

بررسی عکس‌العمل طیفی گندم‌های سالم و آسیب دیده به وسیله قارچ‌ها باتصویربرداری در محدوده مرئی و غیرمرئی به کمک شبکه‌های عصبی

سامان ظهرابی^{۱*}، سید صادق سیدلو^۲، ابراهیم صفری^۳ و یاسمن همپانژاد^۴

چکیده

گندم از محصولات کشاورزی مهم و استراتژیک در جهان و ایران است. گندم سرشار از پروتئین بوده و دارای ارزش غذایی و اقتصادی بالایی است؛ بنابراین تعیین سالم بودن آن از نظر آلودگی به عوامل قارچی، مهم است. هدف این پژوهش امکان‌سنجی تشخیص گندم‌های سالم از ناسالم آلوده به قارچ‌های فوزاریوم و پنی‌سیلیوم با استفاده از سیستم تک‌رنگ‌ساز و تصویربرداری در محدوده مرئی و نامرئی است. بدین منظور دو رقم گندم الوند و سرداری که سطح کشت بیشتری در کشور دارند، انتخاب شد و سه سیستم جامع زیر استفاده شد. مبنای سیستم اول به کارگیری آشکارساز و تصویربرداری مرئی و غیرمرئی در محدوده نور لیزر ۶۳۰-۶۸۰ نانومتر بود. در سیستم دوم، چیدمان تک‌رنگ ساز استفاده شد و در سیستم سوم از تصویربرداری و آنالیز تصویر در محدوده مرئی و غیرمرئی بهره گرفته شد. برای تصویربرداری از دوربین‌های تخصصی CCD مرئی، مرئی-مادون قرمز و مادون قرمز منفرد استفاده شد. تصویربرداری با دوربین‌های مذکور در محیط‌های نوری ماوراءبنفش، مرئی و مادون قرمز انجام شد. ۱۸ مشخصه رنگی RGB، LAB، HSV، HSI، YIQ و YcbCr از تصاویر نمونه‌های گندم در نظر گرفته شد و به‌عنوان ورودی شبکه عصبی استفاده شد. گندم‌ها به ۶ دسته گندم سرداری و الوند سالم، سرداری و الوند آلوده به فوزاریوم و گندم سرداری و الوند آلوده به پنی‌سیلیوم دسته‌بندی شدند که بهترین نتیجه برای دوربین CCD مرئی در محدوده ماوراءبنفش برابر ۴۷/۳ درصد به دست آمد. نتایج نشان دادند که برای تشخیص گندم‌های آلوده، استفاده از دوربین‌های مذکور بدون استفاده از فیلترها و تک‌رنگ‌سازهای تخصصی، مناسب نیست.

واژه‌های کلیدی: تشخیص، شبکه عصبی، قارچ‌ها، گندم، مادون قرمز.

ارجاع: ظهرابی س. سیدلو س. ص. صفری ا. و همپانژاد ی. ۱۳۹۳. بررسی عکس‌العمل طیفی گندم‌های سالم و آسیب دیده به وسیله قارچ‌ها باتصویربرداری در محدوده مرئی و غیرمرئی به کمک شبکه‌های عصبی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۵: ۹-۱.

۱- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۳- دانشیار گروه لیزر و اپتیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز.

۴- کارشناس گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پزشکی تهران.

* نویسنده مسئول: zohrabi.saman@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۲۱

مقدمه

گندم از نظر تولید و سطح زیرکشت مهم‌ترین محصول کشاورزی ایران است و از نظر اقتصادی و تأمین غذای اصلی دارای اهمیت زیادی است. براساس آخرین آمار سازمان خواروبار جهانی در سال ۲۰۱۳ در ایران نزدیک یک و نیم میلیون تن گندم برداشت شده است (فائو، ۲۰۱۳). با این حال با وجود بهره‌مندی از استعدادهای ظرفیت‌های بالقوه کشور، در برخی سال‌ها حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد از گندم مورد نیاز از طریق واردات تأمین می‌شود؛ بنابراین 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 ویژه‌ای 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 سبب تخریب حاد کبد، سیروز کبد، القای تومور و تأثیرات تراژونیک شوند (هدایتی و محمدپور، ۲۰۰۵).

روش‌های مختلفی از قبیل مکانیکی، امواج اولتراسونیک و ماشین‌بینایی برای شناسایی قارچ‌ها استفاده شده است. البته دانه‌های که در سطح کمتری مورد هجوم قرار گرفته‌اند، تأثیر معنی‌داری بر خواص مکانیکی مانند اصطکاک، نیروی تسلیم، تغییر شکل و سختی ندارد. همچنین تأثیر معنی‌داری در ظاهر نمونه ایجاد نمی‌کند؛ بنابراین این روش‌ها نمی‌توانند دانه‌هایی که در سطح کمتری مورد هجوم قرار گرفته‌اند را شناسایی کنند (کین، ۲۰۱۰). از طرف دیگر روش‌های کشت میکروبی، شمارش کل کپک‌ها و تهیه اسلاید کالچر که به‌صورت مرسوم برای شناسایی قارچ‌ها استفاده می‌شوند دوران نگهداری زیادی دارند. شناسایی و تعیین خصوصیات قارچ‌ها به‌صورت میکروسکوپی نیز یک کار زمان‌بر بوده و مناسب نیست (شرفی و همکاران، ۱۳۸۸). روش‌های مدرن مهندسی که برای تعیین کیفیت گندم استفاده شده‌اند، عبارتند از: تصویربرداری در محدوده مرئی با استفاده از خصوصیات مورفولوژیکی (شکل و اندازه) و خصوصیات بازتابش دانه‌ها (مجمودار و جایاس، ۲۰۰۰، a, b, c و d) تصویربرداری هایپراسپکترال، اشعه X، حرارتی (جلادوری و همکاران،

۲۰۱۰)، طیف‌سنجی مادون‌قرمز نزدیک (NIRS) (پترسون و همکاران، ۲۰۰۲ و تریپاچی و همکاران، ۲۰۰۸) و ماوراءبنفش (کین، ۲۰۱۰). از طیف‌سنجی برای اندازه‌گیری شدت جذب، انتقال و انعکاس نور در محدوده طول موج‌های مختلف از مواد غذایی جامد، مایع و یا گاز استفاده می‌شود. طیف‌سنجی‌ها در محدوده‌های طول موجی ماوراءبنفش، ناحیه مرئی و مادون‌قرمز قرار دارند. محدوده طول موجی ماوراءبنفش ۱۹۰-۴۰۰ نانومتر، مرئی ۴۰۰-۷۵۰ نانومتر و مادون‌قرمز نزدیک ۷۵۰-۲۵۰۰ نانومتر است. سیستم طیف‌سنجی معمولی متشکل از منبع تشعشع، دستگاه انتخاب طول موج مانند تک‌رنگ‌ساز، محل قرارگیری نمونه، آشکارساز فتوالکترونیک و یک سیستم کامپیوتری است. آشکارساز شدت نور بازتابی و یا عبوری را اندازه‌گیری کرده و آن را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل می‌کند. دو نوع عمده از منابع تابش که در طیف‌سنجی استفاده می‌شود عبارتند از: منبع پیوسته و منبع خطی. در منابع پیوسته از لامپ‌های با طول موج گسترده مانند لامپ‌های تنگستن و هالوژن استفاده می‌شود. در منابع خطی از لامپ‌های با طول موج‌های خاص مانند دیودهای تک طول موج و یا لیزرها استفاده می‌شود. پیرسون و همکارانش (۲۰۰۱) با استفاده از طیف‌سنجی مادون‌قرمز نزدیک (NIR)، مقدار طیف انعکاسی دانه‌های ذرت آلوده به آفلاتوکسین را بررسی کردند. آن‌ها 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 مادون‌قرمز در غلظت‌های مختلف DON به‌خوبی توانستند گندم‌های سالم و آلوده به فوزاریوم را تشخیص دهند. این آزمایش نشان داد که طیف‌سنجی مادون‌قرمز با طول موج‌های در محدوده ۱۰۰۰-۲۱۰۰ نانومتر یک روش مناسب در تشخیص گندم‌های مبتلا شده به فوزاریوم با سطح ۶۰ ppb و یا بالاتر است. همچنین ظهراپی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از ابزار طیف‌سنجی در محدوده ۱۹۰-۱۱۰۰ نانومتر و به‌کارگیری روش آماری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، طول موج‌های ۳۱۰، ۳۳۰، ۴۰۰ و ۴۱۰ را به‌عنوان بهترین طول موج، برای شناسایی و تشخیص گندم‌های سالم و ناسالم آلوده شده به قارچ‌های پنی‌سیلیوم اکسپانسون و فوزاریوم گرامینروم تشخیص دادند و با درنظر

بیش از ۹۷/۸ درصد گندم‌های آسیب دیده توسط قارچ‌ها و ۹۵/۵ درصد گندم‌های سالم را درست تشخیص دهند. هدف اصلی این طرح تحقیقاتی امکان‌سنجی ارائه روش تشخیص و سیستمی است که بتواند در زمان کمتر و به‌صورت 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 جلوگیری شود.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها

از بین ارقام گندم کشت شده در منطقه آذربایجان، رقم الوند به‌عنوان رقم آبی و رقم سرداری به‌عنوان رقم دیم که بیشترین سطح زیرکشت را دارند، انتخاب شدند. چون تهیه گندم‌های مورد حمله قرارگرفته با قارچ‌ها از مزرعه مشکل بود بدین منظور ابتدا دو گونه قارچی پنی‌سیلیوم اکسپانسونوم و فوزاریوم گرامینروم در آزمایشگاه قارچ‌شناسی در شرایط استریل زیر هود لامینار روی محیط کشت عمومی کشت شدند و بعد از رشد قارچ‌ها به مدت یک هفته در محیط کشت در داخل انکوباتور در دمای ۲۵ درجه، اقدام به مایه‌زنی روی بذور گندم‌های مورد نظر شد. روش کار به این صورت بود که ابتدا برای 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 شده و سپس با آب مقطر استریل شده ۲ بار شستشو شدند. سپس از قارچ فوزاریوم و پنی‌سیلیوم کشت شده، سوسپانسیون اسپور تهیه شد و به‌صورت جداگانه روی نمونه‌های گندم مایه‌زنی شدند (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۷). نمونه‌ها به مدت ۱۰ روز در داخل یک انکوباتور در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. در نهایت تعداد ۳۰۰ نمونه دانه گندم برای تصویربرداری در ۳ محدوده تصویربرداری به کار گرفته شدند. تعداد ۵۰ نمونه مربوط به گندم سالم، ۵۰ نمونه برای گندم آلوده‌شده با قارچ فوزاریوم و ۵۰ نمونه برای گندم آلوده شده با قارچ پنی‌سیلیوم در هر دو ارقام استفاده شد. در این پژوهش تلاش شده است نمونه‌های گندم به ۶ دسته گندم سالم رقم الوند، سالم رقم سرداری، الوند آلوده به قارچ فوزاریوم، سرداری آلوده به قارچ فوزاریوم، الوند آلوده به قارچ پنی‌سیلیوم و سرداری آلوده

گرفتن شدت طول موج‌های مذکور به‌عنوان ورودی شبکه عصبی، نمونه‌ها را با دقت ۹۷/۶ درصد به دسته‌های سالم و ناسالم دسته‌بندی کردند.

سیستم تصویربرداری هایپراسپکترال که ترکیبی از سیستم تصویربرداری معمولی و روش طیف‌سنجی است یک راه‌حل مناسب برای بازرسی مواد غذایی و محصولات کشاورزی است. بر این اساس ژانگ و همکاران (۲۰۰۷) با سیستم عکس‌برداری هایپراسپکترال در ۲۰ طول موج با فاصله مساوی در محدوده طول موج ۱۰۰۰ تا ۱۶۰۰ نانومتر، تصاویر هایپراسپکترال تهیه کردند. آن‌ها با به‌کارگیری چهار ویژگی آماری (میانگین، واریانس، چولگی و کشیدگی) روی داده‌های به دست آمده از تصویر هایپراسپکترال در هر طول موج توانستند به‌ترتیب ۹۲/۹، ۸۷/۲ و ۹۹/۳ درصد گندم‌های آسیب دیده با اسپرژیلوس نیگر، اسپرژیلوس گلوکوس، پنی‌سیلیوم و ۱۰۰ درصد گندم‌های سالم را تشخیص دهند. شاهین و سیمونز (۲۰۱۰) نیز ۸۰۰ دانه گندم قرمز بهاری جنوب کانادا را در سه دسته سالم، نیمه آسیب دیده و آسیب دیده تقسیم‌بندی کردند و سپس با سیستم تصویربرداری هایپراسپکترال در محدوده طول موج‌های مرئی و مادون قرمز (۴۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر) از نمونه‌های گندم عکس‌برداری کرده و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی را روی اطلاعات تصاویر انجام دادند تا مدل تحلیل آماری خطی برای پیش‌بینی دانه‌های آسیب دیده به فوزاریوم را گسترش دهند. آن‌ها توانستند با مدل آماری مذکور بیش از ۹۲ درصد گندم‌های آسیب دیده به فوزاریوم را در دو دسته سالم و ناسالم دسته‌بندی کنند. سیواکومار و همکاران (۲۰۰۸) نیز امکان‌سنجی استفاده از سیستم تصویربرداری هایپراسپکترال، برای دسته‌بندی دانه‌های گندم در کانادا را بررسی کردند. آن‌ها در محدوده طول موج ۹۶۰ تا ۱۷۰۰ نانومتر با فاصله طول موج ۱۰ نانومتر و با شبکه‌های عصبی، ۹۰ درصد دانه‌ها و با سایر ابزارهای آماری، ۹۴ درصد نمونه‌ها را دسته‌بندی کردند. سینگ و همکاران (۲۰۰۷) با عکس‌برداری هایپراسپکترال از گندم‌های آسیب‌دیده توسط قارچ‌های انبارداری پنی‌سیلیوم، اسپرژیلوس گلوکوس و اسپرژیلوس نیگر در طول موج‌های ۱۰۰۰ تا ۱۶۰۰ نانومتر و با روش آنالیز چندمتغیری تصویر براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) در سه طول موج ۱۲۸۴/۲، ۱۳۱۵/۸ و ۱۳۴۷/۴ نانومتر توانسته بودند

به قارچ پنی‌سیلیوم دسته‌بندی شود و دقت طبقه‌بندی گزارش شد.

سیستم‌های طرح‌ریزی شده برای انجام آزمایش

در این پژوهش از ۳ روش مختلف برای شناسایی گندم‌های سالم و ناسالم استفاده شده است که عبارتند از:

۱. سیستم طیف‌سنجی استفاده از لیزر با آشکارساز و تصویربرداری

۲. سیستم طیف‌سنجی استفاده از چیدمان تک‌رنگ‌ساز

۳. تصویربرداری و آنالیز تصویر در محدوده مرئی و غیرمرئی طول موج گسترده

در سیستم اول از یک لیزر با طول موج ۶۳۰ تا ۶۸۰ نانومتر با توان قابل تنظیم ۰ تا ۲۰ وات استفاده شد. طول موج مذکور در محدوده مادون‌قرمز نزدیک با رنگ قرمز بود. عکس‌برداری در یک اتاق کاملاً تاریک انجام شد. ابتدا نور لیزر روی نمونه‌ها متمرکز تابانده شده و شدت نورهای انعکاسی از نمونه‌های گندم با استفاده از عدسی‌ها جمع‌آوری شد و سپس با آشکارساز بر حسب ولت ثبت شدند. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۶ تیمار و ۲۰ تکرار انجام شد که شش دسته گندم (الوند، الوند آلوده به فوزاریوم، الوند آلوده به پنی‌سیلیوم، سرداری، سرداری آلوده به فوزاریوم و سرداری آلوده به پنی‌سیلیوم) به عنوان تیمار و هر تیمار دارای بیست تکرار بود. همچنین با دوربین‌های موجود که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ آورده شده‌اند، پس از نورپردازی با لیزرها، عکس‌برداری انجام شد. در شکل ۱ نیز تصویری از چیدمان مورد نظر و تصویر شماتیک آن مشاهده می‌شود.

در سیستم شماره دو، با استفاده از تک‌رنگ‌ساز ابتدا نور لامپ هالوژن با محدوده طول موج گسترده ۴۰۰ تا ۱۸۰۰ نانومتر، به طول موج‌هایی با فاصله ۱۰ نانومتر تجزیه شده و روی نمونه‌های گندم تابانده شد و سپس با آشکارساز نور منعکس شده از سطح نمونه‌ها در هر طول موج، جمع‌آوری شد. همچنین با دوربین‌های موجود، در هر طول موج از نمونه‌ها عکس‌برداری شد. در شکل ۲ تصویر شماتیک سیستم طراحی شده مشاهده می‌شود.

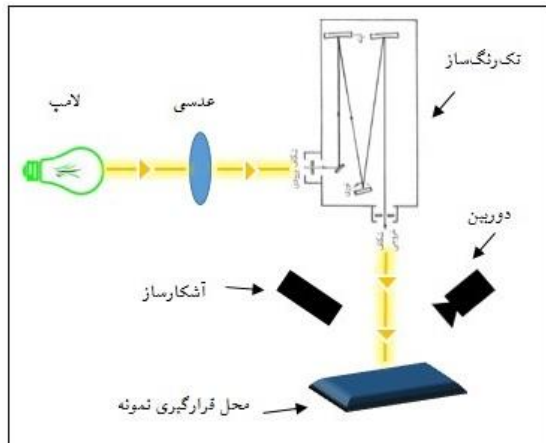
سیستم شماره سه که مبتنی بر تصویربرداری در محدوده طول موج‌های ماورا بنفش، مرئی و مادون‌قرمز نزدیک بود، تصویربرداری انجام شد. برای نورپردازی محفظه نور در محدوده ماوراءبنفش از لامپ فلورسنت ۲۰ وات، برای

تصویربرداری در محدوده مرئی از لامپ فلورسنت ۵۰ وات و برای محدوده مادون‌قرمز هم از لامپ هالوژن با توان ۰ تا ۵۰ وات قابل تنظیم استفاده شد. برای گرفتن تصویر در سه محدوده نور ماورا بنفش، مرئی و مادون‌قرمز از سه دوربین با مشخصاتی که در جدول ۱ آورده شده است، استفاده شد. برای گرفتن تصاویر با استفاده از دوربین، از یک کارت واسط چهار خروجی Chateau RT4، برای تبدیل تصاویر آنالوگ به تصاویر دیجیتال، در یک کامپیوتر شخصی Pentium 4، 1.2-3.8 GHz با حافظه ۵۱۲ مگابایت و با ویندوز XP استفاده شد.

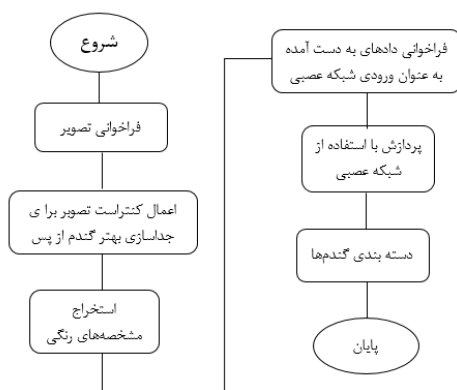
الگوریتم تعریف‌شده برای تصاویر اکتسابی

براساس الگوریتم شکل ۳، اولین قدم فراخوانی تصویر بود که به صورت یک تصویر RGB ذخیره شد. در مرحله بعد مکانی که نمونه گندم در آن قرار داشت، تشخیص داده شد و از کل تصویر جدا شد. سپس با استفاده از دستورات مربوطه، کنتراست تصویر و سطوح مربوط به هیستوگرام مؤلفه‌های رنگی اصلی افزایش یافت (حیدری، ۱۳۹۱). شایع‌ترین مدل مشخصه رنگی که در پردازش تصویر استفاده می‌شود اجزای طیفی اولیه شامل مشخصه قرمزی (R)، سبز (G) و آبی (B) است؛ بنابراین ابتدا ماتریس‌های R، G و B هر تصویر گندم استخراج شده و متوسط آن‌ها محاسبه شد. سپس با استفاده از توابع مربوطه، فضای رنگی RGB به فضای رنگی LAB تبدیل شده و مقادیر L، A و B به صورت جداگانه محاسبه شدند. به همین ترتیب با استفاده از توابع مربوطه فضاهای رنگی HSV، HSI، YCbCr و YIQ نیز از طریق RGB هر تصویر به دست آورده شدند و در نهایت ۱۸ مشخصه رنگی به عنوان ورودی شبکه استفاده شد.

در این پژوهش برای طبقه‌بندی ورودی‌ها با توجه به کلاس‌های هدف از شبکه‌های تشخیص الگو که شبکه‌های پیش‌خور هستند، در جعبه‌آزار Neural Network نرم‌افزار Matlab نسخه ۷.۱۲ استفاده شده است. شبکه‌های پیش‌خور می‌توانند مشکلات را به صورت غیرخطی حل کنند. این شبکه‌ها از یک سری لایه‌هایی تشکیل شده‌اند که اولین لایه دارای یک اتصال از شبکه‌های ورودی است. هر یک از لایه‌های بعدی دارای یک اتصال از لایه قبلی است. لایه نهایی نیز خروجی شبکه را تولید می‌کند. الگوی ورودی ۱۸ مؤلفه بود که از استخراج ویژگی‌های رنگی



شکل ۲- طرح شماتیک سیستم تک‌رنگ‌ساز استفاده شده

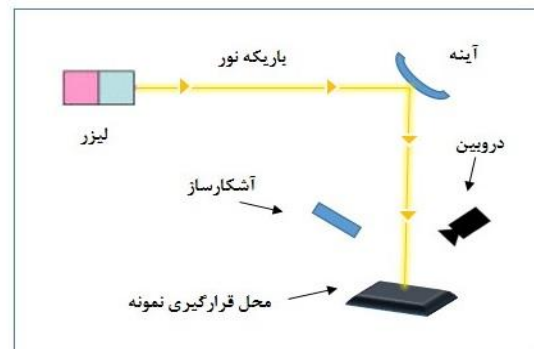


شکل ۳- فلوچارت کلی الگوریتم طراحی شده برای دسته‌بندی گندم‌ها براساس پردازش تصویر و شبکه عصبی

نتایج و بحث

در سیستم اول، نتایج آنالیز واریانس به‌صورت جدول ۲ به دست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تأثیر شدت جذب در میانگین مربعات گروه‌های گندم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیست، یعنی شدت جذب مورد بررسی در شش گروه گندم سالم و ناسالم با یکدیگر متفاوت نبودند؛ بنابراین در هنگام استفاده از آشکارساز، اختلاف معنی‌داری بین گروه‌ها وجود نداشت. در مرحله دوم تصاویر گرفته شده مشابه سیستم شماره سه و الگوریتم شکل ۳ دسته‌بندی شد که نتایج خوبی به دست نیامد و نتایج به دست آمده از تصاویر معنی‌دار نشدند که به‌دلیل حجم زیاد مطالب، تکرار و تفصیل روش در سیستم شماره سه نتایج آن آورده نشده است؛ بنابراین می‌توان گفت که طول موج ۶۳۰ تا ۶۸۰ نانومتر برای تشخیص قارچ‌های مذکور مناسب نیست. نتایج به دست آمده با نتایج پیرسون و همکاران (۲۰۰۶) همخوانی دارد که آن‌ها با بررسی در

دانه‌ها از طریق پردازش تصویر تشکیل شده است و برای لایه‌های پنهان نیز شماره‌های مختلف از نورون‌ها، مورد آزمون قرار گرفت و تعداد مناسب انتخاب شد. متوسط طبقه‌بندی در سه تکرار به دست آمده به‌عنوان درصد طبقه‌بندی گزارش شده است. ماتریس هدف یک ماتریس 6×300 بود که ۶ دسته از ۵۰ نمونه تشکیل شده بود. توابع آموزشی مختلف بررسی و در نهایت الگوریتم لونیگ - مارکوارت برای آموزش انتخاب شد. تابع سیگموئید نیز برای توابع انتقال لایه پنهان و خروجی استفاده شد. عملکرد شبکه براساس متوسط مربع خطاها (MSE) اندازه‌گیری شده و در طول آموزش، داده‌های ورودی و داده‌های هدف به‌طور تصادفی به ۳ دسته آموزش، آزمون و اعتبارسنجی تقسیم شدند که ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش، ۱۵ درصد داده‌ها برای آزمون و ۱۵ درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی استفاده شدند. فرایند آموزش سه بار تکرار شده تا دقت طبقه‌بندی به اندازه کافی بالا برود. البته تکرار بیش از حد سبب آموزش بیش از حد شبکه می‌شود.



شکل ۱- تصویر چیدمان لیزر به همراه دوربین

جدول ۱- مشخصات دوربین‌ها

جنس دوربین	محدوده کاری
۱	CCD proline
۲	Analogue color camera "AGNI"
۳	LT lutron Digital Instrument

شبکه، بهترین نتیجه برای دوربین CCD در محدوده نوری ماوراءبنفش به دست آمد که در جدول ۳ نتایج آن آورده شده است. داده‌های روی قطر اصلی، تعداد نمونه‌های را که به‌صورت صحیح دسته‌بندی شده‌اند را نشان می‌دهد و داده‌های مربوط به غیرقطر اصلی تعداد نمونه‌های که به‌صورت غیرصحیح دسته‌بندی شده‌اند را نشان می‌دهد و دقت کلی شبکه نیز برابر $47/3$ درصد با میانگین مربعات خطای $0/109297$ می‌باشد. در شکل ۴ نیز تصاویر گرفته شده از نمونه‌های گندم در محدوده نوری ماوراءبنفش با دوربین CCD آورده شده است.

همان‌طور که در بخش بررسی منابع اشاره شد، سینگ و همکاران (۲۰۰۷) با عکس‌برداری هایپراسپکترال از گندم‌ها در طول موج‌های 1000 تا 1600 نانومتر و استفاده از روش آنالیز چندمتغیری تصویر براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) در سه طول موج $1284/2$ و $1315/8$ و 1347 نانومتر توانسته بودند بیش از $97/8$ درصد گندم‌های آسیب دیده توسط قارچ‌های پنی‌سیلیوم، آسپرژیلوس گلوکوس و آسپرژیلوس نیگر و $95/5$ درصد گندم‌های سالم درست تشخیص دهند. همچنین سینگ و همکارانش (۲۰۰۸) با عکس‌برداری هایپراسپکترال در محدوده طول موج مادون‌قرمز 1000 تا 1600 نانومتر و با کاهش داده‌های به دست آمده از هایپراسپکترال با استفاده از آنالیز تصویر چندمتغیری در طول موج‌های $1101/69$ و $1305/05$ نانومتر $85-100$ درصد گندم‌های سالم و ناسالم آسیب دیده به‌وسیله قارچ‌ها را تشخیص داده بودند. آن‌ها همچنین به این نتیجه رسیدند که جهت‌گیری گندم‌ها در تصویربرداری تأثیر معنی‌داری در عملکرد دسته‌بندی نداشته است. ژانگ و همکاران (۲۰۰۷) و ماهش و همکاران (۲۰۰۸) نیز درصدهای جداسازی بالایی را گزارش کرده‌اند، در حالیکه در جدول ۴ هم مشاهده می‌شود دقت اندازه‌گیری سیستم‌های زیر پایین است که به‌دلیل عدم استفاده از فیلترهای نوری تخصصی در دوربین‌ها برای تصویربرداری در طول موج‌های مشخص هستند. می‌توان نتیجه گرفت که تشخیص گندم‌های آلوده به قارچ‌های مذکور بدون فیلترهای تخصصی ممکن نبوده و باید تصویربرداری در محدوده‌های نور غیرمرئی مادون‌قرمز و یا ماوراءبنفش و در طول موج‌های خاص انجام بگیرد.

محدوده طول موج 500 تا 1700 روی دانه‌های ذرت طول موج‌های 715 و 965 نانومتر را بهترین طول موج برای تشخیص گندم‌های آلوده به قارچ را تشخیص داده بودند. سیستم دوم که با استفاده از دستگاه تک رنگ‌ساز نور لامپ هالوژن، به طول موج‌های در محدوده $400-1800$ نانومتر با فاصله 10 نانومتر تجزیه شده است به‌دلیل پایین بودن شدت نور لامپ هالوژن و همچنین ماهیت دستگاه تک رنگ‌ساز که به‌دلیل خصوصیات درونی خود سبب کاهش شدت نور خروجی در طول موج‌های مربوطه می‌شد، سبب شد که شدت نوری هم برای کار با آشکارساز و هم برای کار با دوربین‌ها مناسب نباشد و آشکارساز نتواند شدت انعکاسی ضعیف منعکس شده از دانه‌ها را اندازه‌گیری کند و همچنین نور در حدی نباشد که دوربین‌ها توانایی تصویربرداری مناسب در آن طول موج را داشته باشند.

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس (NOVA) مقادیر شدت نور انعکاسی برای شش دسته گندم سالم و آلوده

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی‌دار
تیمار	۵	۶۷/۳۴۸	۵/۵۱۴	۰/۰۰۰
تکرار	۱۹	۱۵/۷۵۹	۱/۲۹۰	۰/۲۰۸
خطا	۹۵	۱۲/۲۱۵		
کل	۱۲۰			



شکل ۴- تصاویر گرفته شده در محدوده نوری ماوراءبنفش با دوربین CCD

در سیستم شماره سه که ۱۸ مشخصه رنگی به‌عنوان ورودی شبکه عصبی وارد شده بود پس از ۳ بار آموزش

جدول ۳- ماتریس اغتشاش (که شماره‌های ۱ تا ۶ به ترتیب مربوط به الوند، الوند آلوده به فوزاریوم، الوند آلوده به پنی‌سیلیوم، سرداری، سرداری آلوده به فوزاریوم، سرداری آلوده به پنی‌سیلیوم است)

الف: کل

۱	۲۲ ٪۷/۳	۴ ٪۱/۳	۱۰ ٪۳/۳	۳ ٪۱/۰	۴ ٪۱/۳	۲ ٪۰/۷	٪۴۸/۹ ٪۵۱/۱
۲	۵ ٪۱/۷	۲۲ ٪۷/۳	۵ ٪۱/۷	۴ ٪۱/۳	۲ ٪۰/۷	۷ ٪۲/۳	٪۴۸/۹ ٪۵۱/۱
۳	۱۷ ٪۵/۷	۱۱ ٪۳/۷	۲۴ ٪۸/۰	۱ ٪۰/۳	۳ ٪۱/۰	۳ ٪۱/۰	٪۴۰/۷ ٪۵۹/۳
۴	۰ ٪۰/۰	۱ ٪۰/۳	۴ ٪۱/۳	۲۴ ٪۸/۰	۶ ٪۲/۰	۳ ٪۱/۰	٪۶۳/۲ ٪۳۶/۸
۵	۴ ٪۱/۳	۷ ٪۲/۳	۳ ٪۱/۰	۱۳ ٪۴/۳	۲۲ ٪۷/۳	۷ ٪۲/۳	٪۳۹/۳ ٪۶۰/۷
۶	۲ ٪۰/۷	۵ ٪۱/۷	۴ ٪۱/۳	۵ ٪۱/۷	۱۳ ٪۴/۳	۲۸ ٪۹/۳	٪۴۹/۱ ٪۵۰/۹
کل	٪۴۴/۰ ٪۵۶/۰	٪۴۴/۰ ٪۵۶/۰	٪۴۸/۰ ٪۵۲/۰	٪۴۸/۰ ٪۵۲/۰	٪۴۴/۰ ٪۵۶/۰	٪۶۶/۰ ٪۴۴/۰	٪۴۷/۳ ٪۵۲/۷
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	کل

ب: ارزیابی

۱	۳ ٪۶/۷	۰ ٪۰/۰	۳ ٪۶/۷	۰ ٪۰/۰	۰ ٪۰/۰	۰ ٪۰/۰	٪۵۰/۰ ٪۵۰/۰
۲	۱ ٪۲/۲	۲ ٪۴/۴	۱ ٪۲/۲	۲ ٪۴/۴	۱ ٪۲/۲	۱ ٪۲/۲	٪۲۵/۰ ٪۷۵/۰
۳	۲ ٪۴/۴	۱ ٪۲/۲	۲ ٪۴/۴	۰ ٪۰/۰	۰ ٪۰/۰	۱ ٪۲/۲	٪۳۳/۳ ٪۶۶/۷
۴	۰ ٪۰/۰	۰ ٪۰/۰	۰ ٪۰/۰	۳ ٪۶/۷	۳ ٪۶/۷	۰ ٪۰/۰	٪۵۰/۰ ٪۵۰/۰
۵	۱ ٪۲/۲	۲ ٪۴/۴	۱ ٪۲/۲	۳ ٪۶/۷	۳ ٪۶/۷	۱ ٪۲/۲	٪۲۷/۳ ٪۷۲/۷
۶	۰ ٪۰/۰	۱ ٪۲/۲	۱ ٪۲/۲	۰ ٪۰/۰	۴ ٪۸/۹	۲ ٪۴/۴	٪۲۵/۰ ٪۷۵/۰
کل	٪۴۲/۹ ٪۵۷/۱	٪۳۳/۳ ٪۶۶/۷	٪۲۵/۰ ٪۷۵/۰	٪۳۷/۵ ٪۶۲/۵	٪۲۷/۳ ٪۷۲/۷	٪۴۰/۰ ٪۶۰/۰	٪۳۳/۳ ٪۶۶/۷
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	کل

ادامه جدول ۳-

ج: آزمون

۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	٪۰/۰
	٪۰/۰	٪۲/۲	٪۲/۲	٪۰/۰	٪۲/۲	٪۰/۰	٪۱۰۰
۲	۱	۲	۰	۱	۰	۲	٪۳۳/۳
	٪۲/۲	٪۴/۴	٪۰/۰	٪۲/۲	٪۰/۰	٪۴/۴	٪۵۶/۷
۳	۴	۰	۲	۰	۲	۰	٪۲۵/۰
	٪۸/۹	٪۰/۰	٪۴/۴	٪۰/۰	٪۴/۴	٪۰/۰	٪۷۵/۰
۴	۰	۱	۱	۷	۰	۱	٪۷۰/۰
	٪۰/۰	٪۲/۲	٪۲/۲	٪۱۵/۶	٪۰/۰	٪۲/۲	٪۳۰/۰
۵	۰	۱	۰	۳	۴	۲	٪۴۰/۰
	٪۰/۰	٪۲/۲	٪۰/۰	٪۶/۷	٪۸/۹	٪۴/۴	٪۶۰/۰
۶	۰	۰	۰	۱	۲	۵	٪۶۲/۵
	٪۰/۰	٪۰/۰	٪۰/۰	٪۲/۲	٪۴/۴	٪۱۱/۰	٪۳۷/۵
کل	٪۰/۰	٪۴۰/۰	٪۵۰/۰	٪۶۸/۳	٪۴۴/۴	٪۵۰/۰	٪۴۴/۴
	٪۱۰۰	٪۶۰/۰	٪۵۰/۰	٪۴۱/۷	٪۵۵/۶	٪۵۰/۰	٪۵۵/۶
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	کل

جدول ۴- دقت دسته‌بندی سیستم‌های مختلف مورد استفاده شده

نوع دوربین	محدوده نوری	دقت دسته‌بندی (٪)
۱ CCD	مرئی	۳۵.۳
۲ CCD	مادون قرمز	۳۶.۴
۳ مرئی-مادون قرمز	ماورا بنفش	۲۰.۵
۴ مرئی-مادون قرمز	مرئی	۳۱.۹
۵ مرئی-مادون قرمز	مادون قرمز	۳۸.۵
۶ مادون قرمز	مادون قرمز	۱۲.۴

نتیجه‌گیری

با به‌کارگیری سیستم‌های جامع مختلف، با قطعیت می‌توان گفت که استفاده از سیستم طیف‌سنجی لیزر و آشکارساز در محدوده ۶۳۰ تا ۶۸۰ نانومتر برای تشخیص گندم‌های آلوده به قارچ مناسب نیست. در سیستم شماره سه که ۱۸ مشخصه رنگی به‌عنوان ورودی شبکه عصبی وارد شده بود، پس از ۳ بار آموزش شبکه، بهترین نتیجه برای دوربین CCD در محدوده نوری ماوراءبنفش، ۴۷/۳

درصد به دست آمد که مقدار خوبی نبوده و دلیل اصلی آن نبودن فیلترهای نوری مناسب برای دوربین‌ها بودند، بنابراین بدون فیلترهای تخصصی، شناسایی قارچ‌ها مشکل است. سیستم شماره دو هم به‌دلیل کم بودن شدت نور برای تصویربرداری و اندازه‌گیری مقدار نور جذب شده مناسب نیست. پس می‌توان نتیجه گرفت که سیستم‌های زیر برای شناسایی گندم‌های سالم و ناسالم آلوده به قارچ‌ها مناسب نبوده و نیازمند بهبود و تغییرات هستند.

منابع

۱. حیدری عبدالرحمن. ۱۳۹۱. پردازش تصویر در متلب. تهران. انتشارات به‌آوران. ۲۸۸ ص.
۲. شرفی گ. و ثوقی س. آقاقلی‌زاده ر. شه‌میری ع. نعمتی س. شادفر ش. و صابونی ز. ۱۳۸۸. روش‌های انجام آزمایشات در آزمایشگاه‌های مرکز پژوهش‌های غلات و مراکز آزمایشگاهی شرکت‌های تابعه. گروه کنترل کیفی غلات. ۶۳ ص.

۳. ظهراپی س. سیدلو س. ص. ۱۳۹۲. مطالعه عکس‌العمل طیفی گندم‌های سالم و آسیب دیده به وسیله قارچ‌ها با استفاده از روش طیف‌سنجی. کنگره ملی مکانیک ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون. دوره هشتم. مشهد. ۱۳ ص.

4. Anonymous. 2013. FAO statistical databases. Food and Agricultural Organization of United Nation.
5. Chelladurai V. Jayas D. and White N. 2010. Thermal imaging for detecting fungal infection in stored wheat. *Journal of Stored Products Research*. 46 (3): 174-9.
6. Hedayati M. T. and Mohammadpour R. A. 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(1): 52-61.
7. Mahesh S. Manickavasagan A. Jayas D. S. Paliwal J. and White N. D. G. 2008. Feasibility of near-infrared hyperspectral imaging to differentiate Canadian wheat classes. *Biosystems Engineering*. 101(1): 50-57.
8. Majumdar S. and Jayas D. 2000 a. Classification of cereal grains using machine vision: I. Morphology models. *Transactions of the ASAE*. 43(6): 1669-75.
9. Majumdar S. and Jayas D. 2000b. Classification of cereal grains using machine vision: II. Color models. *Transactions of the ASAE*. 43(6): 1677-80.
10. Majumdar S. and Jayas D. 2000 c. Classification of cereal grains using machine vision: III. Texture models. *Transactions of the ASAE*. 43(6): 1681-7.
11. Majumdar S. and Jayas D. 2000 d. Classification of cereal grains using machine vision: IV. Combined morphology, color, and texture models. *Transactions of the ASAE*. 43(6): 1689-1694.
12. Pearson T. and Wicklow D. 2006. Detection of corn kernels infected by fungi. *Trans. ASABE*. 49(4): 1235-1245.
13. Pearson T. Wicklow D. Maghirang E. Xie F. and Dowell F. 2001. Detecting aflatoxin in single corn kernels by transmittance and reflectance spectroscopy. *Transactions-American Society of Agricultural Engineers*. 44(5): 1247-54.
14. Peiris K. H. Pumphrey M. O. and Dowell F. E. 2009. NIR absorbance characteristics of deoxynivalenol and of sound and *Fusarium*-damaged wheat kernels. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 17(4): 213.
15. Pettersson H. And Aberg L. 2003. Near infrared spectroscopy for determination of mycotoxins in cereals. *Food Control*. 14(4): 229-232.
16. Qin J. 2010. CHAPTER 5 - Hyperspectral Imaging Instruments. In: *Hyperspectral Imaging for Food Quality Analysis and Control* (ed. by Sun D-W), Academic Press, San Diego. pp. 129-172.
17. Saito S. Ishibashi J. Miyamoto T. Tateishi Y. Ito T. Hara M. Kawano M. Nakajima T. Yoshida M. and Kawamura T. 2009. Reduction of wheat DON and NIV concentrations with optical sorters. *Transactions of the ASABE*. 52(3): 859-66.
18. Shahin M. A. and Symons S. J. 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 (1): 107-112.
19. Singh C. Jayas D. Paliwal J. and White N. 2007. Fungal detection in wheat using near-infrared hyperspectral imaging. *Transactions of the ASABE*. 50(6): 2171-6.
20. Singh C. Paliwal J. Jayas D. and White N. 2006. Near-infrared spectroscopy: applications in the grain industry. In: 2006 ASAE Annual Meeting, Paper. 47(1): 311-320.
21. Sivakumar M. 2011. Long wavelength near-infrared hyperspectral imaging for classification and quality assessment of bulk samples of wheat from different growing locations and crop years. Ph.D., thesis. Department of Biosystems Engineering, University of Manitoba. 160 p.
22. Tripathi S. and Mishra H. N. 2009. A rapid FT-NIR method for estimation of aflatoxin B₁ in red chili powder. *Food Control*. 20: 840-846.
23. Zhang H. Paliwal J. Jayas D. S. and White N. 2007. Classification of fungal infected wheat kernels using near-infrared reflectance hyperspectral imaging and support vector machine. *Transactions of the ASABE*. 50(5): 1779-85.