فنآوری تولیدات گیاهی/ جلد ۱۹/ شمارهٔ ۱/ صفحات ۲۸-۱۷/ بهار و تابستان ۹۸
DOI: 10.22084/ppt.2018.10130.1577
Archive of SID

مدل‌سازی اثر آسکوربات کلسیم بر خصوصیات پس از برداشت قارچ دکمه‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی

Modeling of Calcium Ascorbate Effect on Button Mushroom Characteristics During Postharvest Using Genetic Algorithm-artificial Neural Network

فخرالدین صالحی[۱]، محمد سیاری[۲*] و سجاد الوندی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۰۵

چکیده

در این پژوهش مدل‌سازی اثر آسکوربات کلسیم بر خصوصیات قارچ دکمه‌ای به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی موردبررسی قرار گرفت. آسکوربات کلسیم در حفظ کیفیت و کاهش ضایعات محصولات کشاورزی در دوره پس از برداشت مؤثر می‌باشد. لذا در این مطالعه ابتدا قارچ‌های دکمه‌ای توسط محلول آسکوربات کلسیم با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد در سه سطح ۰، ۰/۴ و ۰/۸ درصد تیمار شدند و بعد از خشک شدن در دمای اتاق و ۱ درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۹۰ درصد نگه‌داری گردیدند. صفات کیفی قارچ دکمه‌ای پس از برداشت در روزهای صفر، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ اندازه‌گیری شدند. مدل‌سازی اثر آسکوربات کلسیم بر خصوصیات قارچ دکمه‌ای به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی با دو ورودی (غلظت آسکوربات کلسیم و عمر قفسه‌ای) و ۹ خروجی (کاهش وزن، سفتی، مواد جامد محلول کل، pH، کروما، زاویه هیو، ΔE، شاخص قهوه‌ای شدن و فنل کل) با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه انجام شد. نتایج نشان داد شبکه‌ای با تعداد ۱۲ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک می‌تواند اثر آسکوربات کلسیم بر ویژگی‌های قارچ دکمه‌ای را با میانگین ضریب همبستگی برابر با ۰/۹۵ تخمین زند. نتایج آنالیز حساسیت با شبکه عصبی بهینه (۹-۱۲-۲)، عمر قفسه‌ای را به‌عنوان مؤثرترین عامل در پیش‌بینی صفات قارچ دکمه‌ای طی پس از برداشت مشخص نمود.

واژه‌های کلیدی: پرسپترون، عمر قفسه‌ای، شاخص قهوه‌ای شدن، فنل کل

۱. استادیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۲ و ۳. به‌ترتیب دانشیار و دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
*: نویسنده مسئول Email: m.sayyari@basu.ac.ir
www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

آسکوربات کلسیم یک نمک بافر اسید آسکوربیک حاوی کلسیم بوده است و در حفظ کیفیت محصولات کشاورزی در پس از برداشت بسیار مؤثر می‌باشد. از آسکوربات کلسیم به‌عنوان یک ماده ضد اکسایش، نگهدارنده مواد غذایی و حفظ‌کننده کیفیت محصولات کشاورزی در پس از برداشت استفاده زیادی می‌شود. تیمار آسکوربات کلسیم در پس از برداشت خربزه باعث حفظ سفتی، کاهش فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز و کاهش نرخ تنفس شده است (*سیلویرا*[1] و همکاران، 2011). در آزمایشی دیگر تیمار آسکوربات کلسیم روی بادمجان تازه برش باعث مهار قهوه‌ای شدن و نرم شدن بافت گردید (*باربا‌گالو*[2] و همکاران، 2012). هم‌چنین آسکوربات کلسیم در سیب باعث حفظ سفتی و کاهش واکنش قهوه‌ای شدن (*فن*[3] و همکاران، 2005) و افزایش محتوای اسید آسکوربیک شد (*آگوایو*[4] و همکاران، 2010).

تیمار دمایی نیز یک روش فیزیکی غیرتخریبی بوده که در حفظ کیفیت میوه‌ها و سبزی‌ها و هم‌چنین کاهش ضایعات آن‌ها در پس از برداشت بسیار مؤثر می‌باشد (*لوری*[5]، 1998). در پژوهشی تیمار آب گرم با دمای ۶۵-۵۵ درجه سانتی‌گراد در قارچ دکمه‌ای باعث کاهش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز شد (چنگ[6] و همکاران، 2013). طی گزارشی بیان شد که تیمار آب گرم در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه باعث کاهش نرم شدن و فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز و هم‌چنین کاهش غلظت اسید آسکوربیک در گوجه‌فرنگی شد (حاتمی و همکاران، ۱۳۹۱). ترکیب تیمار دمایی و کلسیم اثر و نتایج مثبتی در بهبود و نگهداری سفتی بافت در تعداد بسیاری از میوه‌ها و سبزی‌ها داشته است (الوندی و سیاری، ۱۳۹۴).

قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) در بین انواع قارچ‌ها به‌طور گسترده‌تری در جهان کشت و مصرف می‌شود و سهمی در حدود ۴۰ درصد از تولید جهانی قارچ را به خود اختصاص می‌دهد. قارچ‌ها پس از برداشت به دلیل عدم وجود کوتیکول، سرعت‌بالای تنفس، رطوبت زیاد و فعالیت آنزیمی شدید دارای ماندگاری کمتری نسبت به سایر سبزی‌ها هستند و به‌سرعت فاسد می‌شوند (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴). براساس آمار سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (*فائو*[7]) ایران در سال ۲۰۱۳ با تولید حدود ۷۰۱۴۰ تن، در بین ۱۰ کشور برتر تولیدکننده (رتبه هشتم) این محصول قرار داشته است. قارچ دکمه‌ای دارای ارزش غذایی و داروئی بسیار بالایی بوده و منبع بسیار عالی پروتئین، اسیدآمینه‌های ضروری، ویتامین‌های گروه ب، ویتامین ث، پتاسیم، مانیتول و اسید لینولئیک می‌باشد (پیوست و الفتی، ۱۳۸۶). با این‌حال ضایعات قارچ دکمه‌ای در طی دوره انبارمانی بسیار بالا است و خسارت اقتصادی فراوانی ایجاد می‌کند. ازجمله دلایل ایجاد ضایعات و کاهش کیفیت قارچ دکمه‌ای قهوه‌ای شدن، نرخ تنفس بالا، باز شدن کلاهک، حساسیت به از دست‌دهی آب و آلودگی‌های قارچی می‌باشد (*لاگنیکا*[8] و همکاران، 2012). 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. اثر آسکوربات کلسیم و تیمار دمایی بر افزایش عمر قفسه‌ای قارچ دکمه‌ای توسط الوندی و سیاری (۱۳۹۴) بررسی شد. نتایج نشان داد که آسکوربات کلسیم همراه با تیمار دمایی اثرات معنی‌داری بر کاهش وزن، سفتی بافت، شاخص‌های رنگ و فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز به همراه داشته است. اثر عمر قفسه‌ای بر همه‌ی صفات معنی‌دار گزارش شد و هم‌چنین برهم‌کنش تیمار و زمان بر کاهش وزن، شاخص‌های رنگ و فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز معنی‌دار شد. نتایج حاکی از این بود که آسکوربات کلسیم ۰/۸ درصد همراه با تیمار دمایی بهترین اثر را در حفظ صفات کیفی قارچ دکمه‌ای داشت.

از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)[9] به‌طورگسترده‌ای به‌منظور مدل‌سازی فرایندهای نگهداری و پس از برداشت به‌منظور پیش‌بینی پارامترهای موردنظر 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 (*صالحی* و *رضوی*[10]، 2016). 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 به‌وسیله آزمون و خطا انجام می‌شود که وقت‌گیر بوده و دارای خطا است. لذا روش‌های بهینه‌سازی از قبیل الگوریتم ژنتیک[11] در جهت غلبه بر این مشکل ذاتی شبکه‌های عصبی و به‌دست آوردن تعداد بهینه نرون‌ها در لایه پنهان مورداستفاده قرار

1. Silveira
2. Barbagallo
3. Fan
4. Aguayo
5. Lurie
6. Cheng
7. FAO
8. Lagnika
9. Artificial Neural Network (ANN)
10. Salehi
11. Genetic Algorithm (GA)

www.SID.ir

Archive of SID

گیرند. مفاهیم اصلی الگوریتم ژنتیک شامل عملگرهای سه‌گانه انتخاب[1]، آمیزش[2] و جهش[3] که در مورد سامانه‌های مصنوعی به‌کار می‌روند است (*رمزی*[4] و همکاران، 2015).

مدل‌سازی سینتیک خشک شدن قارچ دکمه‌ای در یک خشک‌کن جابجایی هوای داغ به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی توسط صالحی و همکاران (۱۳۹۴) موردبررسی قرار گرفته است. نتایج مدل‌سازی نشان‌داد شبکه‌ای با تعداد ۱۶ نرون در یک‌لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک می‌توان درصد کاهش وزن در طی فرآیند خشک‌کردن قارچ دکمه‌ای به روش جابجایی هوای داغ را پیشگویی نمود (R=۰/۹۹). احتمال بروز تنش محیطی در گیاه پسته با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی توسط تبریزیان و همکاران (۱۳۹۱) بررسی شده است. نتایج نشان داد شبکه‌ای با ساختار ۱-۱۰-۲۸ 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 ۹/۶۳ محاسبه شد. از شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره جهت برآورد عملکرد گندم دیم نیز استفاده شده است. 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 (حسینی و همکاران، ۱۳۸۶).

تعداد مطالعات محدودی در خصوص کاربرد مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی خصوصیات محصولات کشاورزی در پس از برداشت گزارش‌شده است. لذا در این پژوهش به مدل‌سازی اثر محلول آسکوربات کلسیم در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد بر صفات کیفی قارچ دکمه‌ای شامل کاهش وزن، سفتی، مواد جامد محلول کل، pH، شاخص‌های رنگ و فنل کل در طی نگهداری با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

اندازه‌گیری خصوصیات

قارچ‌های مورداستفاده در این تحقیق از شرکت تولید قارچ الوند شهرستان همدان برداشت و بلافاصله به آزمایشگاه علوم باغبانی دانشگاه بوعلی‌سینا انتقال داده شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها در سه سطح شامل غوطه‌وری در آب گرم با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد، آسکوربات کلسیم ۰/۴ درصد با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد و آسکوربات کلسیم ۰/۸ درصد با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد و فاکتور دوم زمان‌های خروج محصول از انبار بود که در روزهای ۱، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ انبارداری ویژگی‌های موردنظر محصول موردسنجش قرار گرفت.

برای اعمال تیمارها، قارچ‌های دکمه‌ای یک‌شکل و بدون آسیب مکانیکی به‌مدت سه دقیقه در آب مقطر ۴۵ درجه سانتی‌گراد و حاوی غلظت‌های ۰، ۰/۴ و ۰/۸ درصد آسکوربات کلسیم غوطه‌ور و سپس به‌مدت دو ساعت در دمای اتاق خشک شدند. پس از آن قارچ‌ها در ظروف پلاستیکی یک کیلویی (هر ظرف ۶ عدد) قرار گرفته و با سلفون حاوی سوراخ ریز بسته‌بندی و به سردخانه با دمای ۱±۰/۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰ درصد انتقال داده شدند. پس از صفر، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ روز انبارمانی صفات موردنظر اندازه‌گیری گردید.

برای اندازه‌گیری کاهش وزن، اختلاف وزن قارچ‌های دکمه‌ای قبل از ورود به انبار و در زمان خروج از انبار با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم توزین و محاسبه گردید. سفتی بافت قارچ نیز توسط دستگاه سفتی سنج (واگنر ساخت ایتالیا) با قطر پیستون دو میلی‌متر و برحسب نیوتن اندازه‌گیری شد. مواد جامد محلول کل[5] (TSS) و pH با روش‌های شرح داده شده توسط مستوفی و نجفی، (۱۳۸۴) اندازه‌گیری شدند. سنجش میزان فنل کل قارچ‌ها پس از عصاره گیری توسط متانول (*توماس باربران*[6]، 2001)، براساس روش *سینگلتون*[7] و همکاران (۱۹۹۹) و با استفاده از معرف فولین سیوکالتو[8] در طول‌موج ۷۶۰ نانومتر و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (واریان[9] مدل کری[10] ۱۰۰، ساخت کشور آمریکا) صورت پذیرفت. از اسیدگالیک نیز به‌عنوان استاندارد در کمی‌سازی فنل کل استفاده شد.

برای بررسی تغییرات رنگ با استفاده از دستگاه اسکنر (مدل HP-200، ساخت کشور چین) از قارچ‌ها عکس‌برداری شد و با استفاده از نرم‌افزار ImageJ شاخص‌های مدنظر L^*، a^* و b^* محاسبه گردید. L^*_0، a^*_0 و b^*_0 قبل از شروع دوره انبارداری اندازه‌گیری شدند. براساس خصوصیات رنگی اندازه‌گیری شده،

1. Selection
2. Crossover
3. Mutation
4. Ramzi
5. Total soluble solids (TSS)
6. Tomas-Barberan
7. Singleton
8. Folin-Ciocalteu reagent
9. Varian
10. Cary

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص‌های قهوه‌ای شدن بافت[1] (BI)، کروما[2] و زاویه هیو[3] نیز محاسبه شدند (*صالحی و کاشانی نژاد*[4]، 2016). شاخص قهوه‌ای شدن بافت براساس فرمول شماره ۱ و ۲ محاسبه شد.

$$X= (a^*1 + 1/75\ L^*1) / (5/645\ L^*1 + a^*1 - 3/012\ b^*1) \quad (۱)$$

$$BI= 100(x - 0/3) / (0/17) \quad (۲)$$

مدل‌سازی فرآیند

مدل‌سازی اثر آسکوربات کلسیم بر افزایش عمر قفسه‌ای قارچ دکمه‌ای جهت پیش‌بینی کاهش وزن، سفتی بافت، مواد جامد محلول کل، pH، L^*، a^*، b^*، کروما، زاویه هیو، ΔE، شاخص قهوه‌ای شدن، ویتامین ث، فنل کل و فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز توسط شبکه‌های عصبی چند لایه پرسپترون[5] انجام شد. شبکه پرسپترون پیش‌خور یکی از پرکاربردترین شبکه‌های عصبی می‌باشد (شکل ۱). میزان پیچیدگی شبکه عصبی وابسته به تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون‌ها در هر لایه پنهان است. در این پژوهش از شبکه‌های عصبی سه لایه استفاده گردید (*صالحی* و *رضوی*، 2016). نرون‌ها در این نوع شبکه در سه لایه ورودی، پنهان و خروجی دسته‌بندی می‌شوند. پردازش اطلاعات درون نرون‌ها صورت می‌گیرد. 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 بایاس[6] به مجموع ورودی‌های وزن‌دار شده با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$y_j = \sum_{i=1}^{p} W_{ij} X_i + b_j \quad (۳)$$

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 (*صالحی* و *رضوی*[7]، 2012).

عملکرد اساسی نرون مصنوعی شامل جمع‌زدن سیگنال‌های ورودی وزن‌دار آن و اعمال تابع خروجی یا تابع فعال‌سازی[8] 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 نسل در نظر گرفته‌شد. احتمال آمیزش و جهش براساس توصیه راهنمای نرم‌افزار نروسولوشن[9] (نسخه ۶)، ۰/۹ و ۰/۰۱؛ و تعداد نرون‌ها جهت بهینه‌سازی ۱ تا ۳۰ عدد درنظر گرفته شد. از توابع فعال‌سازی خطی، سیگموئیدی[10] (رابطه۴) و تانژانت هیپربولیک[11](رابطه ۵) که متداول‌ترین نوع توابع فعال‌سازی هستند، در لایه پنهان و خروجی استفاده گردید (*صالحی* و *رضوی*، 2016). به‌منظور انتخاب نوع تابع فعال‌سازی با حداقل خطا، توابع تانژانت هیپربولیک، سیگموئیدی و خطی در توپولوژی‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی به‌صورت آزمون و خطا موردبررسی قرار گرفتند (*صالحی* و *رضوی*، 2012).

$$Sig = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (۴)$$

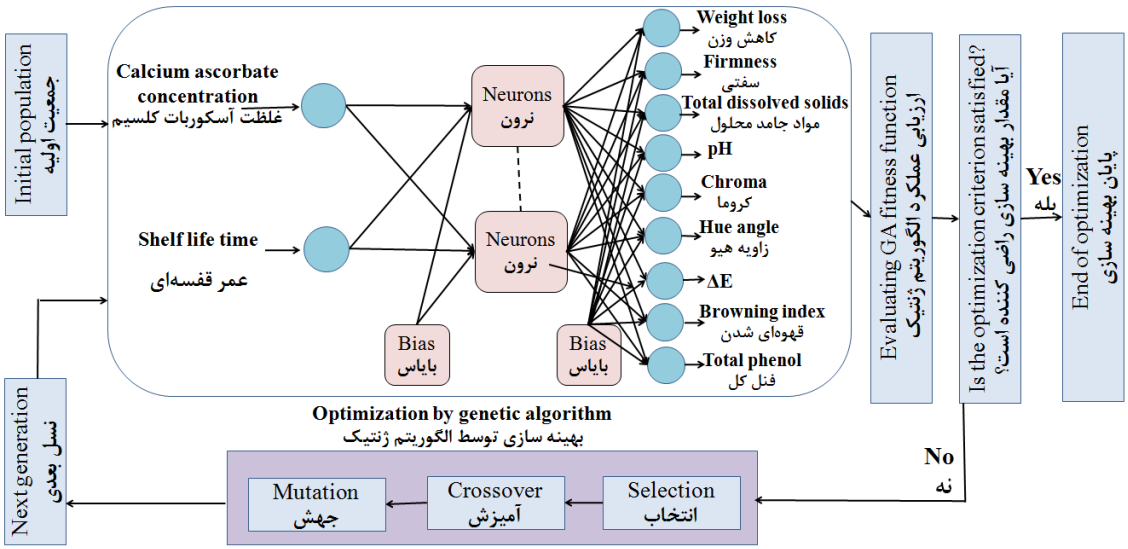
$$\tanh = \frac{e^{x} - e^{-x}}{e^{x} + e^{-x}} \quad (۵)$$

به‌منظور مدل‌سازی توسط شبکه عصبی مصنوعی، داده‌ها به سه دسته داده‌های آموزش، آزمون و ارزیابی تقسیم شدند. تعداد سیکل‌های یادگیری برابر ۱۰۰۰ انتخاب شد و برای جلوگیری از یادگیری بیش‌ازحد، فرآیند یادگیری درصورتی‌که میانگین مربعات خطای[12] یادگیری پس از ۱۰۰ سیکل یادگیری تغییری نمی‌کرد، متوقف می‌شد. به‌منظور ارزیابی شبکه‌های عصبی و انتخاب بهترین توپولوژی شبکه برای پیش‌بینی پارامترهای موردبررسی، از شاخص میانگین مربعات خطا، میانگین مربعات خطای نرمالیزه[13]، میانگین خطای مطلق[14] و ضریب همبستگی[15] استفاده گردید. نرم‌افزار نروسولوشن نسخه۶ جهت مدل‌سازی اثر آسکوربات کلسیم بر افزایش عمر قفسه‌ای قارچ دکمه‌ای استفاده گردید. 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[16]، بهترین توپولوژی[17] شبکه جهت دست‌یابی به شبکه بهینه نیز بررسی شد (*صالحی* و *رضوی*، 2016).

1. Browning Index
2. Chroma
3. Hue Angle
4. Salehi
5. Perceptron
6. Bias
7. Salehi
8. Activation Function
9. Neurosolution Software (Excel Software Release 6.0), Neuro Dimension, Inc., USA
10. Sigmoid Functions
11. Hyperbolic Tangent Function
12. Mean Squared Error (MSE)
13. Normalized Mean Squared Error (NMSE)
14. Mean Absolute Error (MAE)
15. Correlation Coefficient (r)
16. Levenberg-Marquardt (LM)
17. Topology

www.SID.ir

Archive of SID



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

Fig. 1: Schematic image of optimization by genetic algorithm-artificial neural network

نتایج و بحث

به‌منظور پیشگویی اثر آسکوربات کلسیم بر خصوصیات قارچ دکمه‌ای از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. باتوجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک به‌دست آمد، این نوع تابع به‌عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب گردید. براساس روش آزمون و خطا مشخص شد درصورتی‌که ۳۰ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به‌خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد. ۲۰ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش‌دیده استفاده گردید. به‌منظور ارزیابی شبکه نیز از باقی‌مانده داده‌ها (۵۰ درصد) استفاده گردید. مقادیر بهینه پارامترهای الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی به‌دست‌آمده برای پیش‌بینی داده‌های ارزیابی در جدول ۱ گزارش شده است. نتایج نشان داد که شبکه‌ای با ۱۲ نرون در لایه پنهان بالاترین ضریب همبستگی برای پیش‌بینی کاهش وزن، سفتی بافت، مواد جامد محلول کل، pH، شاخص‌های رنگ و فنل کل با میانگین ۰/۹۵ را دارد. داده‌های آزمایشگاهی اثر آسکوربات کلسیم بر خصوصیات قارچ دکمه‌ای در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی بهینه برای داده‌های ارزیابی (داده‌های استفاده نشده توسط شبکه) در شکل ۲ گزارش شده است. این نمودارها به‌خوبی توانایی مدل بهینه شده جهت پیش‌بینی صفات موردنظر را نمایش می‌دهند.

در جدول ۲ مقادیر میانگین مربعات خطا، میانگین مربعات خطای نرمالیزه، میانگین خطای مطلق و ضریب همبستگی برای پیش‌بینی کاهش وزن، سفتی، مواد جامد محلول کل، pH، کروما، زاویه هیو، ΔE، شاخص قهوه‌ای شدن و فنل کل با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی دارای ۱۲ نرون در لایه پنهان گزارش‌شده است. مقادیر بالای ضریب همبستگی و خطاهای پایین گزارش‌شده در این جدول نشان‌دهنده کارآیی بالای شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی اثر آسکوربات کلسیم بر افزایش عمر قفسه‌ای قارچ دکمه‌ای می‌باشد.

مدل‌سازی و بهینه کردن مقاومت روزنه‌ای زیتون در شرایط تنش شوری ناشی از کلریدسدیم با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک انجام شده است (رضایی و روحانی، ۱۳۹۲). نتایج پیش‌بینی‌شده نشان داد که شبکه عصبی قادر به پیش‌بینی نتایج آزمایشگاهی بوده و بیش‌ترین درصد خطا بین داده‌های آزمایشگاهی و پیش‌بینی‌شده کمتر از ۲/۵۷ و ضریب همبستگی بین آن‌ها ۰/۹۹۴ می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

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

Table 1: Optimal values of the Genetic Algorithm–Artificial Neural Network parameters

تعداد لایه‌های پنهان Number of hidden layers	قاعده یادگیری Learning rule	نوع تابع فعال‌سازی Type of activation function	تعداد نرون لایه پنهان The number of hidden layer neurons	درصد داده‌های یادگیری Training data (%)	درصد داده‌های آزمون Validating data (%)	درصد داده‌های ارزیابی Testing data (%)
1	لیونبرگ-مارکوت Levenberg–Marquardt	تانژانت هیپربولیک Hyperbolic tangent	12	30	20	50

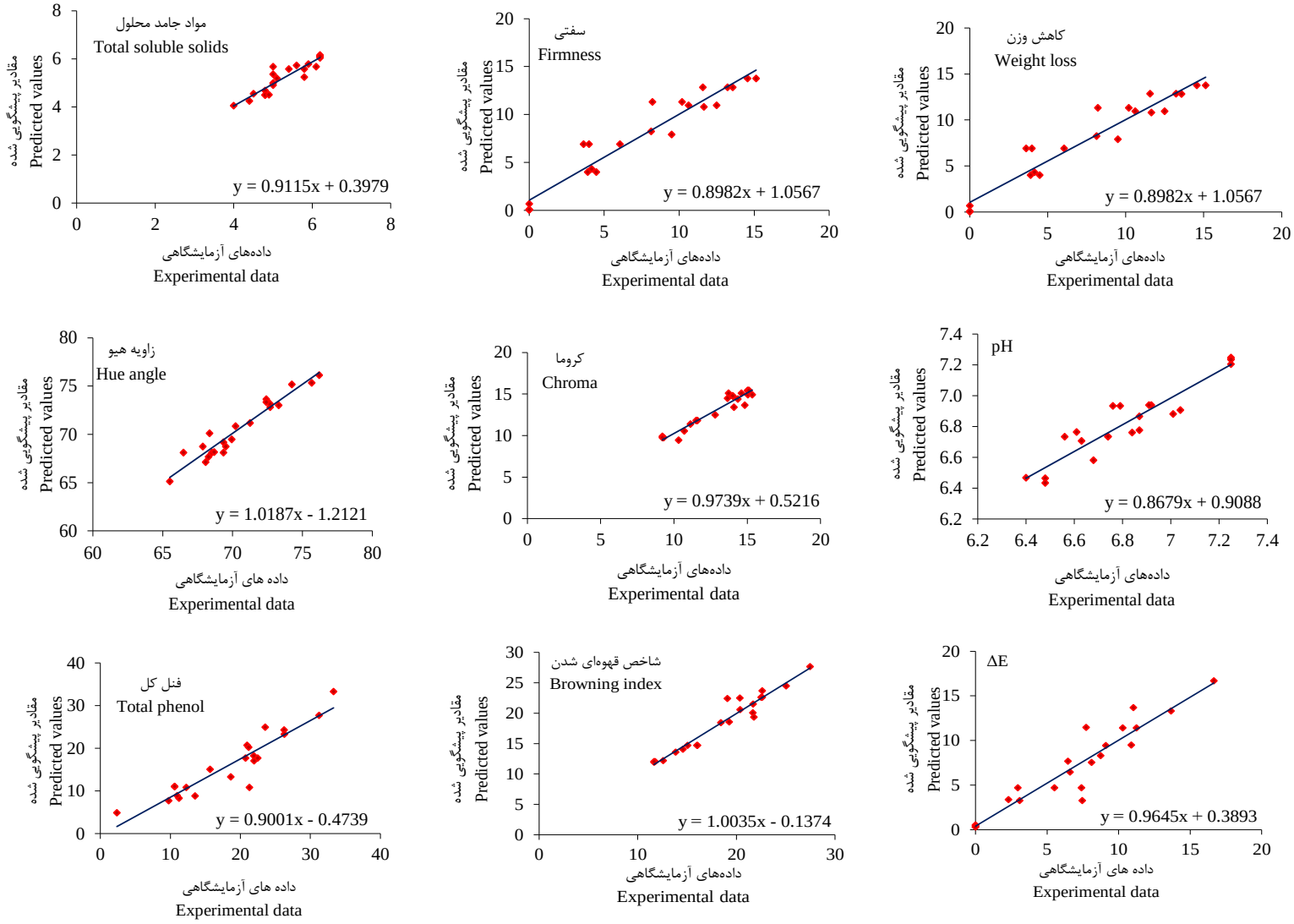
جدول ۲: مقادیر خطاها در پیش‌بینی داده‌های ارزیابی توسط شبکه عصبی مصنوعی بهینه دارای ۱۲ نرون در لایه پنهان

Table 2: The errors values in the prediction of testing data by optimal artificial neural network with 12 neurons in the hidden layer

خطا Error	کاهش وزن Weight loss	سفتی Firmness	TDS	pH	کروما Chroma	زاویه هیو Hue angle	ΔE EΔ	شاخص قهوه‌ای شدن Browning index	فنل کل Total phenol
میانگین مربعات خطا Mean square error	1.91	639.52	0.21	0.02	0.69	2.64	3.50	5.99	11.24
میانگین مربعات خطای نرمالیزه شده Normalized Mean square error	0.08	0.07	0.55	0.18	0.14	0.29	0.16	0.29	0.39
میانگین خطای مطلق Mean absolute error	0.99	21.22	0.31	0.06	0.49	0.67	0.79	1.65	1.43
ضریب همبستگی Correlation coefficient	0.96	0.96	0.92	0.94	0.96	0.96	0.94	0.97	0.94

www.SID.ir

Archive of SID

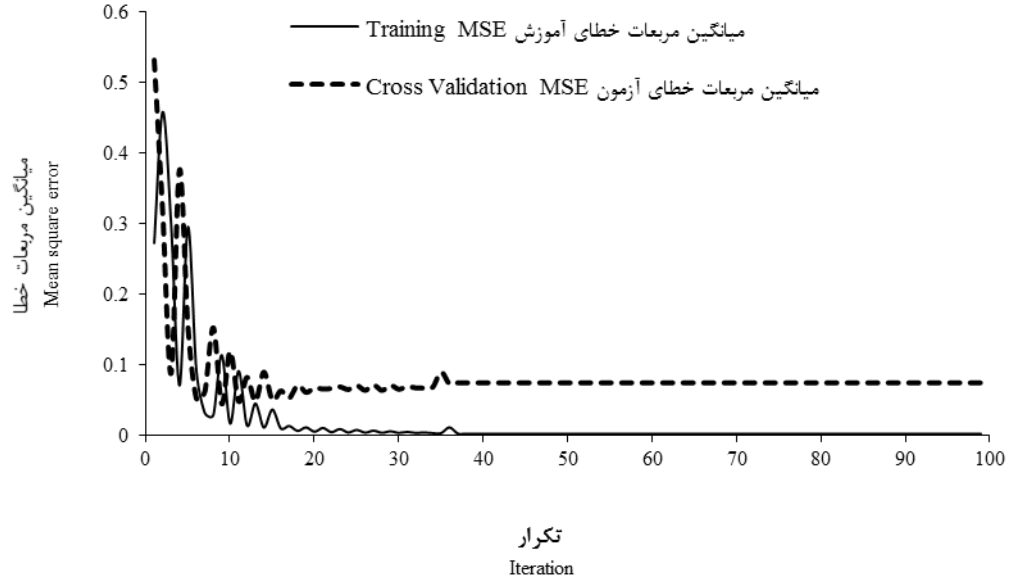


شکل ۲: داده‌های آزمایشگاهی اثر آسکوربات کلسیم بر خصوصیات قارچ دکمه‌ای در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی بهینه

Fig. 2: Experimental data of calcium ascorbate effect on button mushroom characteristics against predicted values by optimal artificial neural network

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳: مقادیر میانگین مربعات خطا به‌عنوان تابعی از تعداد سیکل‌های یادگیری طی فرآیند یادگیری و آزمون شبکه عصبی مصنوعی

Fig. 3: Mean square error values as a function of the learning iterations number during training and validation by artificial neural network

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 فرآیند یادگیری، آزمون و ارزیابی در برابر سیکل‌های یادگیری شبکه بهینه در شکل ۳ به نمایش درآمده است. کاهش سریع در نمودار میانگین مربعات خطا در سیکل‌های اولیه آموزش نشان از یادگیری سریع شبکه می‌باشد که این از ویژگی‌های شناخته‌شده روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکت می‌باشد (*صالحی* و *رضوی*، 2012). همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، فرآیند یادگیری بعد از حدود ۴۳ سیکل کامل شده و خطا به مقدار ثابتی رسیده است.

هدف از فرآیند آموزش شبکه عصبی مصنوعی به‌دست آوردن بردارهای وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه است. در جدول ۳، مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون برای شبکه عصبی دارای ۱۲ نرون در لایه پنهان آورده شده است. با استفاده از داده‌های گزارش‌شده در این جدول، می‌توان اثر آسکوربات کلسیم و عمر قفسه‌ای بر ماندگاری قارچ دکمه‌ای را در سایر شرایط آزمایش نشده در این پژوهش را نیز با دقت بالا پیش‌بینی نمود.

در پژوهشی کاربرد شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل‌سازی عمر قفسه‌ای قارچ دکمه‌ای بررسی شده است. نتایج گزارش شده حاکی از این است که شبکه‌ای با تعداد ۸ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئیدی و تکنیک بهینه‌سازی لیونبرگ مارکوت و درصد داده‌های مورداستفاده برای تربیت/ آزمون/ ارزیابی برابر ۴۰/۲۰/۴۰ عمر قفسه‌ای قارچ دکمه‌ای تخمین زد (سیاری و همکاران، ۱۳۹۵).

برای بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی (غلظت آسکوربات کلسیم و عمر قفسه‌ای) و شناسایی تأثیرگذارترین عامل، تست آنالیز حساسیت[1] بر روی شبکه بهینه انجام شد. همان‌طوری‌که در شکل ۴ مشاهده می‌شود در میان متغیرهای ورودی، عمر قفسه‌ای مؤثرترین عامل در پیش‌بینی اثر آسکوربات کلسیم بر خصوصیات قارچ دکمه‌ای شامل کاهش وزن، سفتی، مواد جامد محلول کل، pH، کروما، زاویه هیو، ΔE، شاخص قهوه‌ای شدن و فنل کل می‌باشد.

1. Sensitivity analysis

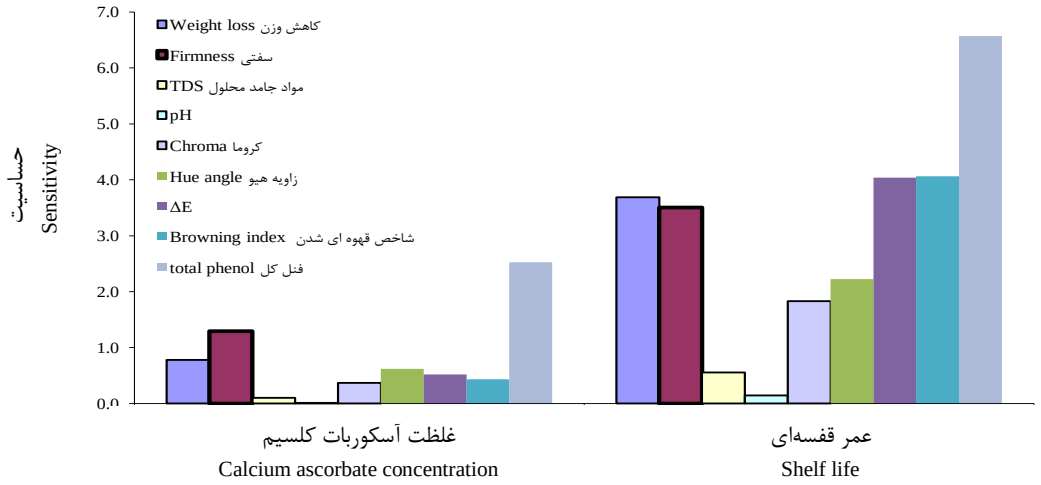
www.SID.ir

Archive of SID

جدول۳: مقادیر وزن‌ها و بایاس شبکه عصبی بهینه (۹-۱۲-۲) به‌منظور تخمین خصوصیات قارچ دکمه‌ای

Table 3: The weights and bias values of optimized neural network (2-12-9) for prediction of button mushroom characteristics

نرون‌های خروجی Output neurons							نرون‌های ورودی Input neurons					
فنل کل Total phenol	قهوه‌ای شدن Browning index	ΔE	زاویه هیو Hue angle	کروما Chroma	pH	TDS	سفتی Firmness	کاهش وزن Weight loss	عمر قفسه‌ای Shelf life	غلظت آسکوربات کلسیم Calcium ascorbate concentration	بایاس Bias	نرون لایه پنهان Hidden neurons
-0.468	0.265	-0.999	-0.895	0.225	1.652	0.225	-0.256	-0.356	0.872	0.174	0.534	1
-0.065	5.203	3.612	-3.141	-0.052	0.201	0.378	-1.157	3.355	0.844	0.355	-1.099	2
0.506	-8.140	-2.286	0.366	-1.988	0.658	0.652	-3.203	2.747	0.671	0.061	-0.485	3
0.104	4.506	2.633	0.041	-0.985	-1.584	0.003	0.255	0.536	0.652	-1.221	0.880	4
-0.655	0.779	4.674	-0.3014	1.939	0.201	0.378	0.107	0.136	1.632	-0.254	-0.073	5
0.528	0.001	0.536	0.366	-4.710	-0.129	0.652	-4.409	0.070	0.045	0.865	0.353	6
-0.358	0.356	0.489	0.639	-1.549	0.367	0.365	0.050	0.045	1.160	-0.051	0.455	7
0.423	-0.475	-1.422	-0.310	1.939	1.256	0.201	0.378	0.134	1.020	0.410	0.024	8
-0.905	0.165	-0.830	0.151	-4.710	0.025	-0.129	0.652	0.046	1.127	0.038	0.637	9
-0.365	0.427	0.120	0.637	-1.549	-0.314	0.631	0.107	-0.609	0.150	0.214	0.675	10
0.658	-0.122	-0.055	-0.466	1.939	0.985	-0.785	2.256	1.245	-1.099	0.534	1.543	11
0.104	0.172	-2.298	0.042	-6.637	-0.470	0.003	0.852	-0.985	-0.985	-1.485	0.356	12
-0.983	-0.005	0.300	-0.826	-0.340	1.456	0.023	0.476	-0.020				Bias



شکل ۴: نتایج آنالیز حساسیت توسط شبکه عصبی بهینه (۹-۱۲-۲)

Fig. 4: Sensitivity analysis results by optimized GA-ANN (2-12-9)

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد با استفاده از شبکه‌ای با تعداد ۱۲ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک و روش بهینه‌سازی لیونبرگ مارکوت می‌توان اثر آسکوربات کلسیم بر افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای را با ضریب همبستگی بالا (r=۰/۹۵) پیشگویی نمود. براساس نتایج تست حساسیت شبکه عصبی بهینه، عمر قفسه‌ای نسبت به غلظت آسکوربات کلسیم، عامل مؤثرتری در تغییر خصوصیات قارچ دکمه‌ای در دوره پس از برداشت می‌باشد. وزن‌ها و بایاس‌های شبکه عصبی بهینه در این پژوهش ارائه شده است که از آن‌ها می‌توان در یک برنامه رایانه‌ای جهت شبیه‌سازی فرآیند و کنترل آن بهره جست. از نتایج این پژوهش و توپولوژی به‌دست‌آمده از شبکه عصبی بهینه می‌توان اثر آسکوربات کلسیم بر ماندگاری قارچ دکمه‌ای را با دقت بالا پیش‌بینی نمود.

منابع

الوندی، س. و سیاری، م. ۱۳۹۴. اثر آسکوربات کلسیم و تیمار دمایی بر افزایش عمر قفسه‌ای قارچ دکمه‌ای. به‌زراعی کشاورزی (پذیرش چاپ).

پیوست، غ. و الفتی، ج. ۱۳۸۶. پرورش پیشرفته قارچ خوراکی. انتشارات دانش‌پذیر. ۲۱۰ صفحه.

تبریزیان، ح. ۱۳۹۱. بررسی احتمال بروز تنش محیطی در گیاه پسته براساس داده‌های اقلیمی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار، ۱۳۸ صفحه.

حاتمی، م.، کلانتری، س. و دلشاد، م. ۱۳۹۱. اثر تیمار پس از برداشت آب گرم و شرایط دمای نگهداری بر میوه رسیده سبز گوجه‌فرنگی. علوم باغبانی ایران، ۴۳ (۲): ۱۲۳-۱۱۳.

حسینی، س. م. ط.، سی‌وسه مرده، ع.، فتحی، پ. و سی‌وسه مرده، م. ۱۳۸۶. کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره در برآورد عملکرد گندم دیم منطقه قروه استان کردستان. پژوهش کشاورزی، ۷ (۱): ۵۴-۴۱ .

رضایی، م. و روحانی، ع. ۱۳۹۲. مدل‌سازی و بهینه کردن مقاومت روزنه‌ای زیتون در شرایط تنش شوری ناشی از کلریدسدیم با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک. به‌زراعی کشاورزی، ۱۵ (۴): ۶۴-۵۳.

سیاری، م.، صالحی، ف. و الوندی، س. ۱۳۹۵. کاربرد شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل‌سازی اثر آسکوربات کلسیم بر افزایش زمان ماندگاری قارچ دکمه‌ای. فناوری‌های نوین غذایی، سال ۳، شماره ۱۲: ۳۴-۲۷.

صالحی، ف.، کاشانی‌نژاد، م.، نجفی، ا. و اسدی، ف. ۱۳۹۵. مدل‌سازی سینتیک خشک‌کردن لایه نازک قارچ دکمه‌ای توسط هوای داغ با استفاده از الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۶ (۳): ۱۲-۱.

مستوفی، ی. و نجفی، ف. ۱۳۸۴. روش‌های آزمایشگاهی تجزیه‌ای در علوم باغبانی. انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۶ صفحه.

Aguayo, E., Requejo-Jackman, C., Stanley, R. and Woolf, A. 2010. Effects of calcium ascorbate treatments and storage atmosphere on antioxidant activity and quality of fresh-cut apple slices. Postharvest Biology and Technology, 57: 52-60.

Barbagallo, RN., Chisari, M. and Caputa, G. 2012. Effects of calcium citrate and ascorbate as inhibitors of browning and softening in minimally processed 'Birgah' eggplants. Postharvest Biology and Technology, 73: 312-322.

Cheng, XF., Zhang, M. and Adhikari, B. 2013. The inactivation kinetics of polyphenol oxidase in mushroom (*Agaricus bisporus*) during thermal and thermosonic treatments. Ultrasonics Sonochemistry, 20: 674-679.

Fan, X., Niemera, BA., Mettheis, JP. Zhuang, H. and Olson, DW. 2005. Quality of fresh-cut apples slices as affected by low-dose ionizing radiation and calcium ascorbate treatment. Journal of Food Sciences, 70: 143-148.

FAO- FAOSTAT, 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at http://www.fao.org. (Accessed 1 September 2015).

Lagnika, C., Zhang, M., Nsor-Atindana, J. and Bashari, M. 2012. Effects of ultrasound and chemical treatments on white mushroom (*Agaricus bisporus*) prior to modified atmosphere packaging in extending shelf-life. Journal of Food Sciences and Technolology, 51: 3749-3757.

Lurie, S. 1998. Postharvest heat treatments. Postharvest Biology and Technology, 14: 257-269.

Ramzi, M., Kashaninejad, M., Salehi, F., Sadeghi Mahoonak, A. R. and Razavi, S. M. A. 2015. Modeling of rheological behavior of honey using genetic algorithm-artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system. Food Bioscience, 9: 60-67.

Salehi, F. and Kashaninejad, M. 2014. Effect of different drying methods on rheological and textural properties of Balangu seed gum. Drying Technology, 32 (6): 720-727.

www.SID.ir

Archive of SID
Salehi, F. and 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.

Salehi, F. and Razavi, S. M. A. 2016. Modeling of waste brine nanofiltration process using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system. Desalination and Water Treatment, 57: 14369-14378.

Silveira, AC., Aguayo, E., Chisari, M. and Artes, F. 2011. Calcium salts and heat treatment for quality retention of fresh-cut Galia melon. Postharvest Biology and Technology. 62: 77-84.

Singleton, VL., Orthofer, R. and Lamuela-Raventos, RM. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin–ciocalteu reagent. Methods in Enzymology, 299: 152-178.

Tomas-Barberan, FA., Gil, MI., Cremin, P., Waterhouse, AL., Hess-Pierce, B. and Kader, AL. 2001. HPLC-DAD-ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches and plums. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49: 4748-4760.

www.SID.ir

Archive of SID

Modeling of Calcium Ascorbate Effect on Button Mushroom Characteristics During Postharvest Using Genetic Algorithm-artificial Neural Network

Salehi[1], F., Sayyari[2*], M., and Alvandi [3], S.

Abstract

Modeling of calcium ascorbate effects on characteristics of button mushroom was investigated by Genetic Algorithm–Artificial Neural Network (GA-ANN). Calcium ascorbate is effective in maintaining the quality and reducing the waste of agricultural products after harvest. In this study button mushrooms were treated by calcium ascorbate solutions in 45°C temperature at three levels of 0, 0.4 and 0.8 %, and after drying at room temperature, kept at 1°C and 90% relative humidity. Qualitative characteristics of button mushroom during postharvest period were evaluated after 0, 10, 15, 20 and 25 days. Modeling of calcium ascorbate effects on button mushroom characteristics were undertaken by GA-ANN method with 2 inputs (calcium ascorbate concentration and shelf life) and 9 output (weight loss, firmness, TDS, pH, chroma, hue angle, ΔE, browning index and total phenol) using multi-layer perceptron. The results showed that networks with 12 neurons in a hidden layer using tangent activation function could predict effect of calcium ascorbate on button mushroom characteristics with correlation coefficient equal to 0.95. Results of sensitivity analysis by optimum neural network (2-12-9), was defined shelf life as the most effective factor in predicting button mushroom attributes during postharvest period.

Keywords: Browning index, Perceptron, Shelf life, Total phenol

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

2 and 3. Associate Professor and MSc Graduated, Respectively, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

*: Corresponding author Email: m.sayyari@basu.ac.ir

www.SID.ir