



مطالعه عکس‌العمل طیفی گندم‌های سالم و آسیب‌دیده به وسیله قارچ‌ها با استفاده از تصویربرداری در محدوده غیر مرئی

سامان زهرابی<sup>۱\*</sup>، سید صادق سیدلو<sup>۲</sup> و ابراهیم صفری<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری مکانیک بیو سیستم، دانشگاه تبریز، zohrabi.saman@tabrizu.ac.ir

۲- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- دانشیار گروه فیزیک اپتیک، دانشگاه تبریز

## 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 از این پژوهش تشخیص گندم‌های سالم از ناسالم است که توسط قارچ‌هایی مثل فوزاریوم، پنی‌سیلیوم و یا فراورده‌های قارچی مثل آفلاتوکسین و غیره مورد هجوم قرار گرفته‌اند. به این منظور با استفاده از دوربین‌های CCD، دوربین مرئی-مادون قرمز و دوربین مادون قرمز منفرد و استفاده از منابع نوری ماوراءبنفش، مرئی و مادون قرمز، تصاویری از نمونه‌های گندم سالم و ناسالم تهیه شد. در این سیستم هم با استخراج ۱۸ مشخصه رنگی از تصاویر اخذ شده و استفاده آن‌ها به عنوان ورود شبکه عصبی بهترین درصد دسته‌بندی گندم‌ها به ۶ دسته شامل گندم سرداری سالم، الوند سالم، سرداری آلوده به فوزاریوم، سرداری آلوده به پنی‌سیلیوم، الوند آلوده به فوزاریوم و الوند آلوده به پنی‌سیلیوم ۴۷.۳ صورت گرفت که دقت مذکور با دوربین CCD معمولی و نورپردازی در محدوده ماوراءبنفش به دست آمده است.

**واژه‌های کلیدی:** گندم، قارچ، مادون قرمز، شبکه عصبی، تشخیص

## 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 این حال علیرغم بهره‌مندی از استعدادها و ظرفیت‌های بالقوه کشور، در بعضی 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



دارد. پنی‌سیلیوم<sup>۱</sup>، آسپرژیلوس<sup>۲</sup> 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 (Saito *et al.*, 2009). این سموم می‌توانند در انسان و یا حیوان باعث تخریب حاد کبد، سیروز کبد، القای تومور و تأثیرات ترانژنیک شوند (Hedayati and Mohammadpour, 2005).

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<sup>۳</sup> زیادی دارند و شناسایی و تعیین خصوصیات قارچ‌ها به صورت میکروسکوپی نیز یک کار زمان‌بر بوده و مناسب نیست (گیتی شرفی و همکاران ۱۳۸۸) و 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 (Majumdar and Jayas, 2000a, b, c, d)، تصویربرداری هایپراسپکترال، تصویربرداری اشعه X، تصویربرداری حرارتی و طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک (NIRS) یا ماورای بنفش اشاره کرد (Chelladurai *et al.*, 2010, Qin, 2010). از طیف‌سنجی نیز برای اندازه‌گیری جذب، انتقال 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 بشوند را شناسایی کنند. همچنین پیریس و همکارانش (۲۰۰۹) با استفاده از خصوصیات جذب مادون قرمز در غلظت‌های مختلف DON<sup>۴</sup> به خوبی توانستند گندم‌های سالم و آلوده به فوزاریوم را تشخیص دهند. این آزمایش نشان داد که طیف‌سنجی مادون قرمز با طول موج در محدوده‌ی ۱۰۰۰-۲۱۰۰ نانومتر یک روش مناسب در تشخیص گندم‌های مبتلا شده به فوزاریوم با سطح ۶۰ ppm و یا بالاتر می‌باشد.

سیستم تصویربرداری هایپراسپکترال که ترکیبی از سیستم تصویربرداری معمولی و روش طیف‌سنجی می‌باشد یک راه‌حل مناسب برای بازرسی مواد غذایی و محصولات کشاورزی می‌باشد که بر این اساس ژانگ و همکاران (۲۰۰۷) 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<sup>۵</sup>) بر روی داده‌های تصویر هایپراسپکترال در هر طول موج توانستند به ترتیب ۹۲/۹ و ۸۷/۲ و ۹۹/۳ درصد گندم‌های آسیب‌دیده با آسپرژیلوس نیگر، آسپرژیلوس گلوکوس، پنی‌سیلیوم و ۱۰۰ درصد گندم‌های سالم را

1. Penicillium spp (blue-green)

2. Aspergillus spp (black-white-brown-blue-green-and yellow)

3. Incubation

4. Deoxynivalenol

5. Kurtosis



تشخیص دهند. در واقع یک روش خوب در شناسایی و دسته‌بندی گندم‌های سالم و ناسالم بود. شاهین و سیمونز (۲۰۱۰) نیز ۸۰۰ دانه گندم قرمز بهاری جنوب کانادا را در سه دسته سالم، نیمه آسیب‌دیده و آسیب‌دیده تقسیم‌بندی کرده و سپس گندم‌ها را با استفاده از سیستم تصویربرداری هایپراسپکترال در محدوده طول موج مرئی و مادون قرمز (۴۰۰-۱۰۰۰ نانومتر) عکس‌برداری کرده و سپس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی را بر روی اطلاعات تصاویر انجام داده تا مدل تحلیل آماری خطی برای پیش‌بینی دانه‌های آسیب‌دیده به فوزاریوم را گسترش دهند. آن‌ها توانستند با استفاده از آن مدل آماری بیش از ۹۲ درصد گندم‌های آسیب‌دیده به فوزاریوم را در دو دسته سالم و ناسالم دسته‌بندی کنند. سیواکومار و همکاران (۲۰۰۸) نیز امکان‌پذیری استفاده از سیستم تصویربرداری هایپراسپکترال برای دسته‌بندی دانه‌های گندم کانادا را مطالعه کردند. آن‌ها در محدوده طول موج ۹۶۰-۱۷۰۰ نانومتر با فاصله طول موج ۱۰ نانومتر کار کردند؛ که با استفاده از شبکه‌های عصبی، ۹۰ درصد دانه‌ها و با استفاده از ابزارهای آماری ۹۴ درصد نمونه‌ها را دسته‌بندی کردند.

بنابراین 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، از همدیگر تشخیص دهد تا از نقل و انتقال گندم ناسالم در کشور جلوگیری به عمل آید.

## مواد و روش‌ها

### آماده‌سازی 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<sup>۶</sup> و فوزاریوم گرامینروم<sup>۷</sup> 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 گردیده و سپس با استفاده از آب مقطر استریل شده ۲ بار شستشو شده است. سپس از قارچ فوزاریوم و پنی‌سیلیوم کشت شده سوسپانسیون اسپور تهیه‌شده و به صورت جداگانه بر روی نمونه‌های گندم مایه زنی شده است. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۰ روز در داخل یک انکوباتور در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شده و سپس برای انجام آزمایش به آزمایشگاه مهندسی پس از برداشت منتقل شده است و در نهایت تعداد ۳۰۰ نمونه دانه گندم برای تصویربرداری در ۳ محدوده تصویربرداری به کار گرفته شد

<sup>۶</sup>. *Penicillium expansum*

<sup>۷</sup>. *Fusarium graminearum*



که تعداد ۵۰ نمونه مربوط به گندم سالم، تعداد ۵۰ نمونه مربوط به گندم آلوده شده با قارچ فوزاریوم، ۵۰ نمونه مربوط به گندم آلوده شده با قارچ پنی‌سیلیوم برای هر دو ارقام استفاده شده است. در این تحقیق سعی شد نمونه‌های گندم به ۶ دسته به نام‌های گندم سالم رقم الوند، سالم رقم سرداری، رقم الوند آلوده به قارچ فوزاریوم، رقم سرداری آلوده به قارچ فوزاریوم، رقم الوند آلوده به قارچ پنی‌سیلیوم و رقم سرداری آلوده به قارچ پنی‌سیلیوم دسته‌بندی شود؛ و دقت طبقه‌بندی گزارش شود.

## سیستم‌های طرح‌ریزی شده برای انجام آزمایش

در این تحقیق از ۳ روش مختلف برای شناسایی گندم‌های سالم و ناسالم استفاده شد که عبارتند از:

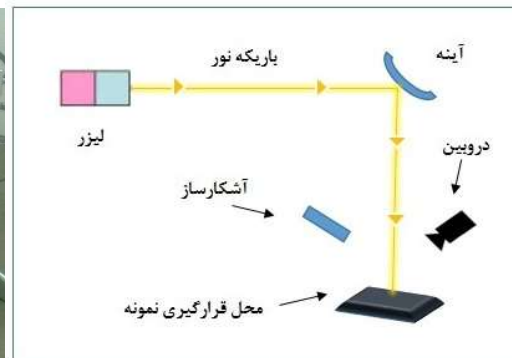
۱. سیستم استفاده از لیزر با آشکارساز و تصویربرداری

۲. سیستم استفاده از چیدمان تک‌رنگ‌ساز

۳. تصویربرداری و آنالیز تصویر

در سیستم اول از یک لیزر با طول موج ۶۳۰-۶۸۰ نانومتر استفاده شد که نور لیزر بر روی نمونه‌ها متمرکز و تابانده شده و نورهای انعکاسی از نمونه‌های گندم ابتدا با استفاده از عدسی‌ها جمع‌آوری شده و سپس توسط آشکارساز بر حسب ولت ثبت شدند. همچنین توسط دوربین‌های موجود که مشخصات آن‌ها در **جدول ۱** آورده شده‌اند عکس‌برداری انجام گرفت. در شکل ۱ نیز تصویری از چیدمان مورد نظر و تصویر شماتیک آن مشاهده می‌شود.

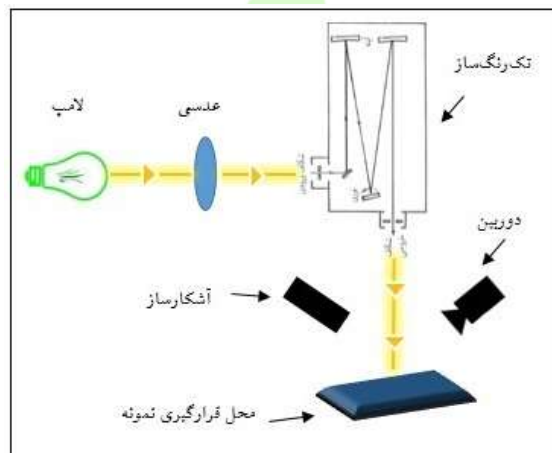
در سیستم شماره دو، چیدمان تک‌رنگ‌ساز ابتدا لامپ هالوژن محدوده طول موج گسترده را با استفاده از تک‌رنگ‌ساز موجود در آزمایشگاه اپتیک با دقت ۱ نانومتر به طول موج‌های ۴۰۰-۱۸۰۰ نانومتر تجزیه کرده و بر روی نمونه‌های گندم تابانده و توسط آشکارساز نور منعکس شده در هر طول موج جمع‌آوری شده است. همچنین با استفاده از دوربین‌های موجود در هر طول موج از نمونه‌ها عکس گرفته شده است. که در شکل ۲ تصویر شماتیک سیستم طراحی شده مشاهده می‌شود.



شکل ۱. تصویر چیدمان لیزر به همراه دوربین



سیستم شماره سه که مبتنی بر تصویربرداری در محدوده طول موج ماورا بنفش، مرئی و مادون قرمز نزدیک می‌باشد تصویربرداری انجام گرفت که برای نورپردازی محفظه نور در محدوده ماورا بنفش از لامپ فلورسنت 20 W استفاده شده است و برای تصویربرداری در محدوده مرئی نیز از لامپ فلورسنت 50 W استفاده شد. برای محدوده مادون قرمز هم از لامپ هالوژن استفاده شده که تصویر آن در شکل ۳ مشاهده می‌شود. برای گرفتن تصویر در سه محدوده نور ماورا بنفش، مرئی و مادون قرمز نیز از سه دوربین با مشخصاتی که در **جدول ۱** آورده شده، استفاده شد. برای گرفتن تصاویر با استفاده از دوربین از یک کارت واسط<sup>۸</sup> چهار خروجی با مشخصات Chateau RT4 استفاده شد که بر روی یک کامپیوتر شخصی Pentium 4 با حافظه ۵۴۰ مگابایت نصب شد. کارت مذکور توانایی تبدیل اطلاعات آنالوگ به تصاویر دیجیتال را دارا بود.



**شکل ۲.** طرح شماتیک سیستم تک‌زنگ‌ساز استفاده شده



**شکل ۳.** لامپ‌ها الف: ماوراءبنفش فلورسنت ب: مادون قرمز هالوژن ج: فلورسنت مرئی

<sup>8</sup>. Capture Card

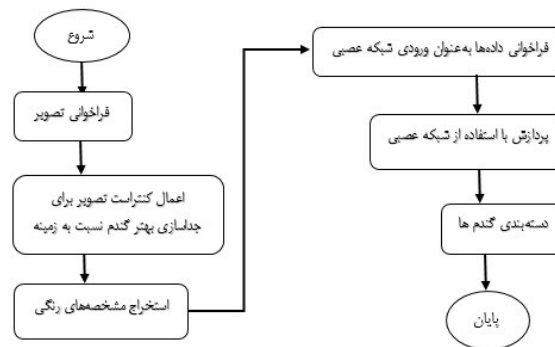


### جدول ۱. مشخصات دوربین‌ها

محدوده کاری	جنس دوربین	
مرئی	CCD proline	۱
مرئی-مادون قرمز	Analogue color camera "AGNI"	۲
مادون قرمز منفرد	LT lutron Digital Instrument	۳

### الگوریتم تعریف شده برای تصاویر اکتسابی

مطابق الگوریتم شکل ۴ اولین قدم فراخوانی تصویر بود که تصویر فراخوانی شده به صورت یک تصویر RGB ذخیره شد. سپس توسط دستور rgb2gray تصویر رنگی به خاکستری تبدیل شد. تصویر خاکستری به صورت ماتریس است که مقادیر آن بیانگر شدت‌های روشنایی در محدوده ۰ تا ۲۵۵ هستند که به صورت پیش فرض عدد صفر برای رنگ سیاه و عدد ۲۵۵ برای رنگ سفید تعلق دارد. تفاوت آن با تصویر RGB تنها نبود رنگ در تصویر می‌باشد (حیدری، ۱۳۹۱). در مرحله بعد با ضرب کردن و به توان رساندن آرایه‌ای ماتریس، کنتراست تصویر بالا برده شده است. 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 تصاویر استخراج شده و متوسط آن‌ها محاسبه شد. سپس با استفاده از توابع مربوطه، فضای رنگی RGB به فضای رنگی LAB تبدیل شد و مقادیر L، A و B به صورت جداگانه محاسبه شد. به همین ترتیب با استفاده از توابع مربوطه فضای رنگی YIQ، YcbCr، HSV، HSI و نیز از طریق RGB تصویر به دست آورده شد و در نهایت ۱۸ مشخصه رنگی به عنوان ورودی شبکه مورد استفاده قرار گرفته شده است.



شکل ۴. فلوچارت کلی الگوریتم طراحی شده برای دسته‌بندی گندم بر اساس پردازش تصویر و شبکه عصبی



در این تحقیق برای طبقه‌بندی ورودی‌ها با توجه به کلاس‌های هدف<sup>۹</sup> از شبکه‌های تشخیص الگو که شبکه‌های پیش‌خور هستند در جعبه‌ابزارهای Neural Network نرم افزار Matlab نسخه 7.12.0(2011a) استفاده شده است. شبکه‌های پیش‌خور می‌تواند مشکلات را به صورت غیرخطی حل کنند و از یک سری لایه‌هایی تشکیل شده‌اند که اولین لایه دارای یک اتصال از شبکه‌های ورودی می‌باشد. هر یک از لایه‌های بعدی دارای یک اتصال از لایه قبلی است. لایه نهایی نیز خروجی شبکه را تولید می‌کند. الگوی ورودی ۱۸ مؤلفه است که از استخراج ویژگی‌های رنگی دانه‌ها از طریق پردازش تصویر تشکیل شده است و برای لایه‌های پنهان نیز شماره‌های مختلف از نورون‌ها مورد آزمون قرار گرفته و تعداد مناسب انتخاب شده است و متوسط طبقه‌بندی در سه تکرار به دست آمده به عنوان درصد طبقه‌بندی گزارش شده است. ماتریس هدف یک ماتریس  $6 \times 300$  که ۶ دسته از ۵۰ نمونه تشکیل شده است و توابع آموزشی مختلف تست شده و مورد بررسی قرار گرفته شده و در نهایت الگوریتم لوبنرگ - مارکواریت<sup>۱۰</sup> برای آموزش انتخاب شده است و تابع سیگموئید<sup>۱۱</sup> نیز برای توابع انتقال لایه پنهان و خروجی استفاده شده است. عملکرد شبکه بر اساس متوسط مربع خطاها (MSE) اندازه‌گیری شده و در طول آموزش، داده‌های ورودی و داده‌های هدف به طور تصادفی به ۳ دسته آموزش، آزمون و اعتبارسنجی مجموعه داده تقسیم شد که ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش ۱۵ درصد داده‌ها برای آزمون و ۱۵ درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی در نظر گرفته شده است. فرایند آموزش سه بار تکرار شد تا دقت طبقه‌بندی به اندازه کافی بالا برود. البته تکرار بیش از حد باعث آموزش بیش از حد شبکه می‌شود.

## نتایج و بحث

در سیستم اول با متمرکز کردن نور لیزر بر روی نمونه گندم و اندازه‌گیری شدت نور منعکس شده با استفاده از لیزر طول موج ۶۸۰-۶۳۰ نانومتر اختلاف معنی‌داری بین داده‌های به دست آمده از آشکارساز وجود نداشت و در مرحله دوم نیز تصاویر اخذ شده به دلیل قرار داشتن محدوده نوری لیزر در محدوده مرئی نتایج به دست آمده از تصاویر معنی‌دار نشدند که به دلیل حجم زیاد مطالب نتایج آن‌ها آورده نشده است.

سیستم دوم که با استفاده از دستگاه تک رنگ‌ساز و لامپ هالوژن، نور به طول‌موج‌های در محدوده ۴۰۰-۱۸۰۰ نانومتر بافاصله ۱ نانومتر تجزیه شده است به دلیل پایین بودن شدت لامپ هالوژن و همچنین ماهیت دستگاه تک رنگ‌ساز که به دلیل خصوصیات درونی خود باعث کاهش شدت نور خروجی در طول موج‌های مربوطه می‌شود. باعث شده است 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 اندازه بگیرد و همچنین نور در حدی نباشد که دوربین‌ها توانایی تصویربرداری مناسب در آن طول موج را داشته باشند.

<sup>9</sup>. Target Classes

<sup>10</sup>. Levenberg-Marquardt

<sup>11</sup>. Sigmoid



در سیستم شماره سه نیز که ۱۸ مشخصه رنگی به عنوان ورودی شبکه عصبی وارد شده بود پس از ۳ بار آموزش شبکه، بهترین نتیجه برای دوربین CCD در محدوده نوری ماورای بنفش به دست آمده است؛ که در شکل ۵ نتایج آن آورده شده است. داده‌های روی قطر اصلی که با رنگ سبز هستند تعداد نمونه‌های را که به صورت صحیح دسته‌بندی شده‌اند را نشان می‌دهد و داده‌های مربوط به خانه‌های قرمز و یا غیر قطر اصلی تعداد نمونه‌های که به صورت غیر صحیح دسته‌بندی شده‌اند را نشان می‌دهد و خانه‌های آبی نیز دقت کلی شبکه در دسته‌بندی را نشان می‌دهد که دقت کلی این شبکه ۴۷.۷ درصد با میانگین مربعات خطای ۰.۱۰۹۲۹۷ می‌باشد و به همین ترتیب درصد دسته‌بندی توسط دوربین‌ها و منابع نوری مختلف نیز در **جدول ۲** گزارش شده است. همان طور که مشاهده می‌شود دقت اندازه‌گیری سیستم‌های زیر پایین می‌باشد که به دلیل عدم استفاده از فیلترهای نوری در دوربین‌ها برای تصویربرداری در طول موج‌های مشخص و همچنین غیرحرفه‌ای بودن دوربین‌ها و منابع نوری می‌باشند.

	ج						ب						الف					
1	0	1	1	0	1	0	3	0	3	0	0	0	22	4	10	3	4	2
	0.0%	2.2%	2.2%	0.0%	2.2%	0.0%	6.7%	0.0%	6.7%	0.0%	0.0%	0.0%	7.3%	1.3%	3.3%	1.0%	1.3%	0.7%
2	1	2	0	1	0	2	1	2	1	2	1	1	5	22	5	4	2	7
	2.2%	4.4%	0.0%	2.2%	0.0%	4.4%	2.2%	4.4%	2.2%	4.4%	2.2%	2.2%	1.7%	7.3%	1.7%	1.3%	0.7%	2.3%
3	4	0	2	0	2	0	2	1	2	0	0	1	17	11	24	1	3	3
	8.9%	0.0%	4.4%	0.0%	4.4%	0.0%	4.4%	2.2%	4.4%	0.0%	0.0%	2.2%	5.7%	3.7%	8.0%	0.3%	1.0%	1.0%
4	0	1	1	7	0	1	0	0	0	3	3	0	0	1	4	24	6	3
	0.0%	2.2%	2.2%	15.6%	0.0%	2.2%	0.0%	0.0%	0.0%	6.7%	6.7%	0.0%	0.0%	0.3%	1.3%	8.0%	2.0%	1.0%
5	0	1	0	3	4	2	1	2	1	3	3	1	4	7	3	13	22	7
	0.0%	2.2%	0.0%	6.7%	8.9%	4.4%	2.2%	4.4%	2.2%	6.7%	6.7%	2.2%	1.3%	2.3%	1.0%	4.3%	7.3%	2.3%
6	0	0	0	1	2	5	0	1	1	0	4	2	2	5	4	5	13	28
	0.0%	0.0%	0.0%	2.2%	4.4%	11.1%	0.0%	2.2%	2.2%	0.0%	8.9%	4.4%	0.7%	1.7%	1.3%	1.7%	4.3%	9.3%
	0.0%	0.0%	0.0%	8.3%	4.4%	14.4%	0.0%	2.2%	2.2%	0.0%	8.9%	4.4%	0.7%	1.7%	1.3%	1.7%	4.3%	9.3%
	100%	60%	0%	0%	1.7%	5.6%	57.1%	66.7%	5.0%	2.5%	2.7%	0%	56.0%	6.0%	2.0%	2.0%	6.0%	4.0%
						55.6%												52.7%
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6

**شکل ۵.** ماتریس اغتشاش الف: کل، ب: ارزیابی، ج: آزمون (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 می‌باشد).





جدول ۲. دقت دسته‌بندی سیستم‌های مختلف مورد استفاده‌شده

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

### نتیجه‌گیری

در سیستم شماره سه نیز که ۱۸ مشخصه رنگی به عنوان ورودی شبکه عصبی وارد شده بود پس از ۳ بار آموزش شبکه، بهترین نتیجه برای دوربین CCD در محدوده نوری ماورای بنفش ۴۷.۷ درصد به دست آمده است که مقدار قابل قبولی نبوده و دلیل اصلی آن نبودن فیلترهای نوری مناسب برای دوربین‌ها بودند که می‌توان نتیجه گرفت که بدون فیلترهای تخصصی شناسایی قارچ‌ها بسیار مشکل می‌باشد و همچنین سیستم‌های شماره یک نیز به دلیل واقع شدن در محدوده طول موج مرئی جواب معنی‌داری نداشته و سیستم شماره دو هم به دلیل کم بودن شدت نور برای تصویربرداری و اندازه‌گیری مقدار نور جذب شده مناسب نبوده است. پس می‌توان نتیجه گرفت که سیستم‌های به کار گرفته برای شناسایی گندم‌های سالم و ناسالم آلوده به قارچ‌ها مناسب نبوده و نیازمند بهبود و تغییرات می‌باشند.

## منابع

- ۱- حیدری، ع. ۱۳۹۱، پردازش تصویر در متلب. انتشارات به‌آوران.
- ۲- شرفی، گ.، وثوقی، س.، آقا قلی زاده، ر.، شه‌میری، ع.، نعمتی، س.، شادفر، ش. و صابونی، ز. و ۱۳۸۸. روش‌های انجام آزمایشات در آزمایشگاه‌های مرکز پژوهش‌های غلات و مراکز آزمایشگاهی شرکت‌های تابعه، گروه کنترل کیفی غلات.
- 3- Chelladurai V, D. Jayas and N. White. 2010. Thermal imaging for detecting fungal infection in stored wheat. *Journal of Stored Products Research* 46: 174-179.
- 4- Hedayati MT and RA. 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.
- 5- Majumdar S and D. Jayas. 2000a. Classification of cereal grains using machine vision: I. Morphology models. *Transactions of the ASAE* 43: 1669-1675.
- 6- 2000b. Classification of cereal grains using machine vision: IV. Combined morphology, color, and texture models. *Transactions of the ASAE* 43: 1689-1694
- 7- 2000c. Classification of cereal grains using machine vision: II. Color models. *Transactions of the ASAE* 43: 1677-1680.
- 8- 2000d. Classification of cereal grains using machine vision: III. Texture models. *Transactions of the ASAE* 43: 1681-1687.
- 9- Qin J. 2010. CHAPTER 5 - Hyperspectral Imaging Instruments. Pages 129-172 in Sun D-W, ed. *Hyperspectral Imaging for Food Quality Analysis and Control*. San Diego: Academic Press.
- 10- Saito S, J. Ishibashi, T. Miyamoto, Y. Tateishi, T. Ito, M. Hara, M. Kawano, T. Nakajima, M. Yoshida and T. Kawamura. 2009. Reduction of wheat DON and NIV concentrations with optical sorters. *Transactions of the ASABE* 52: 859-866.
- 11- 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. Department of Biosystems Engineering. University of Manitoba.
- 12- Zhang H, J. Paliwal, DS. Jayas and 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.



## Investigation of spectral reaction of healthy and infected wheat by fungi using imaging in non-visible range

Saman Zohrabi<sup>1\*</sup>, Seiied Sadegh Seiiedlou<sup>2</sup>, Ebrahim safari<sup>3</sup>

1. PhD Student of Mechanics of Biosystems, University of Tabriz, zohrabi.saman@tabrizu.ac.ir
2. Assistant professor of Agriculture Machinery, Faculty of Agriculture, University of Tabriz,
3. Assistant professor of Optics and Laser, Faculty of physics, University of Tabriz,

### Abstract

Wheat is one of the strategically important crops in the world and Iran. It has a high economic and nutritive value. With regard to imports of wheat, especially in times of drought and as well as the transport of wheat in the country so determining of fungal infection of wheat is important. The purpose of this study is to identify healthy wheat from unhealthy wheat which infected by fungi such as Fusarium, Penicillium and fungi products such as aflatoxin and etc. so with using CCD, visible-infrared and infrared camera images of healthy and unhealthy wheat samples in light of ultraviolet, visible and infrared is taken and in this system, eighteen color features RGB, LAB, HSV, HIS, YCbCr, and YIQ is extracted and is used as the neural network inputs. Using of light with Ultraviolet range and CCD camera, 47.3 percent of the wheat samples are properly classified in to the six healthy Sardari, healthy Alvand, Sardari infected with Fusarium, Sardari infected with Penicillium, Alvand infected with Fusarium and Alvand infected with Penicillium.

**Keywords:** Wheat, Fungi infection, Near Infrared, Neural network,