

## مدل‌سازی سینتیک خشک‌کردن لایه‌نازک قارچ دکمه‌ای توسط هوای داغ با استفاده از الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

فخرالدین صالحی\*، مهدی کاشانی نژاد<sup>۱</sup>، امین نجفی<sup>۲</sup> و فرشته اسدی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۳/۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۵

<sup>۱</sup> استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

<sup>۲</sup> استاد دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

<sup>۴</sup> دانشجوی کارشناسی دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

\*مسئول مکاتبه: Email: F.Salehi@Basu.ac.ir

### چکیده

مدل‌سازی سینتیک خشک شدن قارچ دکمه‌ای در یک خشک‌کن جابجایی هوای داغ به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. اثر دمای هوای خشک‌کردن در سه سطح ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت جریان هوا در سه سطح ۱، ۲ و ۳ متر بر ثانیه بر خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای بررسی شد. نتایج خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای به روش هوای داغ نشان داد با افزایش دما و سرعت جریان هوای خشک‌کن، آهنگ خشک‌کردن افزایش می‌یابد. با افزایش دمای خشک‌کن از ۵۰ به ۷۰ درجه سانتی‌گراد، و سرعت جریان هوا از ۱ به ۳ متر بر ثانیه، کاهش وزن به ترتیب ۱۲/۲ و ۱۲/۰ درصد افزایش یافت. مدل‌سازی سینتیک خشک شدن لایه‌نازک قارچ دکمه‌ای به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی با ۳ ورودی دمای هوا، سرعت جریان و زمان خشک‌کردن و ۱ خروجی جهت پیشگویی کاهش وزن انجام شد. نتایج مدل‌سازی نشان داد شبکه‌ای با تعداد ۱۶ نرون در یک‌لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک و قانون یادگیری لیونبرگ-مارکوت می‌توان درصد کاهش وزن در طی فرآیند خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای به روش جابجایی هوای داغ را پیشگویی نمود ( $R=0.999$ ). نتایج آنالیز حساسیت توسط شبکه بهینه نشان داد که دمای خشک‌کن به‌عنوان مؤثرترین عامل در کنترل کاهش وزن نمونه‌ها هست.

**واژگان کلیدی:** الگوریتم ژنتیک، خشک‌کن لایه‌نازک، سینتیک، شبکه عصبی، قارچ دکمه‌ای، هوای داغ.

### مقدمه

دلیل عدم وجود کوتیکول، سرعت بالای تنفس، رطوبت زیاد و فعالیت آنزیمی شدید دارای ماندگاری کمتری نسبت به سایر سبزی‌ها بوده و به سرعت فاسد می‌شوند (فائو، ۲۰۱۱؛ کوتوالیوال و همکاران، ۲۰۰۷). از این رو محققین روش‌های مختلفی نظیر استفاده از بسته‌بندی با

قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) 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 به

گزارش شده است. درصد چربی کمتر از ۵-۴ درصد و مقدار کربوهیدرات و خاکستر کل به ترتیب ۴۸-۳۷ درصد و ۱۳-۸٪ بوده است (عالم و همکاران، ۲۰۰۸).

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) یکی از مهم‌ترین روش‌های هوش مصنوعی بوده که در آن با الهام از مدل مغز انسان، ضمن اجرای فرایند آموزش، اطلاعات مربوط به داده‌ها، در قالب وزن‌های شبکه ذخیره می‌شوند. روش شبکه‌های عصبی نسبت به بسیاری از روش‌های معمولی آماری و قطعی مزایا دارد (صالحی و رضوی، ۲۰۱۲؛ بهرام پرور و همکاران، ۲۰۱۴).

شبکه‌های عصبی قادر به مدل‌سازی سامانه‌های غیرخطی و پیچیده با تعداد زیادی داده ورودی و خروجی می‌باشند و در اکثر موارد نتایج قابل‌قبولی توسط محققان گزارش شده است (فارکس و همکاران، ۲۰۰۰؛ صالحی و رضوی، ۲۰۱۲؛ بهرام پرور و همکاران، ۲۰۱۴).

توانایی پیشگویی یک شبکه عصبی مصنوعی 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 وقت‌گیر بوده و دارای خطا است. لذا روش‌های بهینه‌سازی از قبیل الگوریتم ژنتیک<sup>۲</sup> در جهت غلبه بر این مشکل ذاتی شبکه‌های عصبی و به دست آوردن تعداد بهینه نرون‌ها در لایه پنهان مورد استفاده قرار گیرند. مفاهیم اصلی GA شامل عملگرهای سه‌گانه انتخاب، آمیزش و جهش که در مورد سامانه‌های مصنوعی بکار می‌روند است (بهرام پرور و همکاران، ۲۰۱۴). فرکاس و همکاران (۲۰۰۰) از شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن در یک خشک‌کن بستر ثابت استفاده کردند. هدف از این تحقیق، استفاده از یک مدل شبکه عصبی مصنوعی برای تعیین رابطه بین توزیع رطوبت بود. پارامترهای فیزیکی

اتمسفر تغییر یافته، منجمد کردن، خشک‌کردن، تیمار با محلول‌های آبی حاوی ترکیبات مهارکننده فعالیت آنزیمی و بلانچ کردن را جهت نگهداری و افزایش زمان ماندگاری قارچ مورد بررسی قرار داده‌اند (برنان و همکاران، ۲۰۰۰).

خشک‌کردن مهم‌ترین روش نگهداری مواد کشاورزی بوده و یک عملیات حساس و با اهمیت در چرخه برداشت، نگهداری و حمل‌ونقل آن‌هاست (موجودمدار، ۱۹۹۷؛ دویماز، ۲۰۰۷). کاهش رطوبت محصول در فرآیند خشک‌کردن یکی از معمول‌ترین روش‌هایی است که برای قارچ‌های دکمه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. با کاهش رطوبت محصول می‌توان مدت نگهداری محصول را طولانی‌تر و هزینه نگهداری و حمل‌ونقل را کاهش داد (گیری و پراسد، ۲۰۰۷؛ سینگ و همکاران، ۲۰۰۸).

بررسی سینتیک خشک شدن محصولات کشاورزی و مدل‌سازی روند خشک شدن آن‌ها تحت شرایط مختلف جهت آگاهی از رفتار این محصولات به منظور طراحی خشک‌کن مناسب ضروری به نظر می‌رسد.

سینتیک خشک کردن قارچ‌های آگاریکوس بیسپورس و پلوروتوس فلوریدا (*Pleurotus florida*) توسط آرورا و همکاران (۲۰۰۳) بررسی شده است. سینتیک خشک کردن به خوبی توسط مدل پیچ توصیف شد. انرژی فعال‌سازی برای قارچ‌های آگاریکوس بیسپورس و پلوروتوس فلوریدا به ترتیب برابر ۱۹/۷۹ kJ/mol و ۲۳/۵۹ kJ/mol گزارش شد.

مصرف انرژی توسط خشک‌کن‌های هوای داغ، ماکروویو، خلأ، مادون قرمز، ماکروویو-خلأ و هوای داغ-مادون قرمز برای خشک‌کردن ورقه‌های قارچ توسط متولی و همکاران (۲۰۱۱) بررسی شد. با افزایش دمای خشک‌کن هوای داغ، مصرف انرژی کاهش اما با افزایش سرعت جریان هوای داغ، افزایش یافت.

درصد پروتئین و فیبر قارچ‌های خوراکی خشک شده به ترتیب ۲۰-۲۵ درصد و ۱۳-۲۴ درصد بر پایه خشک

1 - Artificial Neural Network (ANN)

۲ - Genetic Algorithm(GA)

رطوبت اولیه‌ی قارچ‌ها ۸۹/۶ درصد بر پایه مرطوب به دست آمد.

در طی خشک‌کردن نمونه‌های برش خورده توسط خشک‌کن جابجایی هوای داغ، اثر متغیرهایی شامل دمای هوای داغ در سه سطح ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت جریان هوا در سه سطح ۱،۲ و ۳ متر بر ثانیه و در مدت‌زمان ۲۲۰ دقیقه بررسی شد. تغییرات وزن نمونه‌ها در طی خشک شدن هر یک دقیقه توسط ترازوی دیجیتال لوترون<sup>۱</sup> با قابلیت اتصال به کامپیوتر با دقت  $0.1 \pm 0.0$  ثبت گردید.

میزان کاهش وزن (WR)<sup>۲</sup>، 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<sub>0</sub>: جرم اولیه نمونه (gr)

A<sub>t</sub>: جرم نمونه بعد از خشک شدن (gr)

آزمایش‌ها در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی موردبررسی قرار گرفت. برای رسم نمودارها از برنامه Excel (۲۰۰۷) و برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار Minitab 16 در سطح معنی‌داری ۵٪ استفاده شد.

#### مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی

مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای به روش هوای داغ جهت پیشگویی درصد کاهش وزن به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی، توسط شبکه‌های عصبی سه لایه پرسپترون پیش‌خور<sup>۳</sup> 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>۴</sup> به مجموع ورودی‌های وزن‌دار شده با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (صالحی و رضوی، ۲۰۱۲).

اندازه‌گیری شده عبارت بودند از دمای هوای خشک‌کن، رطوبت نسبی و دبی هوا. نتایج به دست آمده نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی با دقت بیشتر و خطای کمتری قادر به مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن است.

به منظور پیشگویی کاهش وزن، کاهش آب و جذب مواد جامد، در طی خشک‌کردن اسمزی زردآلو، از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. نتایج نشان داد که بهترین مدل برای پیشگویی پارامترهای فوق شبکه‌ای با ساختار ۱ لایه پنهان و ۱۴ نرون در هر لایه است (صالحی و همکاران، ۲۰۱۴).

تعداد مطالعات محدودی در خصوص کاربرد مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی فرآیندهای خشک‌کردن مواد غذایی گزارش شده است. لذا هدف این تحقیق ابتدا بررسی اثر دمای هوای داغ در سه سطح ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت جریان هوا در سه سطح ۱،۲ و ۳ متر بر ثانیه و در مدت‌زمان ۲۲۰ دقیقه بر خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای در یک خشک‌کن هوای داغ است. سپس مدل‌سازی سینتیک خشک شدن قارچ دکمه‌ای به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی موردبررسی قرار می‌گیرد.

#### مواد و روش‌ها

##### خشک‌کردن

در این پژوهش قارچ‌های دکمه‌ای سفید (*Agaricus bisporus*) واریته U-3 با قطر کلاهک ۵ سانتی‌متر به صورت روزانه از قارچ‌های تولیدی شرکت کشت و صنعت قارچ ملارد، از شهرستان گرگان تهیه و با آب سرد شستشوی سطحی داده شدند. قارچ‌ها با قطر کلاهک ۵ سانتی‌متر جدا و پس از حذف پایه با آب سرد شستشوی سطحی داده شدند. سپس با یک چاقوی تیز، قارچ‌ها به‌طور عمودی به ورقه‌های به ضخامت ۱ سانتی‌متر برش داده شدند. ورقه‌های قارچ بلافاصله پس از برش داخل دستگاه خشک‌کن قرار گرفتند. میانگین

1 - Digital balance, LutronGM-300p (Taiwan)

2 - Weight Reduction

3 - Feed forward multilayer perceptron

4 - Bias

فعال‌سازی هستند، در لایه پنهان و خروجی استفاده گردید.

در این پژوهش روش بهینه‌سازی لونیگ-مارکوت به منظور یادگیری شبکه استفاده شد (صالحی و همکاران، ۲۰۱۴؛ بهرام پرور و همکاران، ۲۰۱۴).

$$\text{Sig} = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad [۳]$$

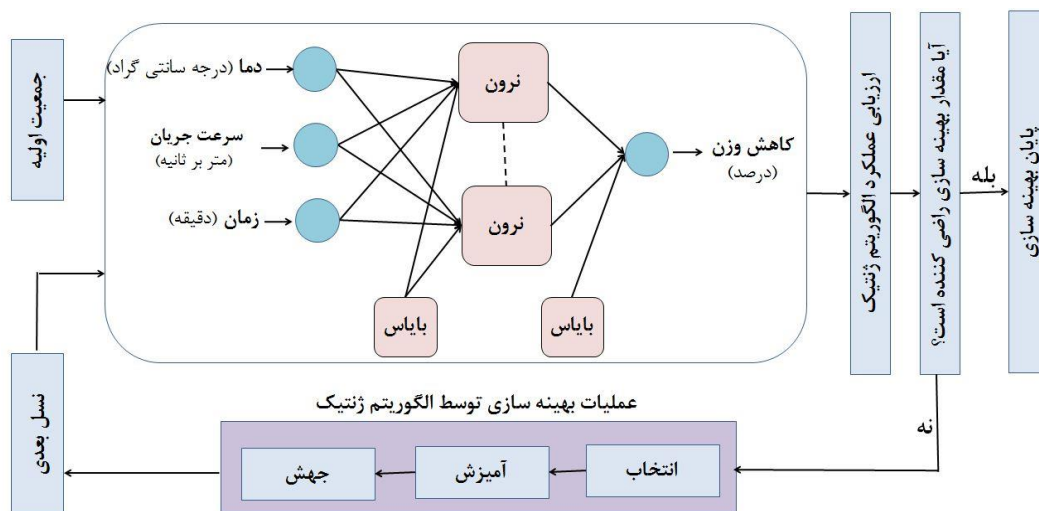
$$\text{tanh} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad [۴]$$

به منظور ارزیابی شبکه عصبی استفاده شده پیشگویی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص میانگین مربعات خطا، میانگین مربعات خطای نرمالیزه، میانگین خطای مطلق و ضریب همبستگی استفاده گردید (صالحی و رضوی، ۲۰۱۲). نرم افزار نروسولوشن جهت مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی استفاده گردید. در این نرم افزار با تغییر نوع تابع فعال‌سازی (تانژانت هیپربولیک، سیگموئیدی و خطی)؛ تعداد داده‌های استفاده شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی بهترین ساختار شبکه جهت دستیابی به شبکه بهینه بررسی شد.

$$y_j = \sum_{i=1}^p f(W_{ij}X_i + b_j) \quad [۲]$$

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 نرون  $j$  است.

در این مطالعه سه ورودی (دمای هوای داغ، سرعت جریان هوا و زمان خشک‌کردن) و یک خروجی (درصد کاهش وزن) در نظر گرفته شد (شکل ۱). تعداد نرون‌های لایه پنهان، وابستگی کامل به نوع کاربرد و شرایط تعیین پارامترهای شبکه دارد. 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 نسل در نظر گرفته شده است. احتمال آمیزش و جهش بر اساس توصیه راهنمای نرم افزار نروسولوشن (نسخه ۶)، ۰/۹ و ۰/۰۱؛ و تعداد نرون‌ها جهت بهینه‌سازی ۱ تا ۳۰ عدد در نظر گرفته شد. از توابع فعال‌سازی خطی، سیگموئیدی (رابطه ۳) و تانژانت هیپربولیک (رابطه ۴) که متداول‌ترین نوع توابع



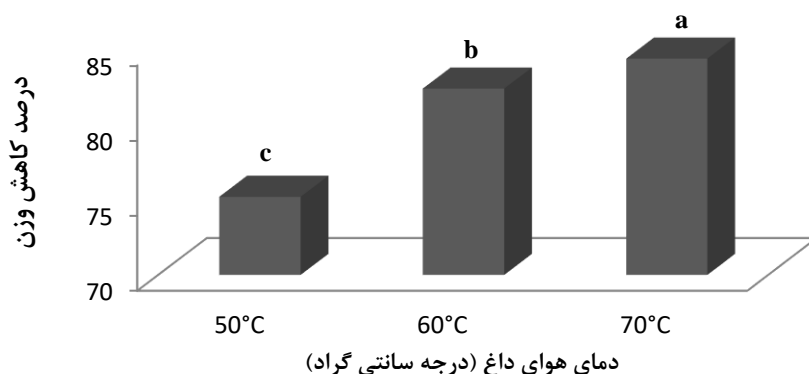
شکل ۱- شماتیک بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

جهت بررسی اثر دمای هوای داغ بر سرعت خشک شدن برش‌های قارچ دکمه‌ای سفید، دمای هوای خشک‌کن در سه سطح ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد انتخاب شد.

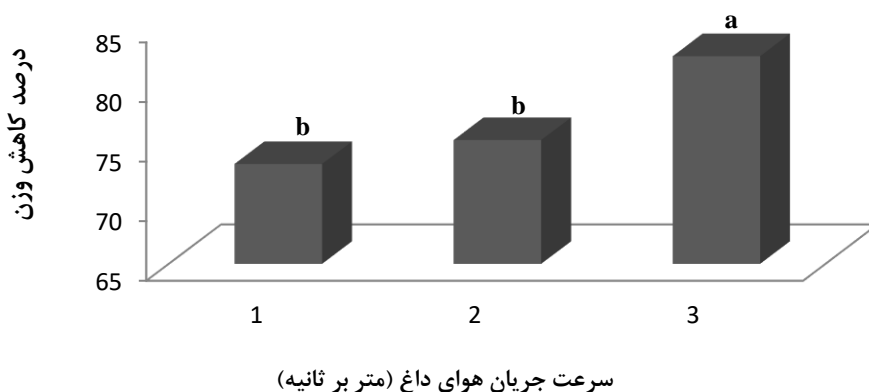
## نتایج و بحث خشک‌کردن

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 سریع‌تر محصول و تبخیر بهتر آب از آن می‌شود و در نهایت باعث کاهش زمان خشک شدن می‌گردد (دویماز و پالا، ۲۰۰۳).

نتایج نشان داد که تغییر دمای هوای داغ اثر معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) بر خروج آب از برش‌های قارچ دارد و با افزایش دمای هوای داغ، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، با افزایش دمای هوای داغ از ۵۰ به ۷۰ درجه سانتی‌گراد، درصد کاهش وزن از ۷۵/۲ به ۸۴/۴ افزایش می‌یابد.



شکل ۲- اثر دمای هوای داغ بر درصد کاهش وزن قارچ دکمه‌ای (۱۵۰ دقیقه زمان خشک شدن با سرعت جریان برابر ۳ متر بر ثانیه)



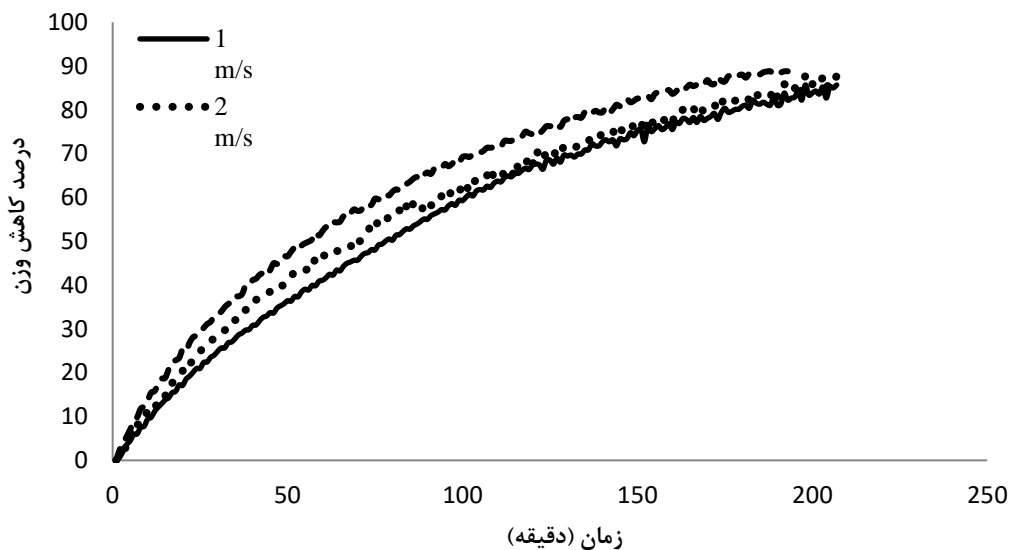
شکل ۳- اثر سرعت جریان هوای داغ بر درصد کاهش وزن قارچ دکمه‌ای (۱۵۰ دقیقه زمان خشک شدن با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد)

کاهش رطوبت نمونه‌های قارچ افزایش می‌یابد. با افزایش سرعت جریان از ۱ به ۳ متر بر ثانیه، درصد کاهش وزن از ۷۳/۴ به ۸۲/۲ درصد افزایش می‌یابد. با افزایش دبی هوا به دلیل افزایش حجم هوای عبوری از روی محصول، ظرفیت هوا برای جذب رطوبت آن بیشتر شده و آهنگ خشک شدن افزایش یابد و منحنی‌های به‌دست‌آمده از تغییرات نسبت رطوبت محصول در واحد زمان دارای روندهای کاهشی قابل‌توجهی می‌باشند (دویماز و پالا، ۲۰۰۳).

افزایش دما و سرعت هوا در محفظه خشک‌کن باعث انتقال جرم و گرمای بالاتری شده و موجب کاهش شدیدتر رطوبت می‌گردد. نتایج حاکی از معنی‌دار بودن ( $p < 0.05$ ) اثر تغییر سرعت جریان هوای داغ، بر مقدار کاهش وزن برش‌های قارچ دارد و با افزایش سرعت جریان هوای داغ، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. در شکل ۳ اثر سرعت جریان بر درصد کاهش وزن نمونه‌های به نمایش درآمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش سرعت جریان، سرعت خشک شدن و

نمونه‌ها افزایش می‌یابد. در لحظات اولیه سرعت خروج آب از نمونه‌ها بالا می‌باشد و با گذشت زمان و کاهش مقدار رطوبت نمونه‌ها، سرعت خروج آب کاهش می‌یابد.

در شکل ۴ اثر مدت‌زمان خشک‌کردن ورقه‌های قارچ دکمه‌ای توسط خشک‌کن هوای داغ بر درصد کاهش وزن نمونه‌ها به نمایش درآمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش زمان مقدار رطوبت خارج‌شده از



شکل ۴- اثر زمان خشک‌کردن بر درصد کاهش وزن قارچ دکمه‌ای (دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد)

خروجی‌ها می‌باشد. ۱۰ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش دیده استفاده گردید. به منظور ارزیابی شبکه هم از ۷۰ درصد باقی‌مانده داده‌ها استفاده گردید (جدول ۱). نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای ۱۶ نرون در لایه پنهان می‌تواند با کمترین خطا (جدول ۲) و بالاترین ضریب همبستگی ( $R=0.999$ ) درصد کاهش وزن در طی فرآیند خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای به روش هوای داغ را پیشگویی نماید.

#### نتایج مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی

به منظور پیشگویی درصد کاهش وزن در طی خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای به روش هوای داغ از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. دمای هوای داغ، سرعت جریان هوا و زمان خشک‌کردن به عنوان ورودی‌های شبکه در نظر گرفته شدند و درصد کاهش وزن به عنوان خروجی شبکه انتخاب گردید. با توجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک به دست آمد، این نوع تابع به عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب گردید.

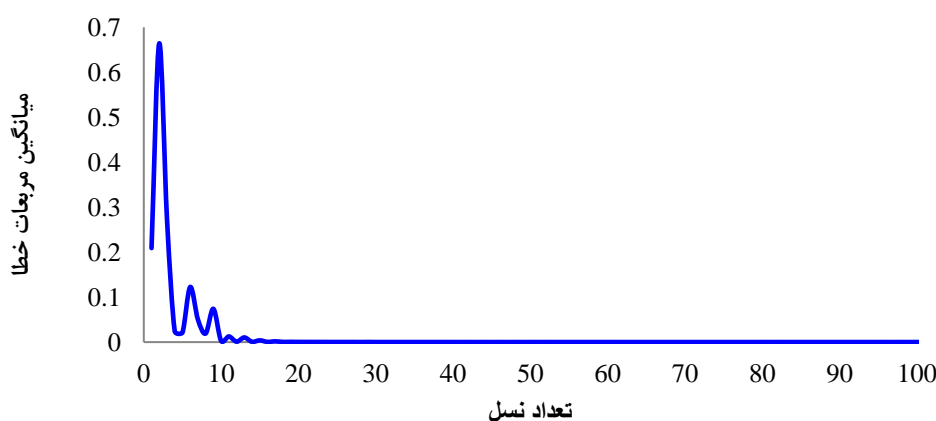
بر اساس روش آزمون و خطا مشخص شد در صورتی که ۲۰ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و

جدول ۱- مقادیر بهینه پارامترهای الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی

تعداد لایه‌های پنهان	قاعده یادگیری	نوع تابع فعال‌سازی	تعداد نرون لایه پنهان	درصد داده‌های یادگیری	درصد داده‌های آزمون	درصد داده‌های ارزیابی
۱	لیونبرگ-مارکوت	تانژانت هیپربولیک	۱۶	۲۰٪	۱۰٪	۷۰٪

جدول ۲- مقادیر خطاهای به دست آمده توسط مدل الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی بهینه

شاخص	میانگین مربعات خطا	میانگین مربعات خطای نرمالیزه	میانگین خطای مطلق	ضریب همبستگی
مقادیر محاسبه شده	۰/۶۱۷	۰/۰۰۱	۰/۵۷۴	۰/۹۹۹



شکل ۵- مقادیر میانگین مربعات خطا به عنوان تابعی از تعداد نسل‌های تشکیل شده

مقادیر آزمایشگاهی و پیشگویی شده درصد کاهش وزن (داده‌های ارزیابی) توسط شبکه عصبی بهینه (۳-۱۶-۱) در شکل ۶ نشان داده شده است. مقدار بالای ضریب همبستگی نشان‌دهنده کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن اسمزی زردآلو با استفاده از الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی بررسی شد. ساختارهای مختلف شبکه عصبی چندلایه پرسپترون برای پیشگویی انتقال جرم زردآلو آگیری شده مورد آزمون قرار گرفته و نتایج گزارش شده نشان‌داد شبکه‌ای با تعداد ۱۴ نرون در یک لایه پنهان به خوبی درصد کاهش

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 ۱۸ نسل، مقدار خطا به مقدار ثابتی می‌رسد.

هدف از فرآیند آموزش شبکه عصبی مصنوعی به دست آوردن بردارهای وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه است. در جدول ۳، مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون برای شبکه عصبی دارای ۱۶ نرون در لایه پنهان آورده شده است.

وزن ( $R=0/98$ )، درصد کاهش آب ( $R=0/97$ ) و مقدار جذب مواد جامد ( $R=0/96$ ) در طی فرآیند خشک‌کردن اسمزی زردآلو را پیشگویی نماید. این مدل می‌تواند به‌منظور تولید محصولی با کیفیت مطلوب، طراحی مناسب تجهیزات فرآوری و بهینه‌سازی فرآیند مورد استفاده قرار گیرد (صالحی و همکاران، ۲۰۱۴).

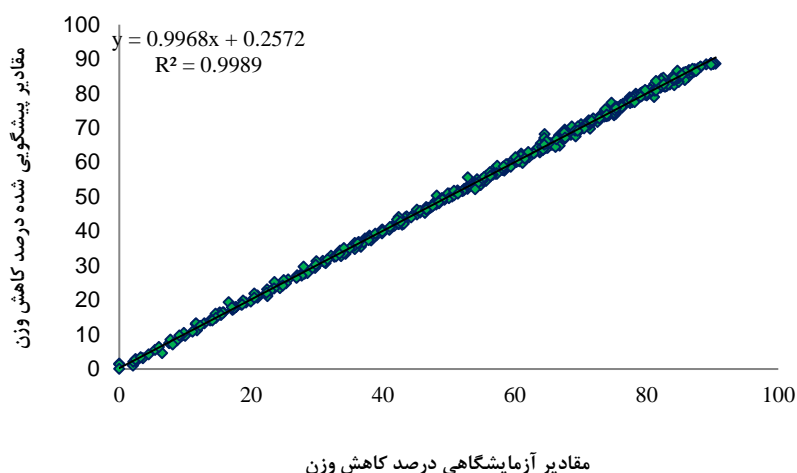
جدول ۳- مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون در شبکه عصبی مصنوعی بهینه

تعداد نرون لایه پنهان	بایاس	نرون‌های لایه ورودی			نرون‌های لایه خروجی
		دمای هوا	سرعت	زمان	کاهش وزن
۱	۰/۶۹۸۷	-۳/۸۰۹۶	-۷۲۰۸	-۱/۵۱۳۰	۰/۳۶۳۱
۲	۰/۳۶۹۸	-۰/۹۶۸۵	۱/۴۷۱۵	-۲/۴۲۶۵	-۰/۵۱۳۰
۳	۰/۷۸۹۵	۱/۳۱۱۳	-۲/۰۴۷۸	۵/۱۰۶۳	-۲/۴۲۶۵
۴	۰/۲۵۴۷	-۰/۰۹۲۸	-۱/۳۶۵۸	-۱/۹۷۵۷	۰/۳۶۵۸
۵	۲/۰۵۱۵	-۳/۱۶۸۸	-۰/۳۶۵۸	-۰/۴۳۰۸	-۱/۶۳۵۹
۶	۰/۱۹۳۶	-۰/۹۶۸۵	-۰/۲۳۶۵	-۰/۱۶۷۷	-۱/۶۲۵۱
۷	-۴/۲۷۸۸	۱/۳۱۱۳	-۰/۱۴۸۹	۰/۱۶۶۱	-۰/۱۲۳۵
۸	-۲/۶۵۸۹	-۰/۰۹۲۸	-۰/۸۹۵۲	-۰/۳۶۵۸	۱/۲۵۶۴
۹	۰/۳۶۵۸	۱/۳۶۸۵	۱/۱۱۲۹	۱/۲۰۸۲	۰/۲۵۶۴
۱۰	-۰/۳۶۶۵	-۳/۱۶۸۸	۰/۶۳۲۴	۱/۳۵۶۸	۰/۱۴۵۷
۱۱	۰/۷۳۱۳	-۱/۹۸۶۵	-۲/۷۹۲۴	۱/۱۰۴۳	۱/۸۶۲۴
۱۲	۰/۲/۱۰۴۳	۰/۵۳۸۴	-۲/۸۹۵۴	۰/۷۳۱۳	۲/۹۸۳۱
۱۳	-۰/۰۲۳۸	۱/۸۲۴۶	۴/۱۰۴۳	-۳/۸۰۹۶	-۰/۰۲۳۸
۱۴	۱/۹۸۵۷	۱/۴۵۰۷	-۰/۰۲۳۸	-۰/۹۶۸۵	۱/۵۲۸۴
۱۵	۰/۳۶۵۲	۰/۶۲۵۳	-۱/۲۵۶۸	۲/۳۶۸۷	۰/۸۵۳۲
۱۶	۰/۷۲۵۴	۰/۹۶۸۵	۰/۳۶۵۸	۰/۵۲۶۴	۰/۶۳۵۷
	بایاس				۱/۳۶۵۸

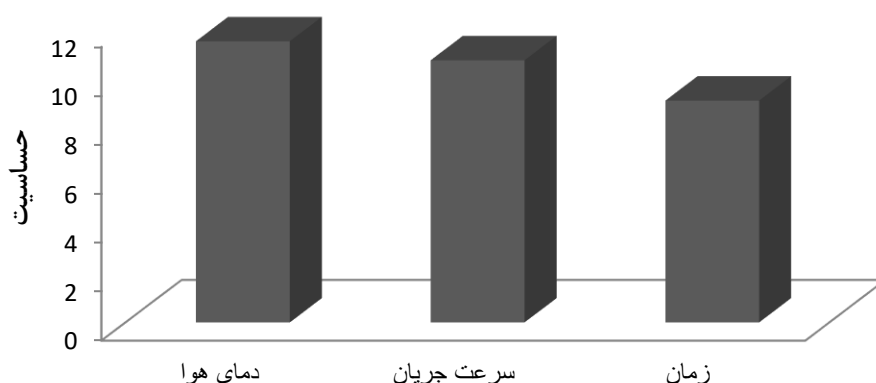
میزان دفع آب و جذب مواد جامد توسط شبکه عصبی چندلایه با سه ورودی (دما، زمان غوطه‌وری در محلول اسمزی و غلظت مواد جامد) نشان داد که بهترین شبکه با کمترین مجموع مربعات خطا برابر  $0/0066$  و بیشترین میانگین ضریب رگرسیون  $0/9725$  با یک لایه مخفی و پنج نرون و روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکوت به دست می‌آید.

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 می‌باشد. همچنین لرتوراسیریکل و ستان (۲۰۱۰) مدل‌سازی انتقال جرم آبگیری اسمزی پوست لیموی آفریقایی را توسط شبکه‌ی عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار دادند. نتایج پیش‌بینی





شکل ۶- مقادیر تجربی داده‌های ارزیابی در برابر مقادیر پیشگویی شده درصد کاهش وزن طی خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای توسط هوای داغ



شکل ۷- نتایج آنالیز حساسیت مدل‌سازی سینتیک خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای توسط هوای داغ.

دکمه‌ای توسط هوای داغ مورد بررسی قرار گرفت. هر سه متغیر ذکر شده بر مقدار خروج آب و کاهش وزن مؤثر بودند. با دمای هوای داغ و افزایش سرعت جریان هوای عبوری از روی ورقه‌ها، مقدار رطوبت خارج شده از نمونه‌ها افزایش یافته، در نتیجه سرعت خشک شدن افزایش می‌یابد.

مدل‌سازی سینتیک خشک شدن لایه‌نازک قارچ دکمه‌ای به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی جهت پیشگویی درصد کاهش وزن به‌عنوان تابعی از دمای هوای داغ، سرعت جریان و زمان انجام گرفت. از روش الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی تعداد نرون‌ها در لایه

به‌منظور بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تأثیرگذارترین عامل، تست آنالیز حساسیت<sup>۱</sup> بر روی شبکه بهینه انجام شد. همان‌طوری که در شکل ۷ مشاهده می‌شود در میان متغیرهای ورودی، دمای هوای داغ به‌عنوان مؤثرترین عامل در هنگام پیشگویی درصد کاهش وزن در طی خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای به روش هوای داغ می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر دمای هوای داغ، سرعت جریان هوا و زمان خشک‌کردن بر سینتیک خشک شدن لایه‌نازک قارچ

مخفی شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. نتایج نشان‌داد شبکه دارای ۱۶ نرون در یک‌لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک شبکه با کمترین خطا و بالاترین ضریب همبستگی ( $R=۰/۹۹۹$ ) قادر به پیشگویی درصد کاهش وزن می‌باشد. نتایج آنالیز حساسیت، دمای هوای داغ را به‌عنوان مؤثرترین پارامتر بر روی تغییر درصد کاهش وزن ورقه‌های قارچ معرفی نمود.

#### منابع مورد استفاده

- Alam N, Amin R, Khan A, Ara, I, Shim M J, Lee M W and Lee T S. 2008. Nutritional analysis of cultivated mushrooms in Bangladesh-Pleurotus ostreatus, Pleurotus sajor-caju, Pleurotus florida and Calocybe indica. *Mycobiology* 36(4): 228-232.
- Arora S, Shivhare US, Ahmed J and Raghavan GSV. 2003. Drying kinetics of *Agaricus bisporus* and *Pleurotus florida* mushrooms. *Transactions-American Society of Agricultural Engineers* 46(3): 721-724.
- BahramParvar M, Salehi F and Razavi SMA, 2014. Predicting total acceptance of ice cream using artificial neural network. *Journal of Food Processing and Preservation* 38(3): 1080-1088.
- Brennan M, Le Port G, Pulvirenti A and 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.
- Doymaz I and Pala M. 2003. The thin-layer drying characteristics of corn. *Journal of Food Engineering*, 60: 125-130.
- Doymaz I, 2007. Air drying characteristics of tomatoes. *Food Engineering*. 78: 1291-1297.
- 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.
- FAO, 2011. Statistical Database. Available: <http://www.fao.org/>.
- Farkas I, Reményi P and BirÓ B, 2000. A neural network topology for modeling grain drying. *Computers and Electronics in Agriculture* 26: 147-158.
- Giri SK and 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.
- Kotwaliwale N, Bakane P and Verma A, 2007. Changes in textural and optical properties of Oyster mushroom during hot air drying. *Journal of Food Engineering* 78 (4): 1207-1211.
- 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.
- Motevali A, Minaei ., Khoshtaghaza MH and Amirnejat H. 2011. Comparison of energy consumption and specific energy requirements of different methods for drying mushroom slices. *Energy* 36(11): 6433-6441.
- Mujumdar AS, 1997. Industrial drying of foods. in: G.J.B. Christopher (Ed.), *Drying fundamentals*. Blakie academic and professional publications.
- Salehi F and Razavi SMA, 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.
- 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*. (In Farsi).
- Singh U, Jain S, Doshi A, Jain H and Chahar V, 2008. Effects of Pretreatments on Drying Characteristics of Button Mushroom. *International Journal of Food Engineering* 4(4): DOI: 10.2202/1556-3758.1179.

## Modeling the kinetics of thin-layer drying of button mushroom by hot air using genetic algorithm - artificial neural network

F Salehi<sup>1\*</sup>, M Kashaninejad<sup>2</sup>, A Najafi<sup>3</sup> and F Asadi<sup>4</sup>

Received: August 06, 2014

Accepted: January 25, 2016

<sup>1</sup>Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>2</sup>Professor, Faculty of Food Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

<sup>3</sup>MSc Students, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>4</sup> BSc Students, Faculty of Food Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

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

### Abstract

Modeling the kinetics of drying of button mushroom in a hot air dryer by genetic algorithm-artificial neural network (GA-ANN) was investigated. The effects of hot air temperature at three levels 50, 60 and 70 °C, the air flow rate at three levels 1, 2 and 3 m/s on drying of button mushroom were examined. The results of hot air drying of button mushroom showed that with increasing the temperature and air velocity in hot air dryer, the drying rate increases. The increasing of the dryer temperature from 50 to 70 °C, and air velocity from 1 to 3 m/s, weight loss increased 12.2 and 12.0 %, respectively. Modeling the kinetics of thin-layer drying of button mushroom was done with the GA-ANN method with 3 inputs such as air temperature, flow rate and drying time and 1 output for predicting of weight loss. The modeling results showed a network with 16 neurons in one hidden layer with using hyperbolic tangent activation function and Levenberg-Marquardt can be well predict the weight loss in button mushroom drying by hot air ( $R=0.999$ ). Sensitivity analysis results by optimum network showed that the dryer temperature was the most sensitive factor to controlling the weight loss of samples.

**Keywords:** Button mushroom, Genetic Algorithm, Hot Air, Kinetics, Neural network, Thin-Layer Dryer