

خشک کردن قارچ دکمه ای با استفاده از سامانه مادون قرمز-هوای داغ

فخرالدین صالحی^{۱*}، مهدی کاشانی نژاد^۲، علیرضا صادقی ماهونک^۲،
امان محمد ضیائی فر^۳

۱- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

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

۳- استادیار، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

(تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۲)

چکیده

در این پژوهش جهت خشک کردن قارچ دکمه ای از خشک کن ترکیبی مادون قرمز - هوای داغ استفاده گردید. اثر توان لامپ پرتودهی مادون قرمز (۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات)، دمای هوای داغ (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی گراد) و سرعت جریان هوا (۱، ۲ و ۳ متر بر ثانیه) بر خشک کردن قارچ دکمه ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج خشک کردن قارچ دکمه ای به روش مادون قرمز-هوای داغ نشان داد که با افزایش توان لامپ مادون قرمز از ۱۵۰ به ۳۷۵ وات، سرعت خشک شدن افزایش می یابد. با افزایش دمای خشک کن از ۵۰ به ۷۰ درجه سانتی گراد و سرعت جریان هوا از ۱ به ۳ متر بر ثانیه، مقدار کاهش وزن به ترتیب ۱۰/۳ و ۱۳/۹ درصد افزایش یافت. همچنین مدل سازی فرآیند به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی با ورودی (توان لامپ، دمای هوا، سرعت جریان هوا و زمان خشک کردن) و ۱ خروجی جهت پیشگویی کاهش وزن انجام شد. نتایج آنالیز حساسیت توسط شبکه عصبی بهینه، مدت زمان خشک کردن ورقه های قارچ را به عنوان موثرترین عامل در کنترل کاهش وزن نمونه ها نشان داد. نتایج مدل سازی به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی نشان داد شبکه ای با تعداد ۷ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال سازی سیگموئیدی می توان به خوبی درصد کاهش وزن ($R=0.99$) در طی فرآیند خشک کردن قارچ دکمه ای به روش ترکیبی مادون قرمز-هوای داغ را پیشگویی نمود.

کلید واژگان: خشک کردن، شبکه عصبی، قارچ دکمه ای، مادون قرمز، هوای داغ.

۱- مقدمه

قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) در بین انواع قارچ‌ها به طور گسترده‌تری در جهان کشت و مصرف می‌شود و سهمی در حدود ۴۰٪ از تولید قارچ‌های جهان را به خود اختصاص می‌دهد. قارچ‌ها پس از برداشت بدلیل عدم وجود کوتیکول، سرعت بالای تنفس، رطوبت زیاد و فعالیت آنزیمی شدید دارای ماندگاری کمتری نسبت به سایر سبزیجات بوده و به سرعت فاسد می‌شوند و بلافاصله پس از برداشت تغییر رنگ آن‌ها آغاز می‌شود [۱-۳]. لذا به دلیل گسترش زمان نگهداری، باید تحت فرایند قرار گیرند. از این رو محققین روش‌های مختلفی نظیر استفاده از بسته بندی 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 داده اند [۴]. حذف آب و خشک کردن یکی از معمول ترین روش‌هایی است که برای قارچهای صدفی مورد استفاده قرار گرفته است و برای انجام این فرایند از خشک‌کن‌های مختلفی از قبیل خشک‌کن کابینتی، هوای داغ، انجمادی، بستر سیال و خورشیدی استفاده شده است [۵-۷].

ضمن خشک کردن میوه‌ها و سبزیجات فروپاشی سلولی اتفاق می‌افتد که نتیجه آن انسداد بیشتر حفرات است که این پدیده فرایند خشک‌کردن و به دنبال آن باز جذب آب را با مشکل مواجه می‌کند. در طول خشک کردن با هوای داغ، مقدار فروپاشی سلولی با مقدار افت رطوبت در طول فرایند متناسب است [۷-۸]. این فروپاشی بر آروما، ظرفیت و سرعت باز جذب آب نیز اثر منفی می‌گذارد. برای حل این مشکل تکنیک‌های دیگر خشک کردن از قبیل خشک کردن انجمادی، پفکی و روش‌های ترکیبی مانند میکروویو، مادون قرمز، میدان الکتریکی همراه با هوای داغ پیشنهاد شده‌اند که در این میان روش‌های ترکیبی گسترش زیادی پیدا کرده‌اند [۶، ۷]. طبق گزارش محققان خشک‌کن انجمادی روشی مناسبی جهت تولید محصولی با ساختار متخلخل و با کیفیت بالا می‌باشد، اما گران قیمت بوده و برای هر محصولی قابل استفاده نمی‌باشد. لذا بررسی و یافتن یک روش مناسب برای خشک کردن قارچ خوراکی که باعث تولید محصولی با کیفیت بالا شود، ضروری می‌باشد.

امروزه پرتودهی با مادون قرمز (IR) به عنوان منبع انرژی 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 با دامنه ۱/۴-۰/۷۵ میکرومتر، مادون قرمز متوسط با دامنه ۳-۱/۴ میکرومتر و مادون قرمز دور با دامنه ۱۰۰۰-۳ میکرومتر تقسیم می‌شود. پرتودهی با مادون قرمز در مقایسه با روش‌های حرارت دهی متداول دارای مزایای متعددی است و کیفیت محصول خشک شده بالاتر است. در این روش زمان فرایند کوتاه‌تر و میزان مصرف انرژی کمتر می‌باشد. همچنین می‌توان تجهیزات را فشرده و اتوماتیک نمود و امکان پایش پارامترهای فراوری با دقت بالا وجود دارد [۹]. همچنین کیفیت محصولات خشک شده به این روش در مقایسه با روش هوای داغ بالاتر می‌باشد [۱۰]. جذب پرتو توسط مواد غذایی عمدتاً به میزان آب، ضخامت و ماهیت فیزیکی و 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 کردند. این محققان گزارش کردند که استفاده از اشعه مادون قرمز در خشک‌کن همرفتی باعث افزایش سرعت خشک شدن و کاهش قابل توجه انرژی مصرفی جو خشک شده نسبت به خشک‌کن همرفتی بدون استفاده از اشعه مادون قرمز می‌شود [۱۱].

امروزه با توسعه فناوری‌های پردازش رایانه ای، از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)^۱ به طور گسترده ای به منظور مدل سازی فرآیندهای صناعی غذایی به منظور پیشگویی پارامترهای مورد نظر در طراحی و توسعه سیستم‌ها استفاده شده است. شبکه‌های عصبی قادر به مدل سازی 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 وابستگی کامل دارد (نوع تابع فعالسازی، تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌های لایه پنهان). تخمین تعداد نرون‌های لایه پنهان عموماً به وسیله آزمون و خطا انجام می‌شود که وقت گیر بوده و دارای خطا می‌باشد. لذا روش‌های بهینه سازی از قبیل الگوریتم

1. Artificial Neural Network (ANN)

ابتدا قارچ‌های دکمه‌ای سفید (*Agaricus bisporus*) با قطر کلاهک ۵ سانتی‌متر تهیه و با آب سرد شستشوی سطحی داده و سپس آب سطحی آنها توسط دستمال تمیز گرفته شد. با افزایش ضخامت ماده غذایی کاهش همزمانی در قابلیت انتقال امواج و افزایش در قابلیت جذب رخ می‌دهد و محصولات با ضخامت کم برای فراوری توسط پرتو مادون قرمز توصیه شده اند [۱۵]. لذا با یک چاقوی تیز، قارچ‌ها را به طور عمودی به ورقه‌هایی به ضخامت ۱ سانتی‌متر برش داده شد.

جهت خشک‌کردن نمونه‌های برش خورده با سامانه مادون قرمز - هوای داغ از متغیرهایی شامل توان‌های متفاوت لامپ مادون قرمز^۶ (۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات) در فاصله ۵ سانتی‌متر از ورقه‌های قارچ، دمای هوای داغ (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد) و سرعت جریان هوا (۱، ۲ و ۳ متر بر ثانیه) استفاده شد. میزان کاهش وزن (WR)^۷، از طریق معادله زیر محاسبه گردید.

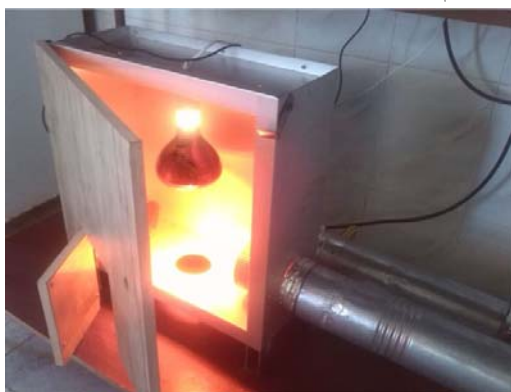
(۱)

$$WR = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100$$

WR: درصد کاهش وزن ورقه‌های قارچ

A₀: جرم اولیه نمونه (gr)

A_t: جرم نمونه بعد از خشک شدن (gr)



شکل ۱ خشک‌کن ترکیبی مادون قرمز- هوای داغ

مدل سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی

مدل سازی فرآیند 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

ژنتیک^۱ 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 GA شامل عملگرهای سه گانه انتخاب^۲، آمیزش^۳ و جهش^۴ که در مورد سیستمهای مصنوعی بکار می‌روند می‌باشد. [۱۲-۱۴].

صالحی و همکاران (۱۳۹۲) به منظور پیشگویی کاهش وزن، کاهش آب و جذب مواد جامد، در طی خشک کردن اسمزی 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 [۱۲].

تعداد مطالعات محدودی در خصوص کاربرد مدل سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی برای مدل سازی فرآیندهای خشک کردن ترکیبی مواد غذایی گزارش شده است. لذا هدف این تحقیق بررسی اثر عوامل مختلف شامل توان لامپ پرتو دهی مادون قرمز، دمای هوا، سرعت جریان هوا و زمان خشک کردن بر سینتیک خشک کردن قارچ دکمه‌ای به روش ترکیبی مادون قرمز- هوای داغ می‌باشد. همچنین مدل سازی فرآیند با استفاده از مدل سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی نیز بررسی می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

خشک کردن

خشک‌کن ترکیبی مادون قرمز - هوای داغ در شکل ۱ به نمایش درآمده است. خشک‌کن طراحی شده قادر به کنترل دقیق دما و سرعت جریان هوای ورودی به اتاقک مادون قرمز می‌باشد. درون اتاقک نیز امکان تغییر توان لامپ جهت بررسی اثر این متغیر بر سرعت خشک کردن نمونه‌ها وجود دارد. همچنین جهت بررسی سینتیک خشک کردن، ترازوی دیجیتالی لوترون^۵ با قابلیت اتصال به کامپیوتر (با دقت ۰/۱ g ±) هر یک دقیقه تغییرات وزن را ثبت می‌کند.

1. Genetic Algorithm(GA)
2. Selection
3. Crossover
4. Mutation
5. Digital balance, LutronGM-300p (Taiwan)

6. Infrared Heat Lamp (NIR), Noor Lamp Company, Iran.
7. Weight Reduction

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

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

به منظور ارزیابی شبکه عصبی استفاده شده پیشگویی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص ضریب همبستگی^۵ استفاده گردید [۱۳]. نرم افزار نروسولوشن^۶ نسخه ۶ جهت مدلسازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی استفاده گردید. در این نرم افزار با تغییر نوع تابع فعال سازی (تانزانٹ هیپربولیک، سیگموئیدی و خطی)؛ تعداد داده های استفاده شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی و قاعده یادگیری لیونبرگ-مارکت^۷، بهترین ساختار^۸ شبکه جهت دست یابی به شبکه بهینه بررسی شد.

۳- نتایج و بحث

خشک کردن

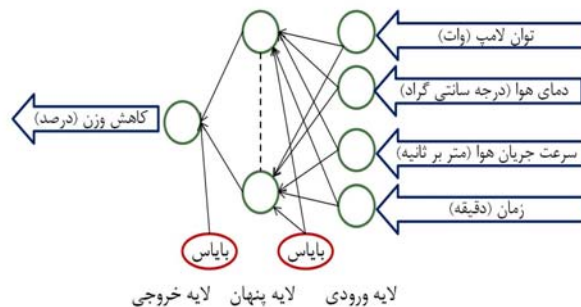
جهت بررسی اثر توان لامپ مادون قرمز بر سرعت خشک شدن ورقه های قارچ دکمه ای سفید، از سه لامپ مادون قرمز با توان های ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات استفاده گردید. همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می شود، در مدت زمان ۵۰ دقیقه، با افزایش توان لامپ از ۱۵۰ به ۳۷۵ وات، مقدار کاهش وزن ۲۸/۴ درصد افزایش می یابد (۳ متر بر ثانیه و ۷۰ درجه سانتی گراد). در مطالعه مشابهی، هبار و همکاران (۲۰۰۴) از یک خشک کن ترکیبی مادون قرمز با هوای داغ در سه حالت ترکیبی، مادون قرمز به تنهایی و هوای داغ به تنهایی برای خشک کردن سیب زمینی و هویج استفاده کردند. نتایج بدست آمده حاکی از کاهش زمان خشک شدن و کاهش انرژی مصرفی در خشک کن ترکیبی نسبت به مادون قرمز و هوای داغ بود [۱۶].

شبکه در سه لایه ورودی، پنهان و خروجی دسته بندی می شوند. خروجی نرون های لایه پنهان و خروجی (y) از طریق افزایش بایاس^۱ به مجموع ورودی های وزن دار شده با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می شود [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، می باشد. p تعداد ورودی های هر نرون و b_j بردار بایاس نرون j است.

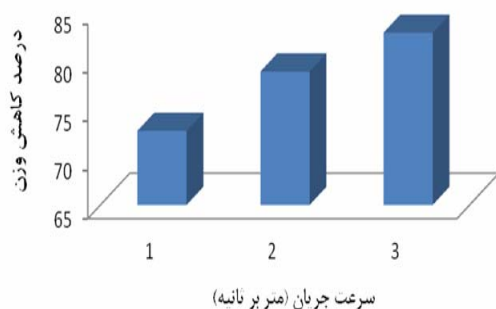
در این مطالعه چهار ورودی (توان لامپ، دمای هوا، سرعت جریان هوا و زمان خشک کردن) و یک خروجی (درصد کاهش وزن) در نظر گرفته شد (شکل ۲). تعداد نرون های لایه پنهان وابسته به کاربرد شبکه و شرایط تعیین پارامترهای شبکه داد. برای رسیدن به ترکیبی مناسب از تعداد نرون ها در لایه پنهان که حداقل خطا را در بر داشته باشد، فرآیند بهینه سازی تعداد نرون ها در لایه پنهان شبکه عصبی به روش الگوریتم ژنتیک انجام گرفت. جمعیت اولیه برای تولید نسل ها ۱۰۰ و حداکثر تعداد نسل ها نیز ۱۰۰ نسل در نظر گرفته شده است. احتمال آمیزش و جهش بر اساس توصیه راهنمای نرم افزار، ۰/۹ و ۰/۰۱؛ و تعداد نرون ها جهت بهینه سازی ۱ تا ۳۰ عدد در نظر گرفته شد. از توابع فعال سازی^۲ خطی، سیگموئیدی^۳ (رابطه ۳) و تانزانٹ هیپربولیک^۴ (رابطه ۴) که متداول ترین نوع توابع فعال سازی هستند و روش بهینه سازی لونیبرگ-مارکوت در لایه پنهان و خروجی استفاده گردید [۱۲-۱۴].



شکل ۲ شماتیک سیستم الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده در این مطالعه

5. Correlation coefficient (r)
6. Neurosolution software (Excel software release 6.0), NeuroDimension, Inc., USA
7. Levenberg-Marquardt (LM)
8. Topology

1. Bias
2. Activation function
3. Sigmoid functions
4. Hyperbolic tangent function



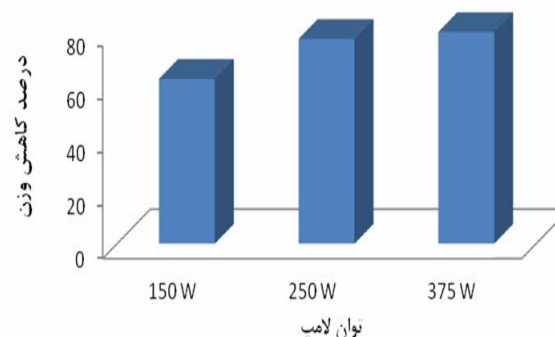
شکل ۵ اثر سرعت جریان هوای داغ بر کاهش وزن ورقه های قارچ (۷۰ درجه سانتی گراد، ۶۰ دقیقه و ۲۵۰ وات)

مدل سازی

به منظور پیشگویی درصد کاهش وزن در طی خشک کردن قارچ دکمه ای به روش مادون قرمز - هوای داغ از مدل سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. توان لامپ، دمای هوا، سرعت جریان هوا و زمان خشک کردن به عنوان ورودی های 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 فعال سازی سیگموئیدی بدست آمد، این نوع تابع به عنوان تابع فعال سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب گردید.

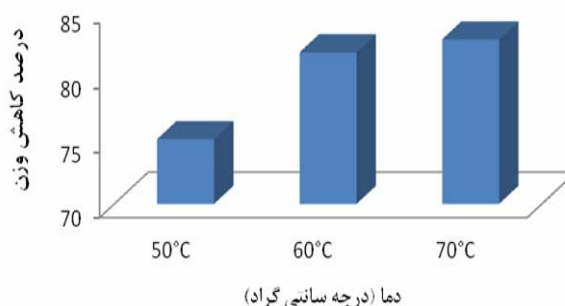
بر اساس روش آزمون و خطا مشخص شد در صورتی که ۲۰ درصد داده ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی ها و خروجی ها می باشد. ۲۰ درصد داده ها هم برای آزمون شبکه آموزش دیده استفاده گردید. به منظور ارزیابی شبکه هم از ۶۰ درصد باقی مانده داده ها استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای ۷ نرون در لایه پنهان می تواند به خوبی درصد کاهش وزن ($R=0.99$) در طی فرآیند خشک کردن خشک کردن قارچ دکمه ای به روش مادون قرمز - هوای داغ را پیشگویی نماید.

هدف از فرآیند آموزش شبکه عصبی مصنوعی به دست آوردن بردارهای وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه است. در جدول ۱، مقادیر وزن ها و بایاس های متناظر با هر نرون برای شبکه عصبی دارای ۷ نرون در لایه پنهان آورده شده است.



شکل ۳ اثر توان لامپ مادون قرمز بر کاهش وزن قارچ دکمه ای (۳ متر بر ثانیه، ۷۰ درجه سانتی گراد و ۵۰ دقیقه)

در شکل ۴ اثر دمای هوای داغ بر درصد کاهش وزن ورقه های قارچ به نمایش در آمده است. همانطور که ملاحظه می شود با افزایش دمای هوای داغ، سرعت خشک شدن و کاهش رطوبت نمونه های قارچ افزایش می یابد. با افزایش دمای هوای داغ از ۵۰ به ۷۰ درجه سانتی گراد، مقدار کاهش وزن از ۷۵/۰ به ۸۲/۷ درصد افزایش یافت (۱ متر بر ثانیه، ۴۰ دقیقه و ۳۷۵ وات).



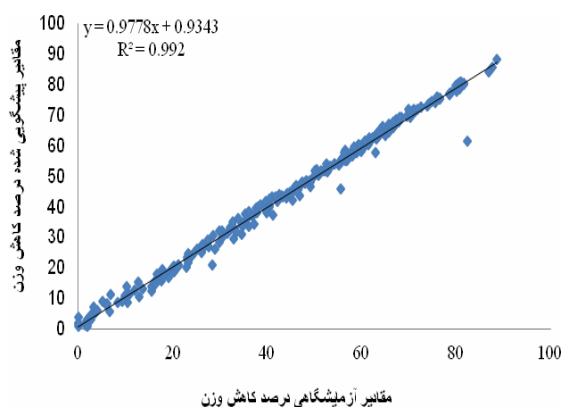
شکل ۴ اثر دمای هوای داغ بر کاهش وزن ورقه های قارچ (۱ متر بر ثانیه، ۴۰ دقیقه و ۳۷۵ وات)

در شکل ۵ اثر سرعت جریان هوای داغ بر درصد کاهش وزن ورقه های قارچ دکمه ای به نمایش در آمده است. با افزایش سرعت جریان هوا از ۱ به ۳ متر بر ثانیه، سرعت خشک شدن ۱۳/۹ درصد افزایش یافت (۷۰ درجه سانتی گراد، ۶۰ دقیقه و ۲۵۰ وات). با افزایش زمان خشک شدن نیز، مقدار رطوبت خارج شده از نمونه ها افزایش می یابد. همانطور که ملاحظه می شود.

شده را مورد آزمون قرار داده و نتایج گزارش شده نشان داد شبکه ای 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 فرآیند خشک کردن اسمزی زردآلو را پیشگویی نماید. این مدل می تواند به منظور تولید محصولی با کیفیت مطلوب، طراحی مناسب تجهیزات فرآوری و بهینه سازی فرآیند مورد استفاده قرار گیرد [۱۲].

ارنتورک و همکاران نیز از روش های الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی جهت مدلسازی فرآیند خشک کردن هویج استفاده نمودند [۱۶]. نتایج این محققان حاکی از قدرت بالای این روش جهت مدلسازی فرآیندهای خشک کردن مواد غذایی می باشد. همچنین لرتوراسیریکل و همکاران مدل سازی انتقال جرم آبیگری اسمزی پوست لیموی آفریقایی را توسط شبکه ی عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار دادند. نتایج پیش بینی میزان دفع آب و جذب مواد جامد توسط شبکه عصبی چند لایه با سه ورودی (دما، زمان غوطه وری 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 بهینه سازی لیونبرگ-مارکوت به بدست می آید [۱۷].

مقادیر واقعی داده های ارزیابی (۶۰ درصد داده استفاده نشده توسط شبکه) و پیشگویی شده درصد کاهش وزن توسط شبکه عصبی بهینه ($4/7/1$) در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶ مقادیر تجربی داده های ارزیابی در برابر مقادیر پیشگویی شده درصد کاهش وزن طی خشک کردن قارچ دکمه ای به روش مادون قرمز- هوای داغ

مقدار بالای ضریب همبستگی نشان دهنده کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی می باشد.

صالحی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی مدلسازی فرآیند 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 آبیگری

جدول ۱ مقادیر وزن ها و بایاس های متناظر با هر نرون در مدل الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی نهایی.

تعداد نرون لایه پنهان	بایاس	نرون های ورودی				نرون های خروجی
		توان لامپ	دمای هوا	سرعت جریان هوا	زمان	کاهش وزن
۱	۰/۳۶۳۱	۱/۳۶۸۵	۱/۱۰۲۵	-۰/۸۹۵۲	-۰/۲۶۸۹	-۱/۱۰۶۳
۲	-۱/۹۸۶۵	۰/۵۵۸۶	-۰/۳۲۵۶	۱/۱۱۲۹	۰/۶۳۵۲	-۲/۲۷۹۱
۳	-۰/۳۶۵۲	۱/۳۱۱۳	۰/۳۶۳۱	۱/۹۸۵۷	-۰/۹۶۸۵	-۰/۵۶۸۹
۴	-۱/۹۶۳۵	-۰/۰۹۲۸	۳/۹۸۳۱	-۱/۹۷۵۷	۱/۲۰۸۲	۰/۳۶۵۸
۵	۲/۰۵۱۵	-۳/۱۶۸۸	-۰/۰۲۳۸	-۰/۴۳۰۸	-۳/۱۶۶۱	۱/۶۹۸۷
۶	-۰/۳۶۶۵	۰/۵۵۸۶	۰/۶۳۲۴	-۲/۴۲۶۵	-۳/۲۷۹۱	۳۳۶
۷	۱/۷۳۸۵	۱/۳۹۰۶	-۲/۶۵۸۲	۱/۸۵۶۲	-۱/۶۵۸۲	۱/۸۶۲۴
بایاس						-۱/۴۵۶۳

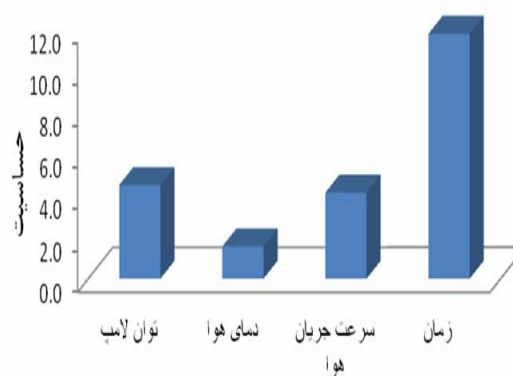
شود در میان متغیرهای ورودی، مدت زمان خشک کردن ورقه های قارچ به عنوان موثرترین عامل در هنگام پیشگویی درصد

به منظور 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 می

۵- منابع

- [1] Yurttas, Z. S., Moreira, R. G. & Castell-Perez, E. 2014. Combined Vacuum Impregnation and Electron-Beam Irradiation Treatment to Extend the Storage Life of Sliced White Button Mushrooms (*Agaricus bisporus*), Journal of Food Science, 79 (1): 39-46.
- [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. Journal of Food Engineering, 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 Science and Technology, 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. Journal of Food Engineering, 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. Journal of Food Engineering, 4(4), DOI: 10.2202/1556-3758.1179.
- [8] Lenart, A. 1996. Osmo-convective dring of fruits and vegetables, technology and application. Drying Technology. 14: 391-413.
- [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 York. CRC press.
- [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.
- [11] Afzal M.T., Abe T., Hilida Y. 1999. Energy and quality Aspect during Combined

کاهش وزن در طی خشک کردن قارچ دکمه ای به روش مادون قرمز - هوای داغ می باشد.



شکل ۷ نتایج آنالیز حساسیت مدلسازی خشک کردن قارچ دکمه ای به روش مادون قرمز- هوای داغ

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه اثر توان لامپ مادون قرمز، دما و سرعت جریان هوا بر خشک کردن قارچ دکمه ای به روش ترکیبی مادون قرمز-هوای داغ مورد بررسی قرار گرفت. هر سه متغیر ذکر شده بر مقدار خروج آب و کاهش وزن موثر هستند. با افزایش دما و سرعت جریان هوای ورودی به خشک کن، مقدار رطوبت خارج شده از نمونه ها افزایش یافته و سرعت خشک شدن افزایش می یابد. با افزایش توان لامپ مادون قرمز از ۱۵۰ به ۳۷۵ وات، مقدار کاهش وزن ورقه های قارچ ۲۸/۴ درصد افزایش یافت.

مدل سازی فرآیند خشک کردن ورقه های قارچ دکمه ای با استفاده از سامانه مادون قرمز-هوای داغ به روش الگوریتم ژنتیک- عصبی مصنوعی حاکی از قدرت بالای این روش، جهت مدل سازی اینگونه فرآیندها می باشد. در این روش توان لامپ، دمای هوا، سرعت جریان هوا و زمان خشک کردن به عنوان ورودی های مدل و درصد کاهش وزن به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شد. از روش الگوریتم ژنتیک جهت بهینه سازی تعداد نرون ها در لایه مخفی شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. نتایج نشان داد شبکه دارای ۷ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعالسازی سیگموئیدی در لایه پنهان و خروجی، شبکه به خوبی قادر به پیشگویی درصد کاهش وزن قارچ ها با ضریب همبستگی بالا (۰/۹۹) می باشد.

- [15] Erenturk, S., and Erenturk, K. 2007. Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for drying process of carrot. *Journal of Food Engineering*, 78: 905-912.
- [16] Hebbar, H.U., Vishwanathan, K. H., Ramesh, M.N. 2004. Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, 65: 557-563.
- [17] 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.
- FIR Convection Drying of Barely. *Journal of Food Engineering*, 42: 177-188.
- [12] Salehi, F., Abbasi Shahkoh, Z., Godarzi, M. 2014. Apricot Osmotic Drying Modeling Using Genetic Algorithm - Artificial Neural Network. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*.
- [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. *Desalination and Water Treatment*, 41: 95-104.
- [14] BahramParvar, M., Salehi, F. and Razavi, S.M.A. 2013. Predicting total acceptance of ice cream using artificial neural network. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(3): 1080-1088.

Drying of button mushroom by infrared-hot air system

Salehi, F. ^{1*}, Kashaninejad, M. ², Mahoonak, A. R. ², Ziaiiifar, A. M. ³

1. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

2. Associate Professor, Faculty of Food Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

3. Assistant Professor, Faculty of Food Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

(Received: 93/4/25 Accepted: 93/7/2)

In this study, the combination of infrared - hot air dryer was used for drying of button mushroom. The effect of infrared lamp power (150, 250 and 375 W), hot air temperature (50, 60 and 70 °C) and hot air rate (1, 2 and 3 m/s) on drying of button mushroom were investigated. The results of infrared-hot air drying of button mushrooms showed that by increasing of lamp power from 150 to 375, the drying rate increased. With the increase in hot air temperature from 50 to 70 °C, and hot air rate from 1 and 3 m/s, weight loss increased 10.3% and 13.9%, respectively. Also process modeling were done with the genetic algorithm-artificial neural network (GA-ANN) method with 4 inputs (lamp power, hot air temperature and rate, drying time) and 1 outputs for prediction of weight loss. Sensitivity analysis results by optimum GA-ANN showed the drying time of mushroom was the most sensitive factor for controlling of weight loss. The results of modeling by GA-ANN showed that a network with 7 neurons in the hidden layer with sigmoid activation function can predicted the weight loss (R=0.99) of button mushrooms dried by infrared system-hot air method.

Keywords: Button mushroom, Drying, Hot air, Infrared, Neural network.

* Corresponding Author E-Mail Address: fs1446@yahoo.com