

کاربرد شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل‌سازی اثر آسکوربات کلسیم بر افزایش زمان ماندگاری قارچ دکمه‌ای

محمد سیاری^۱، فخرالدین صالحی^{۲*}، سجاد الوندی^۳

۱. استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
۲. استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
۳. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(تاریخ دریافت: 95/3/17، تاریخ پذیرش: 95/5/17)

چکیده

آسکوربات کلسیم، نمک بافر اسید آسکوربیک حاوی کلسیم می‌باشد و در حفظ کیفیت و کاهش ضایعات محصولات کشاورزی در پس از برداشت مؤثر می‌باشد. در این مطالعه از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی اثر آسکوربات کلسیم بر زمان ماندگاری قارچ دکمه‌ای استفاده گردید. پس از اعمال تیمار آسکوربات کلسیم در سه سطح 0، 0/4 و 0/8 درصد، قارچ‌ها در دمای $1 \pm 0/5$ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 90٪ نگهداری و سپس صفات کیفی طی روزهای صفر، 10، 15، 20 و 25 مورد بررسی قرار گرفتند. به‌منظور پیشگویی اثر آسکوربات کلسیم بر زمان ماندگاری قارچ دکمه‌ای از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با 2 ورودی غلظت آسکوربات کلسیم و زمان انبارمانی و 14 خروجی، یعنی کاهش وزن، سفتی، مواد جامد محلول کل، pH، L^* ، a^* ، b^* ، کروما، زاویه هیو، ΔE شاخص قهوه‌ای شدن، ویتامین ث، فنل کل و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز استفاده شد. نتایج نشان داد که شبکه‌ای با تعداد 8 نرون در یک لایه پنهان، با استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئیدی و تکنیک بهینه‌سازی لیونبرگ مارکوت و درصد داده‌های مورد استفاده برای تربیت/آزمون/ارزیابی برابر 40/20/40 می‌توان اثر آسکوربات کلسیم بر زمان ماندگاری قارچ دکمه‌ای را با میانگین ضریب همبستگی برابر 0/91 تخمین زد. نتایج آنالیز حساسیت با شبکه عصبی بهینه (2-8-14)، زمان نگهداری را به عنوان مؤثرترین عامل در پیش‌بینی صفات قارچ دکمه‌ای در طی پس از برداشت مشخص نمود.

واژه‌های کلیدی: سفتی بافت، شاخص‌های رنگ، شاخص قهوه‌ای شدن، پلی فنل اکسیداز، ویتامین ث.

1- مقدمه

زمان بر کاهش وزن، شاخص‌های رنگ و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز معنی‌دار شده است. نتایج حاکی از این بود که آسکوربات کلسیم 0/8 درصد همراه با تیمار دمایی بهترین اثر را در حفظ صفات کیفی قارچ دکمه‌ای دارد.

امروزه با توسعه فناوری‌های پردازش رایانه‌ای، از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN¹) به‌طور گسترده‌ای به‌منظور مدل‌سازی فرایندهای نگه‌داری و پس از برداشت به‌منظور پیش‌بینی پارامترهای مورد نظر در طراحی و توسعه سیستم‌ها استفاده شده است. شبکه‌های عصبی قادر به مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی و پیچیده با تعداد زیادی داده ورودی و خروجی می‌باشند [8]. احتمال بروز تنش محیطی در گیاه پسته با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی توسط تبریزیان و همکاران [9] بررسی شده است. شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های جدید که شبکه با آن مواجه نشده بود انجام شد و میانگین خطا برای داده‌های جدید 9/63 محاسبه شد. مدل‌سازی و بهینه کردن مقاومت روزنه‌ای زیتون در شرایط تنش شوری ناشی از کلرید سدیم با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک انجام شده است [10]. نتایج پیش‌بینی‌شده نشان داد که شبکه عصبی قادر به پیش‌بینی نتایج آزمایشگاهی بوده و بیش‌ترین درصد خطا بین داده‌های آزمایشگاهی و پیش‌بینی‌شده کم‌تر از 2/57 و ضریب همبستگی بین آن‌ها 0/994 می‌باشد. از شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره جهت برآورد عملکرد گندم دیم نیز استفاده شده است [11]. نتایج حاکی از آن است که مدل شبکه عصبی مصنوعی، مقدار عملکرد گندم دیم را قبل از برداشت محصول با قابلیت برآورد بسیار بالا پیش‌بینی می‌نماید. در این پژوهش کارایی مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی اثر آسکوربات کلسیم بر صفات کیفی قارچ دکمه‌ای شامل کاهش وزن، سفتی، مواد جامد محلول کل، pH، شاخص‌های رنگ، ویتامین ث، فنل کل و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در طی انبارمانی مورد بررسی قرار گرفته و بهترین توپولوژی شبکه عصبی مصنوعی معرفی گردید.

2- مواد و روش‌ها

1-2- اندازه‌گیری خصوصیات

قارچ‌های مورد استفاده در این تحقیق از شرکت تولید قارچ I. Artificial Neural Network (ANN)

میزان تولید قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) در ایران روبه افزایش بوده و بر اساس آمار سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو¹) ایران در سال 2013 با تولید حدود 70140 تن، دارای رتبه هشتم در تولید این محصول می‌باشد. قارچ دکمه‌ای دارای ارزش غذایی و دارویی بالایی بوده و منبع بسیار غنی از پروتئین، اسید آمینه‌های ضروری، ویتامین‌های گروه ب، ویتامین ث، پتاسیم، مانیتول و اسید لینولئیک می‌باشد [1]. با این حال ضایعات قارچ دکمه‌ای در طی دوره انبارمانی بسیار بالا بوده و خسارت اقتصادی فراوانی ایجاد می‌نماید. از جمله دلایل ایجاد ضایعات و کاهش کیفیت قارچ دکمه‌ای می‌توان به قهوه‌ای شدن، نرخ تنفس بالا، باز شدن کلاهک، حساسیت به از دست‌دهی آب و آلودگی‌های قارچی اشاره نمود [2]. با توجه به اهمیت غذایی و اقتصادی قارچ دکمه‌ای لازم است تا با روش‌های مختلف هم مدت انبارمانی قارچ افزایش یابد و هم ویژگی‌های کیفی محصول در طول دوره انبارمانی حفظ شود. آسکوربات کلسیم نمک بافر اسید آسکوربیک حاوی کلسیم بوده و در حفظ کیفیت محصولات کشاورزی در پس از برداشت و جلوگیری از قهوه‌ای شدن بافت میوه‌ها و سبزی‌ها مؤثر می‌باشد. از آسکوربات کلسیم به عنوان یک ماده ضد اکسایش، نگهدارنده مواد غذایی و حفظ‌کننده کیفیت محصولات کشاورزی در پس از برداشت استفاده می‌شود. تیمار آسکوربات کلسیم در پس از برداشت خریزه باعث حفظ سفتی، کاهش فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز و کاهش نرخ تنفس شده است [3]. در آزمایشی دیگر تیمار آسکوربات کلسیم بر روی برش تازه بادمجان باعث مهار قهوه‌ای شدن و نرم شدن بافت گردید [4]. هم‌چنین آسکوربات کلسیم در سیب باعث حفظ سفتی و کاهش واکنش قهوه‌ای شدن [5] و افزایش محتوای اسید آسکوربیک شد [6]. اثر آسکوربات کلسیم و تیمار دمایی بر افزایش عمر قفسه‌ای قارچ دکمه‌ای توسط الوندی و سیاری [7] بررسی شد. نتایج نشان داد که آسکوربات کلسیم همراه با تیمار دمایی اثر معنی‌داری بر کاهش وزن، سفتی بافت، شاخص‌های رنگ و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز به همراه داشته است. اثر زمان انبارمانی بر همه صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گزارش و هم‌چنین برهمکنش تیمار و I. FAO

می‌شدند. بر اساس خصوصیات رنگی اندازه‌گیری شده، شاخص‌های قهوه‌ای شدن بافت¹، کروما² و زاویه هیو³ محاسبه شدند [16].

2-2- مدل‌سازی فرایند

مدل‌سازی اثر آسکوربات کلسیم بر افزایش زمان ماندگاری قارچ دکمه‌ای جهت پیش‌بینی کاهش وزن، سفتی، مواد جامد محلول کل، pH، L*، a*، b*، کروما، زاویه هیو، ΔE شاخص قهوه‌ای شدن، ویتامین ث، فنل کل و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز توسط شبکه‌های عصبی چند لایه پرسپترون پیش‌خور که یکی از پرکاربردترین شبکه‌های عصبی می‌باشد، انجام پذیرفت (شکل 1). در این پژوهش از شبکه‌های عصبی 3 لایه استفاده گردید. نرون‌ها در این نوع شبکه در سه لایه ورودی، پنهان و خروجی دسته‌بندی می‌شوند. پردازش اطلاعات درون نرون‌ها صورت می‌گیرد [8]. یک نرون در یک شبکه می‌تواند ورودی‌های مختلفی را نه فقط از یک نرون، بلکه از چند یا حتی تعداد زیادی نرون دریافت نماید. خروجی نرون‌های لایه پنهان و خروجی (y) از طریق افزایش بایاس⁴ به مجموع ورودی‌های وزن دار شده با استفاده از رابطه (1) محاسبه می‌شود.

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

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 [8].

عملکرد اساسی نرون مصنوعی شامل جمع زدن سیگنال‌های ورودی وزن دار آن و اعمال تابع خروجی یا تابع فعال‌سازی⁵ است. از توابع فعال‌سازی خطی، سیگموئیدی⁶ (رابطه 2) و تانژانت هیپربولیک⁷ (رابطه 3) که متداول‌ترین نوع توابع فعال‌سازی هستند، در لایه پنهان و خروجی استفاده گردید [17]. به‌منظور انتخاب نوع تابع فعال‌سازی با حداقل خطا، توابع

الوند شهرستان همدان تهیه شده و بلافاصله به آزمایشگاه علوم باغبانی دانشگاه بوعلی سینا انتقال داده شد. این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با 3 تکرار انجام شد. فاکتور اول تیمار در 3 سطح شامل غوطه‌وری در آب مقطر، آسکوربات کلسیم 0/4 درصد و آسکوربات کلسیم 0/8 درصد و فاکتور دوم زمان انبارمانی در 5 سطح، روزهای صفر، 10، 15، 20 و 25 بوده است.

برای اعمال تیمارها، قارچ‌های دکمه‌ای یک شکل به مدت 3 دقیقه در یک بن ماری حاوی آب مقطر با دمای 25 درجه سانتی‌گراد حاوی غلظت‌های 0، 0/4 و 0/8 درصد آسکوربات کلسیم غوطه‌ور و پس از آن به مدت 2 ساعت در دمای اتاق خشک شدند. سپس در ظروف پلاستیکی یک کیلویی (هر ظرف 6 عدد) با سلفون دارای منافذ ریز بسته بندی و جهت نگهداری به سردخانه با دمای $1 \pm 0/5$ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 90٪ انتقال داده شدند. اندازه‌گیری صفات پس از 10، 15، 20 و 25 روز انبارمانی انجام شد.

برای اندازه‌گیری میزان کاهش وزن، اختلاف وزن قارچ‌های دکمه‌ای قبل از ورود به انبار و در زمان خروج از انبار محاسبه گردید. سفتی بافت توسط دستگاه سفتی سنج (واگنر ساخت ایتالیا) با قطر پیستون 2 میلی‌متر بر حسب نیوتن محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری ویتامین ث (میلی‌گرم در 100 گرم قارچ تازه) از روش تیتراسیون با 2-6 دی کلرو فنل ایندو فنل¹ استفاده شد [12]. سنجش میزان فنل کل قارچ‌ها پس از عصاره‌گیری توسط متانول [13]، بر اساس روش سینگلتن و همکاران [14] توسط معرف فولین سیوکالتئو² در طول موج 760 نانومتر و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (واریان³ مدل کری⁴ 100، ساخت کشور آمریکا) صورت پذیرفت. از اسید گالیک به عنوان استاندارد استفاده شد. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز بر اساس روش جانوویتز-کلپ و همکاران [15] انجام گردید.

اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ (L*، a*، b*) توسط دستگاه رنگ سنج (مدل HP-200، ساخت کشور چین) صورت گرفت. پارامترهای رنگی قبل از انبارداری و طی نگهداری اندازه‌گیری

1. Browning index (BI)
2. Chroma
3. Hue angle
4. Bias
5. Activation function
6. Sigmoid functions
7. Hyperbolic tangent function

1. 2,6-Dichloro-phenol Indophenol
2. Folin-Ciocalteu reagent
3. Varian
4. Cary

در این نرم‌افزار با تغییر تعداد نرون‌ها در لایه پنهان؛ نوع تابع فعال‌سازی (تانژانت هیپربولیک، سیگموئیدی و خطی)؛ تعداد داده‌های استفاده شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی و قاعده یادگیری لیونبرگ-مارکت^۱، بهترین توپولوژی^۲ شبکه جهت دستیابی به شبکه بهینه نیز بررسی شد [8].

3- نتایج و بحث

با توجه به مقدار خطای کم‌تری که با استفاده از 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 40 درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد. 20 درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش دیده استفاده گردید. به منظور ارزیابی شبکه نیز از باقی‌مانده داده‌ها (40 درصد) استفاده گردید. مقدار ضریب همبستگی مشاهده شده برای پیش‌بینی داده‌های ارزیابی که طی فرایند آموزش مورد استفاده قرار نگرفته‌اند، با استفاده از 2 تا 10 نرون در لایه پنهان در جدول (1) گزارش شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، شبکه‌ای با 8 نرون در لایه پنهان بالاترین ضریب همبستگی برای پیش‌بینی کاهش وزن، سفتی، مواد جامد محلول کل،

تانژانت هیپربولیک، سیگموئیدی و خطی در توپولوژی‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی به صورت آزمون و خطا مورد بررسی قرار گرفتند [8].

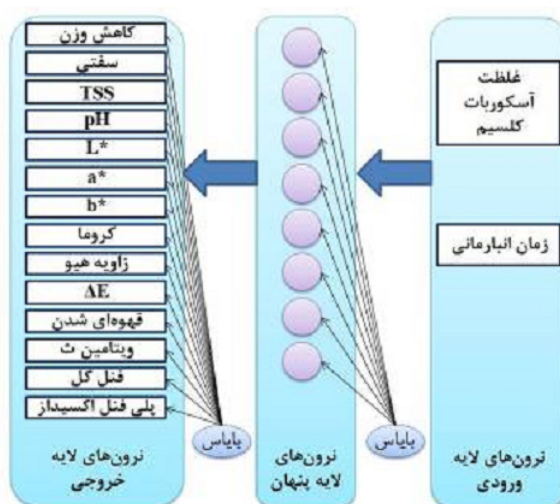
$$\text{Sig} = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$

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

به منظور مدل‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی، داده‌ها به سه دسته داده‌های آموزش، آزمون و ارزیابی تقسیم شدند. تعداد سیکل‌های یادگیری برابر 1000 انتخاب شد و برای جلوگیری از یادگیری بیش از حد، فرایند یادگیری در صورتی که میانگین مربعات خطای^۱ یادگیری پس از 100 سیکل یادگیری تغییری نمی‌کرد، متوقف می‌شد [۸، ۱۷]. به منظور ارزیابی شبکه‌های عصبی و انتخاب بهترین توپولوژی شبکه برای پیش‌بینی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص میانگین مربعات خطا، میانگین مربعات خطای نرمالیزه^۲، میانگین خطای مطلق^۳ و ضریب همبستگی^۴ استفاده گردید. نرم‌افزار نوروسولوشن^۵ نسخه 6 جهت مدل‌سازی اثر آسکورات کلسیم بر افزایش زمان ماندگاری قارچ دکمه‌ای استفاده گردید [17].

1. Mean squared error (MSE)
2. Normalized mean squared error (NMSE)
3. Mean absolute error (MAE)
4. Correlation coefficient (r)
5. Neurosolution software (Excel software release 6.0) presented by NeuroDimension, Inc., USA

1. Levenberg-Marquardt (LM)
2. Topology



شکل (1) شماتیک شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده در پیش‌بینی اثر آسکورات کلسیم بر افزایش زمان ماندگاری قارچ دکمه‌ای

pH، شاخص‌های رنگ، ویتامین ث، فنل کل و فعالیت آنزیم پیشگویی نمود ($R=0/99$).

شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند رابطه بین مجموعه‌ای از ورودی‌ها و خروجی‌ها برای پیش‌بینی هر خروجی متناظر با ورودی دلخواه را پیدا کند. مقدار میانگین مربعات خطا در طی فرایند یادگیری، آزمون و ارزیابی در برابر سیکل‌های یادگیری شبکه بهینه در شکل (2) به نمایش در آمده است. کاهش سریع نمودار میانگین مربعات خطا در سیکل‌های اولیه آموزش، نشان از یادگیری سریع شبکه می‌باشد که از ویژگی‌های شناخته‌شده روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکت می‌باشد [8]. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، فرایند یادگیری بعد از حدود 53 سیکل کامل شده و خطا به مقدار ثابتی رسیده است.

هدف از فرایند آموزش شبکه عصبی مصنوعی به‌دست آوردن بردارهای وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه است. در جدول (3)، مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون برای شبکه عصبی دارای 8 نرون در لایه پنهان آورده شده است. با استفاده از داده‌های گزارش‌شده در این جدول، می‌توان اثر آسکوروبات کلسیم و زمان نگه‌داری بر ماندگاری قارچ دکمه‌ای را در سایر شرایط آزمایش نشده در این پژوهش را نیز با دقت بالا پیش‌بینی نمود. جهت بررسی مقدار تاثیرگذاری پارامترهای ورودی (غلظت آسکوروبات کلسیم و زمان انبارمانی) و شناسایی تاثیر گذارترین عامل، تست آنالیز حساسیت بر روی شبکه بهینه انجام شد. همان‌طوری که در شکل (3) مشاهده می‌شود در میان متغیرهای ورودی، زمان نگه‌داری مؤثرترین عامل در پیش‌بینی اثر آسکوروبات کلسیم بر خصوصیات قارچ دکمه‌ای شامل کاهش وزن، سفتی، مواد جامد محلول کل، pH، L^* ، a^* ، b^* ، کروما، زاویه هیو، ΔE ، شاخص قهوه‌ای شدن، ویتامین ث، فنل کل و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز می‌باشد.

4- نتیجه‌گیری

در این مطالعه به‌منظور حفظ کیفیت قارچ دکمه‌ای در دوره انبارمانی از آسکوروبات کلسیم استفاده و صفات کیفی قارچ دکمه‌ای در دوره انبارمانی اندازه‌گیری شدند. پیش‌بینی اثر آسکوروبات کلسیم بر افزایش زمان ماندگاری قارچ دکمه‌ای با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با 2 ورودی

پلی فنل اکسیداز با میانگین 0/91 را دارد.

نتایج مدل‌سازی احتمال بروز تنش محیطی در گیاه پسته با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی توسط تبریزیان و همکاران [9] نشان داد شبکه‌ای با ساختار 1-10-28 که دارای یک لایه پنهان با تابع انتقال سیگموئید و یک لایه خروجی با تابع انتقال خطی ساده، دارای کم‌ترین میانگین مربعات خطا می‌باشد. شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های جدید که شبکه با آن مواجه نشده بود انجام شد و میانگین خطا برای داده‌های جدید 9/63 محاسبه شد.

مدل‌سازی و بهینه کردن مقاومت روزنه‌ای زیتون در شرایط تنش شوری ناشی از کلرید سدیم با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک توسط رضایی و روحانی در سال 1392 انجام شده است [10]. نتایج پیش‌بینی‌شده نشان داد که شبکه عصبی قادر به پیش‌بینی نتایج آزمایشگاهی بوده و بیش‌ترین درصد خطا بین داده‌های آزمایشگاهی و پیش‌بینی‌شده کم‌تر از 2/57 و ضریب همبستگی بین آن‌ها 0/994 می‌باشد.

در جدول (2) مقادیر میانگین مربعات خطا، میانگین مربعات خطای نرمالیزه، میانگین خطای مطلق و ضریب همبستگی برای پیش‌بینی کاهش وزن، سفتی، مواد جامد محلول کل، pH، L^* ، a^* ، b^* ، کروما، زاویه هیو، ΔE ، شاخص قهوه‌ای شدن، ویتامین ث، فنل کل و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی دارای 8 نرون در لایه پنهان گزارش شده است. مقادیر بالای ضریب همبستگی و خطاهای پایین گزارش‌شده در این جدول نشان‌دهنده کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی اثر آسکوروبات کلسیم بر افزایش زمان ماندگاری قارچ دکمه‌ای می‌باشد.

مدل‌سازی سینتیک خشک شدن قارچ دکمه‌ای در یک خشک‌کن جابه‌جایی هوای داغ به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی توسط صالحی و همکاران [18] مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مدل‌سازی نشان داد شبکه‌ای با تعداد 16 نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک، می‌توان درصد کاهش وزن در طی فرایند خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای به روش جابه‌جایی هوای داغ را

جدول (۱) مقادیر ضریب همبستگی در پیش‌بینی داده‌های ارزیابی توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی دارای ۲ تا ۱۰ نرون در لایه پنهان.

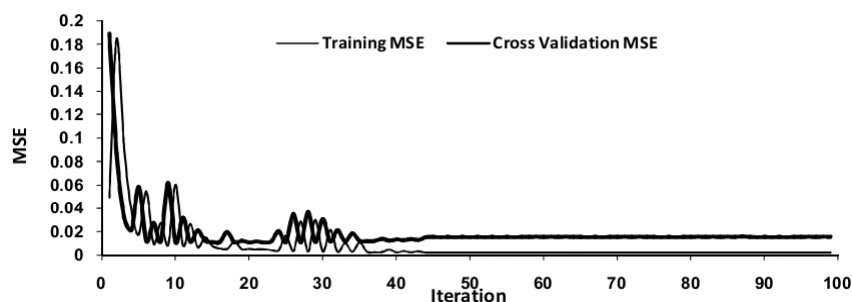
تعداد نرون	کاهش وزن	سفتی	TSS	pH	L*	a*	b*	کروما	زاویه هیو	ΔE	شاخص قهوه‌ای شدن	ویسکوزیته	فیل کل	پلی فیل اکسیژاز	میانگین ضریب همبستگی
2	0/98	0/92	0/67	0/72	0/89	0/92	0/91	0/91	0/90	0/91	0/91	0/90	0/88	0/69	0/87
3	0/98	0/92	0/74	0/85	0/92	0/93	0/91	0/91	0/91	0/91	0/92	0/90	0/91	0/77	0/89
4	0/96	0/91	0/71	0/82	0/92	0/93	0/91	0/91	0/91	0/93	0/86	0/86	0/84	0/77	0/88
5	0/97	0/91	0/69	0/87	0/93	0/93	0/91	0/91	0/92	0/92	0/93	0/93	0/85	0/81	0/89
6	0/97	0/91	0/76	0/87	0/88	0/89	0/88	0/91	0/88	0/86	0/85	0/85	0/70	0/86	0/86
7	0/98	0/91	0/69	0/84	0/91	0/93	0/91	0/90	0/90	0/91	0/86	0/86	0/90	0/80	0/89
8	0/99	0/94	0/79	0/88	0/94	0/94	0/91	0/91	0/93	0/93	0/94	0/94	0/91	0/84	0/91
9	0/98	0/90	0/68	0/84	0/93	0/93	0/92	0/90	0/92	0/92	0/83	0/86	0/78	0/88	0/88
10	0/98	0/91	0/69	0/88	0/93	0/91	0/91	0/91	0/91	0/92	0/88	0/84	0/82	0/82	0/89

جدول (۲) مقادیر خطا در پیش‌بینی داده‌های ارزیابی توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی بهینه‌داری ۸ نرون در لایه پنهان به منظور تخمین اثر آسکوربات کلسیم بر افزایش زمان ماندگاری قارچ دکمهای

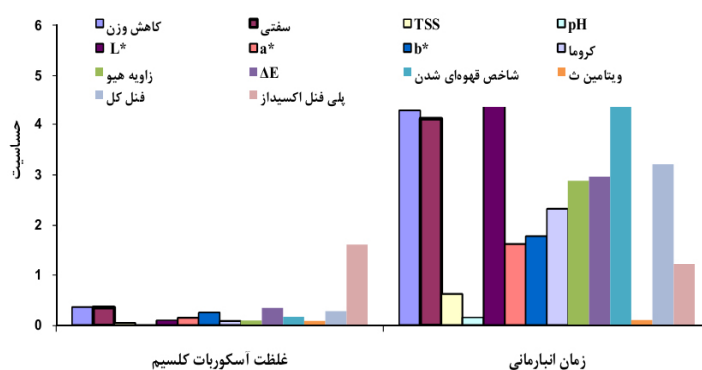
خطا	کاهش وزن	سفتی	TSS	pH	L*	a*	b*	کروما	زاویه هیو	ΔE	شاخص قهوه‌ای شدن	ویسکوزیته	فیل کل	پلی فیل اکسیژاز
خطا	1/26	1308/71	0/27	0/02	3/27	0/33	1/31	1/17	3/05	6/41	5/37	0/02	1/04	7/65
میانگین مربعات خطا	0/04	0/19	0/50	0/36	0/14	0/15	0/24	0/17	0/30	0/22	0/19	0/31	0/30	0/31
میانگین مربعات خطای نرمالیزه شده	0/90	27/44	0/41	0/12	1/38	0/46	0/90	0/95	1/50	1/93	1/90	0/07	1/56	2/01
ضریب همبستگی	0/99	0/94	0/79	0/88	0/94	0/94	0/93	0/91	0/91	0/93	0/94	0/94	0/91	0/84

جدول (۳) مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون در شبکه بهینه (۱-۸-۳) به منظور تخمین خصوصیات قارچ دکمهای

نرون‌های ورودی	نرون‌های خروجی	فیل کل	ویسکوزیته	شاخص قهوه‌ای شدن	ΔE	زاویه هیو	کروما	b*	a*	L*	pH	TSS	سفتی	کاهش وزن	کاهش وزن	فاصلت آسکوربات کلسیم	زمان انجماد	بایاس	تعداد نرون
بلی فیل اکسیژاز	بلی فیل کل	0/104	-0/382	0/172	-2/927	0/041	-6/637	10/46	-1/707	0/428	-0/474	0/003	0/852	-0/985	5/203	3/612	-4/710	1	
0/698	-0/665	-0/145	0/036	0/008	-3/14	-0/556	-0/676	-0/667	-3/591	0/201	0/378	0/107	0/136	-1/157	3/355	-1/549	2		
0/336	0/506	0/002	-0/538	-0/347	0/366	0/254	0/256	0/112	-0/225	-0/129	0/652	-4/409	0/070	-3/203	2/747	1/939	3		
-0/219	-0/358	0/476	0/356	0/489	0/639	0/652	-0/328	0/625	-0/311	0/367	0/365	0/050	0/045	-8/140	-2/286	3/459	4		
-0/019	0/423	0/193	-0/475	-1/422	-0/310	0/256	0/367	-0/310	0/639	1/256	0/201	0/378	0/134	4/506	2/633	-0/382	5		
0/985	-0/905	0/103	0/165	-0/830	0/151	-1/775	0/652	0/235	0/780	-0/609	-0/129	0/652	0/046	0/779	4/674	-0/983	6		
0/365	-0/365	-0/859	0/427	0/120	0/637	-0/311	0/6637	0/341	-0/115	-0/311	0/631	0/107	-0/609	0/001	0/536	-0/422	7		
2/365	-0/658	1/245	-0/122	-0/055	-0/466	0/325	-0/256	0/325	0/254	0/985	-0/785	2/256	1/245	7/284	-0/739	-1/837	8		
0/194	-0/468	-1/127	0/284	-0/557	-0/145	0/008	0/017	-0/293	0/404	1/364	0/897	-0/192	-0/142				بایاس		



شکل (2) مقادیر میانگین مربعات خطا به عنوان تابعی از تعداد سیکل‌های یادگیری طی فرایند یادگیری و آزمون شبکه عصبی مصنوعی



شکل (3) نتایج آنالیز حساسیت توسط شبکه عصبی بهینه (14-8-2) در قارچ دکمه‌ای تیمار شده با اسکوربات کلسیم طی دوره انباری

فعال سازی سیگموئیدی می‌توان اثر آسکوربات کلسیم بر افزایش وزن، سفتی، مواد جامد محلول کل، pH، L*، a*، b*، کروما، زاویه هیو، ΔE، شاخص قهوه‌ای شدن، ویتامین ث، فنل کل و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز) انجام شد. نتایج نشان داد با استفاده از شبکه‌ای با تعداد 8 نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع

غلظت آسکوربات کلسیم و زمان انبارمانی) و 14 خروجی (کاهش وزن، سفتی، مواد جامد محلول کل، pH، L*، a*، b*، کروما، زاویه هیو، ΔE، شاخص قهوه‌ای شدن، ویتامین ث، فنل کل و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز) انجام شد. نتایج نشان داد با استفاده از شبکه‌ای با تعداد 8 نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع

منابع

J. Food Sci. Tech., 23, 1-9.

[3] Silveira A.C., Aguayo E., Chisari M., Artes F. (2011). Calcium salts and heat treatment for quality retention of fresh-cut 'Galia' melon. *Postharvest Biol. Tech.*, 62, 77-84.

[4] Barbagallo R.N., Chisari M., Caputa G. (2012). Effects of calcium citrate and ascorbate as inhibitors of browning and softening in minimally processed 'Birgah' eggplants. *Postharvest Biol. Tech.*, 73, 312-322.

[1] حاتمی، م؛ کلانتری، س؛ دلشاد، م. (1391) اثر تیمار پس از برداشت آب گرم و شرایط دمایی نگهداری بر میوه رسیده سبز گوجه فرنگی. *علوم باغبانی ایران*، دوره 43، شماره 2، ص 113-123.

[2] Lagnika C., Zhang M., Nsor-Atindana J., Bashari M. (2012). Effects of ultrasound and chemical treatments on white mushroom (*Agaricus bisporus*) prior to modified atmosphere packaging in extending shelf-life.

- [14] Singleton V.L., Orthofer R., Lamuela-Raventos R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Method. Enzymol.*, 299, 152-178.
- [15] Janovitz-klapp A.H., Richard F.C., Goupy P.M., Nicolas J.J. (1990). Inhibition studies on apple polyphenol oxidase. *J. Agr. Food Chem.*, 38, 926-931.
- [16] Salehi F., Kashaninejad M. (2014). Effect of different drying methods on rheological and textural properties of Balangu seed gum. *Drying Tech.*, 32(6), 720-727.
- [17] Salehi F., Razavi S.M.A. (2016). Modeling of waste brine nanofiltration process using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Desalin. Water Treat.*, 57 (31), 14369-14378.
- [18] صالحی، ف.؛ کاشانی‌نژاد، م.؛ نجفی، ا.و.؛ اسدی، ف. (1394) مدل‌سازی سینتیک خشک‌کردن لایه‌نازک قارچ دکمه‌ای توسط هوای داغ با استفاده از الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، (پذیرش چاپ).
- [5] Fan X., Niemera B.A., Mettheis J.P., Zhuang H., Olson D.W. (2005). Quality of fresh-cut apples slices as affected by low-dose ionizing radiation and calcium ascorbate treatment. *J. Food Sci.*, 70, 143-148.
- [6] Aguayo E., Requejo-Jackman C., Stanley R., Woolf A. (2010). Effects of calcium ascorbate treatments and storage atmosphere on antioxidant activity and quality of fresh-cut apple slices. *Postharvest Biol. Tech.*, 57, 52-60.
- [7] الوندی، س.؛ سیاری، م. (1394) اثر آسکوربات کلسیم و تیمار دمایی بر افزایش عمر قفسه‌ای قارچ دکمه‌ای. به زراعی کشاورزی، (پذیرش چاپ).
- [8] 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.
- [9] تبریزیان، ح.؛ غفوریان، ع.؛ حکم‌آبادی، ح. (1391) بررسی احتمال بروز تنش محیطی در گیاه پسته بر اساس داده‌های اقلیمی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. چکیده پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گرمسار.
- [10] رضایی، م.؛ روحانی، ع. (1392) مدل‌سازی و بهینه‌کردن مقاومت روزنه‌ای زیتون در شرایط تنش شوری ناشی از کلرید سدیم با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک. به زراعی کشاورزی، جلد 15، شماره 4، ص 64-53.
- [11] حسینی، س.م.ط.؛ سی و سه مرده، ع.؛ فتحی، پ.؛ سی و سه مرده، م. (1386) کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره در برآورد عملکرد گندم دیم منطقه قروه استان کردستان. پژوهش کشاورزی، جلد 7، شماره 1، ص 54-41.
- [12] مستوفی، ی.؛ نجفی، ف. (1384) روش‌های آزمایشگاهی تجزیه‌ای در علوم باغبانی. انتشارات دانشگاه تهران، ص 136-137.
- [13] Tomas-Barberan F.A., Gil M.I., Cremin P., Waterhouse A.L., Hess-Pierce B., Kader A.L. (2001). HPLC-DAD-ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches and plums. *J. Agr. Food Chem.*, 49, 4748-4760.