



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



مطالعه عکس‌العمل طیفی گندم‌های سالم و آسیب‌دیده به وسیله قارچ‌ها با استفاده از روش طیف‌سنجی و بهره‌گیری از سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی

سامان ظهرابی^{۱*}، سید صادق سیدلو^۲، یاسمن همپانژاد^۳ و امیر علی‌پسندی^۱

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۳- کارشناس ژنتیک پزشکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد پزشکی تهران

ایمیل مکاتبه کننده: zohrabi.saman@gmail.com

چکیده

گندم یکی از محصولات کشاورزی مهم و استراتژیک در جهان و ایران می‌باشد و از ارزش اقتصادی و غذایی بالایی برخوردار است. با توجه به واردات گندم به ویژه در مواقع خشک‌سالی و نیز نقل و انتقال گندم در داخل کشور تعیین سالم بودن از نظر آلودگی به عوامل قارچی اهمیت زیادی دارد. هدف این پژوهش تشخیص گندم‌های سالم از ناسالم آلوده به قارچ‌هایی فوزاریوم، پنی‌سیلیوم می‌باشد. در این پژوهش از ابزار طیف‌سنجی در محدوده ۱۹۰-۱۱۰۰ نانومتر استفاده شد که با استفاده از روش آماری تحلیل مؤلفه‌های اصلی، طول‌موج‌های ۳۱۰، ۳۳۰، ۴۰۰ و ۴۱۰ به عنوان بهترین طول‌موج، برای شناسایی و تشخیص گندم‌های سالم و ناسالم تشخیص داده شدند. در این مطالعه از سیستم استنتاج تطبیقی عصبی-فازی (ANFIS) برای طبقه‌بندی بهره‌گرفته شد. با در نظر گرفتن چهار طول موج حاصل به عنوان ورودی برای دسته‌بندی، سیستم استنتاج فازی به صورت موفقیت‌آمیزی توانست نمونه‌های سالم را از نمونه‌های آلوده به قارچ‌های فوزاریوم و پنی‌سیلیوم جدا کند.

واژه‌های کلیدی: گندم، قارچ، ماوراءبنفش، ANFIS، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، طیف‌سنجی

مقدمه

گندم از نظر تولید و سطح زیر کشت مهم‌ترین محصول کشاورزی ایران است و از نظر اقتصادی و تأمین غذای اصلی از اهمیت بسیاری برخوردار است. طبق آخرین آمار سازمان خواروبار جهانی در سال ۲۰۱۰ در ایران بیش از ۱۵۰۲۸۸۰۰ تن گندم برداشت شده است (Fao, 2010). با توجه به میزان واردات گندم و تأثیر آن بر کیفیت محصولات تولیدی، اهمیت تعیین کیفیت گندم وارد شده و سالم بودن آن از نظر آلودگی به انواع قارچ‌ها و سموم شیمیایی اهمیت دارد. پنی‌سیلیوم، آسپرژیلوس و فوزاریوم قارچ‌های معروفی هستند که در دوره انبارداری رشد می‌کنند. بیش از ۳۰۰ نوع سموم قارچی وجود دارد که از



طریق این گونه‌ها تولید می‌شوند (سایتو و همکاران، ۲۰۰۹). این سموم می‌توانند در انسان و یا حیوان باعث تخریب حاد کبد، سیروز کبد، القای تومور و تأثیرات تراتوژنیک شوند (هدایتی و همکاران، ۲۰۰۵ و هدایتی و همکاران ۱۳۸۴). روش‌های مختلفی از قبیل مکانیکی، امواج اولتراسونیک و ماشین‌بینایی برای شناسایی قارچ‌ها مورد استفاده قرار گرفته است؛ اما این روش‌ها قادر نیستند دانه‌هایی را که در سطح کمتری مورد هجوم قرار گرفته‌اند شناسایی کنند. از طرف دیگر روش‌های کشت میکروبی، شمارش کل کپک‌ها، تهیه اسلاید کالچر که به صورت مرسوم برای شناسایی قارچ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند نیاز به دوران نگهداری زیادی دارند و شناسایی و تعیین خصوصیات قارچ‌ها به صورت میکروسکوپی نیز یک کار زمان‌بر بوده و مناسب نیست (شرفی و همکاران ۱۳۸۸). از روش‌های مدرن مهندسی که در تعیین کیفیت گندم مورد استفاده قرار گرفته‌اند، می‌توان به تصویربرداری در محدوده مرئی که با استفاده از خصوصیات مورفولوژیکی (شکل و اندازه)، مشخصه‌های رنگی و خصوصیات بازتابش دانه‌ها انجام شده (مجموعه‌دار و همکاران، ۲۰۰۰) تصویربرداری هایپراسپکترال، تصویربرداری اشعه X، تصویربرداری حرارتی و طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک (NIRS) یا ماورای بنفش اشاره کرد (جلادوری و همکاران، ۲۰۱۰ و کین، ۲۰۱۰). طیف‌سنجی‌ها در محدوده‌های طول‌موجی ماورا بنفش، ناحیه مرئی و مادون قرمز قرار دارند که محدوده طول‌موجی ماورا بنفش ۱۹۰-۴۰۰ نانومتر، مرئی ۴۰۰-۷۵۰ نانومتر و طیف‌سنجی مادون قرمز ۷۵۰-۲۵۰۰ نانومتر می‌باشد (لین و همکاران، ۲۰۰۹). از طیف‌سنجی برای اندازه‌گیری جذب، عبور و انعکاس مواد غذایی و مواد جامد، مایع و یا گاز در فرکانس‌های مختلف استفاده می‌شود. پیرسون و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک (NIR) مقدار طیف انعکاسی دانه‌های ذرت آلوده به آفلاتوکسین را مورد بررسی قرار دادند و توانستند بیش از ۹۵ درصد دانه‌های ذرت که بیشتر از ۱۰۰ ppb و کمتر از ۱۰ ppb به آفلاتوکسین آلوده شده بودند را شناسایی کنند. همچنین پیریس و همکارانش (۲۰۰۹) با استفاده از خصوصیات جذب مادون قرمز در غلظت‌های مختلف DON، به خوبی توانستند گندم‌های سالم و آلوده به فوزاریوم را تشخیص دهند. این آزمایش نشان داد که طیف‌سنجی مادون قرمز با طول موج در محدوده ۱۰۰۰-۲۱۰۰ نانومتر یک روش مناسب در تشخیص گندم‌های مبتلا شده به فوزاریوم با سطح ۶۰ ppm و یا بالاتر می‌باشد. ژانگ و همکاران (۲۰۰۷) نیز با عکس‌برداری هایپراسپکترال در ۲۰ طول موج با فاصله مساوی در محدوده طول موج ۱۰۰۰-۱۶۰۰ نانومتر و با به‌کارگیری چهار روش آماری (میانگین، واریانس، چولگی و کشیدگی) بر روی داده‌های تصویر هایپراسپکترال در هر طول موج توانستند به ترتیب ۹۲/۹ و ۸۷/۲ و ۹۹/۳ درصد گندم‌های آسیب‌دیده با اسپرژیلوس نیگر، اسپرژیلوس گلوکوس، پنی‌سیلیوم و ۱۰۰ درصد گندم‌های سالم را تشخیص دهند. خلیفه و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی به مطالعه‌ی رویکردی هوشمند مبتنی بر سیستم استنتاج تطبیقی عصبی - فازی (ANFIS) برای طبقه‌بندی گردو پرداختند. در پژوهش فوق، یک سیستم به منظور تشخیص پوکی گردو با ترکیب تجزیه و تحلیل سیگنال‌های صوتی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و سیستم استنتاج تطبیقی عصبی - فازی (ANFIS) توسعه داده شد. این سیستم توانست گردو را به دو دسته‌ی مغزدار و پوک طبقه‌بندی نماید. ۲۸۱ نمونه برای ارزیابی عملکرد سیستم مورد استفاده قرار گرفت. پس از استفاده از PCA، از ۹ پارامتر آماری استخراج شده از سیگنال‌های صوتی ۳ پارامتر برای طبقه‌بندی انتخاب شد. مدل نهایی شامل ۲۷ قاعده‌ی فازی بود. دقت طبقه‌بندی سیستم هوشمند پیشنهادی (PCA-ANFIS) ۱۰۰ درصد بود.



هدف اصلی طرح تحقیقاتی حاضر ارائه روش و سیستمی است که قادر باشد در زمان کمتر و به صورت هوشمند گندم‌های سالم و ناسالم مبتلا به انواع قارچ‌ها را در موقع ورود به کشور و نیز گندم‌های موجود در داخل کشور را از همدیگر تشخیص دهد تا از نقل و انتقال گندم ناسالم در کشور جلوگیری به عمل آید.

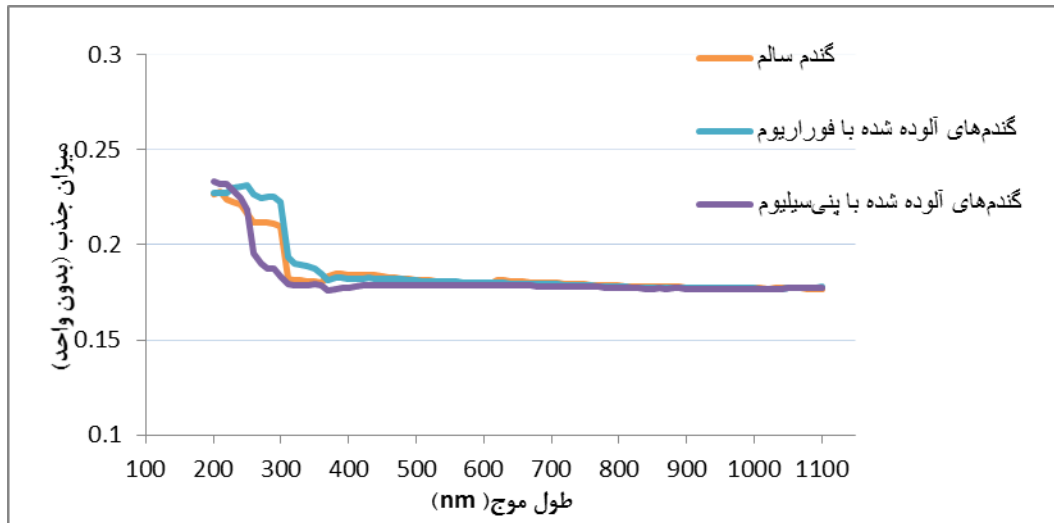
مواد و روش‌ها

آماده سازی نمونه‌ها

از بین ارقام گندم کشت شده در منطقه آذربایجان، رقم الوند به عنوان رقم آبی و رقم سرداری به عنوان رقم دیم که بیش‌ترین سطح زیر کشت را دارا هستند، انتخاب شدند. چون تهیه گندم‌های مورد حمله قرارگرفته با قارچ‌ها از مزرعه مشکل بود برای این منظور ابتدا دو گونه قارچی پنی‌سیلیوم اکسپانسونوم و فوزاریوم گرامینروم در آزمایشگاه قارچ‌شناسی تحت شرایط استریل زیر هود لامینار روی محیط کشت عمومی کشت شدند و بعد از رشد قارچ‌ها به مدت یک هفته در محیط کشت مورد نظر در داخل انکوباتور در دمای ۲۵ درجه، اقدام به مایه‌زنی آن‌ها روی بذور گندم‌های مورد نظر شد. روش کار به این صورت بود که ابتدا به منظور از بین بردن آلودگی سطحی مقدار ۲۰۰ گرم از دو رقم گندم مورد نظر با استفاده از محلول ۱ درصد سدیم هیپوکلریت به مدت ۲ دقیقه مجاورت گردید و سپس با استفاده از آب مقطر استریل شده ۲ بار شستشو شد. سپس از قارچ فوزاریوم و پنی‌سیلیوم کشت شده سوسپانسیون اسپور تهیه شد و به صورت جداگانه بر روی نمونه‌های گندم مایه زنی گردید. نمونه‌ها به مدت ۱۰ روز در داخل یک انکوباتور در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد و بعد از مدت مورد نظر به منظور انجام آزمایش با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی از نمونه‌ها آرد تهیه شده است؛ که در مجموع تعداد ۴۲ عدد نمونه آرد شده با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی مورد بررسی قرار گرفته شد که شامل ۷ نمونه گندم سالم از دو رقم سرداری و الوند و ۷ نمونه گندم آلوده شده با قارچ فوزاریوم و ۷ نمونه آلوده شده با قارچ پنی‌سیلیوم در هر رقم بودند.

اندازه‌گیری طیفی

در این آزمایش از یک طیف‌سنج (T70 UV/VIS spectrometer (PG instruments Ltd) در محدوده طول‌موج ۱۹۰-۱۱۰۰ نانومتر استفاده شد. برای انجام آزمایش حدود ۵ تا ۱۵ میلی‌گرم آرد از هر نمونه با حدود ۴۰۰ میلی‌گرم برمور پتاسیم (KBr) خالص و خشک مخلوط شده و به صورت پودر نرم و یکنواخت در آورده شده است و سپس با فشار زیاد قرص‌های نازک و شفاف تهیه شده است. چون بروم پتاسیم جذب طیفی کمی داشته و امکان می‌دهد که از نمونه طیف کاملی به دست آید. برای کالیبره کردن دستگاه طیف‌سنجی در شروع هر مرحله، قرص‌های بروم پتاسیم خالص که در محدوده طول‌موج مورد مطالعه درصد جذب صفر دارند، استفاده شده است. در نهایت نمودار جذبی برای نمونه‌ها به دست آمده است که شکل ۱ نمودار جذبی متوسط برای سه دسته گندم سالم، آلوده به فوزاریوم و آلوده به پنیسیلیوم را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمودار جذبی

تحلیل مؤلفه‌های اصلی

تحلیل مؤلفه‌های اصلی یکی از انواع روش‌های تحلیل داده‌های چند متغیره است که هدف اصلی آن تقلیل بعد مسئله مورد مطالعه است. هدف اصلی از تحلیل مؤلفه‌های اصلی در این تحقیق تعیین طول‌موج‌های که بیش‌ترین تأثیر را در دسته‌بندی نمونه‌ها دارند می‌باشد. برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی از جعبه‌ابزار Data Redaction نرم افزار SPSS 16.00 استفاده شده است. با توجه به این که تفاوت نمودارها بیشتر در محدوده طول‌موجی ۱۹۰ تا ۵۰۰ نانومتر مشاهده می‌شود بنابراین شناسایی طول‌موج‌ها در این محدوده طول‌موجی انجام گرفت شده است؛ که به این منظور آزمون KMO and Bartlett در ابتدا بر روی داده‌ها اعمال شده که توانایی انجام تحلیل عاملی بر روی داده‌ها بررسی شود (جدول ۱).

جدول ۱: آزمون KMO

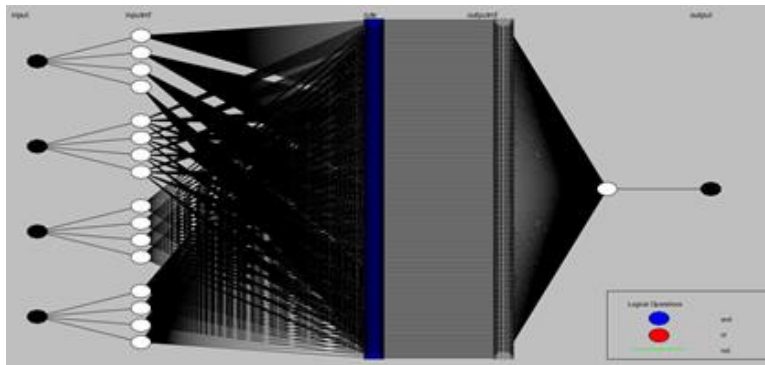
آزمون KMO و Bartlett's		
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	۳۳۰٫۱۴
	Df	۳۵۱
	Sig.	۰٫۰۰۰

سیستم استنتاج عصبی-فازی انطباقی

در مطالعه‌ی حاضر ۴ پارامتر ورودی (۴ طول‌موج استخراج شده از روش PCA) به تعداد ۴۲ عدد در دسترس است. در صورتی که تعداد توابع عضویت اختصاص یافته برای هر پارامتر ورودی بیش از حد مورد نیاز در نظر گرفته شود تعداد قواعد این کار به صورت خودکار و از طریق محاسبات درون نرم‌افزار انجام می‌شود و مشکلی از این جهت وجود ندارد. به منظور پیاده‌سازی این روش از جعبه‌ابزار Fuzzy Logic موجود در نرم‌افزار MATLAB R2014a بهره گرفته شد. برای جلوگیری از مشکل مذکور فقط از داده‌های مربوط به طول‌موج‌های انتخاب شده توسط روش PCA بهره گرفته شد تا تعداد پارامترهای



ورودی زیاد نباشد. در مجموع برای هر یک از طول‌موج‌ها ۴۲ تکرار موجود بود که بدین ترتیب هر یک از کلاس‌های سالم، آلوده به پنی سیلیوم و آلوده به فوزاریوم ۱۴ تکرار در دسترس بود. برای انجام طبقه‌بندی، داده‌ها به سه مجموعه‌ی آموزشی، اعتبارسنجی و ارزیابی تقسیم شدند. به طوری که ۲ تکرار از هر طول‌موج به مجموعه‌ی اعتبارسنجی، ۲ تکرار به مجموعه‌ی آموزشی و ۱۰ تکرار به مجموعه‌ی آموزشی اختصاص یافت. در شکل ۲ ساختار مدل ANFIS استفاده شده نشان داده شده است.



شکل ۲: توپولوژی ANFIS مورد استفاده برای طبقه‌بندی

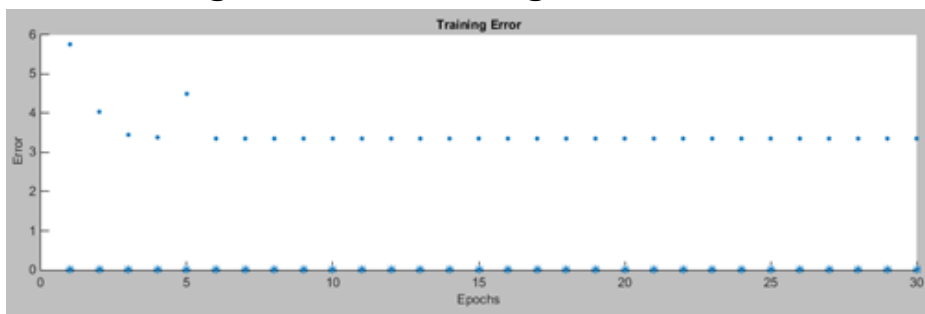
برای تشکیل سیستم استنتاج عصبی فازی در MATLAB دو گزینه وجود دارد. از بین دو گزینه‌ی Grid Partition و Sub Clustering روش Grid Partition برای ایجاد سیستم استنتاج عصبی فازی استفاده شده و برای هر یک از ۴ پارامتر ورودی ۵ تابع عضویت در نظر گرفته شد. در صورتی که روش Grid Partition استفاده شود، یک ساختار FIS با تعداد ثابت توابع عضویت ایجاد می‌شود. این نوع عملکرد در صورتی که تعداد ورودی‌ها و قواعد (تعداد پارامترهای ورودی) زیاد باشد (بیشتر از ۴ یا ۵) مشکل‌ساز است. برای رفع این مشکل، در جعبه‌ابزار منطق فازی روشی برای کاهش ابعاد در سیستم استنتاج فازی فراهم شده است. در این هنگام می‌توان از روش کلاسترینگ (گزینه‌ی Sub Clustering) استفاده کرد. در این روش داده‌ها به چند گروه تحت عنوان کلاستر تقسیم شده و سپس FIS با حداقل تعداد قواعد مورد نیاز، برای تمیز دادن هر یک از کلاسترها ایجاد می‌گردد. در پژوهش‌های مربوط به طبقه‌بندی الگوها، روش Grid Partition کارایی بهتری دارد. در عوض سرعت روش Sub Clustering اندکی بیش‌تر است. نوع تابع عضویت ورودی trimf در نظر گرفته شد. این تابع عضویت تابعی با شکل مثلثی است. برای آموزش سیستم از میان روش‌های hybrid و backpropaga روش ترکیبی hybrid به عنوان روش بهینه‌سازی انتخاب شد. از روش بهینه‌سازی برای آموزش پارامترهای تابع عضویت استفاده می‌شود. روش بهینه‌سازی hybrid ترکیبی از روش حداقل مربعات و روش کاهش شیب پس انتشار می‌باشد. مقدار تلورانس خطا (Error Tolerance) برابر صفر در نظر گرفته شد. از این فیلد برای تعیین معیار توقف استفاده می‌شود. این پارامتر متناسب با میزان خطاست. روال آموزش با باقی ماندن خطا در این تلورانس متوقف می‌شود. تعداد گام‌های آموزشی ۳۰ گام در نظر گرفته شد. شکل ۳ روند آموزش را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود خطای آموزش به تدریج با طی گام‌های آموزشی کاهش یافته تا به مقدار ثابتی می‌رسد که در این هنگام می‌توان آموزش را متوقف کرد در غیر این صورت تا رسیدن به گام



نهایی آموزش ادامه می‌یابد. تعیین تعداد این گام‌ها به تجربه‌ی کاربر، آشنایی او با مسئله و نوع آن (تشخیص الگو یا برازش تابع) دارد. در صورتی که در هنگام پایان روال آموزش، کاهش خطا در حال طی روند نزولی باشد، بایستی آموزش با در نظر گرفتن تعداد بیش‌تری از گام‌ها تکرار شود.

نتایج و بحث

با توجه به جدول ۱ عدد KMO برای این داده‌ها برابر ۰,۶۷۶ بوده که نشان می‌دهد داده‌ها در حد متوسط برای انجام تحلیل عاملی مناسب می‌باشد. همچنین نتایج آزمون کرویت بارلت هم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد و این یعنی بین متغیرها همبستگی معنی‌داری وجود دارد. جدول ۲ هم میزان اشتراک متغیرها یا واریانس کل یا میزان مشارکت عاملی متغیرها را نشان می‌دهد. اشتراک اولیه که نشان دهنده تمامی اشتراک‌های قبل از استخراج است؛ بنابراین تمامی آن‌ها برابر با ۱ هستند. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود تمامی اشتراک‌ها بالای ۵۵,۹ درصد است و بیانگر توانایی عامل‌های تعیین‌شده در تبیین واریانس متغیرهای مورد مطالعه است. با وجود این در بین مقادیر اشتراک، تفاوت‌هایی نیز مشاهده می‌شود. برای مثال مقدار اشتراک مربوط به طول موج ۳۶۰، ۵۵۹، و برای طول موج ۴۰۰، ۹۸۹ است.



شکل ۳: خطای آموزش با طی گام‌های آموزشی

جدول ۳ هم مقدار ویژه و واریانس متناظر با عامل‌ها را نشان می‌دهد که مقدار ویژه اولیه برای هر یک از عامل‌ها در قالب مجموع واریانس تبیین شده برآورد شده است. واریانس تبیین شده بر حسب درصدی از کل واریانس و درصد تجمعی است و مقدار ویژه هر عامل نیز نسبتی از واریانس کل متغیرهاست که توسط آن عامل تبیین می‌شود. مقدار ویژه از طریق مجموع مجذورات بارهای عاملی مربوط به تمام متغیرها در آن عامل قابل محاسبه است، از این‌رو مقادیر ویژه، اهمیت اکتشافی عامل‌ها در ارتباط با متغیرها را نشان می‌دهد. پایین بودن این مقدار برای یک عامل به این معنی است که آن عامل نقش اندکی در تبیین واریانس متغیرها داشته است؛ که چهار مؤلفه اول مقدار ویژه بزرگ‌تر از عدد ۱ داشتند که در جدول ۳ هم مشاهده می‌شود که ۹۱,۵۷۸ درصد واریانس تجمعی را دارا می‌باشد.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



جدول ۲: میزان اشتراک اولیه و بعد از استخراج عامل‌ها برای متغیرهای وارد شده در تحلیل عاملی

اشتراک متغیرها		
طول موج	اولیه	استخراج شده
۷۱۹۰	۱,۰۰۰	۰,۸۰۷
۷۲۰۰	۱,۰۰۰	۰,۸۶۳
۷۲۱۰	۱,۰۰۰	۰,۸۷۰
۷۲۲۰	۱,۰۰۰	۰,۹۳۲
۷۲۳۰	۱,۰۰۰	۰,۸۳۲
۷۲۴۰	۱,۰۰۰	۰,۸۷۷
۷۲۵۰	۱,۰۰۰	۰,۸۹۳
۷۲۶۰	۱,۰۰۰	۰,۹۶۳
۷۲۷۰	۱,۰۰۰	۰,۹۴۶
۷۲۸۰	۱,۰۰۰	۰,۹۴۴
۷۲۹۰	۱,۰۰۰	۰,۹۴۱
۷۳۰۰	۱,۰۰۰	۰,۹۶۷
۷۳۱۰	۱,۰۰۰	۰,۹۸۰
۷۳۲۰	۱,۰۰۰	۰,۹۷۰
۷۳۳۰	۱,۰۰۰	۰,۹۸۸
۷۳۴۰	۱,۰۰۰	۰,۹۳۶
۷۳۵۰	۱,۰۰۰	۰,۹۰۰
۷۳۶۰	۱,۰۰۰	۰,۵۵۹
۷۳۷۰	۱,۰۰۰	۰,۷۶۴
۷۳۸۰	۱,۰۰۰	۰,۹۶۵
۷۳۹۰	۱,۰۰۰	۰,۹۷۳
۷۴۰۰	۱,۰۰۰	۰,۹۸۹
۷۴۱۰	۱,۰۰۰	۰,۹۸۷
۷۴۲۰	۱,۰۰۰	۰,۹۶۵
۷۴۳۰	۱,۰۰۰	۰,۹۸۰
۷۴۴۰	۱,۰۰۰	۰,۹۷۳
۷۴۵۰	۱,۰۰۰	۰,۹۶۲



جدول ۳: درصد واریانس و مقادیر ویژه عامل‌های مختلف

مؤلفه	مقدار ویژه اولیه		
	کل	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	۱۰,۴۳۸	۳۸,۶۶۱	۳۸,۶۶۱
۲	۶,۴۱۸	۲۳,۷۷	۶۲,۴۳۱
۳	۵,۰۳۵	۱۸,۶۴۷	۸۱,۰۷۸
۴	۲,۸۳۵	۱۰,۵	۹۱,۵۷۸
۵	۰,۶۶۰	۲,۴۴۳	۹۴,۰۲۱
۶	۰,۵۱۶	۱,۹۱	۹۵,۹۳۲
۷	۰,۲۳۰	۰,۸۵۱	۹۶,۷۸۳
۸	۰,۲۱۲	۰,۷۸۴	۹۷,۵۶۷
۹	۰,۱۷۴	۰,۶۴۳	۹۸,۲۱
۱۰	۰,۱۴۲	۰,۵۲۷	۹۸,۷۳۷
۱۱	۰,۸۴	۰,۳۱۲	۹۹,۰۴۸
۱۲	۰,۸۲	۰,۳۰۵	۹۹,۳۵۴
.	.	.	.
.	.	.	.
۲۶	۰,۰۰۰	۰,۰۰۱	۹۹,۹۹۹
۲۷	۰,۰۰۰	۰,۰۰۱	۱۰۰

جدول ۴ هم سهم متغیرها را نشان می‌دهد. اگر بارهای عاملی جلوی هر متغیر را به توان ۲ رسانده و باهم جمع کنیم، ارقام جدول ۲ ستون استخراج شده به دست می‌آید. این ضرایب از یک سو نشان‌دهنده توانایی عامل‌های تعیین شده در تبیین واریانس متغیرهای مورد مطالعه و از سویی می‌تواند برای بررسی تناسب متغیرها برای تحلیل عاملی استفاده شود.

بنابراین همان طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود برای عامل اول طول موج‌های ۳۸۰، ۳۹۰، ۴۰۰ و ۴۱۰ بیش‌ترین تأثیر را دارا می‌باشند و برای عامل دوم طول موج‌های ۳۰۰، ۳۱۰، ۳۲۰ و ۳۳۰ و برای عامل سوم طول موج‌های ۲۳۰، ۲۴۰، ۲۵۰ و ۲۶۰ و برای عامل چهارم طول موج‌های ۱۹۰، ۲۰۰، ۲۱۰ و ۲۲۰ بیش‌ترین تأثیر را دارا هستند؛ بنابراین با در نظر گرفتن جدول ۱ و جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت که طول موج‌های ۳۱۰، ۳۳۰، ۴۰۰ و ۴۱۰ تأثیرگذارترین طول موج‌ها هستند که برای دسته‌بندی نمونه‌ها در سیستم استنتاج فازی مورد استفاده قرار گرفته شده‌اند.

در پژوهش حاضر برای طبقه‌بندی گندم‌های سالم از گندم‌های آلوده به قارچ، عدد ۵ به کلاس گندم‌های سالم، عدد ۱۰ به کلاس گندم‌های آلوده به قارچ فوزاریوم و عدد ۱۵ به کلاس گندم‌های آلوده به قارچ پنی‌سیلیوم اختصاص داده شده است. به بیان دیگر این اعداد خروجی واقعی را که برای هر یک از این کلاس‌ها در نظر گرفته شده‌اند را مشخص می‌کند. بدین ترتیب اگر برای نمونه‌ای خروجی تولید شده توسط سیستم استنتاج عصبی فازی مثلاً عدد ۱۰ باشد به این مفهوم



است که این نمونه توسط سیستم در طبقه‌ی مربوط به گندم‌های آلوده به قارچ فوزاریوم قرار گرفته است و اگر مقدار واقعی در نظر گرفته شده برای این نمونه عدد ۱۰ باشد به معنی طبقه‌بندی صحیح این نمونه توسط سیستم استنتاج فازی است.

جدول ۴: ماتریس عاملی

ماتریس مؤلفه‌ها				
	مؤلفه‌ها			
طول موج	۱	۲	۳	۴
۷۱۹۰	-۰,۶۲۲	-۰,۰۷۷	-۰,۰۶۴	۰,۶۴۱
۷۲۰۰	-۰,۵۹۶	-۰,۰۳۵	۰,۰۱۰	۰,۷۱۱
۷۲۱۰	-۰,۵۷۴	۰,۰۹۲	۰,۳۲۱	۰,۶۵۵
۷۲۲۰	-۰,۴۴۸	۰,۲۸۱	۰,۵۵۳	۰,۵۸۸
۷۲۳۰	-۰,۲۹۹	۰,۳۴۱	۰,۶۱۴	۰,۴۹۹
۷۲۴۰	-۰,۲۲۶	۰,۵۲۰	۰,۷۰۵	۰,۲۴۲
۷۲۵۰	۰,۲۷۱	۰,۵۷۸	۰,۶۸۰	-۰,۱۵۳
۷۲۶۰	۰,۴۰۳	۰,۵۶۸	۰,۶۶۷	-۰,۱۸۲
۷۲۷۰	۰,۴۱۰	۰,۶۰۷	۰,۶۰۷	-۰,۲۰۴
۷۲۸۰	۰,۳۸۵	۰,۶۲۸	۰,۵۹۳	-۰,۲۲۱
۷۲۹۰	۰,۴۲۲	۰,۵۸۲	۰,۵۸۹	-۰,۲۷۷
۷۳۰۰	-۰,۰۵۶	۰,۸۴۷	-۰,۴۹۷	-۰,۰۱۵
۷۳۱۰	۰,۰۱۱	۰,۸۳۷	-۰,۵۲۷	۰,۰۴۰
۷۳۲۰	۰,۰۱۶	۰,۸۲۵	-۰,۵۳۶	۰,۰۳۹
۷۳۳۰	۰,۰۰۹	۰,۸۲۴	-۰,۵۳۵	۰,۰۵۷
۷۳۴۰	-۰,۰۰۳	۰,۷۹۴	-۰,۵۲۶	۰,۱۶۹
۷۳۵۰	۰,۰۰۱	۰,۷۷۵	-۰,۵۱۲	۰,۱۹۳
۷۳۶۰	۰,۰۲۰	۰,۲۲۲	-۰,۳۲۷	۰,۱۳۶
۷۳۷۰	۰,۸۸۵	۰,۰۱۸	-۰,۱۶۷	۰,۰۶۹
۷۳۸۰	۰,۹۵۱	-۰,۱۱۲	-۰,۰۱۸	۰,۲۲۰
۷۳۹۰	۰,۹۴۹	-۰,۱۲۹	-۰,۰۲۷	۰,۲۳۵
۷۴۰۰	۰,۹۵۲	-۰,۱۳۴	-۰,۰۱۹	۰,۲۵۲
۷۴۱۰	۰,۹۵۲	-۰,۱۲۷	-۰,۰۲۸	۰,۲۵۳
۷۴۲۰	۰,۹۵۱	-۰,۱۱۳	-۰,۰۲۰	۰,۲۶۰
۷۴۳۰	۰,۹۴۴	-۰,۱۱۸	-۰,۰۰۳	۰,۲۷۴
۷۴۴۰	۰,۹۳۹	-۰,۱۱۲	۰,۰۰۱	۰,۲۷۶
۷۴۵۰	۰,۹۳۸	-۰,۱۲۳	۰,۰۰۸	۰,۲۶۰



جدول ۵ نتایج طبقه‌بندی این سیستم را در قالب ماتریس اغتشاش نشان می‌دهد. قطر اصلی این ماتریس نشان دهنده‌ی تعداد و درصد نمونه‌هایی است که در کلاس مربوط به خود و به طور صحیح طبقه‌بندی شده‌اند. این نتایج برای داده‌های مجموعه‌ی آموزشی به دست آمده است. در پژوهش‌های مربوط به طبقه‌بندی برای بررسی جامع بودن مدل و ارزیابی پاسخ مدل به داده‌های که در روند آموزش شرکت نداشتند از داده‌های مجموعه‌های اعتبار سازی و ارزیابی استفاده می‌شود.

جدول ۵: ماتریس اغتشاش طبقه بندی

	گندم‌های سالم	گندم‌های آلوده به فوزاریوم	گندم‌های آلوده به پنی سیلیوم
گندم‌های سالم	۱۰	۰	۰
گندم‌های آلوده به فوزاریوم	۰	۱۰	۰
گندم‌های آلوده به پنی سیلیوم	۰	۰	۱۰

جدول ۶ پاسخ سیستم استنتاج فازی به داده‌های مجموعه‌ی اعتبار سازی را نشان می‌دهد. مجموعه‌ی اعتبار سازی باعث بهبود روند آموزشی شده و باعث جامع‌تر شدن مدل و پاسخ مناسب مدل به داده‌هایی که در روند آموزشی شرکت نداشتند می‌شود. همان طور که مشاهده می‌شود تنها یک مورد از نمونه‌های سالم در کلاس نمونه‌های آلوده به قارچ فوزاریوم قرار گرفته است. نتایج فوق در قالب ماتریس اغتشاش در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۶: پاسخ سیستم فازی به داده‌های اعتبار سنجی

مقدار واقعی	۵	۵	۱۰	۱۰	۱۵	۱۵
مقدار پیش‌بینی شده	۲۲/۲ ۲۵/۰ ۲۷/۱	۲۰/۲ ۲۰/۲ ۲۲/۱	۲۱/۵ ۲۲/۱ ۲۲/۱	۲۹/۲ ۲۹/۲ ۳۰/۱	۲۹/۲ ۲۹/۲ ۳۰/۱	۳۳/۰ ۳۳/۰ ۳۳/۰

جدول ۷: ماتریس اغتشاش اعتبارسنجی

	گندم‌های سالم	گندم‌های آلوده به فوزاریوم	گندم‌های آلوده به پنی سیلیوم
گندم‌های سالم	۱	۱	۰
گندم‌های آلوده به فوزاریوم	۰	۲	۰
گندم‌های آلوده به پنی سیلیوم	۰	۰	۲

از مجموع ۶ نمونه‌ی تنها یک نمونه به صورت اشتباه طبقه‌بندی شده است. به عبارت دیگر ۸۳/۳۳ درصد از نمونه‌های اختصاص یافته به مجموعه‌ی اعتبار سازی به صورت صحیح طبقه‌بندی شده است. جدول ۸ پاسخ سیستم استنتاج فازی به داده‌های مجموعه‌ی ارزیابی را نشان می‌دهد. مجموعه‌ی ارزیابی در روند آموزشی شرکت نداشته و پاسخ مدل را به



داده‌های خارج از مدل مشخص می‌کنند. نتیجه‌ی طبقه‌بندی این مجموعه مبین کیفیت طبقه‌بندی برای داده‌هایی است که به مدل وارد نشدند و معیاری برای جامعیت مدل محسوب می‌شوند.

جدول ۸: پاسخ سیستم فازی به داده‌های ارزیابی

مقدار واقعی	۵	۵	۱۰	۱۰	۱۵	۱۵
مقدار پیش‌بینی شده	۷۷۷۷۷۷ ۱۱۳۳۳۳۱۱	۱۰۷۷۷۷۷۷ ۹۳۳۳۳۳۴	۸۱۱۳۳۳۳۳ ۹۳۳۳۳۳۵	۷۵۵۵۵۵۵۵ ۱۰۱۱۱۱۱۱	۵۱۱۳۳۳۳۳ ۱۴۷۷۷۷۱۱	۴۱۱۳۳۳۳۳ ۱۴۷۷۷۷۱۱

همان طور که مشاهده می‌شود مشابه مجموعه‌ی اعتبارسازی تنها یک مورد از نمونه‌های سالم در کلاس نمونه‌های آلوده به قارچ فوزاریوم قرار گرفته است. نتایج فوق در قالب ماتریس اغتشاش در جدول ۹ ارائه شده است. از نتایج فوق می‌توان دریافت که سیستم استنتاج فازی به صورت موفق‌ی نمونه‌های سالم را از نمونه‌های آلوده به قارچ‌های فوزاریوم و پنی‌سیلیوم جدا می‌کند. بایستی توجه کرد که این طبقه‌بندی با استفاده از ۴ مولفه از طول موج‌های مشخص شده توسط روش PCA انجام گرفته است. پیش‌بینی می‌شود در صورتی که پارامترهای بیش‌تری استفاده شوند و نمونه‌های بیش‌تری در دسترس باشند نتیجه به صورت قابل توجهی بهبود یابد.

جدول ۹: ماتریس اغتشاش ارزیابی

	گندم‌های سالم	گندم‌های آلوده به فوزاریوم	گندم‌های آلوده به پنیسیلیوم
گندم‌های سالم	۱	۱	۰
گندم‌های آلوده به فوزاریوم	۰	۲	۰
گندم‌های آلوده به پنی‌سیلیوم	۰	۰	۲

نتیجه‌گیری

با استفاده از روش آماری تحلیل مؤلفه‌های اصلی، طول موج‌های ۳۱۰، ۳۳۰، ۴۰۰ و ۴۱۰ به عنوان بهترین طول موج، برای شناسایی و تشخیص گندم‌های سالم و ناسالم تشخیص داده شدند. دقت تشخیص سیستم استنتاج عصبی فازی مربوط به دستگاه طیف‌سنجی درصد قابل قبول و بالایی به دست آمده است که نشان از انعطاف‌پذیری بالا در برآورده کردن انتظارات می‌باشد و در مقایسه با کارهای قبلی توسط سینگ و همکاران (۲۰۰۸) که توانسته بودند ۹۵٫۵ درصد دانه‌های سالم را از دانه‌های آلوده به قارچ را تشخیص دهند دقت بالا و قابل قبولی بوده است. بنابراین دقت بالای تشخیص سیستم مذکور می‌تواند فرایند اتوماسیون در صنعت فراوری و تعیین کیفیت محصولات غلات را تسهیل و اقتصادی نماید.

مراجع

۱. شرفی، گ. و ثوقی، س. آفاقلی زاده، ر. شه‌میری، ع. و صابونی، ز. و. ۱۳۸۸. "روش‌های انجام آزمایشات در آزمایشگاه‌های مرکز پژوهش‌های غلات و مراکز آزمایشگاهی شرکت‌های تابعه"، گروه کنترل کیفی غلات.



۲. هدایتی، م.ت، و محمد پور، ر.ع. ۱۳۸۴. "میزان آلودگی نمونه‌های گندم انبارهای استان مازندران به آسپرژیلوس فلاروس و آفلاتوکسین" فصل‌نامه علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه ۹(۱):۵۲-۶۱.

3. Anonymous. FAO statistical databases [Online]. Available: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>
4. Chelladurai, V., D. Jayas & N. White .2010. Thermal imaging for detecting fungal infection in stored wheat. *Journal of Stored Products Research*, 46, 174-179.
5. Hedayati, M. T. & R. A. Mohammadpour. 2005. The Contamination Rate of Stored Wheat Samples of Mazandaran Province by *Aspergillus Flavous* and Aflatoxin (2003). *Journal of Kermanshah University of Medical Sciences*, 9.
6. Khalifa, S. & M. H. Komarizadeh.2012. An intelligent approach based on adaptive neuro-fuzzy inference systems (ANFIS) for walnut sorting.
7. Lin, M., B. A Rasco, A. G Cavinato & M. Al-Holy. 2009. Chapter 6 - Infrared (IR) Spectroscopy—Near-Infrared Spectroscopy and Mid-Infrared Spectroscopy. In *Infrared Spectroscopy for Food Quality Analysis and Control*, ed. D.-W. Sun, 119-143. San Diego: Academic Press.
8. Majumdar, S. & D. Jayas. 2000a. Classification of cereal grains using machine vision: I. Morphology models. *Transactions of the ASAE*, 43, 1669-1675.
9. Majumdar, S. & D. Jayas. 2000b. Classification of cereal grains using machine vision: II. Color models. *Transactions of the ASAE*, 43, 1677-1680.
10. Majumdar, S. & D. Jayas. 2000c. Classification of cereal grains using machine vision: III. Texture models. *Transactions of the ASAE*, 43, 1681-1687.
11. Majumdar, S. & D. Jayas. 2000d. Classification of cereal grains using machine vision: IV. Combined morphology, color, and texture models. *Transactions of the ASAE*, 43, 1689-1694.
12. Paliwal, J., N. Visen, D. Jayas & N. White .2003. Cereal grain and dockage identification using machine vision. *Biosystems engineering*, 85, 51-57.
13. Pearson, T., D. Wicklow, E. Maghirang, F. Xie & F. Dowell .2001. Detecting aflatoxin in single corn kernels by transmittance and reflectance spectroscopy. *TRANSACTIONS-AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS*, 44, 1247-1254.
14. Peiris, K. H., M. O. Pumphrey & F. E. Dowell .2009. NIR absorbance characteristics of deoxynivalenol and of sound and *Fusarium*-damaged wheat kernels. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 17, 213.
15. Qin, J. 2010. CHAPTER 5 - Hyperspectral Imaging Instruments. In *Hyperspectral Imaging for Food Quality Analysis and Control*, ed. D.-W. Sun, 129-172. San Diego: Academic Press.
16. Saito, S., J. Ishibashi, T. Miyamoto, Y. Tateishi, T. Ito, M. Hara, M. Kawano, T. Nakajima, M. Yoshida & T. Kawamura .2009. Reduction of wheat DON and NIV concentrations with optical sorters. *Transactions of the ASABE*, 52, 859-866.
17. Shahin, M. A. & S. J. Symons .2011. Detection of *Fusarium* damaged kernels in Canada Western Red Spring wheat using visible/near-infrared hyperspectral imaging and principal component analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75, 107-112.
18. Zhang, H., J. Paliwal, D. S. Jayas & N. White .2007. Classification of fungal infected wheat kernels using near-infrared reflectance hyperspectral imaging and support vector machine. *Transactions of the ASABE*, 50, 1779-1785.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



Detection of fungal infected wheat kernels using spectroscopy method and utilization of ANFIS system

Abstract

Wheat is one of the most strategically important crops in the world. It is rich in protein and has a high economic value. With regard to imports of wheat, in times of drought and transportation in countries, the detection of fungal infected wheat kernels is important. The objective of this study was to identify wheat kernels infected by fungi such as *Penicillium Expansum* and *Fusarium Graminearum*. The spectroscopy in ranges of 190-1100 nm at 10 nm intervals, were analyzed to evaluate their feasibility in the detection of fungal infected wheat kernels. Using principal component analysis method (PCA), it was found that the four UV wavelengths of 310, 330, 400 and 410 nm were the best wavelength to identify healthy and unhealthy wheat kernels. In this study Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) was used for classification. Inference System could successfully separate healthy samples from *Penicillium* and *Fusarium* fungi infected samples.

Keywords: Spectroscopy, Ultraviolet, Wheat, Fungi, ANFIS, PCA