارزیابی در برابر مقادیر پیشگویی شده درصد کاهش وزن طی خشک کردن بادمجان به روش مادون قرمز

Figure 6- Experimental data versus predicted values for weight loss during drying of eggplant using infrared method



شکل ۷- نتایج آنالیز حساسیت مدل‌سازی خشک کردن بادمجان به روش مادون قرمز

Figure 7- Sensitivity analysis of results from modeling the eggplant drying by infrared method

در این پژوهش، همچنین از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی جهت پیشگویی درصد کاهش وزن به‌عنوان تابعی از توان لامپ مادون قرمز، فاصله نمونه از لامپ، ضخامت ورقه‌های بادمجان و زمان خشک کردن (ورودی‌های شبکه) در طی خشک کردن به روش مادون قرمز استفاده گردید. از روش الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی تعداد نرون‌ها در لایه مخفی شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. نتایج نشان داد شبکه دارای ۱۴ نرون در یک لایه پنهان و استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئیدی در لایه پنهان و خروجی به‌خوبی قادر به پیشگویی درصد کاهش وزن با ضریب همبستگی بالا (۰/۹۹) می‌باشد. نتایج آنالیز حساسیت، توان لامپ مادون قرمز را به‌عنوان مؤثرترین پارامتر بر تغییر درصد کاهش وزن بادمجان معرفی نمود.

### نتیجه‌گیری کلی

یکی از محدودیت‌های اصلی نگهداری بادمجان، مدت‌زمان کوتاه ماندگاری این محصول است. خشک کردن یکی از روش‌هایی است که با کمک آن می‌توان مدت‌زمان ماندگاری این محصول را افزایش داد. در این پژوهش اثر توان لامپ مادون قرمز، فاصله نمونه از لامپ و ضخامت ورقه‌های بادمجان بر درصد کاهش وزن طی خشک شدن به روش مادون قرمز مورد بررسی قرار گرفت. هر سه متغیر ذکر شده بر مقدار خروج آب و کاهش وزن مؤثر بودند. با افزایش توان لامپ مادون قرمز و کاهش فاصله نمونه از لامپ و همچنین کاهش ضخامت ورقه‌های بادمجان، مقدار رطوبت خارج شده از نمونه‌ها افزایش و در نتیجه سرعت خشک شدن افزایش یافت.

### منابع

1. Afzal, M.T.T., and Hilida, Y. 1999. Energy and quality aspect during combined FIR convection drying of barely. *Journal of Food Engineering*. 42: 177-188.
2. Akpınar, E.K., and Bicer, Y. 2005. Modeling of the drying of eggplants in thin-layers. *International Journal of Food Science and Technology*. 40: 273-281
3. Amiri Chayjan, R., Tabatabaei Bahrabad, S.M., and Rahimi, S.F. 2013. Modeling infrared-convective drying of pistachio nuts under fixed and fluidized bed conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*. 38: 1224-1233.

4. BahramParvar, M., Salehi, F., and Razavi, S.M.A. 2014. Predicting total acceptance of ice cream using artificial neural network. *Journal of Food Processing and Preservation*. 38: 3.1080-1088.
5. Das, I., Das, S., and Satish, K. 2004. Specific energy and quality aspects of infrared (IR) dried. *Journal of Food Engineering*. 62: 9-14
6. Doymaz, I. 2011. Drying of eggplant slices in thin layers at different air temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*. 35 (2): 280-289.
7. Erenturk, S., and Erenturk, K. 2007. Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot. *Journal of Food Engineering*. 78: 905-912.
8. Ertekin, C., and Yaldiz, O. 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*. 63: 349-359.
9. Hebbbar, H.U., Vishwanathan, K.H., and Ramesh, M.N. 2004. Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*. 65: 557-563.
10. Lertworasirikul, S., and Saetan, S. 2010. Artificial neural network modeling of mass transfer during osmotic dehydration of kaffir lime peel. *Journal of Food Engineering*. 98: 214-223.
11. Nimmol, C. 2010. Vacuum far-infrared drying of foods and agricultural materials, *The Journal of the King Mongkut's University of Technology North Bangkok*. 20: 37-44.
12. Ramzi, M., Kashaninejad, M., Salehi, F., Sadeghi Mahoonak, A.R., and 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.
13. Rastogi, N.K. 2012. Recent trends and developments in infrared heating in food processing. *Critical Review in Food Science and Nutrition*. 52: 737-760.
14. Salehi, F., Abbasi Shahkoh, Z., and Godarzi, M. 2015. Apricot osmotic drying modeling using genetic algorithm- artificial neural network. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*. 7: 65-76.
15. Salehi, F., Kashaninejad, M., Asadi, F., and Najafi, A. 2016a. Improvement of quality attributes of sponge cake using infrared dried button mushroom. *Journal of Food Science and Technology*. 53: 1418-1423.
16. Salehi, F., Kashaninejad, M., and Jafarianlari, A. 2017. Drying kinetics and characteristics of combined infrared-vacuum drying of button mushroom slices. *Heat Mass Transfer*. 53: 1751-1759.
17. Salehi, F., and Razavi, S.M.A. 2016b. Modeling of waste brine nanofiltration process using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Desalination and Water Treatment*. 57: 14369-14378.

## Modeling of Eggplant Drying Process by Infrared System using Genetic Algorithm–Artificial Neural Network Method

F. Salehi<sup>1\*</sup>, A. Asadi Amirabadi<sup>2</sup> and M. Kashaninejad<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor, Department of Food Industry Machines, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>2</sup>M.Sc. graduate, Faculty of Food Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

<sup>3</sup>Professor, Faculty of Food Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 2014/10/25; Accepted: 2015/01/05

### Abstract

**Background and objectives:** Due to low energy efficiency and prolonged drying time of agricultural products by conventional methods, application of the new techniques must be investigated. One of the new techniques in food drying is employing the infrared radiation systems that increase the drying rate, enhance the final product quality, and decrease the process costs. In this study, the thin-layer drying behavior of eggplant slices in an infrared dryer (IR) was investigated.

**Materials and methods:** The effect of infrared lamp power (150, 250 and 375 watt), distance of sample from lamp (5, 10 and 15 cm), samples thickness (0.5 and 1 cm) and drying time on drying of eggplant slices were examined. For measuring the weight of the samples during experimentation without taking them out of the dryer, the tray with samples was suspended on the digital balance. Also, in this study, process modeling was done with the genetic algorithm–artificial neural network (GA-ANN) method with 4 inputs (power and lamp distance, sample thickness and drying time) and 1 output for prediction of weight reduction.

**Results:** The results of infrared drying of eggplant showed that with increasing in lamp power and decreases in sample distance from the heat source, the drying rate increases. Increases in eggplant slice thickness had significant effect on weight loss during irradiation ( $p < 0.05$ ) and with increases in sample thickness, drying time increased. With increasing in drying time, amount of evaporated moisture was increased. With increase in infrared power from 150 to 375 watts, weight loss increased from 31.08 to 92.44%. With increase in lamp distance from 5 to 15 cm, weight loss decreased from 92.44 to 31.15%. Due to the lower error value obtained by using the sigmoid activation function, this type of function was selected as the activation function on the hidden and output layer. Based on the test and error method, if 20% of the data is used for training, the network is well able to learn the relationships between inputs and outputs. 20% of the data was used for validating the trained network. The remaining 60 percent of the data was also used to testing the network.

**Conclusion:** The GA-ANN modeling results showed a network with 14 neurons in one hidden layer with using sigmoid function can be well predict the weight loss in eggplant drying by infrared system ( $R=0.99$ ). Sensitivity analysis results by optimum ANN showed the infrared power was the most sensitive factor for controlling the weight loss of samples.

**Keywords:** Eggplant, Genetic algorithm, Infrared, Prediction, Sensitivity analysis.

---

\*Corresponding author: F.Salehi@Basu.ac.ir