

تخمین شدت بیماری زنگ برگ گندم با استفاده از روش‌های کدگذاری طیف بازتابندگی

محمد رضا مباحثی^{۱*}، یگانه دارویی^۲، داوود عاشورلو^۳

- ۱- استاد مهندسی سنجش ازدور، آزمایشگاه سنجش ازدور، موسسه آموزش عالی خاوران
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۳- استادیار مرکز سنجش ازدور دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۲۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۱۳

چکیده

استفاده از روش‌های سنجش ازدوری و طیف‌سنجی در تشخیص بیماری‌های گیاهی از روش‌های موثر و سریع می‌باشد که غالباً با استفاده از شاخص‌های گیاهی و روش‌های آماری انجام می‌شود. هدف از این پژوهش استفاده از روش کدگذاری برای طیف بازتابندگی و مشتق‌های آن، در تعیین شدت زنگ برگ گندم می‌باشد که می‌تواند برخلاف شاخص‌های گیاهی، شکل طیف را مستقل از زمان و مکان در تمامی باندها بررسی کند. در این تحقیق از اندازه‌گیری‌های طیف‌سنجی آزمایشگاهی انجام شده از مراحل رشد زنگ گندم استفاده گردید. روش‌های کدگذاری با فواصل مساوی و آستانه‌گذاری ۱ بیت، ۲ بیت و ۳ بیت در محدوده طول موج‌های ۴۰۰-۱۰۵۰ و ۵۰۰-۸۰۰ نانومتر برای طیف بازتابندگی و مشتق‌های آن ارزیابی شد. در این رابطه پس از کدگذاری طیف بازتابندگی لکه‌ی سبز به‌عنوان کد مرجع که نشان دهنده سلامت گیاه است، برای نمونه‌های آموزشی، زاویه شباهت میان رشته کدها محاسبه، نمودار میزان درصد حضور لکه سبز برحسب کسینوس زاویه شباهت ترسیم و یک معادله خطی به آن برازش داده شد. بهترین خط برازش داده شده برای روش کدگذاری آستانه با سه بیت در طول موج‌های ۵۰۰-۸۰۰ نانومتر با مقدار R^2 و RMSE به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۰۵ حاصل شد. در نهایت درجه زنگ‌زدگی برگ برحسب عدم حضور لکه سبز در ۴ سطح تعیین گردید که دقت کلی و ضریب کاپای آن به ترتیب ۸۵/۹۶ درصد و ۰/۸۱ می‌باشد.

کلید واژه‌ها: بازتابندگی، کدگذاری، زاویه شباهت، زنگ برگ گندم، مشتق

* نویسنده مکاتبه کننده: مشهد، شهرک غرب، بزرگراه امامعلی، بلوار شهید رفیعی، خیابان شهید برادران حسینی ۱۲، موسسه آموزش عالی خاوران

تلفن: ۰۹۱۲۱۲۲۶۶۳۰

۱- مقدمه

تلاش برای تشخیص و مقابله با بیماری‌های گیاهی به‌ویژه بیماری‌های مربوط به محصولات اساسی مانند گندم به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی مطرح شده است. با وجود روش‌های آزمایشگاهی در تشخیص بیماری‌های گیاهی، هنوز تقاضا برای یک روش سریع، حساس و انتخابی برای تشخیص سریع نوع و پیشرفت بیماری‌های گیاهی وجود دارد [۱]. به همین دلیل استفاده از روش‌های غیرمستقیم مانند طیف‌سنجی و تصویربرداری به‌عنوان روش‌های سریع و به‌روز، امکان دستیابی به حجم زیادی از اطلاعات را در بازه‌ی زمانی کمتری در مورد گیاهان و بیماری‌های آن‌ها فراهم می‌کند.

روش‌های غیرمستقیم به کار رفته در تشخیص بیماری‌های گیاهی با استفاده از طیف‌سنجی را می‌توان به دو گروه استفاده از شاخص‌های طیفی و مدل‌های آماری چند متغیره تقسیم‌بندی کرد [۲].

مناطق مرئی و مادون قرمز از طیف الکترومغناطیسی بیشترین اطلاعات در مورد بیماری‌ها و تنش‌ها را در برگ فراهم می‌کند [۳]. بازتابندگی برگ در برخی از این طول موج‌های حساس به بیماری می‌تواند برای شناسایی نشانه‌ها حتی پیش از ظهور آن‌ها استفاده شود [۴]. البته پس از بروز علائم یک بیماری گیاهی در گیاهان، استفاده از روش‌های تشخیص بیماری قابل انجام است.

یکی از بیماری‌های مهم گیاهی، بیماری زنگ گندم است که همه‌ساله خسارت‌های فراوانی را به برداشت محصول گندم وارد می‌کند. زنگ گندم، یکی از بیماری‌های قارچی و واگیردار است که عامل مولد آن گونه‌هایی از قارچ‌های کلاه‌دار یا بازیدومیست‌ها می‌باشد. سه نوع بیماری زنگ به نام‌های زنگ ساقه (سیاه)، زنگ برگ (قهوه‌ای) و زنگ خطی (زرد) وجود دارد. در این میان زنگ برگ بیشترین فراوانی وقوع را در مقایسه با دو نوع دیگر داشته و به‌طور چشمگیری باعث کاهش عملکرد محصول

می‌شود [۵]. در این پژوهش تمرکز بر این نوع زنگ می‌باشد. علائم مختلف زنگ برگ را می‌توان به‌طور همزمان در قطعات مختلف از یک برگ مشاهده کرد که در ابتدا با بروز لکه‌هایی با رنگ زرد نمایان می‌شوند، سپس با پیشرفت بیماری در مراحل بالاتر به رنگ‌های نارنجی و قهوه‌ای تیره متمایل می‌گردند تا در نهایت به مرحله خشک برسند [۶ و ۷]. تحقیقات انجام گرفته برای این نوع زنگ در مقایسه با زنگ زرد کمتر است.

با استفاده از طیف‌های بازتابندگی گیاهان و با استفاده از ماهواره‌های ابر طیفی با قدرت تفکیک طیفی بالاتر امکان شناسایی و جداسازی گونه و رفتار فنولوژیکی گیاهان وجود دارد [۸]. در سال ۲۰۰۵، فرانک و همکاران به‌منظور مقایسه عملکرد سنجنده چندطیفی و ابرطیفی در تشخیص بیماری زنگ برگ گندم و با هدف تشخیص زود هنگام آن، از فیلتر سازگار یافته‌ی تنظیم اختلاط (MTMF)^۱ استفاده کردند. در این رابطه نیاز به یک تصویر تبدیل شده کسر کمترین نویز (MNF)^۲ و طیف خالص هر پدیده وجود داشت [۸]. این روش برای سنجنده ابرطیفی به نتایج امیدبخشی حتی در روز پنجم پس از آلودگی به زنگ گندم رسید. میوز و همکاران در سال ۲۰۱۰ برای تخمین شدت بیماری زنگ برگ گندم با استفاده از تصاویر ابرطیفی، از روش رگرسیون بردار پشتیبان (SVR)^۳ استفاده کردند و به عدد ۰٫۶۹ برای متوسط ضریب وابستگی بین شدت بیماری و مقادیر پیش‌بینی شده با رگرسیون برای داده‌های آزمون رسیدند [۹].

در سال ۲۰۰۹، دیوادز و همکاران برای تفکیک سه نوع زنگ گندم از ۱۰ شاخص طیفی استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص منحصر به فردی برای تمایز

¹ Mixture Tuned Matched Filtering

² Minimum Noise Fraction

³ Support Vector Regression

حالی است که روش‌های رگرسیون آموزشی می‌توانند از کل طیف به‌طور همزمان استفاده کنند. بدین منظور در سال ۲۰۱۶ عاشورلو و همکاران از سه روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی، مدل رگرسیون بردار پشتیبان و رگرسیون پردازشی گوسین، برای تعیین شدت بیماری زنگ گندم و ارزیابی تاثیر اندازه داده‌های آموزشی بر نتایج استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تکنیک‌های آموزشی در مقایسه با شاخص‌ها، به نشانه‌های مختلف بیماری حساس نبوده و نتایج آن‌ها قابل اعتماد است. در میان این سه روش، روش رگرسیون پردازشی گوسین بهترین عملکرد را با داده‌های آموزشی کمتر با R^2 برابر ۰/۹۸ داشته است [۱۲]. هرچند یکی از محدودیت‌های روش‌های رگرسیون آموزشی، حساس بودن به اندازه نمونه‌های آموزشی است.

باتوجه به شباهت‌های ظاهری طیف‌های بازتابندگی برگ‌های مختلف، استفاده از روش‌هایی که ویژگی‌های بیشتری را از طیف بازتابندگی با صرف زمان کمتری استخراج کنند، ضروری به نظر می‌رسد. به‌همین دلیل نیاز به استفاده از روش‌های دیگری که شکل و رفتار طیف بازتابندگی را در کل باندها و مستقل از مکان و زمان در نظر می‌گیرد، احساس می‌شود. استفاده از روش کدگذاری طیف بازتابندگی راه‌حل مناسبی است که باعث کاهش وابستگی اطلاعات به عوامل خارجی می‌شود [۱۳]. روش‌های کدگذاری طیف بازتابندگی در سال‌های اخیر برای استخراج اطلاعات از داده‌های ابرطیفی به‌کار می‌روند که در این روش‌ها رفتار طیف بازتابندگی با یک رشته از اعداد بیان می‌شود [۱۴]. از روش‌های معمول کدگذاری می‌توان به سه روش SPAM^۵، روش SFBC^۶ و روش SDFC^۷ اشاره کرد. روش SPAM را میسر و همکاران در سال ۱۹۸۸ با ترکیب روش آستانه‌گذاری با مقدار میانگین مقادیر

انواع زنگ گندم وجود ندارد ولی می‌توان دو نوع زنگ زرد و قهوه‌ای را با ترکیبی از دو شاخص بازتابندگی آنتوسیانین (ARI^۱) و شاخص تبدیل جذب کلروفیل به بازتابندگی (TCARI^۲) شناسایی کرد [۱۰].

در ادامه ونگ و همکاران در سال ۲۰۱۵، به ارائه مدلی جهت شناسایی نوع زنگ در سطح تاج گیاه با استفاده از داده‌های ابرطیفی پرداختند که از سه مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM^۳) برای شناسایی بیماری و شش مدل رگرسیون بردار پشتیبان برای تعریف شاخص بیماری و ساخت مدل ترکیبی از SVM و نزدیک‌ترین همسایه (KNN^۴) استفاده کردند. بهترین نتیجه برای مدل SVM با دقت ۸۲٪ حاصل شد [۱۱].

شاخص‌های گیاهی و شاخص‌های بیماری تا به امروز توجه کمتری به اثرات نشانه‌های بیماری بر بازتابندگی برگ داشته‌اند. در سال ۲۰۱۴، عاشورلو و همکاران به ارزیابی تاثیر نشانه‌های مختلف بیماری بر شاخص‌های طیفی گیاهی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که تعداد کمی از این شاخص‌ها قابلیت تعیین غیرمستقیم بیماری‌های گیاهی را داشته و به علت وجود ندگی داده‌های این شاخص‌ها با افزایش سختی بیماری افزایش می‌یابد و از دقت آن‌ها می‌کاهد [۶]. در ادامه با استخراج طیف بازتابندگی علائم مختلف بیماری و بررسی آن‌ها در محدوده طول موج‌های ۴۵۰-۱۰۰۰ نانومتر با استفاده از تابع فیشر به معرفی شاخصی برای شناسایی دقیق شدت بیماری پرداختند. مقدار ضریب تشخیص (R^2) بین مقادیر مشاهده شده و تخمین زده شده برابر ۰/۹۴ بود [۷]. یکی از محدودیت‌های شاخص‌ها، استفاده از اطلاعات تعداد کمی از باندهای طیفی در تشخیص بیماری است که بسته به شرایط محیطی قابل تغییر است. این در

¹ Anthocyanin Reflectance Index

² Transformed chlorophyll Absorption in Reflectance Index

³ Support Vector Machine

⁴ k-Nearest Neighbors

⁵ Spectral Analysis Manager

⁶ Spectral Feature-based Binary Coding

⁷ Spectral Derivative Feature Coding

کد نهایی با ترکیب روابط (۲ و ۳) با رابطه (۶) به صورت رابطه (۷) حاصل می‌شود.

$$S_l^{SFBC} = (S_l^a S_l^b S_l^{MD}) \quad \text{رابطه (۷)}$$

در این روابط، μ میانگین طیف بازتابندگی، MD، متوسط انحراف از میانگین و S_l^{SFBC} کد مربوط به باند l می‌باشد.

چنگ و همکاران در سال ۲۰۰۹، روش SDFC را برای بهبود دو روش قبلی ارائه نمودند. در این روش از تغییرات سه باند مجاور در مقادیر طیفی که نشان دهنده‌ی تغییرات در مشتق طیفی است و همچنین میانگین قدرمطلق تفاضل هر باند با باند قبلی به‌عنوان حدآستانه، با در نظر گرفتن ۴ حالت (رابطه (۹)) استفاده می‌شود [۱۷].

$$\Delta = \frac{1}{L-1} \sum_{l=2}^L |s_l - s_{l-1}| \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$S_l^{b-SDFC} = \begin{cases} 0 \text{ or } 00 & |s_l - s_{l-1}| \leq \Delta, |s_{l+1} - s_l| > \Delta \text{ or } |s_l - s_{l-1}| > \Delta, |s_{l+1} - s_l| \leq \Delta \\ 1 \text{ or } 01 & s_l - s_{l-1} < \Delta, s_{l+1} - s_l < \Delta \text{ or } s_l - s_{l-1} > \Delta, s_{l+1} - s_l > \Delta \\ 2 \text{ or } 10 & s_l - s_{l-1} < \Delta, s_{l+1} - s_l > \Delta \text{ or } s_l - s_{l-1} > \Delta, s_{l+1} - s_l < \Delta \\ 3 \text{ or } 11 & \end{cases} \quad \text{رابطه (۹)}$$

تعداد بیت‌ها می‌باشند [۱۷].

در سنجش از دور ابرطیفی، برای استخراج اطلاعات از طیف بازتابندگی، از روش‌های تحلیل مشتق طیفی نیز بسیار استفاده می‌شود. با در نظر گرفتن طیف بازتابندگی داده‌های ابرطیفی به‌عنوان یک منحنی تقریباً پیوسته، می‌توان مشتق طیف بازتابندگی یعنی تغییرات میزان بازتابندگی را نسبت به تغییرات طول موج محاسبه کرد. مزیت مشتق طیف بازتابندگی نسبت به طیف اصلی بازتابندگی این است که طیف مشتق به بزرگی و اندازه داده‌ها حساس نیست و تنها به تغییرات در شکل حساس است [۱۸]. در این صورت اطلاعات با فرکانس پایین نیز حذف [۱۹] و مناطق جذبی کوچک که در طیف اصلی به‌سختی قابل شناسایی‌اند، بزرگنمایی می‌شوند [۲۰].

هدف از این مقاله، استفاده از روش کدگذاری طیف بازتابندگی در سطح برگ و بررسی تاثیر استفاده از

بازتابندگی و اختلاف مقدار باند بعدی از باند قبلی باند مورد نظر، استفاده کردند [۱۵]. با فرض این که $s = (s_1, s_2, \dots, s_L)$ یک امضای ابرطیفی با L باند باشد:

$$\mu = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L s_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$S_l^a = \begin{cases} 0, & s_l < \mu \\ 1, & s_l \geq \mu \end{cases} \quad 1 \leq l \leq L \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$S_l^b = \begin{cases} 0, & s_{l+1} < s_{l-1} \\ 1, & s_{l+1} \geq s_{l-1} \end{cases} \quad 2 \leq l \leq L-1 \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$S_l^{SPAM} = (S_l^a S_l^b) \quad \text{رابطه (۴)}$$

در روابط بالا، μ میانگین طیف بازتابندگی و S_l^{SPAM} کد مربوط به باند l می‌باشد.

روش SFBC، توسط کیان و همکاران در سال ۱۹۹۶ با هدف تعمیم روش قبل با روابط زیر ارائه شد [۱۶]:

$$MD = \frac{1}{L} \sum |s_i - \mu| \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$S_l^{MD} = \begin{cases} 0 & |s_l - \mu| < MD \\ 1 & |s_l - \mu| \geq MD \end{cases} \quad 1 \leq l \leq L \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$S_l^{MD} = \begin{cases} 0 & |s_l - \mu| < MD \\ 1 & |s_l - \mu| \geq MD \end{cases} \quad 1 \leq l \leq L$$

$$S_l^{SDFC} = (S_l^a S_l^{b-SDFC}) \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

علاوه بر سه روش مذکور، روش‌های دیگری برپایه‌ی مشتق‌گیری از طیف بازتابندگی در مراتب بالاتر نیز استفاده شده است [۱۳].

برای مقایسه کدهای مرجع با کدهای مجهول از دو معیار فاصله همینگ و فاصله میانگین قدر مطلق (AVD)^۱ استفاده می‌شود. فاصله همینگ بیان‌کننده تعداد مکان‌هایی است که بیت‌ها تغییر کرده‌اند و درواقع بیان‌کننده میزان تفاوت‌هاست. فاصله میانگین قدرمطلق نیز با رابطه‌ای مشابه فاصله همینگ محاسبه می‌گردد با این تفاوت که در فاصله همینگ کدها به صورت دودویی هستند ولی در فاصله میانگین قدر مطلق، کدها اعداد حسابی از صفر تا یکی کمتر از

^۱ Absolute Value Distance

بازتابندگی، میزان حضور هر لکه رنگی سبز، زرد، نارنجی، قهوه‌ای تیره و برگ خشک نیز با استفاده از دوربین دیجیتال از نوع Canon DIGITAL IXUS 85 IS از ۶ تا ۴۲ روز پس از تلقیح بیماری استخراج شده است. به منظور جمع‌آوری نمونه‌های کافی، کشت گندم و آلوده‌سازی آن دو مرتبه تکرار شد. مرحله دانه‌بندی گندم به دلیل دارا بودن شرایط برای انتقال بیماری، مناسب‌ترین زمان برای شروع آلوده کردن نمونه‌ها است و این آلوده‌سازی با تماس مستقیم برگ‌های آلوده با نمونه‌ها انجام شده است. لکه‌های رنگی بیماری از ۶ روز پس از تلقیح مشاهده و در ۱۲ روز به سرعت گسترش یافتند. نمونه‌برداری طیفی از زمان آغاز بیماری تا آلودگی کامل برگ‌ها انجام شد. پس از اندازه‌گیری طیفی هر ناحیه از برگ، برای استخراج مراحل بیماری همان ناحیه از برگ علامت‌گذاری و از دوربین دیجیتال طی مراحل زیر استفاده گردید:

- تصویربرداری به صورت قائم
- تبدیل فضای^۱ RGB به فضای^۲ HIS به منظور حذف اثر تغییرات احتمالی شدت نور
- طبقه‌بندی نظارت نشده با استفاده از روش K-means
- استخراج بافت با استفاده از ماتریس GLCM به منظور تعیین دقیق مرز نواحی بیمار
- طبقه‌بندی نظارت شده با روش حداکثر احتمال (برای اطلاعات بیشتر در مورد نحوه جمع‌آوری داده‌ها به مراجع ۲، ۶، ۷ و ۱۲ رجوع شود).



شکل ۱: نمونه برگ گیاه گندم آلوده به بیماری زنگ برگ

[۲۱]

^۱ Red, Green, Blue

^۲ Hue, Saturation, Intensity

مشترک‌های آن در تخمین شدت بیماری زنگ برگ گندم می‌باشد. در ابتدا طیف بازتابندگی لکه سبز استخراج می‌شود. سپس روش مناسب برای کدگذاری انتخاب و کد مرجع لکه سبز که نشان دهنده سلامت گیاه است، تعریف می‌شود. کد طیف بازتابندگی نمونه‌های آموزشی به همان روش تهیه و زاویه شباهت بین آن‌ها و کدهای مرجع محاسبه می‌شود. پس از تشکیل مدل، درجه‌بندی زنگ گندم براساس میزان وجود لکه سبز انجام می‌شود.

ساختار این نوشتار بدین صورت است: در بخش اول مقدمه ای بر کاربرد سنجش از دوری در تشخیص بیماری‌های گیاهی ارائه شد و بر پژوهش‌های انجام گرفته در زمینه زنگ گندم، روش‌های کدگذاری و مزایای مشتق طیف بازتابندگی مروری انجام شد. در بخش دوم داده‌های مورد استفاده، روش‌های کدگذاری مورد استفاده و روند کار توضیح داده می‌شود. در بخش سوم نتایج و در بخش آخر نتیجه‌گیری کلی بیان می‌شود.

۲- داده‌ها و روش‌ها

در این بخش به معرفی داده‌های استفاده شده و روش‌های کدگذاری مورد استفاده پرداخته می‌شود.

۲-۱- داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش نمونه‌های طیف‌سنجی شده توسط مباشری و همکاران (۲۰۱۲) می‌باشد که در پروژه‌های عاشورلو و همکاران (۲، ۶، ۷ و ۱۲) توضیح داده شده‌است. در این کار میدانی، از دو نوع برگ گیاه گندم بولانی و روشن که حساس به بیماری زنگ برگ هستند و به صورت گسترده در ایران کشت می‌شود، استفاده شد و در طول موج‌های ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر با پهنای‌باند ۱ نانومتری در مراحل مختلف بیماری در شرایط کنترل شده با استفاده از دستگاه اسپکترورادایومتر Spectral Device, (Analytical Boulder, CO, USA) طیف‌سنجی گردید. علاوه بر اندازه‌گیری میزان

۲-۲- روش‌های کدگذاری استفاده شده

روش‌هایی که برای کدگذاری طیف بازتابندگی لکه سبز استفاده شد، به شرح زیر است:

- روش اول: کدگذاری با فواصل مساوی (EIC)^۱

در این روش که تعمیم روش بینینگ^۲ استفاده شده توسط کیم است [۲۲]، ابتدا طیف بازتابندگی و مشتقات آن در عدد ۱۰۰ ضرب می‌شوند. در این صورت با در نظر گرفتن قدرمطلق مقدار مشتقات و پس از واحدسازی با استفاده از بزرگترین مقدار قدرمطلق مشتق، اعداد بین ۰ تا ۱۰۰ تولید خواهند شد. سپس این فاصله به ۵ قسمت مساوی تقسیم گردید. برای مقادیر در هر باند رشته کدی به طول ۶ بیت در نظر گرفته شد که بیت اول آن تعیین کننده علامت است (اگر مثبت باشد ۱ و در غیر این صورت مقدار صفر خواهد شد). بدیهی است که برای طیف بازتابندگی که همواره مثبت است، بیت اول در هر باند عدد ۱ خواهد بود. ۵ بیت دیگر هم باتوجه به مقدار بازتابندگی یا مشتق آن در هر دسته‌ای قرار بگیرند، عدد بیت مربوط به آن دسته ۱ و به سایر بیت‌ها صفر اختصاص داده خواهد شد.

به‌عنوان مثال اگر مقدار مشتق اول در باندی برابر ۰/۱۲- باشد آنگاه کد اختصاصی آن به‌صورت جدول (۱) تعریف می‌شود:

- روش دوم: کدگذاری آستانه (TC^۳)

در این روش از آستانه‌گذاری برای مقدار طیف بازتابندگی و مشتقات آن و استفاده از یک تا چند بیت استفاده می‌شود. اگر طیف بازتابندگی با L باند و مشتق آن به ترتیب مطابق روابط زیر باشد:

$$s = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_L\} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$s' = \{s'_1, s'_2, s'_3, \dots, s'_L\}$$

در روش ۱ بیت به هر باند یک بیت-مقدار

نسبت داده می‌شود. بنابراین طول رشته کد برابر با تعداد باندهای موردنظر جهت ورود به الگوریتم شده و به ترتیب مطابق با روابط (۱۲ و ۱۳) بر خود طیف بازتابندگی و مشتق‌های آن اعمال می‌شود. در مرحله بعد برای بهبود دقت روش کدگذاری تعدادبیت‌ها را افزایش داده و الگوریتم تکرار می‌شود. در این صورت رفتار طیف بازتابندگی به‌صورت جزئی‌تر بررسی می‌شود. در روش ۲ بیت (روابط ۱۵ و ۱۶) و ۳ بیت (روابط ۱۸ و ۱۹) طول رشته کد به ترتیب ۲ و ۳ برابر تعداد باندها خواهد بود، یعنی به هر باند دو و سه بیت-مقدار نسبت داده می‌شود. در این رابطه، بازتابندگی عددی بین صفر و یک است. ولی مشتقات طیف بازتابندگی که پس از واحدسازی به روش تقسیم هر عدد بر قدرمطلق بزرگترین مقدار است، بین اعداد ۱- تا ۱ قرار می‌گیرند که بسته به تعداد بیت موردنظر به ۲، ۴ و یا ۸ فاصله تقسیم می‌شوند. کد نهایی هر باند با کنارهم قرار گرفتن بیت-مقدارهای طیف بازتابندگی و مشتق‌های مراتب مختلف حاصل شد (روابط ۱۴، ۱۷ و ۲۰).

- روش ۱ بیت:

$$S_i^{R-1} = \begin{cases} 0 & \text{if } s_i \leq 0.5 \\ 1 & \text{if } s_i > 0.5 \end{cases} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$S_i^{R'-1} = \begin{cases} 0 & \text{if } s'_i \leq 0 \\ 1 & \text{if } s'_i > 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$S_i^{RR'} = (S_i^{R-1} S_i^{R'-1}) \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

- روش ۲ بیت:

$$S_i^{R-2} = \begin{cases} 00 & \text{if } 0 \leq s_i < 0.25 \\ 01 & \text{if } 0.25 \leq s_i < 0.5 \\ 10 & \text{if } 0.5 \leq s_i < 0.75 \\ 11 & \text{if } 0.75 \leq s_i \leq 1 \end{cases} \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

$$S_i^{R'-2} = \begin{cases} 00 & \text{if } -1 \leq s'_i < -0.5 \\ 01 & \text{if } -0.5 \leq s'_i < 0 \\ 10 & \text{if } 0 \leq s'_i < 0.5 \\ 11 & \text{if } 0.5 \leq s'_i \leq 1 \end{cases} \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

$$S_i^{RR'} = (S_i^{R-2} S_i^{R'-2}) \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

^۱ Equal Intervals Coding

^۲ Binnig

^۳ Threshold Coding

۳- اجرای کدگذاری و ارزیابی

هریک از سه روش کدگذاری توضیح داده شده در قسمت قبل، ابتدا با در نظر گرفتن کل طیف بازتابندگی در طول موج‌های ۴۰۰ تا ۱۰۵۰ نانومتر با کدگذاری طیف بازتابندگی و مشتق‌های مراتب مختلف مورد آزمون قرار گرفتند. این محدوده شامل باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک می‌باشد و برای جلوگیری از باندهای جذب آب طول موج‌های بالاتر استفاده نشد. در مرحله بعد به علت وجود برخی نواحی طیفی با رفتار یکسان برای لکه‌های رنگی، با حذف قسمتی از طیف در طول موج‌های مختلف روش تکرار شد که بهترین نتیجه برای باندهای ۵۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر حاصل شد.

- روش ۳بیت:

$$S_l^{R_3} = \begin{cases} 000 & \text{if } 0 \leq s_l < 0.125 \\ 001 & \text{if } 0.125 \leq s_l < 0.25 \\ 010 & \text{if } 0.25 \leq s_l < 0.375 \\ 100 & \text{if } 0.375 \leq s_l < 0.5 \\ 011 & \text{if } 0.5 \leq s_l < 0.625 \\ 101 & \text{if } 0.625 \leq s_l < 0.75 \\ 110 & \text{if } 0.75 \leq s_l < 0.875 \\ 111 & \text{if } 0.875 \leq s_l \leq 1 \end{cases} \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

رابطه (۱۹)

$$S_l^{R_3} = \begin{cases} 000 & \text{if } -1 \leq s'_l < -0.75 \\ 001 & \text{if } -0.75 \leq s'_l < -0.5 \\ 010 & \text{if } -0.5 \leq s'_l < -0.25 \\ 100 & \text{if } -0.25 \leq s'_l < 0 \\ 011 & \text{if } 0 \leq s'_l < 0.25 \\ 101 & \text{if } 0.25 \leq s'_l < 0.5 \\ 110 & \text{if } 0.5 \leq s'_l < 0.75 \\ 111 & \text{if } 0.75 \leq s'_l \leq 1 \end{cases}$$

$$S_l^{RR'} = (S_l^{R-3} S_l^{R'-3}) \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

جدول ۱: نمونه اختصاص کد به مقادیر در محدوده‌های مختلف

محدوده مقادیر	۸۰ ≤ value ≤ ۱۰۰	۶۰ ≤ value < ۸۰	۴۰ ≤ value < ۶۰	۲۰ ≤ value < ۴۰	۰ ≤ value < ۲۰	+ or -
کد باینری	۱	.

لکه سبز است، از کسینوس زاویه شباهت استفاده شد. نتایج یک بار با فاصله همینگ نیز بررسی شد. با این تفاوت که این فاصله میزان تفاوت‌ها را مشخص می‌کند و با توجه به هدف مورد نظر، معیار استفاده شده نتایج بهتری را ارائه نمود.

$$PG = a \times CS + b$$

رابطه (۲۱) برای ارزیابی مدل، درصد حضور لکه سبز با معادله خط بدست آمده تخمین زده شد و با مقدار واقعی استخراج شده مقایسه گردید. برای این کار از سه پارامتر آماری ضریب R^2 ، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)^۱ مطلق و نسبی استفاده شد.

برای انتخاب داده‌های آموزشی از میان ۲۱۳

پس از کدگذاری طیف بازتابندگی لکه‌ی سبز، طیف بازتابندگی نمونه‌های آموزشی نیز به همان روش کدگذاری شد و زاویه شباهت میان آن‌ها محاسبه گردید. سپس نمودار درصد حضور لکه سبز بر حسب کسینوس زاویه شباهت ترسیم و معادله خطی به آن برازش داده شد (رابطه (۲۱)). در این رابطه، a و b پارامترهای خط، PG میزان حضور لکه سبز و CS کسینوس زاویه شباهت می‌باشد. با توجه به این که درصد حضور لکه‌ها مقداری بین ۰ تا ۱ است، برای محور افقی نمودار نیز به جای زاویه شباهت از کسینوس زاویه شباهت استفاده شد. ویژگی باینری بودن بردار کدها، باعث می‌شود که از بسیاری از معیارهای شباهت معمول نتوان استفاده کرد و چون هدف برقراری رابطه میان زاویه شباهت و کسر حضور

¹ Root Mean Square Error

طول موج های مورد استفاده دارد. مقایسه کلی بین آن‌ها نشان می دهد که استفاده از ناحیه فرسرخ نزدیک و حذف باند آبی از ناحیه مرئی در بهبود نتایج موثر است. در این صورت مراتب بالاتر از مرتبه سوم برای مشتق، اطلاعات بیشتری در اختیار قرار نمی دهد. اگرچه در طول موج های ۴۰۰ تا ۱۰۵۰ نانومتر، مراتب بالاتر مشتق با افزایش R^2 همراه بوده است، ولی RMSE نسبی آن نیز افزایش یافته است.

نمونه آموزشی، ابتدا نمونه‌ها برحسب میزان حضور لکه سبز مرتب شد. سپس از هر دو نمونه، یکی برای آزمون و دیگری برای آموزش انتخاب شدند.

۳-۱- اجرای کد EIC

کد EIC با در نظر گرفتن طیف بازتابندگی و مراتب مختلف مشتق برای نمونه‌های آموزشی اجرا شد. همان‌طور که نتایج در جدول (۲) نشان می دهد، استفاده از مشتق طیف بازتابندگی باعث افزایش R^2 شده است. انتخاب مرتبه بهینه مشتق بستگی به

جدول ۲: نتایج اجرای کد EIC

۵۰۰-۸۰۰ نانومتر					۴۰۰-۱۰۵۰ نانومتر					طیف‌های استفاده شده
نسبی RMSE (%)	R ²	b	a	نسبی RMSE (%)	R ²	b	a			
۱۳/۶۸	۰/۰۶	۰/۸۸	-۱/۲۲	۲/۱۲	۲۳/۲۳	۰/۱۱	۰/۷۴	-۲/۲۹	۳/۰۸	بازتابندگی
۱۱/۳	۰/۰۵	۰/۹۱	-۱/۹۶	۲/۹۱	۱۷/۱۶	۰/۰۸	۰/۸۵	-۳/۳۵	۴/۲۹	بازتابندگی و مشتق اول
۱۰/۹	۰/۰۵	۰/۹۲	-۲/۱۵	۳/۳۹	۱۴/۶۷	۰/۰۷	۰/۸۹	-۳/۵۱	۴/۸۶	بازتابندگی و مشتق اول تا دوم
۱۱	۰/۰۵	۰/۹۳	-۲/۲۷	۳/۸۲	۱۳/۷۱	۰/۰۷	۰/۹۱	-۳/۵۸	۵/۱۳	بازتابندگی و مشتق اول تا سوم
۱۱/۳	۰/۰۵	۰/۹۳	-۲/۳۰	۴/۱	۱۴/۹	۰/۰۷	۰/۹۱	-۳/۵	۵/۲۸	بازتابندگی و مشتق اول تا چهارم
۱۱/۹	۰/۰۶	۰/۹۲	-۲/۳۶	۴/۳۸	۱۴/۴۷	۰/۰۷	۰/۹۲	-۳/۳۹	۵/۳۹	بازتابندگی و مشتق اول تا پنجم

برای حالت سوم بهترین نتیجه برای طول موج‌های ۴۰۰-۱۰۵۰ نانومتر تا مشتق سوم و برای طول موج‌های ۵۰۰-۸۰۰ نانومتر تا مشتق مرتبه دوم حاصل شده است. در این روش نیز هم‌چون روش قبل، حذف ناحیه آبی از ابتدای طیف و نواحی با طول موج‌های بیشتر از ۸۰۰ نانومتر در بهبود نتایج موثر است.

در میان این سه حالت، اگرچه استفاده از کد سه بیت، باعث طولانی‌تر شدن رشته کد می شود ولی با در نظر گرفتن رفتار طیف بازتابندگی و مشتق‌های آن به صورت جزئی‌تر، در بارز کردن تفاوت‌ها موفق‌تر از دو حالت اول عمل کرده است.

۳-۲- اجرای کد TC

این کد در سه حالت ۱ بیت، ۲ بیت و ۳ بیت اجرا شد. همان‌طور که نتایج جدول‌های (۳، ۴ و ۵) نشان می دهد، استفاده تنها از طیف بازتابندگی در هر سه حالت، از دقت بالایی برخوردار نیست. در صورتی که اضافه کردن طیف مشتق تا حدزیادی R^2 را افزایش و RMSE نسبی را کاهش داده است. در حالت ۱ بیت، بالاترین R^2 مربوط به استفاده از کد طیف بازتابندگی و کد مشتق تا مرتبه دوم برای طول موج‌های ۴۰۰-۱۰۵۰ نانومتر و تا مرتبه سوم برای طول موج‌های ۵۰۰-۸۰۰ نانومتر می باشد. برای حالت ۲ بیت در هر دو بازه‌های طول موج‌های استفاده شده، استفاده از طیف بازتابندگی و مشتق تا مرتبه سوم عملکرد بهتری داشته‌اند و

جدول ۳: نتایج اجرای کد TC-1 Bit

۵۰۰-۸۰۰ نانومتر					۴۰۰-۱۰۵۰ نانومتر					طیف‌های استفاده شده
نسبی (%)	RMSE	R ²	b	a	نسبی (%)	RMSE	R ²	b	a	
۲۷/۶	۰/۱۳	۰/۷۶	-۱۲/۰۴	۱۲/۹۱	۲۷/۷	۰/۱۳	۰/۷۶	-۴۵/۹۴	۴۶/۸	بازتابندگی
۲۶/۷	۰/۱۳	۰/۶۸	-۶/۵۵	۷/۳۳	۱۵/۸	۰/۰۸	۰/۸۸	-۹/۰	۱۰/۳۹	بازتابندگی و مشتق اول
۱۳	۰/۰۶	۰/۹۳	-۳/۸۴	۵/۰۸	۱۱/۶	۰/۰۶	۰/۹۴	-۳/۵۸	۴/۹۶	بازتابندگی و مشتق اول تا دوم
۱۱/۳	۰/۰۶	۰/۹۴	-۲/۷۲	۴/۰۶	۱۳/۱۵	۰/۰۶	۰/۹۲	-۲/۳۳	۳/۶۹	بازتابندگی و مشتق اول تا سوم

جدول ۴: نتایج اجرای کد TC-2 Bit

۵۰۰-۸۰۰ نانومتر					۴۰۰-۱۰۵۰ نانومتر					طیف‌های استفاده شده
نسبی (%)	RMSE	R ²	b	a	نسبی (%)	RMSE	R ²	b	a	
۱۸/۰۵	۰/۰۹	۰/۸۴	-۰/۷۷	۱/۶۱	۲۵/۵	۰/۱۲	۰/۷۵	-۳/۱۵	۳/۹۲	بازتابندگی
۱۷/۸	۰/۰۹	۰/۸۶	-۱/۴۸	۲/۲۹	۱۹/۳	۰/۰۹	۰/۸۵	-۲/۸۳	۳/۸۵	بازتابندگی و مشتق اول
۱۳/۸	۰/۰۷	۰/۹۱	-۱/۵۲	۲/۵۶	۱۲/۹	۰/۰۶	۰/۹۲	-۲/۰۷	۳/۲۸	بازتابندگی و مشتق اول تا دوم
۱۱/۲	۰/۰۶	۰/۹۳	-۱/۴۳	۲/۵۹	۱۱/۵	۰/۰۶	۰/۹۳	-۱/۶۲	۲/۸۹	بازتابندگی و مشتق اول تا سوم

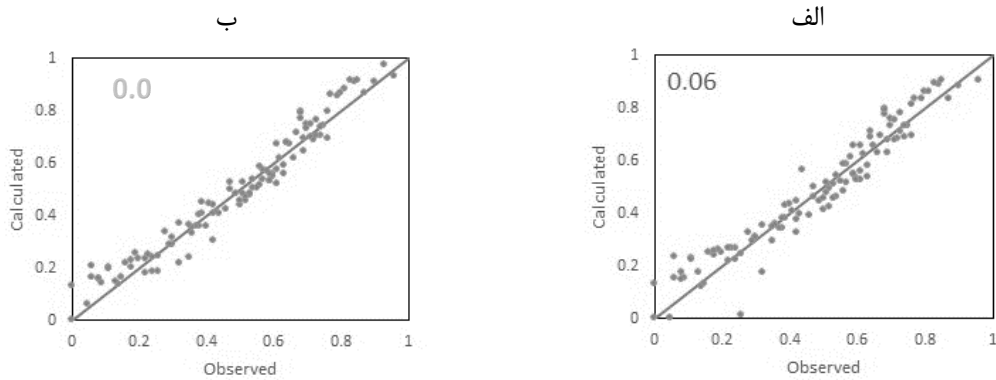
جدول ۵: نتایج اجرای کد TC-3 Bit

۵۰۰-۸۰۰ نانومتر					۴۰۰-۱۰۵۰ نانومتر					طیف‌های استفاده شده
نسبی (%)	RMSE	R ²	b	a	نسبی (%)	RMSE	R ²	b	a	
۱۲/۷	۰/۰۶	۰/۹۳	-۰/۴۸	۱/۴۸	۱۸/۵	۰/۰۹	۰/۸۰	-۱/۲۷	۲/۱	بازتابندگی
۱۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۹۴	-۱/۲۹	۲/۲۸	۱۴/۳	۰/۰۷	۰/۸۷	-۱/۷۶	۲/۷۶	بازتابندگی و مشتق اول
۱۰/۵	۰/۰۵	۰/۹۵	-۱/۵۲	۲/۸۳	۱۲/۵	۶/۰۶	۰/۹۰	-۱/۸	۳/۱۳	بازتابندگی و مشتق اول تا دوم
۱۱/۴	۰/۰۶	۰/۹۴	-۱/۵۶	۳/۰۲	۱۲/۲	۰/۰۶	۰/۹۱	-۱/۷۴	۳/۲۵	بازتابندگی و مشتق اول تا سوم

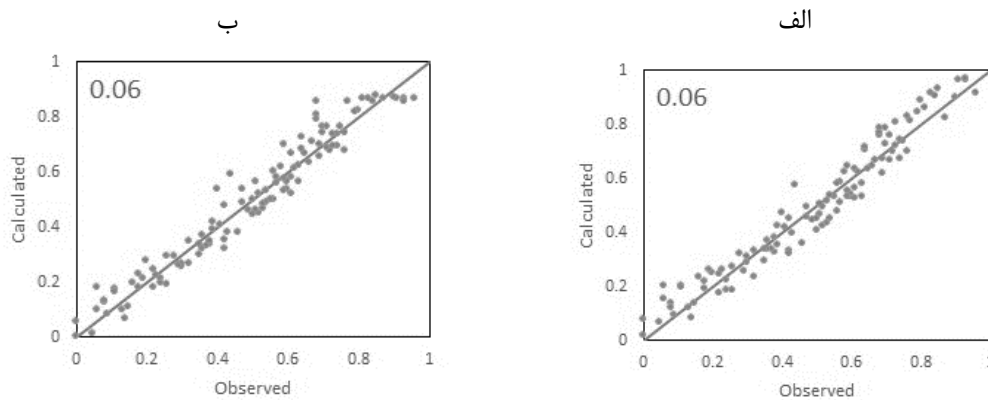
۳-۳- تجزیه و تحلیل نتایج

در شکل‌های (۲)، (۳)، (۴) و (۵) (الف و ب)) پراکندگی داده‌های آزمون را نسبت به خط ۴۵ درجه برای بهترین نتایج هر روش در طول موج‌های به ترتیب ۴۰۰-۵۰۰ و ۱۰۵۰-۸۰۰ نانومتر نشان می‌دهد. محور افقی و

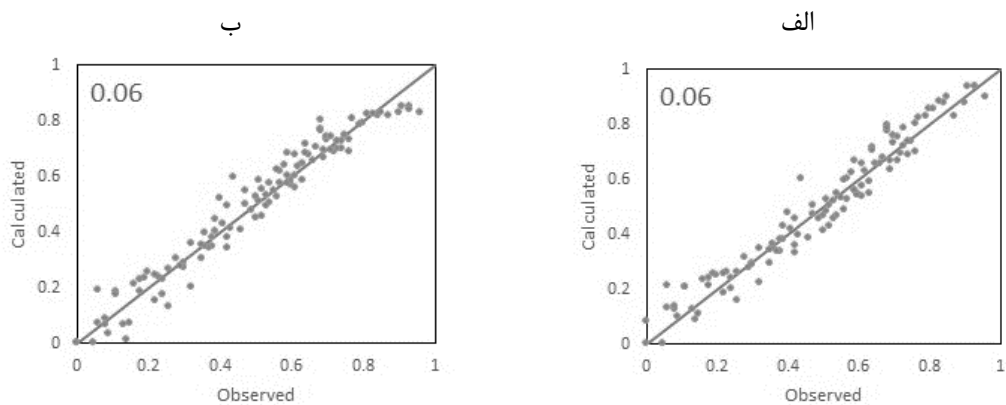
عمودی نیز به ترتیب میزان حضور لکه سبز مشاهده شده و محاسبه شده با رابطه (۲۱) را نشان می‌دهد. اعداد نوشته شده روی نمودارها، مقادیر RMSE مطلق می‌باشند.



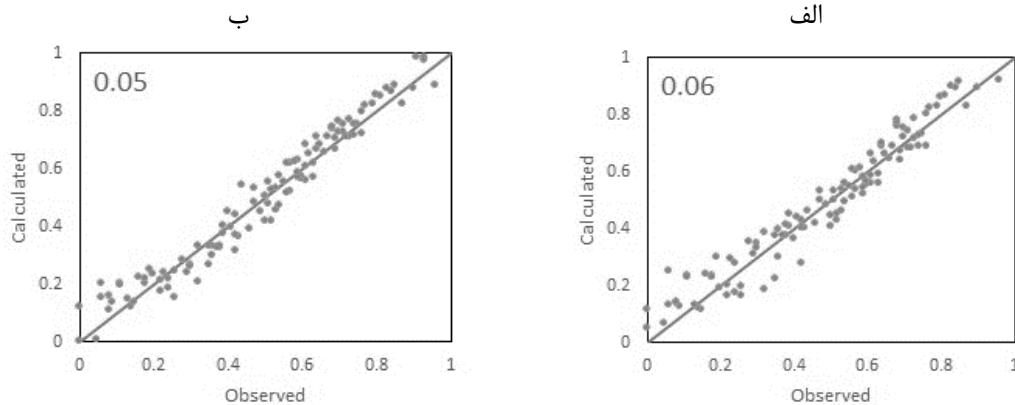
شکل ۲: نمودار میزان حضور لکه سبز محاسبه شده بر حسب میزان مشاهده شده با استفاده از روش EIC (الف: ۴۰۰- ۱۰۵۰ نانومتر و ب: ۵۰۰- ۸۰۰ نانومتر)



شکل ۳: نمودار میزان حضور لکه سبز محاسبه شده بر حسب میزان مشاهده شده با استفاده از روش TC-1 Bit (الف: ۴۰۰- ۱۰۵۰ نانومتر و ب: ۵۰۰- ۸۰۰ نانومتر)



شکل ۴: نمودار میزان حضور لکه سبز محاسبه شده بر حسب میزان مشاهده شده با استفاده از روش TC-2 Bit (الف: ۴۰۰- ۱۰۵۰ نانومتر و ب: ۵۰۰- ۸۰۰ نانومتر)



شکل ۵: نمودار میزان حضور لکه سبز محاسبه شده بر حسب میزان مشاهده شده با استفاده از روش TC-3 Bit (الف: ۴۰۰-۱۰۵۰ نانومتر و ب: ۵۰۰-۸۰۰ نانومتر)

$$(27^\circ < \text{SAM} \leq 57^\circ)$$

$$\text{RD} = 100 - \text{PG}$$

رابطه (۲۲)

۴- نتیجه گیری

پژوهش‌های زیادی در زمینه بیماری زنگ گندم با هدف شناسایی، نظارت و تخمین شدت آن و نیز تفکیک انواع آن با استفاده از داده‌های سنجش از دور زمینی و فضایی انجام شده است. در این پژوهش‌ها از شاخص‌های طیفی مختلف و یا آزمون‌های آماری چندمتغیره برای برگ‌های سالم و آلوده به انواع زنگ در دوره کمون و یا بیماری استفاده شده است. در این میان روش‌های آماری مانند روش شبکه عصبی و رگرسیون حداقل مربعات با در نظر گرفتن کل طیف، دقت‌های بالاتری در شناسایی بیماری از خود نشان داده‌اند.

همان‌طور که در نتایج نیز مشاهده گردید، طول موج‌های ۵۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر نتایج بهتری نسبت به استفاده از کل طیف بازتابندگی دارند. مقایسه بهترین حالت‌های دو روش TC و EIC نشان می‌دهد که روش TC عملکرد بهتری نسبت به روش EIC داشته که علت آن عملکرد سخت‌گیرانه روش EIC در نسبت دادن عدد ۱ به هر بیت می‌باشد. در روش TC نیز استفاده از روش ۳ بیت که جزئیات بیشتری را از طیف استخراج می‌کند، بالاترین R^2 و کمترین RMSE را برای داده‌های آزمون به همراه دارد. استفاده از مشتق تا مرتبه دوم باعث بهبود نتایج در این روش می‌شود که تعیین مرتبه بهینه بستگی به روش و باندهای انتخابی دارد. بنابراین روش سوم با سه بیت در طول موج ۵۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر به‌عنوان بهترین نتیجه انتخاب شد و معادله خط درصد حضور لکه سبز بر حسب کسینوس زاویه شباهت (رابطه (۲۲)) استخراج و درصد آلودگی برگ به بیماری زنگ (RD) با رابطه (۲۳) محاسبه گردید. در نهایت درجه زنگ‌زدگی برگ در ۴ سطح تعیین شد که دقت کلی و ضریب کاپا آن به ترتیب ۸۵/۹۶ درصد و ۰/۸۱ حاصل شد.

رابطه (۲۲)

$$\text{PG} = (2.8328 \times \text{CS}) - 1.5199 \times 100$$

¹ Rust Degree

جدول ۶: ماتریس ابهام درجه بندی زنگ گندم در ۴ سطح

		مقدار محاسبه شده				مجموع
		$0 < CRF^{**} \leq 25$	$25 < CRF \leq 50$	$50 < CRF \leq 75$	$75 < CRF \leq 100$	
مقدار مشاهده شده	$0 < ORF^* \leq 25$	۱۵	۱	۰	۰	۱۶
	$25 < ORF \leq 50$	۴	۳۸	۵	۰	۴۷
	$50 < ORF \leq 75$	۰	۲	۲۳	۳	۲۸
	$75 < ORF \leq 100$	۰	۰	۱	۲۲	۲۳
مجموع		۱۹	۴۱	۲۹	۲۵	۱۱۴

CRF* = Calculated Rust Fraction

ORF** = Observed Rust Fraction

استفاده شده در این پژوهش برای ناحیه طول موج‌های ۴۰۰-۱۰۵۰ نانومتر و ۵۰۰-۸۰۰ نانومتر با در نظر گرفتن طیف بازتابندگی و طیف مشتق‌های آن با مراتب مختلف انجام شد. نتایج جدول‌های (۲، ۳، ۴ و ۵) نشان می‌دهند که در تمامی روش‌ها، استفاده از طیف‌های مشتق در کنار طیف بازتابندگی باعث بهبود نتایج شده است. تعیین مرتبه بهینه برای مشتق به روش و باندهای مورد استفاده بستگی دارد. بهترین نتیجه برای روش سه بیت کدگذاری آستانه در طول موج‌های ۵۰۰-۸۰۰ نانومتر، با مقدار R^2 ، ۰/۹۵ و RMSE برابر ۰/۰۵ حاصل شد و دقت کلی درجه بندی زنگ گندم با این روش در ۴ سطح که با روابط (۲۲) و (۲۳) محاسبه شد، برابر ۸۵/۹۶ به دست آمد.

این پژوهش با هدف تخمین شدت زنگ زدگی گندم در سطح برگ انجام شد. این روش می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای استخراج اطلاعات از بازتابندگی اندازه‌گیری شده توسط تصاویر سنجنش از دوری استفاده شود [۲۳]. اگر چه کار کردن در مقیاس برگ ضعف بالقوه نادیده گرفتن تاثیر ویژگی‌های ساختاری اکوسیستم و بوته را دارد، با این حال طیف بازتابندگی برگ یک جز اساسی برای ساخت مدل‌های محیطی پیچیده‌تر و بزرگتر است [۲۴]. با توجه به شباهت‌های ظاهری طیف‌های بازتابندگی و به منظور استفاده از اطلاعات شکل و رفتار طیف بازتابندگی در تمامی باندها با صرف زمان کمتر و نیز به دلیل مزایای طیف مشتق و عدم وابستگی آن به اندازه داده‌ها، از روش کدگذاری طیف بازتابندگی و مشتق‌های آن استفاده شد. روش‌های

مراجع

- [1] S. Sankaran, A. Mishra, R. Ehsani, and C. Davis, "A review of advanced techniques for detecting plant diseases," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 72, pp. 1-13, 2010.
- [2] D. Ashourloo, "Developing an algorithm to estimate and detect wheat rust by field spectrometry", Ph.D Thesis, Geomatics Engineering Faculty, K.N.Toosi University of Technology, 2014.
- [3] H. H. Muhammed, "Hyperspectral crop reflectance data for characterising and estimating fungal disease severity in wheat," *Biosystems Engineering*, vol. 91, pp. 9-20, 2005.
- [4] J. S. West, C. Bravo, R. Oberti, D. Lemaire, D. Moshou, and H. A. McCartney, "The potential of optical canopy measurement for targeted control of field crop diseases," *Annual review of Phytopathology*, vol. 41, pp. 593-614, 2003.
- [5] M. D. Bolton, J. A. Kolmer, and D. F.

- Garvin, "Wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina*," *Molecular plant pathology*, vol. 9, pp. 563-575, 2008.
- [6] D. Ashourloo, M. R. Mobasheri, and A. Huete, "Evaluating the effect of different wheat rust disease symptoms on vegetation indices using hyperspectral measurements," *Remote Sensing*, vol. 6, pp. 5107-5123, 2014.
- [7] D. Ashourloo, M. R. Mobasheri, and A. Huete, "Developing two spectral disease indices for detection of wheat leaf rust (*Puccinia triticina*)," *Remote Sensing*, vol. 6, pp. 4723-4740, 2014.
- [8] J. Franke, G. Menz, E.-C. Oerke, and U. Rascher, "Comparison of multi-and hyperspectral imaging data of leaf rust infected wheat plants," in *Remote Sensing*, 2005, pp. 59761D-59761D-11.
- [9] T. Mewes, B. Waske, J. Franke, and G. Menz, "Derivation of stress severities in wheat from hyperspectral data using support vector regression," in *2010 2nd Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing*, 2010, pp. 1-4.
- [10] R. Devadas, D. Lamb, S. Simpfendorfer, and D. Backhouse, "Evaluating ten spectral vegetation indices for identifying rust infection in individual wheat leaves," *Precision Agriculture*, vol. 10, pp. 459-470, 2009.
- [11] H. Wang, F. Qin, Q. Liu, L. Ruan, R. Wang, Z. Ma, et al., "Identification and disease index inversion of wheat stripe rust and wheat leaf rust based on hyperspectral data at canopy level," *Journal of Spectroscopy*, vol. 2015, 2015.
- [12] D. Ashourloo, H. Aghighi, A. A. Matkan, M. R. Mobasheri, and A. M. Rad, "An Investigation Into Machine Learning Regression Techniques for the Leaf Rust Disease Detection Using Hyperspectral Measurement," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 9, pp. 4344-4351, 2016.
- [13] S. Naseri.Nasab, "Pixel-Based abundance estimation of minerals using the absolute minimum and maximum of reflectance curve", MSc Thesis, Geomatics Engineering Faculty, K.N.Toosi University of Technology, 2015.
- [14] M. Ojaghloo, M. R. Mobasheri and Y. Rezaei, "Classification of hyperspectral images, Using derivative in the spectral space and coding methods," *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, vol. 5, no. 1, pp. 13-28, 2013.
- [15] A. S. Mazer, M. Martin, M. Lee, and J. E. Solomon, "Image processing software for imaging spectrometry data analysis," *Remote Sensing of Environment*, vol. 24, pp. 201-210, 1988.
- [16] S. e. Qian, A. B. Hollinger, D. Williams, and D. Manak, "Fast three - dimensional data compression of hyperspectral imagery using vector quantization with spectral - feature - based binary coding," *Optical Engineering*, vol. 35, pp. 3242-3249, 1996.
- [17] C.-I. Chang, S. Chakravarty, H.-M. Chen, and Y.-C. Ouyang, "Spectral derivative feature coding for hyperspectral signature analysis," *Pattern recognition*, vol. 42, pp. 395-408, 2009.
- [18] F. Tsai and W. D. Philpot, "A derivative-aided hyperspectral image analysis system for land-cover classification," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 40, pp. 416-425, 2002.
- [19] T. H. Demetriades-Shah, M. D. Steven, and J. A. Clark, "High resolution derivative spectra in remote sensing," *Remote Sensing of Environment*, vol. 33, pp. 55-64, 1990.
- [20] W. D. Philpot, "The derivative ratio algorithm: avoiding atmospheric effects in remote sensing," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 29, pp. 350-357, 1991.
- [21] A. Martinez, A. Sawyer, J. Youmans and J. Buck, "Identification and Control of Leaf Rust of Wheat in Georgia," UGA Extension publications, Athens, Georgia, 2014.

- [22] R. S. Kim, "Spectral Matching using Bitmap Indices of Spectral Derivatives for the Analysis of Hyperspectral Imagery", MSc Thesis, The Ohio State University, 2011.
- [23] K. L. Castro-Esau, G. A. Sánchez-Azofeifa, B. Rivard, S. J. Wright, and M. Quesada, "Variability in leaf optical properties of Mesoamerican trees and the potential for species classification," *American Journal of Botany*, vol. 93, pp. 517-530, 2006.
- [24] A. Burkholder, T. A. Warner, M. Culp, and R. Landenberger, "Seasonal trends in separability of leaf reflectance spectra for *Ailanthus altissima* and four other tree species," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 77, pp. 793-804, 2011.



Wheat Leaf Rust Disease Severity Estimation Using Reflectance Spectrum Coding Methods

Mohamad Reza Mobasheri ^{*1}, Pegah Darouei², Davood Ashourloo³

- 1- Professor of Remote Sensing Laboratory, Khavaran Institute of Higher Education;
- 2- MS.c student of remote sensing, Faculty of Geomatics, K. N. Toosi University of Technology;
- 3- Assistant Professor, Remote Sensing Center, Shahid Beheshti University

Abstract

Using spectroradiometry and remote sensing techniques is an effective and rapid method in diagnosing vegetation diseases which enforced mostly by using spectral vegetation indices and statistical methods. The present study aimed to deploy encoding technique for the reflectance spectrum of the wheat leaves to assess the severity of the Rust disease. This is unlike to the spectral vegetation indices in which the shape of the spectrum, in all bands, independent from time and place is examined. A comprehensive laboratory spectroradiometry were used in the present study in which different stages of the development of the wheat rust stage were considered. The encoding methods were applied to the reflectance spectrum and its derivatives by the Equal Intervals Coding (EIC) and 1bit, 2bit and 3bit information and Threshold Coding (TC) methods for the 500-800 and 400-1050nm wavelength ranges. In this respect, the healthy green leaf code used as a reference. Then the similarity between any other leaf codes and the green leaf code were used to find the degree of the severity of the disease. Beside the reflectance spectrum, the progress of the disease on the leaf under observation were determined using a digital camera. The best result found to be for 3bit- TC in the 500-800 nm wavelength region with R2 and RMSE of the order of 0.95 and 0.05, respectively. Finally, the portion of the rust affected leaf was determined in four levels based on the green spot absence in which, the overall accuracy and Kappa coefficient were 85.96% and 0.81%, respectively

Key words: Reflectance, Encoding, Similarity Angle, Wheat Rust, Derivation.