



مدل سازی تغییرات شیمیایی و میکروبی گل زعفران طی نگهداری با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک

الهام آذرپژوه^۱، احمد احتیاطی^{۲*} و پروین شرایعی^۱

تاریخ دریافت: ۲۷ اسفند ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: ۸ خرداد ۱۳۹۵

خلاصه

زعفران به عنوان گران ترین محصول کشاورزی و دارویی جهان، ارزش ویژه ای دارد. با توجه به بازه برداشت کوتاه این محصول، نگهداری گل زعفران در شرایط مناسب جهت فراوری با تأخیر، نیازمند بررسی عوامل مؤثر بر کاهش کیفیت زعفران است. اثر ضخامت انباشتگی، دمای نگهداری و زمان نگهداری گل زعفران بر شاخص های شیمیایی کروسین، سافراناال و پیکروکروسین و آلودگی های میکروبی کل، کلی فرم و کپک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه مدل سازی گردید و ساختار شبکه با استفاده از الگوریتم تکاملی ژنتیک بهینه سازی شد. شبکه عصبی بهینه با ضریب تبیین بالاتر از ۹۴ درصد و خطای پایین، قادر به پیش بینی ویژگی های کیفی زعفران تحت شرایط نگهداری بود. بررسی مدل نشان داد ضخامت انباشتگی تأثیر کمی در مقایسه با دما و زمان نگهداری بر کیفیت شیمیایی و میکروبی زعفران دارد در حالی که افزایش دمای نگهداری کاهش کیفیت شیمیایی و میکروبی را شدت می بخشد و زمان نگهداری نسبت به دما اثر کمتری دارد. نگهداری گل زعفران در دمای پایین و نزدیک به صفر درجه سانتی گراد برای حداکثر حفظ ترکیبات شیمیایی ارزشمند و کمترین توسعه آلودگی میکروبی طی نگهداری الزامی است.

کلمات کلیدی: پیکروکروسین، پرسپترون چندلایه، سافراناال، کروسین.

مقدمه

۲۸۰/۶۲۱ تن زعفران و ۲۸ میلیون تن گل زعفران حاصل گردید (Ministry of Agriculture Jihad, 2014). زمان گل دهی زعفران بسته به منطقه رشد طی فصل پاییز به مدت حداکثر دو تا سه هفته است (Molina et al., 2005). با توجه به حجم بالای گل برداشت شده و کمبود نیروی کارگری و عدم زمان کافی جهت فراوری، میزان ضایعات گل بسیار بالا است که این امر منجر به کاهش کیفیت و طول عمر ماندگاری گل ها می گردد (da Silva Vieira et al., 2012). لذا، تعیین شرایط مناسب نگهداری گل زعفران ضروری به نظر می رسد. دمای

زعفران (*Crocus sativus L.*)، متعلق به خانواده زنبقیان است و به عنوان گران ترین محصول کشاورزی و دارویی جهان، جایگاه ویژه ای دارد. در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ سطح زیر کشت محصول زعفران در ایران بالغ بر ۸۷۹۲۴/۲ هکتار بود که

۱- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات و آموزش ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۲- دانشجوی دکتری تکنولوژی مواد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

(*-نویسنده مسئول: ehtiati.ahmad@stu.um.ac.ir)

محیط از عوامل مؤثر بر طول عمر نگهداری گل، است (Cevallos & Reid, 2001; Turhan et al., 2008). دمای مناسب برای نگهداری گل‌های خانواده زنبقیان، ۰/۵ تا ۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Pellegrini & Bellé, 2008; da Silva Vieira et al., 2012)؛ اما درجه حرارت مناسب برای نگهداری گل زعفران تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. نگهداری گل‌ها در دمای پایین، باعث کاهش تولید اتیلن، کاهش تنفس گل، کاهش تولید برخی از آنزیم‌های تنفسی و همچنین کاهش رشد قارچ‌ها و باکتری‌ها می‌گردد (Ahmad et al., 2013)؛ اما، خسارت سرما، نگهداری گل را در دمای پایین‌تر محدود کرده است (Cevallos & Reid, 2001) از اینرو به منظور جلوگیری از یخ‌زدگی گل‌ها آن‌ها را در درجات بالاتر از نقطه یخ‌زدگی نگهداری می‌نمایند. نگهداری گل زعفران در دمای پایین، جدا کردن کلاله از گلبرگ را با مشکل مواجه نموده و باعث پژمردگی و کاهش کیفیت گلبرگ نیز می‌شود (van Doorn & Han, 2011).

جویس و شورتر (Joyce & Shorter, 2000) گل لانگوراپا از خانواده زنبقیان را به مدت ۴ هفته در دمای صفر تا ده درجه سانتی‌گراد نگهداری نمودند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که گل‌های نگهداری شده در ۲ و ۵ درجه سانتی‌گراد به لحاظ بازاریابی مناسب‌تر بودند. علاوه بر دمای محیط نگهداری، رطوبت نسبی محیط نیز بر کیفیت و فساد گل‌های برداشت‌شده، مؤثر است. مناسب‌ترین رطوبت نسبی جهت نگهداری گل‌های بریده، ۹۰ تا ۹۵ درصد است. رطوبت و درجه حرارت‌های نسبتاً بالا، خطر آلودگی به میکروب‌های قارچی و باکتریایی را افزایش می‌دهند (Nowak & Rudnicki, 1990).

شبکه‌های عصبی مصنوعی یک فن محاسباتی است که تا حدی عملکرد ذهن انسان را تقلید می‌کند. این مدل‌ها در توسعه رابطه ریاضی بین ورودی‌ها و خروجی‌های یک سیستم یا فرایند

کاربرد دارد (Shekarchizadeh et al., 2014). استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در تحقیقات کشاورزی و مدل‌سازی فرایندهای غذایی در مطالعات متعددی مورد استفاده قرار گرفته است. زای و همکاران (Xie et al., 1998) سه مدل کنتیک درجه اول، شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی را جهت مدل‌سازی تغییرات بافتی نخود خشک مقایسه کردند و نتایج نشان داد شبکه‌های عصبی مصنوعی برآزش بهتری نسبت به مدل کنتیکی درجه اول بر داده‌های آزمایش داشت. ساختار شبکه‌های عصبی مصنوعی، وابستگی زیادی به تعداد لایه‌های پنهان، تعداد نورن‌ها در لایه‌های پنهان و کیفیت پارامترهای قانون یادگیری دارد (Ferentinos, 2005). انتخاب ساختار مناسب عموماً از روش سعی و خطا تعیین می‌شود و الگوریتم ژنتیک یک فن بهینه‌سازی برای غلبه بر این مشکل است. الگوریتم ژنتیک دارای مزیت‌هایی مانند حساسیت کمتر در به دام افتادن در کمینه‌های محلی، نیاز کمتر به دانش در ارتباط با فرایند مورد بهینه‌سازی و توانایی یافتن شرایط بهینه وقتی که فضای بهینه‌سازی خیلی بزرگ باشد، است (Mohebbi et al., 2011). نازقلیچی و همکاران (Nazghelichi et al., 2011) تغییرات خطای یادگیری یک شبکه عصبی پیش‌خور^۱ را تحت تأثیر شرایط مختلف شبکه مدل‌سازی کردند. این محققان از مدل ریاضی سطح پاسخ به عنوان تابع تناسب الگوریتم ژنتیک به منظور یافتن بهترین شرایط ساختاری و یادگیری شبکه عصبی استفاده کردند. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر ضخامت پوشش، دما و زمان نگهداری گل زعفران بر ویژگی‌های کیفی کلاله با استفاده از مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه بهینه شده با الگوریتم ژنتیک است.

مواد و روش‌ها

گل زعفران موردنیاز از یک مزرعه ۵ ساله شهرک قدس

۱۵ سانتی‌متر)، دمای نگهداری در چهار سطح (صفر، ۴، ۸ و ۲۱ درجه سانتی‌گراد) و مدت‌زمان نگهداری در شش سطح (صفر، ۲، ۴، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز) متغیرهای آزمایش بوده و آزمایش‌ها سه بار تکرار شد.

مدل‌سازی شبکه عصبی

مدل‌سازی تغییرات ویژگی‌های زعفران با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) انجام شد. این نوع شبکه از حداقل سه لایه تشکیل شده است. لایه اول، لایه ورودی است که داده‌های مدل را پس از نرمال شدن دریافت می‌کند و به نورون‌های لایه پنهان انتقال می‌دهد. لایه دوم، اولین لایه پنهان است. این لایه از حداقل یک نورون تشکیل می‌شود. هر نورون یک واحد محاسباتی است که مقادیری را از هر نورون لایه ورودی دریافت می‌کند. رابطه ۱ نحوه محاسبه خروجی در یک نورون را نشان می‌دهد.

$$y_j = \sum_{i=1}^n f(x_i w_{ij} + b_j) \quad (1)$$

که در این رابطه، y_j خروجی نورون j ام، x_i ورودی نورون i ام از نورون i ام، w_{ij} وزن ورودی نورون j ام از نورون i ام، b_j بایاس نورون j ام و f تابع فعال‌سازی نورون است. شبکه پرسپترون چندلایه می‌تواند چندین لایه مخفی داشته باشد. لایه خروجی مشابه با لایه پنهان اما دارای تعداد نورون معادل خروجی‌های شبکه است. بررسی‌های اولیه نشان داد شبکه با یک لایه مخفی خطای پیش‌بینی کمتری نسبت به مدل‌های رگرسیونی دارد اما شبکه با دو لایه مخفی می‌تواند به طور مؤثری با ضریب همبستگی بالا و خطای پیش‌بینی پایین، داده‌ها را برازش کند. تابع فعال‌سازی ساختار شبکه مورد مطالعه در این تحقیق در لایه‌های پنهان و لایه خروجی، تابع تانژانت هیپربولیک است که خروجی تابع را در محدوده نرمال تعیین

واقع در ۱۰ کیلومتری شهرستان قائن تهیه گردید. میزان گل موردنیاز ۸۰ کیلوگرم گل زعفران بود که به صورت غنچه و نیمه‌باز خریداری شدند. نمونه‌های گل‌های زعفران پس از انتقال به آزمایشگاه کاملاً مخلوط و به ۴ قسمت مساوی تقسیم شدند. ۲ کیلوگرم گل جهت آزمایش‌های پایه شیمیایی نگهداری شد و سایر تیمارها در سبدهای پلاستیکی به سردخانه توس واقع در حومه مشهد منتقل و در اتاقک‌های مخصوص طرح‌های تحقیقاتی، تحت شرایط مختلف ضخامت و دما بر اساس طرح آزمایش نگهداری شدند و آزمون‌های شیمیایی و میکروبی در بازه‌های زمانی انجام شد. رطوبت نسبی در تمام درجه حرارت‌های مورد بررسی یکسان و $95 \pm 0/5$ بود.

ویژگی‌های شیمیایی کلالة زعفران

مقدار کروسین، سافرانال و پیکروکروسین بر مبنای ثبت تغییرات حاصل از چگالی نوری در طول موج ۲۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر در دمای محیط تعیین شد. نتایج به صورت حداقل قدرت رنگی محلول ۱٪ در طول موج ۴۴۰ نانومتر بر اساس ماده خشک ($E_{440nm}^{1\%}$) برای کروسین، مقدار سافرانال محلول ۱٪ در طول موج ۳۳۰ نانومتر بر اساس ماده خشک ($E_{330nm}^{1\%}$) برای سافرانال و حداقل تلخی محلول ۱٪ در طول موج ۲۵۷ نانومتر بر اساس ماده خشک ($E_{257nm}^{1\%}$) برای پیکروکروسین گزارش گردید (ISO, 1993).

آزمون میکروبی

آزمون‌های میکروبی شامل بار میکروبی کل، کلی‌فرم و کپک در زعفران بر اساس استاندارد میکروبیولوژی زعفران مورد مصرف خانگی و اماکن عمومی انجام شد (ISIRI, 2008).

طرح آزمایش

آزمایش‌ها با طرح پایه کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل انجام شد. ضخامت لایه ذخیره‌سازی زعفران در دو سطح (۱۰ و

می‌کند. این تابع از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

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

ضخامت لایه زعفران، دمای نگهداری و زمان نگهداری به عنوان ورودی‌های شبکه تعریف شد. دو لایه پنهان و لایه خروجی شامل ۶ نورون متناسب با تعداد خروجی شبکه (کروسین، سافرانال، پیکروکروسین، بار میکروبی کل، کلی‌فرم و کپک) لایه‌های بعدی شبکه را تشکیل می‌دهد. آموزش، فرایند تغییر وزن‌های شبکه تا رسیدن به حداقل خطا است. در شبکه مورد بررسی، الگوریتم یادگیری شبکه از نوع پس انتشار خطا و قانون مومنتوم تعریف گردید. قانون مومنتوم شامل دو پارامتر مومنتوم و نرخ یادگیری است. الگوریتم پس انتشار خطا، شامل محاسبه خطا و سپس جستجو بر روی سطح خطا (خطا به عنوان تابعی از وزن‌های شبکه) و بر اساس گرادیان خطا برای یافتن نقطه با کمترین خطا است. به این صورت طی هر مرحله یادگیری شبکه، وزن‌ها به‌روز می‌شود و این مراحل تا رسیدن به بهترین وزن‌ها تکرار می‌شود که هر تکرار را یک اپوک^۱ گویند (Mohebbi et al., 2011).

بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک بر اساس اصل تکامل گونه‌ها پایه‌ریزی شده است. به طوری که هر فرد که بیشترین انطباق با شرایط را دارد شانس بقای بالاتری دارد و در نتیجه، از احتمال بالاتری برای انتقال ژن‌های خود به نسل بعد برخوردار است و در ادامه تکثیر نسل‌ها، افرادی که بهترین تطابق را با شرایط دارند، افزایش خواهند یافت (Izadifar & Jahromi, 2007). در این الگوریتم یک جمعیت اولیه از افراد که تحت عنوان کروموزوم‌ها شناخته می‌شوند ایجاد می‌گردد. هر کروموزوم معادل یک راه‌حل برای مسئله و شامل تعدادی ژن (شامل متغیرهای بهینه‌سازی)، معرف

ویژگی‌های هر کروموزوم است. در مرحله بعد با استفاده از یک عملگر ریاضی موسوم به تابع تناسب^۲، میزان تناسب هر کروموزوم ارزیابی و درصدی از بهترین کروموزوم‌ها بر اساس یک الگوریتم موسوم به عملگر انتخاب^۳، برگزیده شده و به نسل بعد منتقل می‌گردد. در این مرحله عملگرهای ترکیب^۴، سبب می‌شود تا با احتمال معینی، کروموزوم‌های فرزند از ترکیب برخی از کروموزوم‌های انتخاب شده ایجاد گردد. عملگر جهش^۵، برخی از ژن‌ها را با درصد احتمال معینی در کروموزوم‌های نسل جدید تغییر می‌دهد و باعث می‌شود راه‌حل‌ها به سمت کمینه‌های محلی هدایت نشود. در نهایت نسل جدید ایجاد و مورد پردازش قرار می‌گیرد. این الگوریتم تا رسیدن به هدف تعیین شده ادامه پیدا می‌کند و در آخرین نسل، از بین جمعیت ایجاد شده، بهترین فرد یا راه‌حل تعیین می‌شود (Cook et al., 2000).

بهینه‌سازی شبکه عصبی مصنوعی در سه هدف دنبال شد. ۱- تعداد نورون‌های لایه‌های پنهان که ساختار اصلی شبکه را تشکیل می‌دهد و مقادیر آن تأثیر زیادی در عملکرد شبکه عصبی مصنوعی دارد ۲- نرخ یادگیری که سرعت همگرایی شبکه عصبی به سمت بهترین وزن‌ها را تنظیم می‌کند. مقدار کمتر این پارامتر سرعت آموزش را کاهش می‌دهد و مقادیر بالای آن احتمال همگرایی را کاهش می‌دهد. ۳- مقدار مومنتوم که از قرار گرفتن شبکه در کمینه محلی جلوگیری می‌کند. برای بهینه‌سازی این سه پارامتر، یک جمعیت اولیه شامل ۵۰ کروموزوم ایجاد گردید و هر کروموزوم حاوی چهار ژن شامل تعداد نورون‌های لایه پنهان اول (۱ تا ۲۰)، تعداد نورون‌های لایه پنهان دوم (۱ تا ۲۰)، مومنتوم (صفر تا ۱) و نرخ یادگیری (صفر تا ۱) است. متناسب با چهار ویژگی ارائه شده در هر

2- Fitness Function

3- Selection

4- Cross Over

5- Mutation

1- epoch

یک از متغیرهای ورودی در یک محدوده میانگین \pm انحراف استاندارد، تغییر می‌کند، در حالی که سایر متغیرها در مقدار میانگین آن متغیر، ثابت هستند و پاسخ‌ها ثبت می‌گردد. مقدار تغییرات خروجی‌ها برای ۵۰ گام، بالا و پایین میانگین محاسبه می‌شود و سپس انحراف استاندارد پاسخ نسبت به انحراف استاندارد متغیر اولیه برای هر یک از متغیرهای ورودی محاسبه می‌شود. این پارامتر شاخصی برای تعیین درجه اهمیت متغیرهای ورودی است (Mohebbi et al., 2011).

مقایسه آماری مدل‌سازی

تحلیل رگرسیون‌های خطی و چندجمله‌ای درجه دوم با استفاده از نرم‌افزار MINITAB نسخه ۱۶ انجام شد. رگرسیون چندجمله‌ای درجه دوم بر اساس روش گام به گام انجام شد و جملات غیر معنی‌دار از مدل حذف گردید. دقت مدل‌ها با محاسبه شاخص‌های ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) مقایسه شدند. مدلی که داری بالاترین مقدار ضریب همبستگی و کمترین مقدار RMSE باشد، در پیش‌بینی داده‌های مشاهده‌شده، دقت بالاتری دارد.

نتایج و بحث

ساختار بهینه شبکه عصبی

در این تحقیق برای بهینه‌سازی ساختار شبکه عصبی مدل‌کننده تغییرات کیفی گل زعفران طی دوره نگهداری از الگوریتم شبکه عصبی پرسپترون با دولایه مخفی استفاده شد. سه دوره کاهش خطای یادگیری شبکه در فرایند تکامل نسل‌ها مشاهده شد و در نهایت در نسل ۷۳ ام به مقدار ثابت برای بهترین کروموزوم‌ها در انتهای بهینه‌سازی به مقدار ۰/۰۰۳ رسید (شکل نشان داده نشده است). ساختار شبکه شامل تعداد نورون و پارامترهای یادگیری شبکه عصبی بهینه در جدول ۱ ارائه شده است.

کروموزوم، یک ساختار شبکه ایجاد گردیده و پارامترهای یادگیری قانون مونتوم تنظیم می‌گردد. ۱۴۴ مجموعه داده به سه دسته آموزش^۱ (۵۵ درصد داده‌ها)، اعتبار سنجی همزمان^۲ (۱۵ درصد داده‌ها) و آزمون (۳۰ درصد داده‌ها) تقسیم‌بندی شد. داده‌های آزمون، داده‌هایی است که مورد مشاهده شبکه قرار نمی‌گیرد و جهت ارزیابی کارایی شبکه به کار می‌رود. فرایند آموزش تا حداقل ۱۰۰۰ اپوک به نحوی انجام شد که اگر پس از طی ۱۰۰ اپوک، مقدار خطای آموزش اعتبار سنجی همزمان پیشرفتی نداشته باشد، آموزش متوقف گردد. این شرط از ایجاد حافظه در شبکه جلوگیری می‌کند. در نهایت میانگین مربعات خطای شبکه محاسبه می‌گردد و به عنوان میزان تناسب هر کروموزوم لحاظ می‌شود. چرخ رولت^۳ با الگوریتم رتبه‌بندی^۴، به عنوان عملگر انتخاب، تعیین شد. عملگر ترکیب با الگوریتم یکنواخت، با احتمال ترکیب ۰/۹ و نسبت ترکیب ۰/۵ تعریف گردید. عملگر جهش با احتمال ۰/۰۱ و با الگوریتم یکنواخت در نظر گرفته شد. هدف بهینه‌سازی تا رسیدن به خطای صفر در نظر گرفته شد و محدودیت نسل نیز ۱۰۰ تعریف شد. در نهایت بهترین کروموزوم که معرف بهترین ساختار شبکه است توسط الگوریتم تعیین گردید و وزن‌های شبکه ذخیره شد. (شکل ۱). در این تحقیق ایجاد شبکه، آموزش و آزمون شبکه عصبی و همچنین بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک با نرم‌افزار NeuroSolutions انجام شد (Lefebvre & Principe, 2005).

تحلیل حساسیت

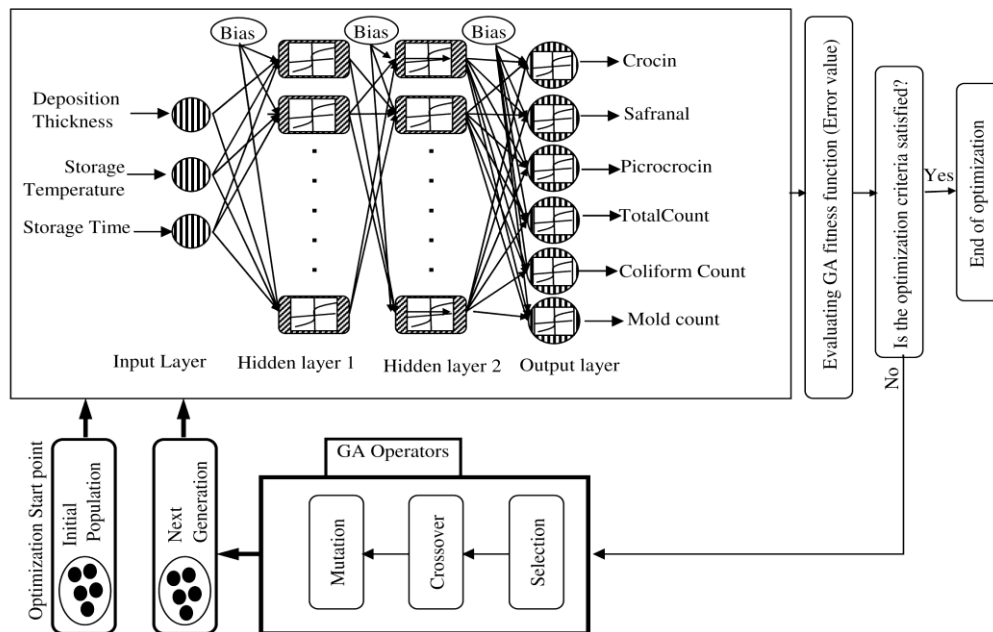
تحلیل حساسیت هر یک از پاسخ‌ها نسبت به متغیرهای ورودی بر اساس شبکه بهینه انجام شد. برای این منظور، هر

1- Training

2- Cross Validation

3- Roulette Wheel

4- Rank



شکل ۱- طرح کلی مراحل بهینه‌سازی ساختار شبکه عصبی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

Figure 1- Schematic of neural network structure optimization procedure of using genetic algorithm.

در این شبکه کمترین خطای یادگیری مربوط به پاسخ کلی فرم و بیشترین خطای یادگیری مربوط به پاسخ کروسین است همچنین در نتایج آزمون شبکه، پاسخ سافرانال و کپک کمترین خطا را دارند. (جدول های ۲ و ۳).

جدول ۱- اطلاعات ساختاری شبکه پرسپترون چندلایه بهینه‌شده به روش الگوریتم ژنتیک

Table 1- Information of the genetic algorithm optimized multi-layer perceptron network architecture

لایه مخفی اول Hidden layer 1			لایه مخفی دوم Hidden layer 2			لایه خروجی Output layer	
نرخ یادگیری Learning rate	نرخ یادگیری Learning rate	نرخ یادگیری Learning rate	تعداد نورون‌ها Number of neurons	مومنتوم Momentum	نرخ یادگیری Learning rate	مومنتوم Momentum	نرخ یادگیری Learning rate
0.4116	0.4116	0.4116	14	0.2048	0.9703	0.6497	0.8207

در ضعف ترین حالت، ضریب همبستگی ۹۴ درصد با نتایج پاسخ کپک را نشان می‌دهد، همچنین خطای پیش‌بینی محاسبه‌شده برای هر یک از مدل‌های رگرسیونی به طور قابل توجهی بیشتر از خطای شبکه عصبی بهینه است. شبکه بهینه توسعه یافته در این تحقیق می‌تواند به خوبی در ارزیابی عوامل مؤثر بر تغییرات کیفی گل زعفران و بهینه‌سازی شرایط بکار رود.

مقایسه نتایج مرتبط با شبکه عصبی بهینه‌شده با رگرسیون‌های خطی و غیرخطی (جدول‌های ۲ و ۳) نشان می‌دهد، شبکه عصبی در پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات کیفی گل زعفران مؤثرتر عمل می‌کند؛ به طوری که ضریب همبستگی در مدل رگرسیون خطی در بهترین پاسخ به ۷۹ درصد می‌رسد و در مورد رگرسیون غیرخطی نیز نتیجه‌ای بهتر از ۹۴ درصد پیش‌بینی مشاهده نمی‌شود در حالی که شبکه عصبی

جدول ۲- شاخص SSE پیش بینی مدل های رگرسیونی و شبکه عصبی بهینه
Table 2- RMSE values of regression and optimized neural network

مدل Model	کروسین Crocin	سافرانال Safranal	پیکروکروسین Picrocrocin	بار میکروبی Total count	کلی فرم Coli form	کپک Mold
رگرسیون خطی Linear regression	14.3	1.8	3.5	10.3	1	1.7
رگرسیون چندجمله ای درجه دوم Quadratic regression	10.2	1.2	5.3	0.2	0.8	1.2
شبکه عصبی بهینه Optimized neural network	4.6	0.4	0.9	1.7	0.3	0.6
	آموزش Training					
	آزمون Testing	3.2	0.6	1.2	2	3

جدول ۳- درصد ضریب همبستگی مدل های رگرسیونی و شبکه عصبی بهینه
Table 3- Coefficient of determination (%) values of regression and optimized neural network

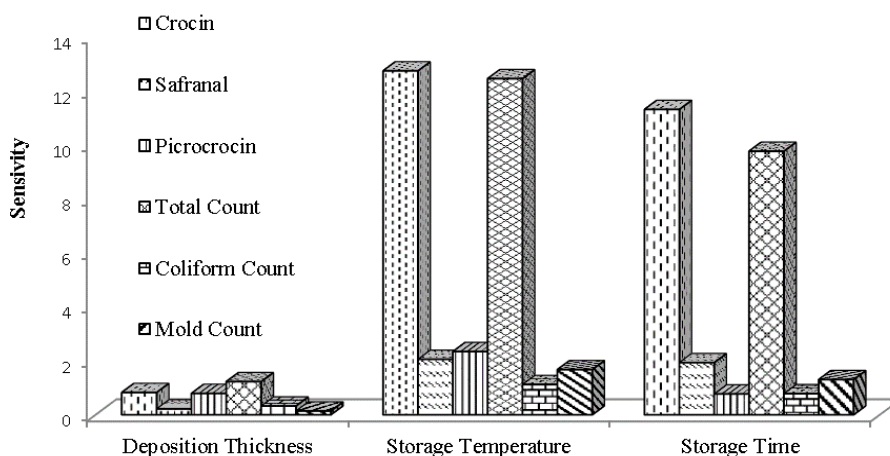
مدل Model	کروسین Crocin	سافرانال Safranal	پیکروکروسین Picrocrocin	بار میکروبی Total count	کلی فرم Coli form	کپک Mold
رگرسیون خطی Linear regression	56.9	78.9	72	70.4	68.8	64.3
رگرسیون چندجمله ای درجه دوم Quadratic regression	77.8	90.1	93.4	84.9	83.4	81.8
شبکه عصبی بهینه Optimized neural network	95.7	98.6	98.1	99.2	97.2	95.8
	آموزش Training					
	آزمون Testing	97.9	97.3	95.2	99.1	96.1

مدت زمان نگهداری گزارش شده است (Bolandi et al., 2008).

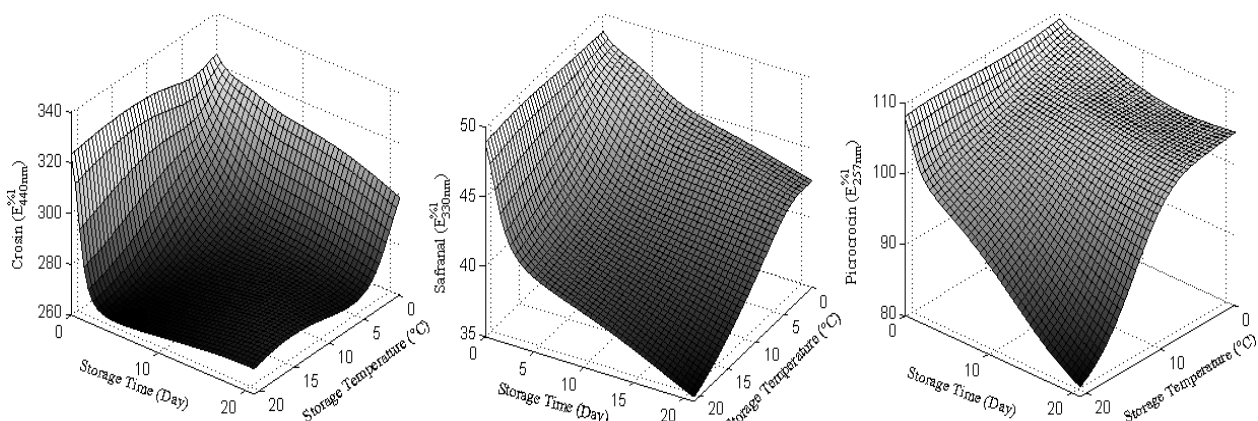
نتایج حساسیت پیکروکروسین و سافرانال نسبت به متغیرهای آزمایشی مبتنی بر مدل شبکه عصبی نشان داد که میزان حساسیت این ویژگی های کیفی در برابر متغیرهای دما و زمان نگهداری از ضخامت انباشتگی بیشتر است (شکل ۲). همچنین مشاهده می شود با افزایش دما و مدت نگهداری گل، میزان پیکروکروسین و سافرانال کاهش می یابد (شکل ۳). عطر و بوی زعفران مربوط به ترکیب شیمیایی سافرانال - (C10H14O) است (Amirghasemi, 2001). مقدار سافرانال همانند سایر ترکیبات عطری در کلاله ی تازه ی زعفران بسیار ناچیز است، اما پس از اعمال فرآیندهای مختلف بر روی کلاله ی تازه، افزایش می یابد (Raina et al., 1996). طعم تلخ زعفران مربوط به گلیکوزیدی بی رنگ بنام پیکروکروسین است.

شاخص های رنگ، عطر و تلخی

حساسیت تغییرات کروسین نسبت به متغیرهای آزمایشی مبتنی بر مدل شبکه عصبی بهینه در شکل ۲ نمایش داده شده است. نتایج نشان می دهد که میزان حساسیت تغییرات کروسین در برابر متغیرهای دما و زمان نگهداری از ضخامت انباشتگی بیشتر است. نمودار سطح پاسخ تغییرات قدرت رنگ دهی زعفران (مقدار کروسین) در ضخامت ۱۰ سانتی متر (شکل ۳) نشان می دهد که با افزایش دما و زمان نگهداری، مقدار کروسین کاهش می یابد. با گذشت زمان و افزایش مدت نگهداری زعفران، به ویژه تحت شرایط نامناسب، به تدریج از میزان دی استرهای کروسین کاسته شده و بر مقدار مونواسترها و کروسین آزاد افزوده می شود و شدت رنگ نیز کاهش می یابد (Alonso et al., 1990; Tarantilis et al., 1994). نتایج مشابهی در ارتباط با کاهش رنگ دانه کروسین با افزایش دما و



شکل ۲- تحلیل حساسیت ویژگی‌های زعفران نسبت به متغیرهای آزمایش مبتنی بر مدل شبکه عصبی بهینه
Figure 2- Sensitivity analysis of saffron characteristics based on the optimized neural network model.



شکل ۳- نمودار سطح پاسخ کروسین (چپ)، سافرانا (وسط) و پیکروکروسین (راست) کلاله گل زعفران در ضخامت انباشتی ۱۰ cm بر مبنای مدل شبکه عصبی بهینه

Figure 3- Response surface plot of crocin (left), safranal (middle) and picrocrocin (right) of saffron flower stigma at deposition thickness of 10 cm, based on optimized neural network model.

واکنش هیدرولیز به سافرانا تبدیل می‌شود. بنابراین میزان آن تحت تأثیر چند واکنش بوده و روند مشخصی را طی نمی‌کند. همچنین افزایش و کاهش متوالی در میزان پیکروکروسین (در طول زمان نگهداری) را می‌توان به خاصیت مهارکنندگی احتمالی پیکروکروسین بر تجزیه‌ی زئاگزانتین نسبت داد.

شاخص‌های میکروبی

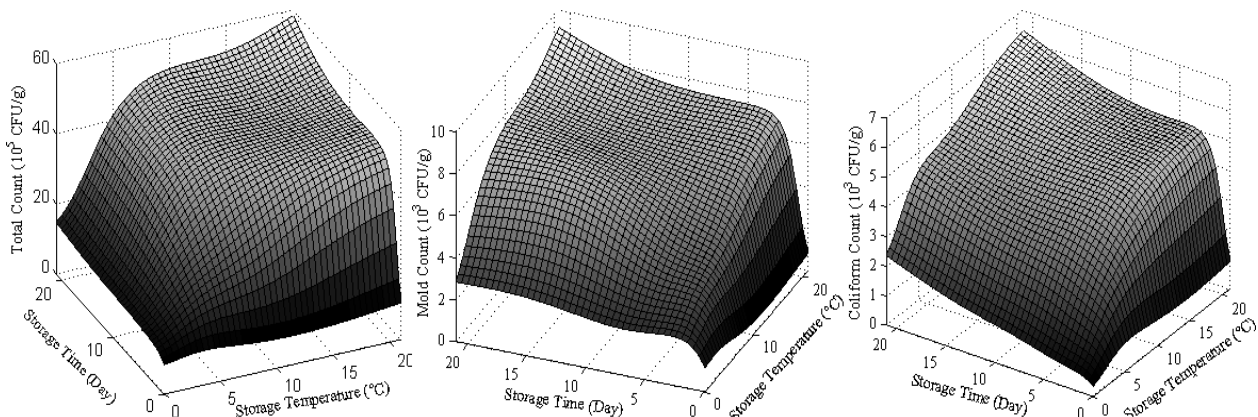
حساسیت تعداد کل میکروب‌های زنده، تعداد کلی‌فرم‌ها و

در زعفران به تدریج با تجزیه‌ی پیکروکروسین از شدت تلخی کاسته می‌شود و همراه با این کاهش تدریجی، به علت افزایش قندهای حاصل از تجزیه‌ی رنگ‌دانه‌ها و پیکروکروسین و نیز تولید ترکیبات عطری، تلفیقی از مزه‌های تلخ، شیرین و یا ترش ایجاد می‌شود (Lutz, 1930). پیکروکروسین ماده‌ای حد - واسط است که از تجزیه‌ی زئاگزانتین^۱ حاصل شده و سپس در

1- Zeaxanthin

که البته دماهای بالاتر شیب تغییرات را در اوایل نگهداری افزایش می‌دهد. نگهداری گل زعفران در دمای نزدیک به صفر درجه سانتی‌گراد و جلوگیری از یخ زدن نمونه، می‌تواند به طور مطلوبی گسترش آلودگی میکروبی اولیه را کنترل کند. عوامل مختلفی از قبیل عملیات کاشت، داشت و برداشت و همچنین فرآیندهایی که پس از برداشت زعفران تا زمانی که به دست مصرف‌کننده می‌رسد، بر کیفیت و آلودگی زعفران تأثیر می‌گذارند. در فرآوری، مسائلی مانند برداشت غیر بهداشتی گل از مزرعه، حمل‌ونقل و نگهداری، چگونگی جداسازی کلاله و خامه از گل، خشک کردن زعفران، روش نگهداری و بسته‌بندی، بر افزایش آلودگی میکروبی زعفران تأثیرگذار هستند.

تعداد کل کپک و مخمر نسبت به متغیرهای آزمایش مبتنی بر مدل شبکه عصبی بهینه در شکل ۲ نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که میزان حساسیت تغییرات کل میکروب‌های زنده و تعداد کلی‌فرم‌ها در برابر متغیرهای دما و زمان نگهداری از ضخامت انباشتگی بیشتر است. تأثیر دمای نگهداری بر افزایش تعداد کل میکروب‌های زنده، به صورت نمایی است، به طوری که با افزایش دما تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد، تعداد کل میکروب‌های زنده با سرعت بیشتری افزایش و سپس روندی ثابت می‌یابد. روندی مشابه در مورد تعداد کلی‌فرم‌ها و تعداد کل کپک و مخمرها مشاهده گردید (شکل ۴). با توجه به نمودارها، در ۵ تا ۱۰ روز اولیه آلودگی میکروبی با شدت زیادی توسعه می‌یابد و سپس در مقداری تقریباً ثابت متوقف می‌شود.



شکل ۴- نمودار سطح پاسخ بار میکروبی کل (کپک، کلی‌فرم (وسط) و کلی‌فرم (راست) گل زعفران، ضخامت انباشتگی ۱۰ cm بر مبنای مدل شبکه عصبی بهینه

Figure 4- Response surface plot of total count (left), mold count (middle) and coli form count (right) of saffron flower at deposition thickness of 10 cm, based on optimized neural network model.

شبکه عصبی بهینه شامل تعداد لایه‌ها و پارامترهای الگوریتم یادگیری مومنتوم با استفاده از الگوریتم تکاملی ژنتیک انجام شد که در مقایسه با روش آزمون و خطا سریع‌تر و دقیق‌تر است. مدل به دست آمده در مقایسه با مدل‌های رگرسیون خطی از ضریب تبیین بالاتر و خطای کمتری در پیش‌بینی برخوردار بود. بررسی مدل‌ها نشان داد شاخص رنگ کروسین

نتیجه‌گیری

نگهداری گل زعفران در شرایط دمایی و انباشتگی مختلف دارای اثرات متفاوت بر کیفیت شیمیایی زعفران یعنی تغییرات مواد مؤثره آن و همچنین گسترش آلودگی‌های میکروبی دارد. در این تحقیق این تغییرات با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی از نوع پرسپترون چندلایه مدل‌سازی شد. ساختار

دمای صفر درجه سانتی‌گراد به طور مؤثری کاهش می‌یابد و برای نگهداری گل زعفران توصیه می‌گردد. انباشتگی نسبتاً تأثیر کمی بر روند تغییرات دارد ولی ضخامت نگهداری کمتر مطلوب‌تر است.

منابع

- Ahmad, S., Tahir, I., and Shahri, W. 2013. Effect of different storage treatments on physiology and postharvest performance in cut scapes of three Iris species. *Journal of Agricultural Science and Technology* 15 (2): 323-332.
- Alonso, G.L., VarÓN, R., Gomez, R., Navarro, F., and Salinas, M.R. 1990. Auto-oxidation in Saffron at 40°C and 75% Relative Humidity. *Journal of Food Science* 55 (2): 595-596.
- Amirghasemi, T. 2001. Saffron, Red Gold of Iran. Ayandegan Publication, Tehran.
- Bolandi, M., Shahidi, F., Sedaghat, N., Farhoush, R., and Mousavi-nik, H. 2008. Shelf-life determination of saffron stigma: Water activity and temperature studies. *World Applied Sciences Journal* 5 (2): 132-136.
- Cevallos, J.-C., and Reid, M.S. 2001. Effect of dry and wet storage at different temperatures on the vase life of cut flowers. *Hort Technology* 11 (2): 199-202.
- Cook, D.F., Ragsdale, C.T., and Major, R.L. 2000. Combining a neural network with a genetic algorithm for process parameter optimization. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 13 (4): 391-396.
- Da Silva Vieira, M.R., de Medeiros, D.C., Costa, P.N., Santos, C.M.G., de Alencar Paes, R., de Sousa Fernandez, L.M., de Oliveira, N.G., Allan, A., and Silva, F. 2012. Effect of refrigeration on post-harvest flowers. *African Journal of Biotechnology* 11 (67): 13065-13068.
- Ferentinos, K.P. 2005. Biological engineering applications of feedforward neural networks designed and parameterized by genetic algorithms. *Neural Networks* 18 (7): 934-950.
- ISIRI. 2008. Microbiology of Saffron – Specification (5689). Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Tehran, Iran.
- ISO. 1993. Saffron (*Crocus sativus* L.). The International Organisation for Standardisation, Switzerland.
- Izadifar, M., and Jahromi, M.Z. 2007. Application of genetic algorithm for optimization of vegetable oil hydrogenation process. *Journal of Food Engineering* 78 (1): 1-8.
- Joyce, D.C., and Shorter, A.J. 2000. Long term, low temperature storage injures kangaroo paw cut flowers. *Postharvest Biology and Technology* 20 (2): 203-206.
- Lefebvre, C., and Principe, J. 2005. Neuro Solutions. Neuro Dimension, Inc.
- Lutz, H.E.W. 1930. Picrocrocin, the bitter principle of safran. *Biochemistry* 226 (97): 25.
- Ministry of Agriculture Jihad. 2014. Agricultural Statistics. Department of Economic Development and Planning of Statistics and Information Technology, Thran, Iran.
- Mohebbi, M., Shahidi, F., Fathi, M., Ehtiati, A., and Noshad, M. 2011. Prediction of moisture content in pre-osmosed and ultrasounded dried banana using genetic algorithm and neural network. *Food and Bioproducts Processing* 89 (4): 362-366.

در روزهای اولیه شدیداً کاهش می‌یابد و سپس به ثبات می‌رسد اما سافرانال و پیکروکروسین متأثر از افزایش دما و زمان با شیب نسبتاً ثابتی کاهش می‌یابد. آلودگی‌های میکروبی شامل بار میکروبی کل، کلی‌فرم و کپک با افزایش زمان نگهداری افزایش می‌یابد که افزایش دما، شیب تغییرات را شدیدتر می‌کند. به‌طور کلی تغییرات شیمیایی و میکروبی زعفران در

- Molina, R.V., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J.L., and García-Luis, A. 2005. Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia Horticulturae* 103 (3): 361-379.
- Nazghelichi, T., Aghbashlo, M., and Kianmehr, M.H. 2011. Optimization of an artificial neural network topology using coupled response surface methodology and genetic algorithm for fluidized bed drying. *Computers and Electronics in Agriculture* 75 (1): 84-91.
- Nowak, J., and Rudnicki, R.M. 1990. *Postharvest Handling and Storage of Cut Flowers, Florist Greens, and Potted Plants*. Timber Press, Portland.
- Pellegrini, M., and Bellé, R. 2008. O que você precisa saber sobre pós-colheita de flores. *Revista Campos and Negócios, Uberlândia* 5 (69): 41-42.
- Raina, B.L., Agarwal, S.G., Bhatia, A.K., and Gaur, G.S. 1996. Changes in pigments and volatiles of saffron (*Crocus sativus* L.) during processing and storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 71 (1): 27-32.
- Shekarchizadeh, H., Tikani, R., and Kadivar, M. 2014. Optimization of cocoa butter analog synthesis variables using neural networks and genetic algorithm. *Journal of food science and technology* 51 (9): 2099-2105.
- Tarantilis, P.A., Polissiou, M., and Manfait, M. 1994. Separation of picrocrocin, cis-trans-crocins and safranal of saffron using high-performance liquid chromatography with photodiode-array detection. *Journal of Chromatography A* 664 (1): 55-61.
- Turhan, H., Kahrman, F., Egesel, C.O., and Gul, M.K. 2008. The effects of different growing media on flowering and corm formation of saffron (*Crocus sativus* L.). *African Journal of Biotechnology* 6 (20): 2328-2332.
- Van Doorn, W.G., and Han, S.S. 2011. Postharvest quality of cut lily flowers. *Postharvest Biology and Technology* 62 (1): 1-6.
- Xie, G., Xiong, R., and Church, I. 1998. Comparison of kinetics, neural network and fuzzy logic in modelling texture changes of dry peas in long time cooking. *LWT - Food Science and Technology* 31 (7-8): 639-647.

Modelling the Chemical and Microbial Changes of Saffron Flower during Storage Using Artificial Neural Networks and Genetic Algorithm

Elham Azarpazhooh¹, Ahmad Ehtiati^{2} and Parvin Sharayei¹*

Received: 17 March, 2016

Accepted: 28 May, 2016

DOI: 10.22048/jsat.2016.38668

Abstract

Saffron, as the most expensive agricultural and pharmaceutical product of the world, has a special value among plants. Since the Saffron harvesting period is short, its storage for later processing requires understanding the most effective factors affecting the quality of saffron and its deterioration. Therefore the effects of reposition thickness, storage temperature and storage time of saffron flowers on its chemical parameters including crocin, safranal and picrocrocin values of saffron stigma and its microbial quality indicators including total count, coliform and mold contamination were modelled. This was done using multi-layer perceptron artificial neural network (ANN) and its structure and the learning parameters were optimized using genetic algorithm technique. The optimized MLP neural network was capable to predict the saffron quality characteristics during storage with coefficient of determinations higher than %94 and low error values (RMSE lower than 3.5 for all responses). The ANN model showed that reposition thickness has the lowest impact on chemical and microbial parameters deterioration while increasing storage temperature and time drastically increased loss of quality although the effect of storage time is lower than that of storage temperature. Overall, keeping fresh saffron flowers at a low temperature near zero degrees centigrade is necessary for maximum retention of valuable chemical compounds and minimum microbial contamination development during saffron flower storage for further processing.

Keywords: Crocin, Multi-layer Perceptron, Picrocrocin, Safranal.

1 - Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center, Mashhad

2 - PhD Student, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad
(*-Corresponding Author E-mail: ehtiati.ahmad@stu.um.ac.ir)