

مقایسه شبکه عصبی مصنوعی و روش شناسی سطح پاسخ در پیش‌بینی فعالیت قارچی و برخی از

ویژگی‌های گندم ازن‌زنی شده در طول انبارمانی

علیرضا قدس‌ولی^{۱*}، حمید بخش‌آبادی^۲

^{۱*}بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

^۲گروه کشاورزی، مرکز آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

چکیده

از آنجا که پیش‌بینی روند تغییرات محصولات کشاورزی در طول انبارمانی بسیار مهم می‌باشد، این مطالعه با هدف پیش‌بینی روند تغییرات فعالیت قارچی و برخی از ویژگی‌های گندم ازن‌زنی شده، در طول انبارمانی صورت پذیرفت. از این‌رو در این تحقیق به منظور مدل‌سازی فرایند ازن‌زنی دانه گندم از ۳ سطح غلظت ازن (۰، ۲۵ و ۵۰ پی‌پی‌ام) و سه سطح زمان ازن‌زنی (۱، ۳ و ۵ روز) استفاده گردید. در این مطالعه برای نمونه شاهد تیماردهی با ازن (نمونه‌ای که سطح غلظت ازن مورد استفاده صفر و زمان ازن‌زنی آن یک روز بود) استفاده نشد و بعد از اعمال این فرایند، گندم‌ها به مدت ۶ ماه نگهداری گردیدند و تعداد کلنی کپک و مخمر، میزان آفلاتوکسین، درصد جوانه‌زنی و عدد زلنی آنها مورد بررسی قرار گرفت. جهت پیش‌بینی روند تغییرات این ویژگی‌ها از روش شناسی سطح پاسخ با یک طرح مرکب مرکزی و شبکه عصب مصنوعی استفاده گردید. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت ازن تعداد کلنی‌های کپک و مخمر (در حدود ۲۱۰۰ درصد) و میزان آفلاتوکسین (۱۴۸۹ درصد) کاهش ولی میزان عدد زلنی (۱۵/۰۶ درصد) افزایش یافت و با افزایش زمان ازن‌زنی تعداد کلنی‌های کپک و مخمر ۱۸۱/۸۵ درصد کاهش ولی عدد زلنی ۱/۸۱ درصد افزایش داشت. نتایج بهینه‌سازی فرایند نشان داد که به‌منظور رسیدن به گندمی با بالاترین کیفیت، بایستی غلظت ازن و زمان ازن‌زنی به ترتیب ۵۰ پی‌پی‌ام و ۵ روز باشد. با بررسی شبکه‌های مختلف شبکه‌ی پس‌انتشار پیش‌خور با توپولوژی‌های ۴-۶-۲ با ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹۹۱ و میانگین مربعات خطای کمتر از ۰/۰۰۲ و با بکارگیری تابع فعال‌سازی تانژانت سیگموئید هیپربولیکی، الگوی یادگیری لونیگ - مارکوات و چرخه یادگیری ۱۰۰۰ به‌عنوان بهترین مدل عصبی مشخص گردید. از طرفی با مقایسه ضرایب همبستگی مدل‌های حاصل از روش سطح پاسخ و شبکه عصبی مصنوعی مشخص شد که روش شبکه عصبی مصنوعی کارایی بیشتری برای پیش‌بینی روند تغییرات گندم ازن‌زنی شده در طول انبارمانی دارد.

واژه‌های کلیدی: ازن، انبارمانی، گندم، مدل‌سازی

Email:ghodsvali@gmail.com
Email:qodsevali@yahoo.com

بدون شک از گندم می‌توان به‌عنوان مهم‌ترین محصول استراتژیک مورد نظر بخش کشاورزی کشور نام برد. در جهان، گندم با سطح زیر کشت ۲۲۲/۱ میلیون هکتار، عملکرد حدود ۳/۶ تن در هکتار و تولید سالیانه ۷۹۶/۹ میلیون تن بیشترین میزان تولید بین محصولات زراعی را به خود اختصاص داده است (۲۴). سطح زیر کشت آن در ایران ۶/۹۱ میلیون هکتار با عملکرد ۳۷۱۸ کیلوگرم (آبی) و ۹۸۶ کیلوگرم (دیم) در هکتار و تولید سالیانه ۱۳/۳ میلیون تن می‌باشد. از ۶۸۰ هزار هکتار اراضی مزروعی استان گلستان حدود ۳۸۱ هزار هکتار آن به کشت گندم اختصاص دارد و سالیانه حدود ۱/۱ میلیون تن گندم در این استان تولید می‌گردد (۱۳). از طرفی این غله مهم میزبان مجموعه‌ای متنوع و پویا از میکروارگانیسم‌ها از جمله باکتری‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها می‌باشد که در این میان قارچ‌ها بیشترین فراوانی را دارند و مسئول اصلی فساد در غلات به حساب می‌آیند (۲۱). نگهداری و ذخیره‌سازی گندم و برنج فرایندی پیچیده و فعال است زیرا دانه‌ها پس از برداشت نیز می‌توانند به‌عنوان یک ارگانیسم زنده، کلیه اعمال حیاتی ظاهری، مانند تنفس، متابولیسم و رشد را انجام دهند و در معرض تغییرات شیمیایی و بیولوژیکی مانند کاهش قوه نامیه، افزایش اسیدیته، تضعیف گلوتن، تجزیه آنزیماتیکی، از دست رفتن مواد مغذی و تغییرات ظاهری مانند شکستگی، سوراخ شدن و جوانه‌زدن قرار گیرند (۱۰) از این‌رو بایستی با استفاده از روش‌های نوین سرعت این تغییرات را به حداقل رساند. یکی از این روش‌ها استفاده از گاز ازن می‌باشد که از مزایای گاز ازن می‌توان به سرعت و قدرت اکسیدکنندگی بالا نسبت به سایر مواد ضدعفونی کننده، عدم نیاز به حمل و انبار مواد شیمیایی به سبب عدم پایداری، عدم تولید مواد سمی و محصولات ثانویه مضر، تاثیر بر طیف گسترده‌ای از میکروارگانیسم‌ها و قابلیت تجزیه ترکیبات سمی و شیمیایی و عدم تغییر طعم و مزه، رنگ، بو و کاربری آسان اشاره کرد (۱۲). ازن به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای آفت‌کش‌ها و ضدعفونی‌کننده‌های متداول در زمینه‌های نگهداری و انبارداری محصولات کشاورزی، شستشوی محصولات کشاورزی، از بین بردن آفات و بیماری‌های مزرعه‌ای، ضدعفونی محصولات غذایی، ضدعفونی غذایی، ضدعفونی تجهیزات و آب فرآورده‌های صنایع غذایی، بسته‌بندی و نگهداری سردخانه‌ای گوشت، نگهداری ماهی استفاده می‌گردد (۲۳). از محققینی که از ازن برای نگهداری دانه‌های غلات استفاده کردند، می‌توان به محمدزاده و همکاران (۱۴) و سانچز و همکاران (۲۱) برای دانه جو و یانگ و همکاران (۲۷) برای دانه برنج اشاره کرد که این محققین تاثیر مثبت ازن در نگهداری این دانه‌ها را گزارش دادند (۲۱ و ۲۷). امروزه با

توسعه فناوری‌های پردازش رایانه‌ای، از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)^۱ به‌طور گسترده‌ای به منظور مدل‌سازی فرایندهای صنایع غذایی و پیشگویی پارامترهای مورد نظر در طراحی و توسعه سیستم‌ها استفاده می‌شود. شبکه‌های عصبی قادر به مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی و پیچیده با تعداد زیادی داده ورودی و خروجی می‌باشند و در اکثر موارد نتایج قابل قبولی توسط محققان گزارش شده است و از این روش می‌توان به‌عنوان یک روش غیر مخرب برای تخمین ماندگاری و خواص کیفی محصولات کشاورزی استفاده نمود (۸ و ۲۰). در گذشته برخی از محققین اقدام به ارائه مدل‌هایی از شبکه عصبی جهت پیش‌بینی پارامترهای کیفی محصولات مختلف در طول انبارمانی نمودند که از آن جمله مطالعات می‌توان به مطالعات فرزانه و همکاران (۸) و محمد و همکاران (۱۵) به‌ترتیب برای میوه‌های انگور و خرما اشاره نمود (۸ و ۱۵). از طرفی روش سطح پاسخ مجموعه‌ای از تکنیک‌های ریاضی و آماری است که جهت توصیف و بهینه‌یابی فرایندها به کار می‌رود که پاسخ مورد نظر توسط تعدادی از متغیرها تحت تأثیر قرار می‌گیرد و اطلاعات موجود در سیستم بسیار کم می‌باشد یا میان متغیرها بر هم‌کنش‌ها موجود داشته و پاسخ غیر خطی است و هدف، توصیف رابطه بین پاسخ و متغیرهای مستقل توسط مدل‌های ریاضی و بهینه‌سازی این پاسخ می‌باشد (۴). با توجه به اهمیت فرایند ازن‌زنی در نگهداری دانه غلات و همچنین پیش‌بینی روند تغییرات غلات در طول انبارمانی این مطالعه در ابتدا با هدف جلوگیری از افزایش تعداد کلنی‌های کپک و مخمر و میزان آفلاتوکسین به‌منظور افزایش عمر انبارمانی گندم و همچنین مقایسه دو روش آماری سطح پاسخ و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی روند تغییرات ویژگی‌های دانه گندم تحت تأثیر غلظت گاز ازن و مدت زمان ازن‌زنی بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه مواد و شرایط ازن‌زنی

در این مطالعه از دانه گندم واریته مروارید (مشخصات گندم مورد مطالعه: عدد زلنی ۲۹ میلی‌متر، پروتئین ۱۱/۷ درصد، وزن هزاردانه ۴۳ گرم و گلوتن مرطوب و خشک آن نیز به‌ترتیب برابر ۳۱/۱ و ۱۰/۵ درصد بود) تهیه شده از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان استفاده گردید. دانه‌های گندم بعد از تهیه و بوجاری توسط دست در ظروف درب‌دار پلی اتیلنی با ظرفیت ۲ کیلوگرم ریخته شدند. ازن به‌طور الکتروستاتیکی با یک دستگاه تولید کننده ازن (مدل آریون، ساخت ایران) تولید شد. برای تیمارهای ازن‌زنی گندم از ظرف‌های پلی اتیلنی به ظرفیت دو کیلوگرم و مجهز به درپوش کامل لاستیکی و لوله‌های ورود و خروج

¹Artificial Neural Network

گاز استفاده شد. گاز ازن از قسمت بالای ظروف نگهداری گندم با سرعت ۰/۰۲ تا ۰/۰۴ متر بر ثانیه وارد شد. هنگامی که غلظت گاز محفظه به میزان مورد نظر رسید و نیازی به دمش بیشتر گاز نبود با مهر و موم کردن محفظه، دمش قطع شد. تزریق گاز تا وقتی که غلظت ازن خروجی تقریباً ثابت ماند متوقف گردید (مطابق شکل ۱). ازن زنی با دو متغیر اصلی غلظت ازن (۰، ۲۵ و ۵۰ پی پی ام) و مدت زمان ازن زنی (۱، ۳ و ۵ روز) صورت گرفت و تغییرات خصوصیات کیفی دانه گندم پس از دوره‌ای ۶ ماه ارزیابی گردید (۹).



شکل ۱- نحوه ازن زنی نمونه‌های گندم

۲-۲- تعیین میزان آلودگی قارچی

ابتدا ۵۰ گرم نمونه با ۴۵۰ میلی لیتر بافر فسفات استریل برای مدت ۲ دقیقه در شیکر (بهسان، ایران) مخلوط و با انتقال ۱ میلی لیتر از نمونه به ۹ میلی لیتر محلول بافر فسفات از آن رقت‌های ۰/۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ تهیه گردید. سپس ۰/۱ میلی لیتر از هر رقت با استفاده از کشت سطحی به محیط کشت PDA^۱ منتقل شدند. برای جلوگیری از رشد باکتری‌ها از تتراسایکلین استفاده شد. نمونه‌ها در گرم‌خانه با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد برای مدت ۵ روز نگهداری شدند و در پایان این مدت درصد آلودگی دانه‌ها به قارچ (تعداد کلنی کپک و مخمر) به صورت کلنی واحد در گرم گزارش شدند (۱۴).

۲-۳- اندازه گیری میزان آفلاتوکسین

برای اندازه گیری میزان آفلاتوکسین از روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (Knauer، آلمان) و خالص سازی ستون ایمونوآفینیته استفاده شد، بدین منظور ۵۰ گرم از هر نمونه با استفاده از آسیاب (Huddinge، سوئد) آرد گردید و از الک با مش ۲ عبور داده شد. سپس با ۵ گرم نمک طعام مخلوط و به آن ۸ میلی لیتر متانول افزوده و به مدت ۳ دقیقه به شدت جهت مخلوط شدن هم زده شد و سپس

^۱Potato Dextrose Agar

سانتریفوژ (Thermo، ژاپن) گردید. ۲ میلی لیتر از محلول سانتریفوژ شده با ۵۰ میلی لیتر بافر فسفات به خوبی مخلوط گردید. جهت تخلیص آفلاتوکسین از نمونه ستون ایمونوآفینیته استفاده شد. ابتدا ستون ایمونوآفینیته با ۱۰ میلی لیتر بافر فسفات شستشو شده و ۵۲ میلی لیتر نمونه حاصل با سرعت ۱ قطره در ثانیه از ستون عبور داده شد. پس از شستوی ستون با ۱۵ میلی لیتر آب مقطر ستون با عبور فشار ملایم هوا به مدت ۱۰ ثانیه خشک گردید. جهت جدا کردن آفلاتوکسین متصل شده به ستون ایمونوآفینیته، ۲ میلی لیتر متانول کروماتوگرافی به ستون افزوده و پس از خروج آفلاتوکسین جدا شده در ویال جمع آوری گردید. ۲ میلی لیتر آب مقطر خلوص کروماتوگرافی به ویال افزوده و به شدت با ورتکس همزده شد و سپس نمونه با استفاده از صافی های سرسنگی ۰/۴۵ میکرومتری صاف گردید. نمونه حاصل به دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا با فاز متحرک آب: متانول: استونیتریل (۶۰:۲۰:۲۰) و آشکارساز فلورسانس با طول موج تهیج ۳۶۵ نانومتر و طول موج تحریک ۴۴۵ نانومتر تزریق شدند در این مطالعه دمای ستون ۴۰ درجه سانتی گراد و سرعت جریان یک میلی لیتر بر دقیقه در نظر گرفته شد و در نهایت میزان آفلاتوکسین با مقایسه پیک های حاصل از نمونه با نمونه استاندارد تعیین و مقدار آن بر حسب ppb گزارش شد (۳).

۲-۴- درصد جوانه زنی

درصد جوانه زنی با استفاده از اطاقک های کشت یا ژرمیناتور ساده (Tabai Espec Corp، ژاپن) در حرارت معمولی اتاق (۱۸ تا ۲۲ درجه سانتی گراد) اندازه گیری شد (تعداد ۴ عدد پتری دیش انتخاب و کف آنها تا ۲ سانتی متر ماسه شسته ریخته و تعداد ۲۵ عدد گندم را روی کاغذ صافی ریخته و روی آنها با کاغذ صافی دیگر پوشیده شده و پس از گذشت یک هفته تعداد بذور جوانه زده شمارش شد) (۷).

۲-۵- کمیت و کیفیت پروتئین

برای اندازه گیری میزان پروتئین از روش کج لداال مطابق روش AOAC به شماره ۹۵۰/۰۹ (۲) و برای اندازه گیری کیفیت پروتئین یا عدد زلنی از روش AACC به شماره ۱۱-۵۴ استفاده شد (۱).

۲-۶- تجزیه و تحلیل آماری با روش سطح پاسخ

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از بررسی تاثیر غلظت ازن و مدت زمان ازن‌زنی بر ویژگی‌های گندم مورد مطالعه از روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD)^۱ با استفاده از نرم‌افزار Design Expert.12 انجام شد. به این منظور طرح مرکب مرکزی با ۵ تکرار در نقطه مرکزی (در این نقطه غلظت ازن ۲۵ پی.پی.ام و زمان ازن‌زنی ۳ روز بود) برای بررسی خواص مورد ارزیابی استفاده گردید. در این تحقیق محدوده‌ی متغیرهای مستقل، غلظت ازن (X_1) و مدت زمان ازن‌زنی (X_2) از آزمون‌های اولیه استنتاج شدند.

۲-۷- پیش‌بینی روند تغییرات کیفی میوه انگور در سردخانه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

جهت تعیین شبکه عصبی بهینه از ابزار شبکه عصبی نرم‌افزار مطلب استفاده شد. جهت طراحی این شبکه دو ورودی غلظت ازن و مدت زمان ازن‌زنی در یک ماتریس دو سطری و تعداد کلنی کپک و مخمر، میزان آفلاتوکسین، درصد جوانه‌زنی و عدد زلنی در یک ماتریس ۴ سطری به‌عنوان هدف تعریف گردید. شبکه‌های عصبی مختلف شامل توابع فعال‌سازی و یادگیری متفاوت و همچنین تعداد نورون مختلف در لایه‌ی پنهان طراحی و میزان کارایی آنها با استفاده از دو معیار ارزیابی ضریب همبستگی (R^2) و میانگین مربعات خطا (MSE) که به ترتیب با رابطه‌های ۱ و ۲ تعیین شدند، مشخص گردید. ابتدا با آزمودن شبکه‌های عصبی مختلف، شبکه عصبی پیش‌خور با بالاترین کارایی انتخاب گردید و تعداد چرخه‌های یادگیری نیز ۱۰۰۰ در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن این موارد، شبکه‌های عصبی مختلف حاوی یک لایه‌ی پنهان که تعداد متفاوتی از نورون‌ها از ۱ تا ۱۰ مورد را می‌توانست داشته باشد طراحی گردید. جهت اتصال لایه‌ی ورودی به لایه‌ی پنهان توابع فعال‌سازی تانژانت سیگموئید هیپربولیکی، لگاریتمی و خطی در مراحل مختلف آزمون و خطای شبکه‌ها استفاده گردید. همچنین جهت اتصال لایه‌ی پنهان به لایه‌ی خروجی تابع فعال‌سازی خطی به صورت ثابت استفاده شد. علاوه بر موارد ذکر شده دو الگوی یادگیری متفاوت شامل الگوی لونبرگ - مارکوات^۲ و جهنده^۳ در شبکه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت و تاثیر آنها بر دقت شبکه‌ها ارزیابی گردید. در این معادلات Y_{pi} نسبت ویژگی‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه، Y_{ai} نسبت ویژگی‌های حاصل از انجام آزمایشات و $\bar{Y}$ میانگین نسبت‌های ویژگی‌های آزمایشگاهی و N تعداد کل مشاهدات است.

^۱ Central Composite Design

^۲ Levenberg-Marquardt learning algorithm

^۳ Resilient backpropagation (trainrp)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{pi} - Y_{si})^2}{\sum_{i=1}^N (Y_{pi} - \bar{Y})^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{pi} - Y_{si})^2 \quad \text{رابطه (۲)}$$

وارد کردن داده‌ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می‌شود. از این رو داده‌های ورودی به شبکه بایستی نرمال شوند. در صورتی که این مرحله انجام نشود، شبکه در طول فاز آموزش همگرا نخواهد شد و نتایج مطلوب تولید نخواهد شد. در این بررسی برای تعدیل کردن داده‌ها از رابطه (۳) استفاده شده است که ورودی‌ها و خروجی‌ها را بین ۰ و ۱، استاندارد می‌نماید.

$$V_N = \frac{V_R - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این معادله: V_R داده خام اولیه، V_N داده نرمالیزه شده، V_{max} و V_{min} به ترتیب مقادیر بیشینه و کمینه داده‌های اولیه می‌باشند (۸).

۲-۸- سنجش کارایی روش سطح پاسخ و شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری

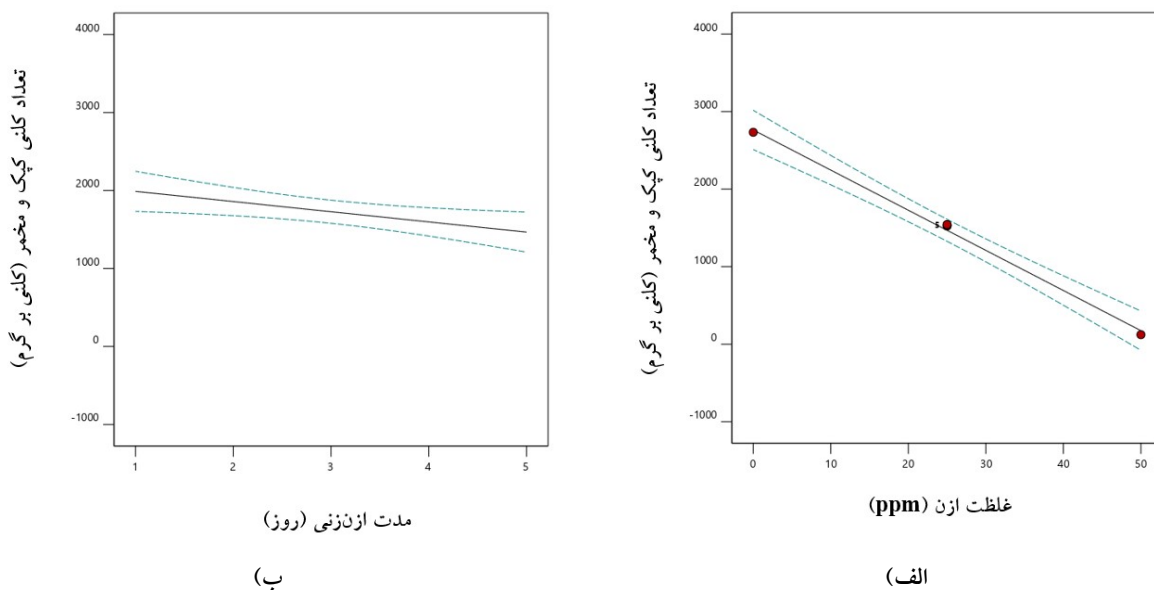
بدین منظور از ضرایب همبستگی (R^2) مدل‌های مورد مطالعه استفاده گردید به گونه‌ای که هر معادله دارای R^2 بالاتری بود، نشان از کارایی بیشتر آن روش در پیش‌گویی آن ویژگی داشت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تاثیر ازن بر تعداد کلنی کپک و مخمر

مدل خطی در مورد تاثیر ازن بر تعداد کلنی کپک و مخمر در برآزش داده‌ها نسبت به سایر مدل‌های پیشنهادی، مدل بهتری بود ($p < 0.01$ ، جدول ۱). همان‌طور که در جدول ۲ آورده شده است، فقط پارامترهای خطی غلظت ازن و مدت زمان ازن‌زنی بر تعداد کلنی کپک و مخمر تاثیر معنی‌دار داشت ($p < 0.05$). شکل ۲، نشان داد که با افزایش غلظت ازن و مدت زمان فرایند ازن‌زنی از تعداد کلنی‌های کپک و مخمر نمونه‌ها به ترتیب در حدود ۲۱۰۰ و ۱۸۱/۸۵ درصد کاسته شد. در تحقیق دیگری گزارش شده است که ازن در غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام به مدت ۳ روز، میزان قارچ‌های انباری را ۶۳ درصد کاهش می‌دهد (۲۹). سانتوز و همکاران (۲۲) گزارش نموده‌اند که هر گاه غلظت گاز ازن و زمان اشباع شدگی در دانه‌های برنج به ترتیب ۵/۰۰ میلی گرم در لیتر و ۱۳/۹۷ دقیقه باشد، کاهش معادل ۳/۸ سیکل لگاریتمی (۱۰۰ درصد) در تعداد مخمرها مشاهده می‌شود و همچنین در دانه‌های برنج ازن‌زنی شده مهار کامل قارچ‌های

جنس اسپرژیلوس و پنسیلیوم اتفاق می افتد (۲۲). مشخص شده است که در محصولات کشاورزی، گاز ازن رشد و توسعه قارچ های جنس های گوناگون فوزاریوم، ژئوتریکوم، مایروتسیوم و موکور را مهار نموده یا آن را به تأخیر می اندازد (۲۶). پائولی کین و زویرداسکین (۱۷) نیز به نتایج مشابهی با مطالعه حاضر دست یافتند (۱۷). مدل نهایی ارائه شده برای تعداد کلنی کپک و مخمر و همچنین اعداد F، حاکی از اثر گذاری بیشتر متغیر خطی غلظت ازن بود (جداول ۲ و ۳).



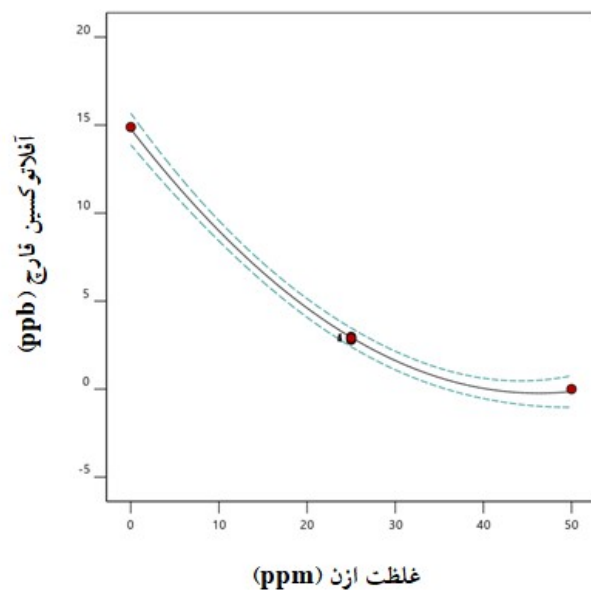
شکل ۲- تاثیر الف) غلظت ازن و ب) مدت ازن زنی بر تعداد کلنی های کپک و مخمر

جدول ۱- انتخاب مدل برای پارامترهای مورد اندازه گیری

مدل ها		تعداد کلنی کپک و مخمر		میزان آفلاتوکسین		درصد جوانه زنی		عدد زلنی	
مجموع	عدد	F	سطح	مجموع	عدد	F	سطح	مجموع	عدد
مربعات	احتمال	مربعات	احتمال	مربعات	احتمال	مربعات	احتمال	مربعات	احتمال
عرض از مبدا	۲۸۰۷۰۰۰	۳۳۲/۷۵	۱۲۵۸۰۰	۱۳۰۸۳/۲۳					
مدل خطی	۱۰۴۶۰۰۰	۹۸/۶۱	<۰/۰۰۰۱	۳۳۵/۴۸	۲۵/۲۲	۰/۰۰۰۱	۱/۶۷	۲۵/۵۴	۴۹/۹۱
چند جمله ای	۲۸۹	۰/۰۰۵	۰/۹۴۶	۰/۰۹	۰/۰۰۴	۰/۹۵۱	۲/۲۵	۱/۱۸	۰/۳۰۶
چند جمله ای	۲۰۷۳۳	۰/۱۴	۰/۸۶۹	۶۴/۴۳	۱۱۰/۶۶	<۰/۰۰۰۱	۷/۱۱	۲/۴۸	۰/۱۵۳
چند جمله ای	۴۹۳۲۰	۷۷/۴۷	۰/۰۰۲	۱/۹۴	۴۷/۹۳	۰/۰۰۵	۰/۸۳	۰/۲۳	۰/۸۰۵
باقیمانده	۱۵۹۱۸	۰/۱۰	۹/۲۲	۰/۰۱					
کل	۳۹۰۵۰۰۰	۷۳۴/۷۲	۱۲۵۹۰۰	۱۳۱۱۱/۳۳					

۳-۲- تاثیر ازن بر میزان آفلاتوکسین

نتایج آورده شده در جدول ۱، نشان داد که بهترین مدل برای برازش داده‌های حاصل از تاثیر ازن بر میزان آفلاتوکسین موجود در نمونه‌ها مدل چندجمله‌ای درجه دوم بود ($p < 0.01$) از طرفی جدول ۲، نیز مشخص نمود که فقط پارامتر خطی و درجه دوم غلظت ازن مورد استفاده بر میزان آفلاتوکسین در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. شکل ۳، نشان داد که تا غلظت ۴۰ پی‌پی‌ام ازن از میزان آفلاتوکسین نمونه‌ها در حدود ۱۴۸۹ درصد کاسته شد. به عبارت دیگر با افزایش غلظت ازن از تولید آفلاتوکسین توسط قارچ‌ها جلوگیری گردید. مایکوتوکسین‌ها، متابولیت‌های ثانویه تولید شده توسط قارچ‌های رشته‌ای بوده که دارای اثرات زیان‌آور برای مصرف‌کنندگان انسانی و حیوانی می‌باشند. غلات احتمالاً مهم‌ترین منبع تولید کننده مایکوتوکسین‌ها بوده زیرا آن‌ها بسیار مستعد و حساس به حمله قارچ‌ها هم در مزرعه و یا در طی انبارداری و نگهداری در انبار بوده و در نتیجه به مایکوتوکسین‌ها آلوده می‌شوند. ازن به عنوان یک اکسید کننده قوی به صورت موفقیت‌آمیزی برای کنترل آفات محصولات انبار شده مورد استفاده قرار می‌گیرد و گاهی اوقات موجب تجزیه و تخریب مایکوتوکسین‌ها در محلول یا در آزمایشات *in vitro* می‌گردد. علی‌رغم واقیت ذکر شده در بالا، اطلاعات در رابطه با استفاده از ازن گازی به عنوان یک ترکیب تخریب کننده مایکوتوکسین‌ها برای حفاظت دانه‌های غلاتی هنوز بسیار محدود می‌باشد. ضدعفونی با ازن فقط برای محافظت دانه‌های انبار شده قابل استفاده بوده و نمی‌توان از آن برای نگهداری و انبارداری بذور استفاده نمود (۲۵). پورتو و همکاران (۱۹) نیز بیان داشتند، استفاده از گاز ازن تا ۵۷ درصد میزان آفلاتوکسین را در ذرت کاهش می‌دهد که هم‌راستا با نتایج این بخش بود (۱۹). نوشاد و همکاران (۱۶) نیز نشان دادند که ازن به علت جلوگیری از رشد قارچ‌ها منجر به کاهش میزان آفلاتوکسین در دانه غلات می‌گردد (۱۶). اعداد F (جدول ۲) و معادله آورده شده در جدول ۳، حاکی از اثر گذاری بیشتر پارامتر خطی غلظت ازن بر میزان آفلاتوکسین بود.



شکل ۳- تاثیر غلظت ازن بر میزان آفلاتوکسین

جدول ۲- آنالیز واریانس پارامترهای مورد اندازه گیری

منبع			تعداد کلنی کپک و مخمر			میزان آفلاتوکسین			درصد جوانه زنی			عدد زلنی		
			مجموع	عدد	F	سطح	مجموع	عدد	F	سطح	مجموع	عدد	سطح	احتمال
			مربعات	F	احتمال	مربعات	احتمال	F	مربعات	احتمال	مربعات	F	احتمال	سطح
مدل			۱۰۴۶۰۰۰	۹۸/۶۱	۰/۰۰۰۱	۳۹۹/۹۴	۰/۰۰۰۱	۷۵	۱۱/۰۳	۰/۰۰۰۱	۲۷/۹۳	۲۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
X_1			۱۰۰۵۰۰۰	۴۹	۰/۰۰۰۱	۳۳۴/۰۶	۰/۰۰۰۱	۴۷	۰/۱۷	۰/۰۰۰۱	۲۵/۳۴	۸۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
X_2			۴۰۹۲۰۰	۷/۷۲	۰/۰۱۹	۱/۴۲	۰/۰۱۹	۴/۸۸	۱/۵۰	۰/۰۶۳	۰/۳۴۱	۸/۲۰	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴
X_1X_2			-	-	-	۰/۰۳	-	۰/۰۹	۲/۲۵	۰/۷۶۲	۰/۲۵۱	۰/۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱
X_1^2			-	-	-	۵۳/۰۵	-	۲۲	۴/۸۷	۰/۰۰۰۱	۰/۱۰۸	۱۶	۰/۱۰۷	۰/۱۰۷
X_2^2			-	-	-	۰/۱۲	-	۰/۴۱	۰/۲۹	۰/۵۴۳	۰/۶۶۳	۳/۴۲	-	-
باقیمانده			۵۳۰۲۰۰	-	-	۲/۰۴	-	-	۱۰/۰۵	-	۰/۱۷	-	-	-
خطای خالص			۲۳۴/۸۰	-	-	۰/۰۱	-	-	۲/۸۰	-	۰/۰۰	-	-	-
مجموع			۱۰۹۹۰۰۰	-	-	۴۰۱/۹۸	-	-	۲۱/۰۸	-	۲۸/۱۰	-	-	-

X_1 و X_2 به ترتیب غلظت ازن و زمان ازن زنی

۳-۳- تاثیر ازن بر درصد جوانه‌زنی

جدول ۱ نشان داد که تمامی مدل‌های مورد بررسی برای درصد جوانه‌زنی دانه‌ها معنادار نبود ($p > 0.05$) و تمامی متغیرهای آزمایش (غلظت ازن و مدت زمان فرایند ازن‌زنی) بر درصد جوانه‌زنی دانه‌ها بی‌تأثیر بود (جدول ۲). نتایج از طرفی نشان داد که جوانه‌زنی دانه‌ها از ۹۷ تا ۱۰۰ درصد متغیر بود. در تحقیق دیگری مشخص شده است که استفاده از ازن با غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام تأثیری روی جوانه‌زنی دانه ذرت ندارد و اگر غلظت ازن در حد کمتر از ۰/۹۸ میلی گرم در گرم دانه در دقیقه حفظ شود، حتی پس از ۴۵ روز نیز تأثیری روی جوانه‌زنی دانه ذرت مشاهده نخواهد شد. ازن تنها زمانی که در غلظت‌های بالا و مدت زمان ازن‌دهی کوتاه مورد استفاده قرار گیرد، می‌تواند روی سرعت و مقدار جوانه‌زنی تأثیرگذار باشد. کارآیی ازن‌زنی بر حسب ماهیت و حالت محصول هدف و نیز شرایط ازن‌زنی (درجه حرارت، مدت زمان، محتوای آب) متفاوت می‌باشد (۶). از طرفی جدول ۳، مشخص نمود که بیشترین تأثیر بر میزان جوانه‌زنی دانه‌ها به پارامتر درجه دوم غلظت ازن مورد استفاده داشت.

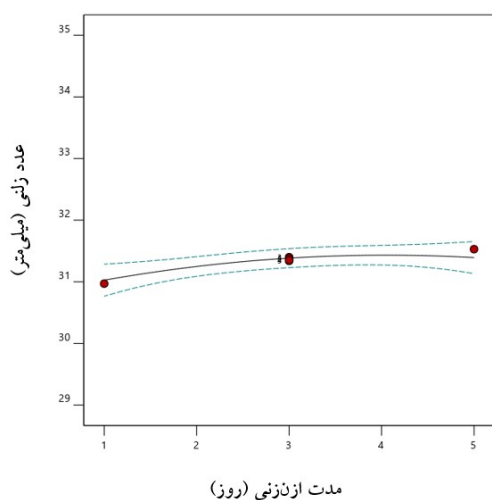
جدول ۳- مدل‌های برازش داده شده برای ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری

ویژگی‌ها	مدل‌ها	R^2	R^2_{adj}	CV
تعداد کلنی کپک و مخمر (کلنی بر گرم)	$y = +1469.4 - 1294.0 X_1 - 261.17 X_2$	۰/۹۵۲	۰/۹۴۲	۱۵/۶۷
آفلاتوکسین (ppb)	$y = +2.94 - 7.46 X_1 - 0.487 X_2 + 0.085 X_1 X_2 + 4.38 X_1^2 + 0.208 X_2^2$	۰/۹۹۵	۰/۹۹۱	۱۰/۶۶
جوانه‌زنی (درصد)	$y = +97.62 - 0.167 X_1 - 0.500 X_2 - 0.750 X_1 X_2 + 1.33 X_1^2 + 0.328 X_2^2$	۰/۵۳۲	۰/۱۸۳	۱/۲۲
عدد زلنی (میلی‌متر)	$y = +31.38 + 2.05 X_1 + 0.18 X_2 - 0.01 X_1 X_2 + 0.91 X_1^2 - 0.17 X_2^2$	۰/۹۹۴	۰/۹۸۹	۰/۴۹۵

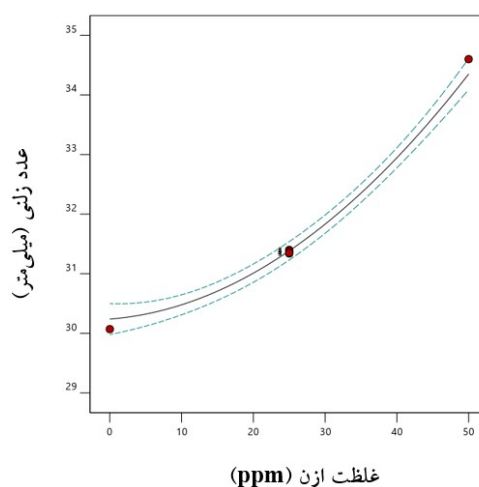
۳-۴- تاثیر ازن بر عدد زلنی

نتایج آورده شده در جدول ۱، نشان داد که بهترین مدل برای برازش داده‌های حاصل از تأثیر ازن بر عدد زلنی مدل چندجمله‌ای درجه دوم بود ($p < 0.01$) از طرفی جدول ۲، نیز مشخص نمود که فقط پارامترهای خطی غلظت و مدت زمان ازن‌زنی و پارامتر درجه دوم غلظت ازن مورد استفاده بر عدد زلنی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. نتایج آورده شده در شکل ۴، به‌خوبی نشان داد که با افزایش

غلظت ازن و همچنین مدت زمان ازن‌زنی عدد زنی به‌ترتیب ۱۵/۰۶ و ۱/۸۱ درصد افزایش یافت. عمل بهبوددهندگی عوامل اکسیدکننده از واکنش آنها با گروه‌های سولفیدریل (SH) ناشی می‌شود (۱۸). پیوندهای دی‌سولفیدی نقش مهمی را در تعیین خصوصیات خمیر بازی می‌کنند. در معرض قرار گرفتن با اکسیدان‌ها می‌تواند قدرت خمیر را به‌واسطه اکسیداسیون گروه‌های سولفیدریل و تبدیل آن‌ها به پیوندهای دی‌سولفید بهبود بخشد (۲۸). بروبرگ و همکاران (۵) نیز همراستا با نتایج این مطالعه، مشخص نمودند که ازن منجر به افزایش عدد زنی در گندم می‌گردد (۵). اعداد F (جدول ۲) و معادله آورده شده در جدول ۳، حاکی از اثر گذاری بیشتر پارامتر خطی غلظت ازن بر عدد زنی داشت.



(ب)



(الف)

شکل ۴- تاثیر الف) غلظت ازن و ب) مدت ازن‌زنی بر عدد زنی

۳-۵- بهینه‌سازی فرایند ازن‌زنی دانه گندم

به‌منظور یافتن بهترین شرایط ازن‌زنی دانه گندم با توجه به غلظت زان که در دامنه ۰ تا ۵۰ پی‌پی‌ام و مدت زمان فرایند که بین ۱ تا ۵ روز تنظیم شده بود، فرایند ازن‌زنی در شرایط ذکر شده به منظور رسیدن به حداقل تعداد کلنی کپک و مخمر و میزان آفلاتوکسین و حداکثر درصد جوانه‌زنی و عدد زنی بهینه‌یابی گردید. نتایج نشان داد که به منظور رسیدن به اهداف ذکر شده، بایستی غلظت ازن ۵۰ پی‌پی‌ام و مدت زمان ازن‌زنی ۵ روز باشد (جدول ۴). تحت شرایط مذکور مطلوبیت ۰/۹۲۹ حاصل گردید. برای اعتبارسنجی داده‌های به‌دست

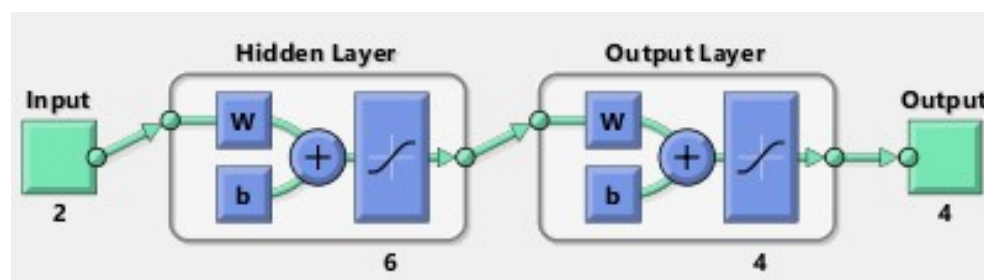
آمده از طریق نرم افزار، تحت شرایط بهینه مجدد با اعداد حاصل از انجام آزمایشات در همان نقطه مقایسه شد که این مقایسه نشان از دقت بالای مدل‌ها در پیش‌گویی آزمایشات داشت.

جدول ۴- مقایسه داده‌های حاصل از شرایط بهینه با داده‌های واقعی (تجربی)

تعداد کلنی کپک و مخمر				
آفلاتوکسین (ppb)				
جوانه‌زنی (درصد)				
عدد زلنی (میلی‌متر)				
(کلنی بر گرم)				
داده‌های نرم‌افزار	۱۰۰/۰	۰/۰	۹۸/۸	۳۲/۳
داده‌های تجربی	۱۰۶/۰	۰/۰	۹۸/۰	۳۲/۴

۳-۶- مدل‌سازی فرایند ازن‌زنی دانه‌های گندم با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

جدول ۵، مقایسه اثر تعداد نورون‌های لایه پنهان و نوع الگوی یادگیری را بر دقت پیش‌بینی شبکه‌های عصبی پستانتشار پیش‌خور با توابع انتقال تانژانت سیگموئید هیپربولیکی، لگاریتمی و خطی و چرخه یادگیری ۱۰۰۰ برای فرایند ازن‌زنی دانه‌های گندم را نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی ارائه شده در این جدول، شبکه عصبی پیش‌خور با تابع انتقال تانژانت سیگموئید هیپربولیکی، تابع یادگیری لونیگ - مارکوات و با توپولوژی ۴-۶-۲ (لایه ورودی با ۲ نورون - یک لایه پنهان با ۶ نورون - لایه خروجی با ۴ نورون (شکل ۵) با ضریب همبستگی بیش از ۰/۹۹۱ و میانگین مربعات خطا برابر با ۰/۰۰۲ برای این فرایند به عنوان شبکه عصبی بهینه انتخاب شد.



شکل ۵- شماتیکی از شبکه بهینه انتخاب شده حاوی دو نورون در لایه ورودی و ۶ نورون در لایه پنهان با تابع فعال‌سازی تانژانت

لگاریتم سیگموئیدی و ۴ نورون در لایه پنهان با تابع تانژانت هیپربولیک سیگموئیدی برای فرایند ازن‌زنی دانه گندم

جدول ۵- مقایسه اثر تعداد نورون‌های لایه پنهان و نوع تابع یادگیری و تابع فعال‌سازی بر دقت پیش‌بینی خصوصیات مختلف دانه گندم

طی ازنزنی

تعداد نورون		تابع فعال‌سازی خطی		تابع فعال‌سازی لگاریتم سیگنوییدی		تابع فعال‌سازی تانژانت هائپربولیکی	
الگوی جهنده		الگوی لونبرگ		الگوی جهنده		الگوی لونبرگ	
مارکوات		مارکوات		مارکوات		مارکوات	
MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²	MSE	R ²
۰/۸۹۵	۰/۰۱۷	۰/۸۹۶	۰/۰۱۶	۰/۹۷۰	۰/۰۰۳	۰/۸۱۳	۰/۰۷۱
۰/۸۹۵	۰/۰۱۷	۰/۸۹۶	۰/۰۱۶	۰/۹۷۰	۰/۰۰۳	۰/۸۱۳	۰/۰۷۱
۰/۸۱۰	۰/۰۵۱	۰/۸۴۱	۰/۰۶۴	۰/۹۸۴	۰/۰۰۸	۰/۸۶۵	۰/۰۲۳
۰/۸۹۸	۰/۰۱۴	۰/۸۰۶	۰/۰۹۱	۰/۹۸۱	۰/۰۰۳	۰/۸۸۱	۰/۰۱۸
۰/۸۶۶	۰/۰۵۴	۰/۷۹۱	۰/۱۰۷	۰/۷۶۱	۰/۰۱۱	۰/۸۹۸	۰/۰۰۷
۰/۸۶۵	۰/۰۲۱	۰/۸۳۲	۰/۰۵۷	۰/۹۸۵	۰/۰۰۶	۰/۸۹۹	۰/۰۰۷
۰/۸۲۷	۰/۰۴۶	۰/۷۹۸	۰/۰۹۸	۰/۹۷۱	۰/۰۰۲	۰/۷۸۵	۰/۰۰۸
۰/۸۹۹	۰/۰۱۵	۰/۷۹۴	۰/۱۰۲	۰/۹۷۹	۰/۰۰۶	۰/۹۷۲	۰/۰۰۴
۰/۸۱۳	۰/۰۴۸	۰/۸۴۱	۰/۰۶۲	۰/۹۶۲	۰/۰۰۸	۰/۹۵۷	۰/۰۰۸
۰/۷۹۸	۰/۰۷۳	۰/۷۹۹	۰/۰۸۷	۰/۹۱۵	۰/۰۱۱	۰/۸۱۰	۰/۰۱۰

با توجه به توپولوژی شبکه عصبی انتخاب شده که به صورت ۴-۶-۲ می باشد، ماتریس وزن برای لایه ورودی به لایه پنهان یک

ماتریس هسین ۶×۶ (اتصال ۲ نورون لایه ورودی به ۶ نورون لایه پنهان) و برای لایه پنهان به لایه خروجی یک ماتریس هسین ۶×۴

(اتصال ۶ نورون لایه پنهان به ۴ نورون لایه خروجی) به ترتیب به صورت ماتریس های A و B خواهند بود:

$$A = \begin{pmatrix} 0/292 & 3/858 \\ -2/018 & 1/922 \\ 3/564 & -1/554 \\ 2/761 & -3/018 \\ 0/624 & 3/503 \\ 3/450 & -1/713 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} -0/783 & 1/267 & -0/532 & -0/417 & -1/116 & -1/034 \\ -1/414 & 2/765 & -0/423 & -1/048 & -1/297 & -1/827 \\ 1/267 & -0/221 & -1/699 & 1/644 & 0/429 & 0/110 \\ 1/290 & -0/537 & 0/595 & 0/988 & 0/724 & 0/655 \end{pmatrix}$$

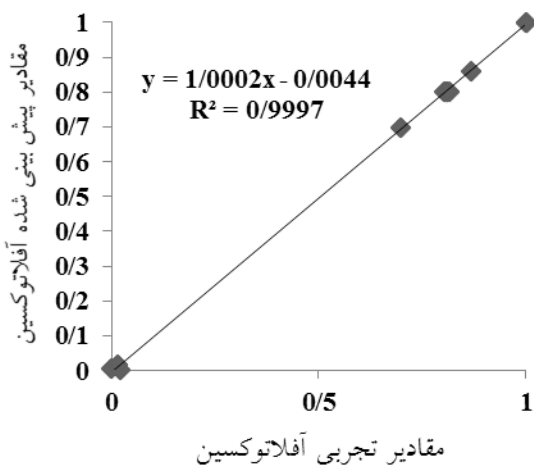
در ضمن ماتریس‌های بایاس برای لایه پنهان (ماتریس C) و لایه خروجی (ماتریس D) به ترتیب دو ماتریس 6×1 و 4×1 خواهد بود.

$$C = \begin{pmatrix} 2/371 \\ -0/915 \\ -1/392 \\ 1/548 \\ 3/165 \end{pmatrix}$$

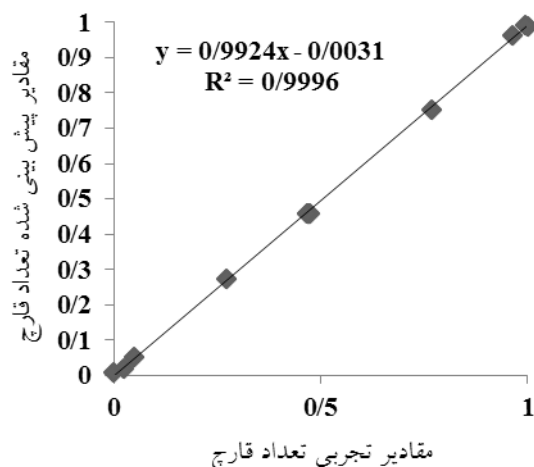
$$D = \begin{pmatrix} -0/077 \\ 0/199 \\ -1/349 \\ 0/480 \end{pmatrix}$$

از طرفی میزان بالای ضرایب همبستگی نمودارهای شکل ۶ که مقادیر پیش‌بینی شده توسط این شبکه بهینه در مقابل داده‌های تجربی را برای ۴ متغیر خروجی مورد نظر نشان می‌دهد را می‌توان دلیلی دیگر بر دقت بالای این مدل دانست و مشخص گردید که مدل انتخابی بیشترین دقت را برای پیش‌گویی داده‌های حاصل از تعداد قارچ و میزان آفلاتوکسین ($R^2 = 0/999$) و کمترین دقت را برای درصد جوانه زنی ($R^2 = 0/865$) نمونه‌ها داشت. محمد و همکاران (۱۵) با پیش‌بینی تغییرات خصوصیات کیفی میوه خرما در طول انبارمانی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بیان داشتند که مدل بهینه شبکه عصبی مصنوعی در این مطالعه شامل لایه ورودی با ۱۴ نورون، یک

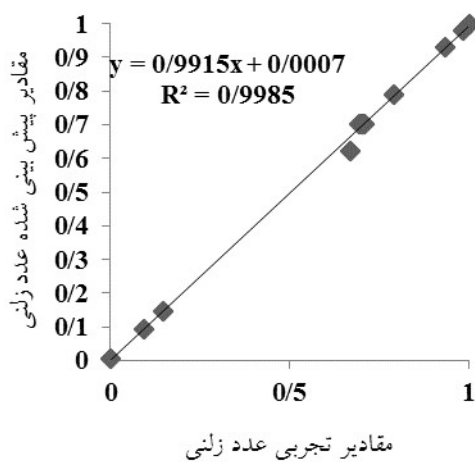
لایه پنهان با ۱۵ نورون و لایه خروجی با ۴ نورون بود و این مدل با ضریب همبستگی بالای ۰/۸۵ و میانگین خطای کمتر از ۰/۱۲۱ امکان پیش‌بینی روند ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری در این نمونه‌ها را داشت (۱۵). کیم و همکاران (۱۱) مطالعه‌ای برای مدل‌سازی تجربی میزان باقیمانده ازن در غلات تحت تاثیر مدت زمان ازن‌زنی انجام دادند و نشان دادند که مدل پیشنهادی با میانگین مربعات خطا کمتر از ۲/۴ درصد امکان پیش‌بینی میزان باقیمانده ازن در نمونه غلات را داشت (۱۱).



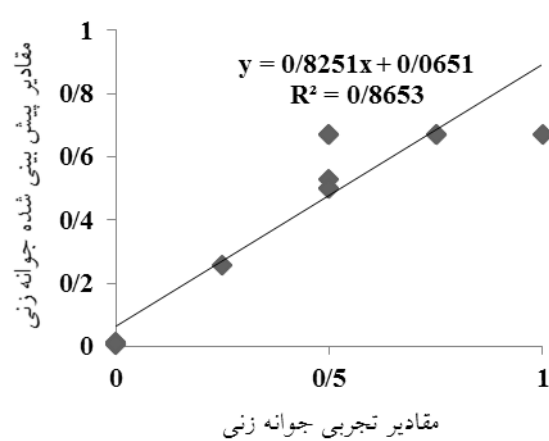
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۶- تغییرات مقادیر پیش‌بینی شده ویژگی‌های گندم ازن‌زنی شده توسط شبکه عصبی برای توپولوژی بهینه (۴-۶-۲) در مقابل

مقادیر آزمایشگاهی برای تعداد کلنی کپک و مخمر (الف)، میزان آفلاتوکسین (ب)، درصد جوانه زنی (ج) و عدد زنی (د)

۳-۷- مقایسه روش سطح پاسخ با شبکه عصبی مصنوعی برای پیش بینی ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری

با در نظر گرفتن جدول ۳ و شکل ۵، مشخص شد که هر دو روش (سطح پاسخ و شبکه عصبی مصنوعی) به دلیل دارا بودن ضرایب همبستگی بالا در پیش‌بینی ویژگی‌های گندم تحت تاثیر غلظت ازن و مدت زمان ازن‌زنی کارایی بالایی داشتند (جدول ۶). با این حال، مدل شبکه عصبی مصنوعی موثرتر از روش سطح پاسخ برای پیش‌بینی ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری گندم در طول ازن‌زنی عمل کرد.

جدول ۶- مقایسه روش سطح پاسخ و شبکه عصبی مصنوعی در دقت مدل‌سازی برای فرایند ازن‌زنی گندم

روش مدل‌سازی	مقادیر R^2			
	تعداد کلنی کپک و مخمر	میزان آفلاتوکسین	درصد جوانه‌زنی	عدد زلنی
سطح پاسخ	۰/۹۵۲	۰/۹۹۵	۰/۵۳۲	۰/۹۹۴
شبکه عصبی	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۸۶۵	۰/۹۹۸

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه از روش سطح پاسخ و شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی روند تغییرات ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری دانه‌های گندم ازن‌زده شده استفاده گردید. نتایج نشان داد که با استفاده از گاز ازن منجر به کاهش فعالیت قارچی دانه‌های گندم بدون تغییر در درصد جوانه‌زنی دانه‌ها می‌شود. از طرفی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده با ضریب همبستگی بیش از ۰/۹۹۱ و میانگین مربعات خطا برابر با ۰/۰۰۲ قادر به پیش‌بینی روند تغییرات ویژگی‌های گندم ازن‌زنی شده بود. در نهایت با توجه به ضرایب همبستگی مدل‌های ارائه شده توسط روش سطح پاسخ و شبکه عصبی مصنوعی می‌توان بیان داشت که شبکه عصبی مصنوعی کارایی بیشتر در پیش‌بینی روند تغییرات گندم ازن‌زنی شده در طول انبارمانی دارد.

۵- منابع

1. American Association of Cereal Chemists. AACC Approved Methods. St. Paul, MN (U.S.A): AACC International; 2005.
2. AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.

3. Beheshti HR, Feizi J, Zhiany Asgharzadeh M, Fakoor Janati SS. Aflatoxin determination in saffron by high-performance liquid chromatography and immunoaffinity column clean-up. *Saffron Agronomy and Technology*. 2014; 1(2):102-111. doi: 10.22048/jsat.2014.4820.
4. Bower JA. In Statistical Methods for food Science ;Introductory Procedures for the Food Practitioner. Oxford ,U,K,. Willey-Blackwell Publishing; 2013. 238-254.
5. Broberg MC, Feng Z, Xin Y, Pleijel H. Ozone effects on wheat grain quality – A summary. *Environmental Pollution*. 2015; 197: 203-213. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.12.009>.
6. Chandra Verma V. Applications and Investigations of Ozone in Cereal Grain Storage and Processing: Benefits and Potential Drawbacks. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2018; 7: 5034-5041.
7. Dziedzoave NT, Graffham AJ, Westby A, Komlaga G. Comparative assessment of amylolytic and cellulolytic enzyme activity of malts prepared from tropical cereals. *Food Control*. 2010; 21: 1349–1353.
8. Farzaneh V, Ghodsvali A, Bakhshabadi H, Dolatabadi Z, Farzaneh F, Carvalho IS, et al. Screening of the alterations in qualitative characteristics of grape under the impacts of storage and harvest times using artificial neural network. *Evolving Systems*. 2018; 9: 81–89.
9. Ghodsvali A, Mohamadzadeh J. Evaluation of the Effect of Ozone Gas on Quality Characteristics of Rice Grain (Var. Fajr). *Food Engineering Research*. 2022; 21(1):119-138. doi: 10.22092/fooder.2022.354542.1307
10. Kells SA, Mason LJ., Maier DE, Woloshuk CP. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. *Journal of Stored Products Research*. 2001; 37(4): 371–382.
11. Kim SG, Paek UY, Ri AC, Kim SH, Han IS, Hong S. Modeling ozone deposition on bulk grains and ozone deposition in columns of wheat grains. *Journal of Stored Products Research*. 2023; 104. ISSN 0022-474X. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2023.102177>.
12. Li M, Zhu KX, Wang BW, Guo XN, Peng W, Zhou H. Evaluation the quality characteristics of wheat flour and shelf-life of fresh noodles as affected by ozone treatment. *Food Chemistry*. 2012; 135: 2163-2169.
13. Ministry of Agricultural-Jahad. Agricultural statistics, Agronomical Productd. Tehran (Iran): Planning and Economic affairs Deputy, Information and Communication Technology Center, 2022
14. Mohammadzadeh J, Zanganeh J, Ghodsevali A. 'Evaluation of the Effect of Ozone Gas on Quality Characteristics and Storage Life of Barley Grain'. *Food Engineering Research*. 2021; 20(1): 109-122. doi: 10.22092/fooder.2020.343263.1272

15. Mohammed M, Munir M, Aljabr A. Prediction of Date Fruit Quality Attributes during Cold Storage Based on Their Electrical Properties Using Artificial Neural Networks Models *Foods*. 2022; 11(11): 1666. doi: 10.3390/foods11111666. PMID: 35681416; PMCID: PMC9180397.
16. Noshad M, Savari M, Ghorani R, Albosharib D. Effect of food processing on aflatoxin reduction in cereals and nuts: A meta-analysis approach. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 2021; 17(3): 53-61. doi: 10.22067/ifstrj.2021.70887.1058
17. Paulikienė S, Žvirdauskienė R. Evaluation of Hydrothermal Treatment of Winter Wheat Grain with Ozonated Water. *Plants*. 2023; 12, 3267. <https://doi.org/10.3390/plants12183267>.
18. Perez G, Bonet A, Rosell CM. Relationship between gluten degradation by *Aelia* spp. and *Eurygaster* spp. and protein structure. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2005; 85:1125-1130.
19. Porto YD, Trombete FM., Freitas-Silva O, De Castro IM, Direito GM, Ascheri JLR. Gaseous Ozonation to Reduce Aflatoxins Levels and Microbial Contamination in Corn Grits. *Microorganisms*. 2019; 7(8): 220. doi: 10.3390/microorganisms7080220. PMID: 31357684; PMCID: PMC6723876.
20. Salehi F. Recent Advances in the Modeling and Predicting Quality Parameters of Fruits and Vegetables during Postharvest Storage: A Review. *International Journal of Fruit Science*. 2020; 20(3): 506-520.
21. Sanchez DR, Jespersen BM., Rasmussen LH, Andersen ML. Fungicidal effect of gaseous ozone in malting barley: Implications for *Fusarium* infections and grain germination. *Journal of Cereal Science*. 2024; 118 .ISSN 0733-5210. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2024.103973>.
22. Santos RR, Faroni LRD, Cecon PR, Ferreira APS, Pereira OL. Ozone as fungicide in rice grains. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*. 2016; 20(3): 230-235.
23. Tiwari BK, Brennan CS, Curran T, Gallagher E, Cullen PJ, O'Donnell CP. Application of ozone in grain processing. *Journal Cereal Science*. 2010; 51:248-255.
24. United States of Department Agriculture. Foreign Agricultural Service. Office of Global Analysis. Washington, DC (USA). International Production Assessment Division; 2024.
25. Wang S, Liu H, Lin J, Cao Y. Can ozone fumigation effectively reduce aflatoxin B1 and other mycotoxins contamination on stored grain? 2010; 10th International Working Conference on Stored Product Protection.
26. Wu J, Doan H, Cuenca MA. Investigation of gaseous ozone as an antifungal fumigant for stored wheat. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2006; 81:1288-1293.

27. Yang B, Fang X, Chen L. Du M. Din, ZU. Wang Y, et al. Ozone modification of waxy rice starch nanocrystals: Effects on the multi-scale structural and surface properties. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024 278, Part 1. ISSN 0141-8130. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134500>.
28. Yeh AI, Shiau SY. Effects of oxidoreductants on rheological properties of wheat flour dough and comparison with some characteristics of extruded noodles. *Cereal Chemical*.1999; 76(5):614–620.
29. Young, JC. Zhu H, Zhou T. Degradation of trichothecene mycotoxins by aqueous ozone. *Food and Chemical Toxicology*. 2006; 44:417-424.

Comparison of artificial neural network and response surface methodology in predicting fungal activity and some characteristics of ozonated wheat during storage

Alireza Ghodsvali ^{*1}, Hamid Bakhshabadi²

^{*1}Agricultural Engineering Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran

²Department of Agriculture, Minab Higher Education Center, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

Abstract

Since predicting changes in agricultural products during storage is crucial, this study aimed to forecast alterations in fungal activity and characteristics of ozonated wheat during storage. To model the wheat grain ozonation process, three levels of ozone concentration (0, 25, and 50 ppm) and three levels of ozonation time (1, 3, and 5 days) were utilized in this research. Ozone treatment was not used as a control sample (a sample with zero ozone concentration and one day of ozone treatment). After the process, the wheat was stored for 6 months, and the number of mold and yeast colonies, aflatoxin levels, germination percentage, and Zeleny index were examined. Response surface methodology with a central composite design and artificial neural network were employed to predict changes in these characteristics. The results indicated that as ozone concentration increased, mold and yeast colonies decreased by around 2100%, aflatoxin levels decreased by 1489%, and the Zeleny index increased by 15.06%. With longer ozonation time, mold and yeast colonies decreased by up to 181.85%, while the Zeleny index increased by 1.81%. Process optimization revealed that for the highest quality wheat, ozone concentration should be 50 ppm and ozonation time should be 5 days. The best neural model, identified through various feedforward backpropagation networks with 4-6-2 topologies, had a correlation coefficient exceeding 0.991, a mean square error below 0.002, and utilized the hyperbolic sigmoid tangent activation function, Lunberg-Marquart learning model, and 1000 learning cycles. Comparing the correlation coefficients of the models obtained from the response surface method and the artificial neural network, the latter proved more effective in predicting changes in ozonized wheat during storage.

Keywords: Ozone, Storage, Wheat, Modeling