

مدل سازی فرایند خشک کردن قارچ دکمه‌ای توسط سامانه مادون قرمز

فخرالدین صالحی^{۱*}، مهدی کاشانی نژاد^۲، علیرضا صادقی ماهونک^۲، امان محمد ضیائی^۲

۱. استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده فنی و منابع طبیعی تویسرکان، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲. دانشیار، دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۲۵، تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۱۰)

چکیده

قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) به‌عنوان یک ماده غذایی، با ارزش تغذیه‌ای بالا، بین ۲۵ گونه قارچ خوراکی، حدود ۴۰٪ از سهم بازار را به خود اختصاص داده است. در این مطالعه جهت خشک کردن و افزایش زمان ماندگاری این محصول، از روش پرتودهی مادون قرمز (IR) استفاده گردید. لذا اثر توان لامپ مادون قرمز به میزان ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات، فاصله نمونه از لامپ به اندازه ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر، ضخامت نمونه‌ها به میزان ۰/۵ و ۱ سانتی‌متر و در مدت زمان ۱۲۰ دقیقه بر خشک کردن قارچ دکمه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج خشک کردن قارچ دکمه‌ای به روش مادون قرمز نشان داد که با افزایش توان لامپ و کاهش فاصله نمونه‌ها از منبع حرارتی، سرعت خشک کردن افزایش می‌یابد. سرعت خشک شدن، با افزایش توان لامپ مادون قرمز از ۱۵۰ به ۳۷۵ وات و کاهش ضخامت نمونه‌ها از ۱ به ۰/۵ سانتی‌متر، به ترتیب ۱۰۴/۹ و ۱۵/۸ درصد افزایش یافت. با افزایش زمان فرایند خشک شدن، مقدار کاهش وزن نمونه‌ها نیز زیاد شد. در این پژوهش همچنین مدل‌سازی فرایند به روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی با ۴ ورودی توان، فاصله لامپ، ضخامت نمونه و زمان خشک کردن و ۱ خروجی جهت پیش‌گویی کاهش وزن انجام شد. نتایج مدل‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که شبکه‌ای با تعداد ۱۱ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک، می‌توان به خوبی درصد کاهش وزن در طی فرایند خشک کردن قارچ دکمه‌ای به روش مادون قرمز را پیش‌گویی نمود ($R=0/99$). نتایج آنالیز حساسیت، توسط شبکه عصبی بهینه نشان داد که فاصله لامپ مادون قرمز از ورقه‌های قارچ به‌عنوان موثرترین عامل در کنترل کاهش وزن نمونه‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، آنالیز حساسیت، پیش‌گویی، قارچ دکمه‌ای، مادون قرمز.

۱- مقدمه

حرارتی برای خشک کردن بسیاری از محصولات کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. پرتو مادون قرمز بخشی از طیف الکترومغناطیسی بوده و به سه دسته مادون قرمز نزدیک، متوسط و دور به ترتیب با دامنه $۰/۷۵-۱/۴$ ، $۳-۱/۴$ و $۱۰۰۰-۳$ میکرومتر تقسیم می‌شود. پرتوهای مادون قرمز در مقایسه با روش‌های حرارت دهی متداول دارای مزایای متعدد و کیفیت محصول خشک شده بالاتر است. در این روش زمان فرایند کوتاه‌تر و میزان مصرف انرژی کم‌تر می‌باشد. هم‌چنین می‌توان اندازه و حجم تجهیزات مورد استفاده را کاهش داد و امکان پایش پارامترهای فراوری نیز وجود دارد [۹-۱۰]. جذب پرتو توسط مواد غذایی به‌طور عمده به میزان آب، ضخامت و ماهیت فیزیکی شیمیایی محصول بستگی دارد.

افضل و همکاران (۱۹۹۹) میزان مصرف انرژی و کیفیت جو خشک شده را در دو خشک‌کن همرفتی و ترکیبی مادون قرمز و هوای داغ مقایسه نمودند. این محققان گزارش کردند که استفاده از اشعه مادون قرمز در خشک‌کن همرفتی باعث افزایش سرعت خشک شدن و کاهش قابل توجه انرژی مصرفی نسبت به خشک‌کن همرفتی بدون استفاده از اشعه مادون قرمز می‌شود [۱۱].

امروزه با توسعه فناوری‌های پردازش رایانه‌ای، از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) به‌طور گسترده‌ای به منظور مدل‌سازی فرایندهای صنایع غذایی و پیش‌گویی پارامترهای مورد نظر در طراحی و توسعه سیستم‌ها استفاده می‌شود. شبکه‌های عصبی قادر به مدل‌سازی سیستم‌های غیر خطی و پیچیده با تعداد زیادی داده ورودی و خروجی می‌باشند و در اکثر موارد نتایج قابل قبولی توسط محققان گزارش شده است [۱۲].

توانایی پیش‌گویی یک شبکه عصبی به ساختار آن (نوع تابع فعال‌سازی، تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌های لایه پنهان) وابستگی کامل دارد. تخمین تعداد نرون‌های لایه پنهان به‌طور عمومی به‌وسیله آزمون و خطا انجام می‌شود که زمان‌بر بوده و دارای خطا می‌باشد. لذا روش‌های بهینه‌سازی از قبیل الگوریتم ژنتیک^۲ در جهت غلبه بر این مشکل ذاتی شبکه‌های عصبی و به‌دست آوردن تعداد بهینه نرون‌ها در لایه پنهان مورد

کاهش مقدار آب موجود در محصولات کشاورزی یکی از روش‌های نگهداری مواد غذایی است که مورد توجه بشر بوده است. گرچه استفاده از هوای داغ در خشک کردن روش مرسوم است، اما اثرات سوئی بر کیفیت محصول از جمله تغییر رنگ و سفتی بافت محصول خشک شده می‌گذارد. به همین علت می‌بایست از روش‌های دیگری برای بهبود کیفیت محصول نهایی استفاده نمود [۱].

استفاده از قارچ به‌عنوان یک ماده غذایی دارای قدمت زیادی است. در بین وارثه‌های متفاوت قارچ، کم‌تر از ۲۵ گونه به‌عنوان غذا پذیرفته شده و تعداد کمی دارای اهمیت تجاری هستند [۲-۳]. قارچ دکمه‌ای در بین انواع قارچ‌ها به‌طور گسترده‌تری در جهان کشت و مصرف می‌شود و سهمی در حدود ۴۰٪ از تولید جهانی قارچ را به خود اختصاص می‌دهد. قارچ‌ها پس از برداشت به‌دلیل عدم وجود کوتیکول، سرعت بالای تنفس، رطوبت زیاد و فعالیت آنزیمی شدید، دارای ماندگاری کم‌تری نسبت به سایر سبزی‌ها بوده، به سرعت فاسد و بلافاصله پس از برداشت تغییر رنگ آن‌ها آغاز می‌شود. جهت افزایش ماندگاری، قارچ‌های خوراکی باید تحت فرایند قرار گیرند. از این رو محققین روش‌های مختلفی نظیر استفاده از بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته، منجمد کردن، خشک کردن، تیمار با محلول‌های آبی حاوی ترکیبات مهارکننده فعالیت آنزیمی و بلانچ کردن را جهت نگهداری و افزایش زمان ماندگاری قارچ مورد بررسی قرار داده‌اند [۴]. کاهش رطوبت محصول در فرایند خشک کردن یکی از معمول‌ترین روش‌هایی است که برای قارچ‌های دکمه‌ای مورد استفاده قرار گرفته و برای انجام این فرایند از خشک‌کن‌های مختلفی از قبیل خشک‌کن هوای داغ، انجمادی، بستر سیال و خورشیدی استفاده شده است [۵-۷]. با استفاده از روشی مناسب جهت کاهش رطوبت محصول، می‌توان خطر آلودگی آن را کاهش و مدت نگهداری را طولانی‌تر و هم‌چنین هزینه نگهداری و حمل و نقل را کاهش داد [۸]. لذا بررسی و یافتن یک روش مناسب برای خشک کردن قارچ خوراکی که باعث تولید محصولی با کیفیت بالا شود، ضروری می‌باشد.

امروزه پرتوهای مادون قرمز (IR) به‌عنوان منبع انرژی

1. Artificial Neural Network (ANN)

2. Genetic Algorithm (GA)

به میزان ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات در فواصل متغیر ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. تغییرات وزن نمونه‌ها در طی خشک شدن در زمان‌های ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ دقیقه توسط ترازوی دیجیتال (Sartorius, Canada) با دقت ۰/۰۰۱ ثبت گردید. میزان کاهش وزن (WR)^۵، از طریق معادله زیر محاسبه گردید.

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

WR: درصد کاهش وزن ورقه‌های قارچ

A_0 : جرم اولیه نمونه (gf)

A_t : جرم نمونه بعد از خشک شدن (gf)

آزمایش‌ها در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. برای رسم نمودارها از برنامه (۲۰۰۷) Excel و برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار Minitab ۱۶ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ استفاده شد.

۲-۲- مدل سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی

مدل سازی فرایند خشک کردن قارچ دکمه‌ای 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 به مجموع ورودی‌های وزن دار شده با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود [۱۳].

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

در معادله فوق W_{ij} ضریب وزنی نرون شماره i که به نرون شماره j متصل است، می‌باشد. p تعداد ورودی‌های هر نرون و b_j بردار بایاس^۶ نرون j است.

در این مطالعه چهار ورودی توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ، مدت زمان خشک کردن و ضخامت ورقه‌های قارچ و یک خروجی، درصد کاهش وزن، در نظر گرفته شد (شکل ۱). تعداد نرون‌های لایه پنهان، وابستگی کامل به نوع کاربرد و شرایط

استفاده قرار گیرند. الگوریتم ژنتیک الهام گرفته از طبیعت و بر این اساس که بهترین‌ها حق بقا دارند، شکل گرفته است. مفاهیم اصلی GA شامل عملگرهای سه گانه انتخاب^۱، آمیزش^۲ و جهش^۳ که در مورد سیستم‌های مصنوعی به کار می‌روند، می‌باشد. [۱۴-۱۲].

صالحی و همکاران (۱۳۹۲) به منظور پیش‌گویی کاهش وزن، آب و جذب مواد جامد، در طی خشک کردن اسمز زردآلو، از مدل سازی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمودند. نتایج این محققان نشان داد که بهترین مدل برای پیش‌گویی پارامترهای فوق دارای ۱ لایه پنهان و ۱۴ نرون در هر لایه می‌باشد [۱].

تعداد مطالعات محدودی در خصوص کاربرد مدل سازی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی برای مدل سازی فرایندهای خشک کردن مواد غذایی گزارش شده است. لذا هدف این تحقیق بررسی اثر عوامل مختلف هم‌چون توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ، ضخامت ورقه‌های قارچ و مدت زمان خشک کردن، بر خشک کردن قارچ دکمه‌ای به روش مادون قرمز و مدل سازی انتقال جرم فرایند با استفاده از مدل سازی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

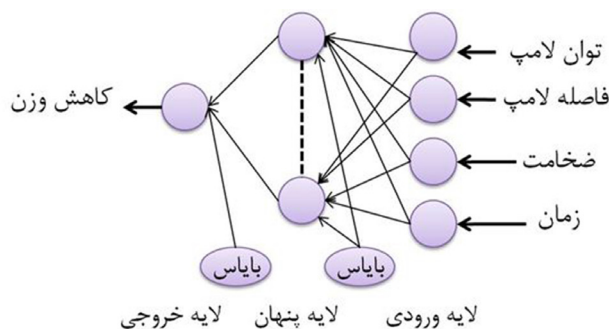
۲-۱- خشک کردن

قارچ‌های دکمه‌ای سفید به صورت روزانه از چین‌های اول و دوم، به دلیل کیفیت بالاتر و رنگ روشن‌تر، تهیه و در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌شدند. قارچ‌ها با قطر کلاهک ۵ سانتی‌متر جدا و پس از حذف پایه با آب سرد شستشوی سطحی داده شدند. سپس آب سطحی آن‌ها توسط دستمال تمیز گرفته شد. در نهایت با یک چاقوی تیز، قارچ‌ها به‌طور عمودی به ورقه‌هایی در ضخامت ۰/۵ و ۱ سانتی‌متر برش داده شدند. ورقه‌های قارچ بلافاصله پس از برش جهت پرتودهی مورد استفاده قرار می‌گرفتند.

جهت خشک کردن نمونه‌های برش خورده با سامانه مادون قرمز از متغیرهایی شامل توان‌های متفاوت لامپ مادون قرمز^۴

5. Weight Reduction
6. Bias

1. Selection
2. Crossover
3. Mutation
4. Infrared Heat Lamp (NIR), Noor Lamp Company, Iran



شکل (۱) ساختار شماتیک ورودی و خروجی‌های شبکه عصبی مصنوعی سه لایه (۴/۱/۱).

تابع فعال‌سازی به تانژانت هیپربولیک، سیگموئیدی و خطی، تعداد داده‌های استفاده شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی و قاعده یادگیری لیونبرگ-مارکت^۶، بهترین ساختار^۷ شبکه جهت دستیابی به شبکه بهینه بررسی شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خشک کردن

جهت بررسی اثر توان لامپ مادون قرمز بر سرعت خشک شدن برش‌های قارچ دکمه‌ای سفید، از سه لامپ مادون قرمز 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 قارچ 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 ۴۰ دقیقه، با افزایش توان لامپ از ۱۵۰ به ۳۷۵ وات، مقدار کاهش وزن ۱۰۴/۹ درصد افزایش می‌یابد (ضخامت ۱ سانتی‌متر). امیری چایجان و همکاران (۲۰۱۳) از یک خشک‌کن مادون قرمز با توان‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ وات جهت خشک کردن پسته استفاده کردند. نتایج حاکی از افزایش نفوذپذیری رطوبت با افزایش توان مادون قرمز می‌باشد. همچنین توان مادون قرمز اثر معنی‌داری بر زمان خشک شدن پسته دارد و با افزایش توان، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد [۱۵].

نتایج حاکی از معنی‌دار بودن ($p < 0.05$) اثر تغییر فاصله لامپ از نمونه‌ها، بر مقدار کاهش وزن برش‌های قارچ دارد و با کاهش فاصله لامپ، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. در شکل ۳ اثر

تعیین پارامترهای شبکه دارد. برای رسیدن به ترکیبی مناسب از تعداد نرون‌ها در لایه پنهان که حداقل خطا را دربر داشته باشد، فرایند 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 نسل در نظر گرفته شده است. احتمال آمیزش و جهش بر اساس توصیه راهنمای نرم افزار نروسولوشن^۱ (نسخه ۶)، ۰/۹ و ۰/۰۱ و تعداد نرون‌ها جهت بهینه‌سازی ۱ تا ۳۰ عدد در نظر گرفته شد. از توابع فعال‌سازی خطی^۲، سیگموئیدی^۳ (رابطه ۳) و تانژانت هیپربولیک^۴ (رابطه ۴) که متداول‌ترین نوع توابع فعال‌سازی هستند، در لایه پنهان و خروجی استفاده گردید. در این پژوهش روش بهینه‌سازی لونیبرگ-مارکوت که یکی از پر کاربردترین قوانین یادگیری است، به منظور یادگیری شبکه مورد استفاده قرار گرفت [۱۴-۱۲]

$$\text{Sig} = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3)$$

$$\text{tanh} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (4)$$

به منظور ارزیابی شبکه عصبی استفاده شده جهت پیش‌گویی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص ضریب همبستگی^۵ استفاده گردید [۱۳]. نرم افزار نروسولوشن جهت مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی استفاده شد. در این نرم افزار با تغییر نوع

1. Neurosolution software (Excel software release 6.0),

NeuroDimension, Inc., USA

2. Activation function

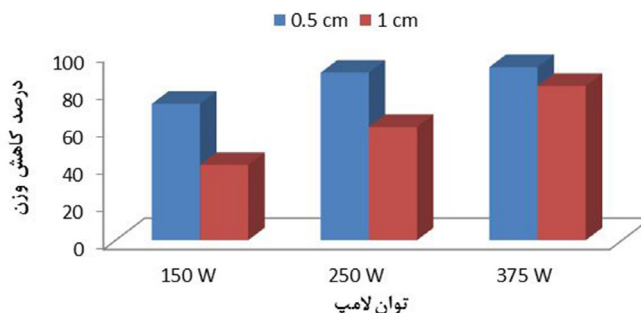
3. Sigmoid functions

4. Hyperbolic tangent function

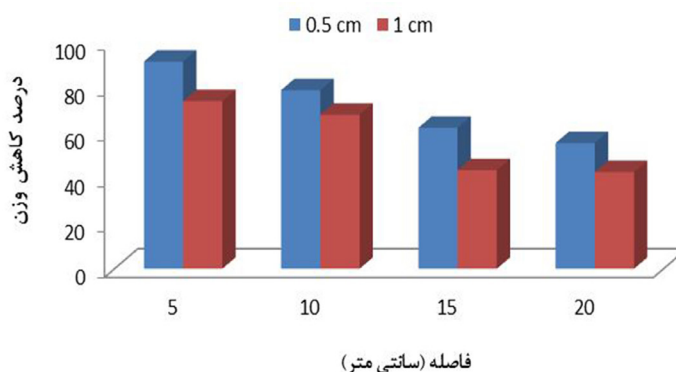
5. Correlation coefficient (r)

6. Levenberg-Marquardt (LM)

7. Topology



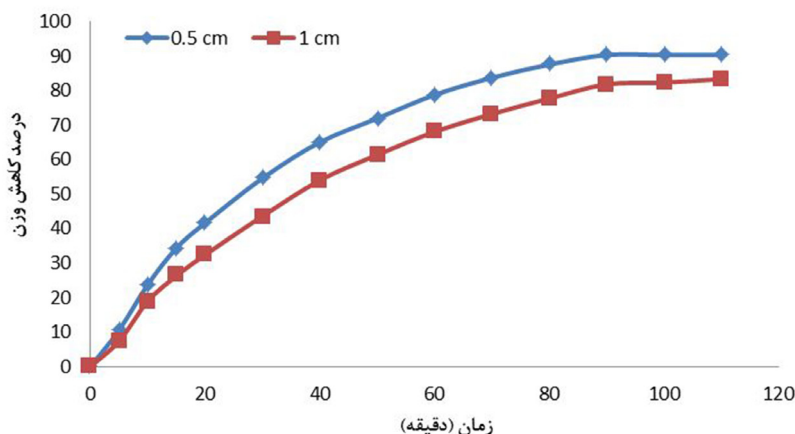
شکل (۲) اثر توان لامپ مادون قرمز بر درصد کاهش وزن قارچ دکمه‌ای، ۴۰ دقیقه اعمال اشعه و ۵ سانتی‌متر فاصله



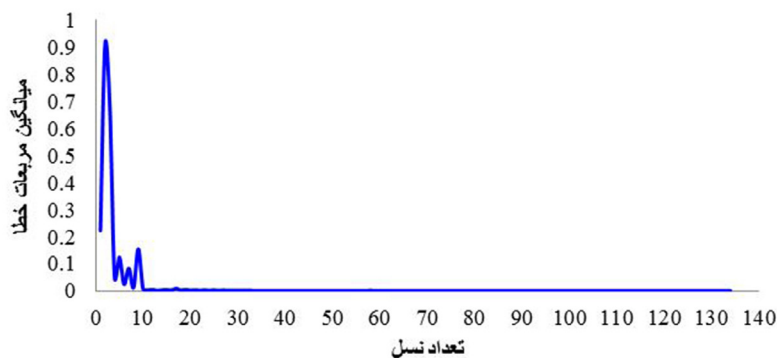
شکل (۳) اثر فاصله لامپ مادون قرمز از ورقه‌های قارچ دکمه‌ای بر درصد کاهش وزن، ۶۰ دقیقه اعمال اشعه و ۲۵۰ وات

ملاحظه می‌شود با کاهش ضخامت نمونه‌ها، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد و نمونه‌های با قطر ۰/۵ سانتی‌متر، نسبت به نمونه‌های ضخیم‌تر (۱ سانتی‌متر)، زودتر خشک می‌شوند. همچنین با کاهش ضخامت نمونه‌ها از ۱ به ۰/۵ سانتی‌متر، سرعت خشک شدن ۱۵/۸ درصد افزایش یافت و با افزایش زمان خشک شدن، مقدار رطوبت خارج شده از نمونه‌ها افزایش می‌یابد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از منبع مادون قرمز و با استفاده از لامپ ۲۵۰ وات، پس از ۸۰ دقیقه، تغییر محسوسی در وزن ورقه‌های قارچ مشاهده نمی‌شود. هبار و همکاران (۲۰۰۴) از یک خشک‌کن ترکیبی مادون قرمز با هوای داغ در سه حالت ترکیبی، مادون قرمز به تنهایی و هوای داغ به تنهایی، برای خشک کردن سیب‌زمینی و هویج استفاده کردند. نتایج به‌دست آمده حاکی از کاهش زمان خشک شدن و کاهش انرژی مصرفی در خشک‌کن ترکیبی نسبت به مادون قرمز و هوای داغ بود [۱۶].

فاصله لامپ مادون قرمز از ورقه‌های قارچ دکمه‌ای بر درصد کاهش وزن نمونه‌های به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش فاصله نمونه‌ها از منبع مادون قرمز، سرعت خشک شدن و کاهش رطوبت نمونه‌های قارچ کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله لامپ ۲۵ وات از ۵ به ۲۰ سانتی‌متر، درصد کاهش وزن از ۷۳/۹ به ۴۲/۶ درصد برای نمونه قارچ با قطر ۱ سانتی‌متر، کاهش می‌یابد. با افزایش ضخامت ماده غذایی کاهش هم‌زمانی در قابلیت انتقال امواج و افزایش در قابلیت جذب رخ می‌دهد و محصولات با ضخامت کم برای فرآوری توسط پرتو مادون قرمز توصیه شده‌اند [۱۶]. افزایش ضخامت برش‌های قارچ اثر معنی‌داری ($p < 0.05$) بر مقدار کاهش وزن آن‌ها در طی پرتو دهی دارد و با این افزایش، زمان خشک شدن نیز زیاد می‌شود. در شکل ۴ اثر مدت زمان خشک کردن ورقه‌های قارچ دکمه‌ای توسط سامانه مادون قرمز بر درصد کاهش وزن نمونه‌ها به نمایش در آمده است. همان‌طور که



شکل (۴) اثر مدت زمان خشک کردن ورقه‌های قارچ دکمه‌ای توسط سامانه مادون بر درصد کاهش وزن، ۱۰ سانتی‌متر فاصله و ۲۵۰ وات



شکل (۵) مقادیر میانگین مربعات خطا به‌عنوان تابعی از تعداد نسل‌های تشکیل شده

۳۰ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد. ۲۰ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش دیده استفاده گردید. به‌منظور ارزیابی شبکه از باقی‌مانده داده‌ها (۵۰ درصد) استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای ۱۱ نرون در لایه پنهان می‌تواند به خوبی درصد کاهش وزن ($R=0.99$) در طی فرایند خشک کردن قارچ دکمه‌ای 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 ۲۰ نسل، مقدار خطا به مقدار ثابتی می‌رسد.

1. Mean squared error (MSE)

۲-۳- نتایج مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی

به‌منظور پیش‌گویی درصد کاهش وزن در طی خشک کردن قارچ دکمه‌ای به روش مادون قرمز، از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ، مدت زمان خشک کردن و ضخامت ورقه‌های قارچ‌ها به‌عنوان ورودی‌های شبکه و درصد کاهش وزن به‌عنوان خروجی شبکه انتخاب گردید. با توجه به مقدار خطای کم‌تری که با استفاده تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک به‌دست آمد، این نوع تابع به‌عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب شد.

بر اساس روش آزمون و خطا مشخص شد در صورتی که

هدف از فرایند آموزش شبکه عصبی مصنوعی به دست آوردن بردارهای وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه است. در جدول ۱، مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون برای شبکه عصبی دارای ۱۱ نرون در لایه پنهان آورده شده است. خروجی سیستم عصبی بهینه (۴/۱۱/۱) در برابر مقادیر تجربی، داده‌های ارزیابی، در شکل ۶ گزارش شده است. مقدار بالای ضریب همبستگی نشان دهنده کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

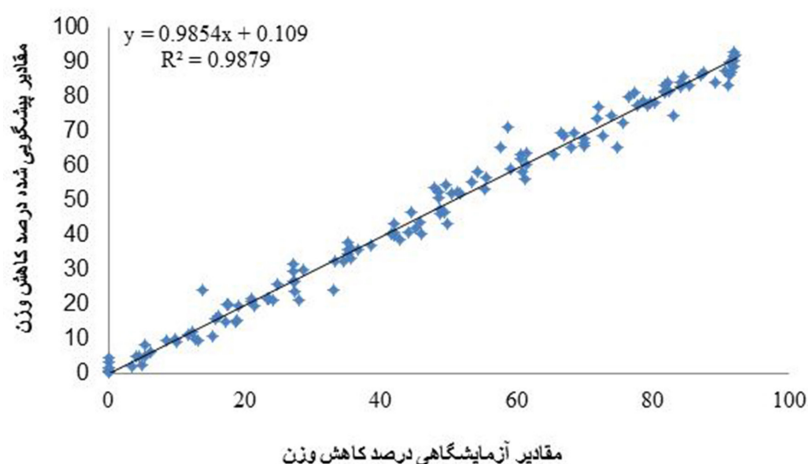
صالحی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی مدل سازی فرایند خشک کردن اسمزی زردآلو با استفاده از الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. ساختارهای مختلف شبکه عصبی چند لایه پرسپترون برای پیش‌گویی انتقال جرم زردآلو آب‌گیری شده را مورد آزمون قرار داده و نتایج نشان داد شبکه‌ای با تعداد ۱۴ نرون در یک لایه پنهان به خوبی درصد کاهش وزن ($R=0/98$)، درصد کاهش آب ($R=0/97$) و مقدار جذب مواد جامد ($R=0/96$) در طی فرایند خشک کردن اسمزی زردآلو را پیش‌گویی نماید. این مدل می‌تواند به منظور تولید محصولی با کیفیت مطلوب، طراحی مناسب تجهیزات

فراوری و بهینه‌سازی فرایند مورد استفاده قرار گیرد [۱]. ارتتورک و همکاران نیز از روش‌های الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل‌سازی فرایند خشک کردن هویج استفاده نمودند [۱۷]. نتایج این محققان حاکی از قدرت بالای این روش جهت مدل‌سازی فرایندهای خشک کردن مواد غذایی می‌باشد. همچنین لرتوراسیریکل و همکاران، مدل‌سازی انتقال جرم آب‌گیری اسمزی پوست لیموی آفریقایی را توسط شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار دادند. نتایج پیش‌بینی میزان دفع آب و جذب مواد جامد توسط شبکه عصبی چند لایه با سه ورودی دما، زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی و غلظت مواد جامد نشان داد که بهترین شبکه با کم‌ترین مجموع مربعات خطا برابر $0/0066$ و بیش‌ترین میانگین ضریب رگرسیون $0/9725$ با یک لایه مخفی و پنج نرون و روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکوت به دست می‌آید [۱۸].

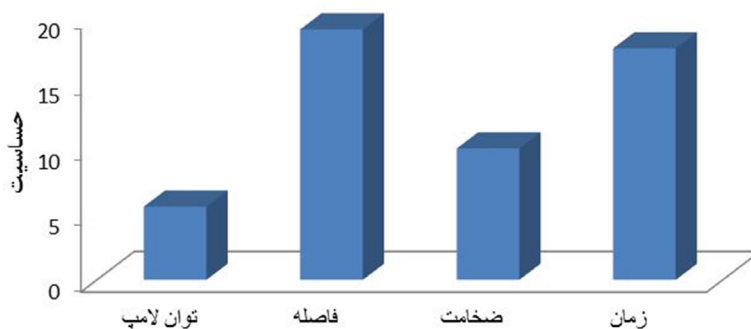
به‌منظور بررسی مقدار تاثیر گذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تاثیر گذارترین عامل، تست آنالیز حساسیت ۱ بر روی شبکه بهینه انجام شد. همان‌طوری که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، در میان متغیرهای ورودی، فاصله لامپ مادون قرمز

جدول (۱) مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون در شبکه عصبی مصنوعی بهینه.

تعداد نرون لایه پنهان	بایاس	نرون‌های ورودی			نرون‌های خروجی	
		توان لامپ	فاصله لامپ	ضخامت	زمان	کاهش وزن
۱	-۲/۸۹۵۴	۰/۷۳۱۳	۰۲/۱۰۴۳	۰/۵۳۸۴	-۳/۸۰۹۶	-۰/۷۲۰۸
۲	۴/۱۰۴۳	-۳/۸۰۹۶	-۰/۰۲۳۸	۱/۸۲۴۶	-۰/۹۶۸۵	۱/۴۷۱۵
۳	-۰/۰۲۳۸	-۰/۹۶۸۵	۱/۹۸۵۷	۱/۴۵۰۷	۱/۳۱۱۳	-۲/۰۴۷۸
۴	۰/۳۶۵۸	۱/۲۰۸۲	-۱/۹۷۵۷	۳/۹۸۳۱	-۰/۰۹۲۸	-۰/۶۳۴۳
۵	۰/۶۹۸۷	۱/۱۶۶۱	-۰/۴۳۰۸	-۰/۰۲۳۸	-۳/۱۶۸۸	۲/۰۵۱۵
۶	-۱/۶۲۵۱	۰/۳۶۳۱	-۰/۱۶۷۷	۱/۵۲۸۴	-۰/۹۶۸۵	۰/۱۹۳۶
۷	-۰/۱۲۳۵	-۰/۵۱۳۰	۰/۱۶۶۱	-۰/۱۴۸۹	۱/۳۱۱۳	-۴/۳۷۸۸
۸	۱/۲۵۶۴	-۲/۴۲۶۵	۰/۳۶۳۱	-۰/۸۹۵۲	-۰/۰۹۲۸	-۱/۲۳۱۰
۹	۰/۲۵۶۴	۵/۱۰۶۳	-۰/۵۱۳۰	۱/۱۱۲۹	۱/۳۶۸۵	۰/۱۱۱۲
۱۰	۰/۱۴۵۷	-۳/۲۷۹۱	-۲/۴۲۶۵	۰/۶۳۲۴	۰/۵۵۸۶	-۰/۳۶۶۵
۱۱	۱/۸۶۲۴	-۱/۶۵۸۲	۱/۱۰۴۳	-۲/۷۹۲۴	۱/۳۹۰۶	۰/۷۳۱۳
بایاس	-۰/۹۸۶۵					



شکل (۶) مقادیر تجربی داده‌های ارزیابی در برابر مقادیر پیش‌گویی شده درصد کاهش وزن طی خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای به روش مادون قرمز



شکل (۷) نتایج آنالیز حساسیت مدل‌سازی خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای به روش مادون قرمز

ژنتیک-عصبی مصنوعی جهت پیش‌گویی درصد کاهش وزن به‌عنوان تابعی از توان لامپ مادون قرمز، فاصله نمونه از لامپ، ضخامت ورقه‌های قارچ و زمان خشک‌کردن (ورودی‌های شبکه) در طی خشک‌کردن به روش مادون قرمز استفاده گردید. از روش الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی تعداد نرون‌ها در لایه مخفی شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. نتایج نشان داد که شبکه دارای ۱۱ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک در لایه پنهان و خروجی و با استفاده از روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکوت، به خوبی قادر به پیش‌گویی درصد کاهش وزن با ضریب همبستگی بالا (۰/۹۹) می‌باشد. نتایج آنالیز حساسیت، فاصله لامپ مادون قرمز از ورقه‌های قارچ را به‌عنوان موثرترین پارامتر بر روی تغییر درصد کاهش وزن معرفی نمود.

از ورقه‌های قارچ به‌عنوان موثرترین عامل در هنگام پیش‌گویی درصد کاهش وزن در طی خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای به روش مادون قرمز می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر توان لامپ مادون قرمز، فاصله نمونه از لامپ و ضخامت ورقه‌های قارچ، بر درصد کاهش وزن در طی خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای به روش مادون قرمز مورد بررسی قرار گرفت. هر سه متغیر ذکر شده بر مقدار خروج آب و کاهش وزن موثر هستند. با افزایش توان لامپ مادون قرمز و کاهش فاصله نمونه از لامپ و هم‌چنین کاهش ضخامت ورقه‌های قارچ، مقدار رطوبت خارج شده از نمونه‌ها و در نتیجه سرعت خشک‌شدن افزایش می‌یابد.

در این مقاله، هم‌چنین از مدل‌سازی الگوریتم

York, CRC press, pp 1-18.

[10] Nimmol, C., Devahastin, S. (2011). Vacuum infrared drying. in: Pan, Z. Atungulu, G.G. (Eds.), *Infrared Heating for Food and Agricultural Processing*, New York, CRC press, pp141-168.

[11] Afzal M.T., Abe T., Hilida Y. (1999). Energy and quality Aspect during Combined FIR Convection Drying of Barely. *J. Food Eng.*, 42, 177-188.

[12] Yolmeh, M., Habibi Najafi, M.B., Salehi, F. (2014). GA-ANN and ANFIS modeling of antibacterial activity of annatto dye on Salmonella enteritidis. *Microb. Pathogenesis*, 67, 36-40.

[13] Salehi, F., Razavi, S.M.A. (2012). Dynamic modeling of flux and total hydraulic resistance in nanofiltration treatment of regeneration waste brine using artificial neural network. *Desalin. Water Treat.*, 41, 95-104.

[14] BahramParvar, M., Salehi, F., Razavi, S.M.A. (2013). Predicting total acceptance of ice cream using artificial neural network. *J. Food Process. Pres.*, 38(3), 1080-1088.

[15] Amiri Chayjan, R., Tabatabaei Bahrabad S. M. Rahimi S.F. (2013). Modeling infrared-convective drying of pistachio nuts under fixed and fluidized bed conditions. *J. Food Process. Pres.*, 38 (3), 1224-1233.

[16] Hebbbar, H.U., Vishwanathan, K.H., Ramesh, M.N. (2004). Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *J. Food Eng.*, 65, 557-563.

[17] Erenturk, S., Erenturk, K. (2007). Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for drying process of carrot. *J. Food Eng.*, 78, 905-912.

[18] Lertworasirikul, S., Saetan, S. (2010). Artificial neural network modeling of mass transfer during osmotic dehydration of kaffir lime peel. *J. Food Eng.*, 98, 214-223.

منابع

[۱] صالحی، ف.؛ عباسی شاهکوه، ز.؛ گودرزی، م. (۱۳۹۲) مدل‌سازی خشک‌کردن اسمزی زردآلو با استفاده از الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی. *مجله علوم و فناوری غذایی* (در دست چاپ).

[2] FAO, (2011), Statistical Database. Available: <http://www.fao.org/>.

[3] Kotwaliwale, N., Bakane, P., Verma A. (2007). Changes in textural and optical properties of Oyster mushroom during hot air drying. *J. Food Eng.*, 78 (4), 1207-1211.

[4] Brennan, M., Le Port, G., Pulvirenti, A., Gormley, R. (2000). Post-harvest Treatment with Citric Acid or Hydrogen Peroxide to Extend the Shelf Life of Fresh Sliced Mushrooms, *LWT-Food Sci. Technol.*, 33, 285-289.

[5] Angle, R.Y., Tamhane, D.V. (1974). Mushrooms: An exotic source of nutritious and palatable food. *Indian Food Packer*, 28(5), 22-28.

[6] Giri, S.K., Prasad, S. (2007). Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushroom. *J. Food Eng.*, 78 (2), 512-521.

[7] Singh, U., Jain, S., Doshi, A., Jain, H., Chahar, V. (2008). Effects of Pretreatments on Drying Characteristics of Button Mushroom. *Int. J. Food Eng.*, 4(4), 1-21.

[8] Okos, M.R., Narsimham, G., Singh, R.K., Witnauer, A.C. (1992). Food dehydration. in: D.R. Heldman and D.B. Lund (Eds.), *Handbook of Food Engineering*, New York, Marcel Dekker, pp 437-562.

[9] Jun, S., Krishnamurthy, K., Irudayaraj, J., Demirci, A. (2011). Fundamentals and theory of infrared radiation. in: Pan, Z. Atungulu, G.G. (Eds.), *Infrared Heating for Food and Agricultural Processing*, New