نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال ششم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۷

Vol.6, No.4, Winter 2019

۱۷-۳۰

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

**محمدرضا مباشری[۱*]، پگاه دارویی[۲]، داوود عاشورلو[۳]**

۱- استاد مهندسی سنجش ازدور، آزمایشگاه سنجش‌ازدور، موسسه آموزش عالی خاوران

۲- دانشجوی کارشناسی‌ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- استادیار مرکز سنجش‌ازدور دانشگاه شهید بهشتی

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

## چکیده

استفاده از روش‌های سنجش‌ازدوری و طیف‌سنجی در تشخیص بیماری‌های گیاهی از روش‌های موثر و سریع می‌باشد که غالبا 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 در 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 نمونه¬های 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 R2 و RMSE به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۰۵ حاصل شد. در نهایت درجه زنگ‌زدگی برگ برحسب عدم حضور لکه سبز در ۴سطح 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 گندم، مشتق

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

تلفن: ۰۹۱۲۱۲۲۶۶۳۰

Email : mohammadreza.mobasheri@khi.ac.ir

[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-06 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.6.4.17 ]

## 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 مادون‌قرمز 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 سازگاریافته‌ی تنظیم اختلاط (MTMF[1]) استفاده کردند. در این رابطه نیاز به یک تصویر تبدیل شده کسر کمترین نویز (MNF[2]) 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[3]) 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



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-06 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.6.4.17 ]

انواع زنگ گندم وجود ندارد ولی می‌توان دو نوع زنگ زرد و قهوه‌ای را با ترکیبی از دو شاخص بازتابندگی آنتوسیانین (ARI[1]) و شاخص تبدیل جذب کلروفیل به بازتابندگی (TCARI[2]) 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[3]) برای شناسایی بیماری و شش مدل رگرسیون بردار پشتیبان برای تعریف شاخص بیماری و ساخت مدل ترکیبی از SVM و نزدیک‌ترین همسایه (KNN[4]) 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 شاخص های 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 شاخص ها، استفاده از اطلاعات تعداد کمی از باندهای طیفی در تشخیص بیماری است که بسته به شرایط محیطی قابل تغییر است. این در 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 نشانه-های 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[5]، روش SFBC[6] و روش SDFC[7] اشاره کرد. روش SPAM را میزر و همکاران در سال ۱۹۸۸ با ترکیب روش آستانه‌گذاری با مقدار میانگین مقادیر

[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



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-06 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.6.4.17 ]

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

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

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

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

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

در روابط بالا، $\mu$ 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]:

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

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

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

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

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[1]) 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 کد نهایی با ترکیب روابط (۲ و ۳) با رابطه (۶) به‌صورت رابطه (۷) حاصل می‌شود.

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

در این روابط، $\mu$ 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].

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

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 تقریبا 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 بارتابندگی 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

[1] Absolute Value Distance



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-06 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.6.4.17 ]

مشتق‌های 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 روندکار 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 کد گذاری 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 به‌صورت گسترده در ایران کشت می‌شود، استفاده شد و در طول‌موج‌های ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر با پهنای‌باند ۱ نانومتری در مراحل مختلف بیماری در شرایط کنترل شده با استفاده از دستگاه اسپکترورادیومتر Spectral Device, (Analytical Boulder, CO, USA) طیف‌سنجی گردید. علاوه بر اندازه‌گیری میزان بازتابندگی، میزان حضور هرلکه 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. به‌منظور جمع‌آوری نمونه‌های کافی، کشت گندم و آلوده‌سازی آن دو مرتبه تکرار شد. مرحله دانه‌بندی گندم به‌دلیل 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 ۱۲روز به سرعت گسترش یافتند. نمونه‌بردرای 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 به‌صورت قائم
- تبدیل فضای RGB[1] به فضای HIS[2] به منظور حذف اثر تغییرات احتمالی شدت نور
- طبقه‌بندی نظارت نشده با استفاده از روش K-means
- استخراج بافت با استفاده از ماتریس GLCM به‌منظور تعیین دقیق مرز نواحی بیمار
- طبقه‌بندی نظارت‌شده 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]**

[1] Red, Green, Blue
[2] Hue, Saturation, Intensity



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-06 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.6.4.17 ]

### 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[1])

در این روش که تعمیم روش بینینگ[2] استفاده شده توسط کیم است [۲۲]، ابتدا طیف بازتابندگی و مشتقات آن در عدد ۱۰۰ ضرب می‌شوند. در این‌صورت با درنظرگرفتن قدرمطلق مقدار مشتقات و پس از واحدسازی با استفاده از بزرگترین مقدار قدر مطلق مشتق، اعداد بین ۰ تا ۱۰۰ تولید خواهند شد. سپس این فاصله به ۵ قسمت مساوی تقسیم گردید. برای مقادیر در هربانـد رشته کدی به طول ۶ بیت درنظر گرفته شد که بیت اول آن تعیین کننده علامت است (اگر مثبت باشد ۱ و درغیر این صورت مقدار صفر خواهدشد.). بدیهی است که برای طیف بازتابندگی که همواره مثبت است، بیت اول در هر باند عدد ۱ خواهدبود. 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 خواهدشد.

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[3])

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:

رابطه (۱۱) $s = \{s_1, s_2, s_3, ..., s_L\}$

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

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 به‌ترتیب 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 ۲بیت (روابط ۱۵ و ۱۶) و ۳بیت (روابط ۱۸ و ۱۹) طول رشته کد به ترتیب ۲ و ۳ برابر تعداد باندها خواهدبود، 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 هرباند با کنارهم قرارگرفتن بیت- مقدارهای طیف بازتابندگی و مشتق‌های مراتب مختلف حاصل شد (روابط (۱۴، ۱۷ و۲۰)).

- روش ۱بیت:

رابطه (۱۲)
$$S_l^{R_1} = \begin{cases} 0 & if\ \ s_l \le 0.5 \\ 1 & if\ \ s_l > 0.5 \end{cases}$$

رابطه (۱۳)
$$S_l^{R'_1} = \begin{cases} 0 & if\ \ s'_l \le 0 \\ 1 & if\ \ s'_l > 0 \end{cases}$$

رابطه (۱۴)
$$S_l^{RR'} = (S_l^{R_1}\ S_l^{R'_1})$$

- روش ۲بیت:

رابطه (۱۵)
$$S_l^{R_2} = \begin{cases} 00 & if \quad 0 \le s_l < 0.25 \\ 01 & if \quad 0.25 \le s_l < 0.5 \\ 10 & if \quad 0.5 \le s_l < 0.75 \\ 11 & if \quad 0.75 \le s_l \le 1 \end{cases}$$

رابطه (۱۶)
$$S_l^{R_2} = \begin{cases} 00 & if \quad -1 \le s'_l < -0.5 \\ 01 & if \quad -0.5 \le s'_l < 0 \\ 10 & if \quad 0 \le s'_l < 0.5 \\ 11 & if \quad 0.5 \le s'_l \le 1 \end{cases}$$

رابطه (۱۷)
$$S_l^{RR'} = (S_l^{R_2}\ S_l^{R'_2})$$

[1] Equal Intervals Coding
[2] Binnig
[3] Threshold Coding



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-06 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.6.4.17 ]

- روش ۳بیت:

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

رابطه (۱۹)
$$S_l^{R_3} = \begin{cases} 000 & if \quad -1 \le s_l' < -0.75 \\ 001 & if \quad -0.75 \le s_l' < -0.5 \\ 010 & if \quad -0.5 \le s_l' < -0.25 \\ 100 & if \quad -0.25 \le s_l' < 0 \\ 011 & if \quad 0 \le s_l' < 0.25 \\ 101 & if \quad 0.25 \le s_l' < 0.5 \\ 110 & if \quad 0.5 \le s_l' < 0.75 \\ 111 & if \quad 0.75 \le s_l' \le 1 \end{cases}$$

رابطه (۲۰)
$$S_l^{RR\prime} = (S_l^{R_3}\, S_l^{R'_3})$$

## 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 طول‌موج‌های 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 طول‌موج‌های بالاتر استفاده نشد. در مرحله بعد به علت وجود برخی نواحی طیفی با رفتار یکسان برای لکه‌های رنگی، با حذف قسمتی از طیف در طول‌موج‌های مختلف روش تکرار شد که بهترین نتیجه برای باندهای ۵۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر حاصل شد.

**جدول۱: نمونه اختصاص کد به مقادیر در محدوده‌های مختلف**

| محدوده مقادیر | 80≤value≤100 | 60≤value<80 | 40≤value<60 | 20≤value<40 | 0≤value<20 | + or - |
|---|---|---|---|---|---|---|
| کد باینری | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ |

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 حضورلکه سبز برحسب کسینوس زاویه شباهت ترسیم و معادله خطی به آن برازش داده‌شد (رابطه (۲۱)). در این رابطه، a و b پارامترهای خط، PG میزان حضور لکه سبز و CS کسینوس زاویه شباهت می‌باشد. با توجه به این‌که درصد حضور لکه‌ها مقداری بین ۰ تا ۱ است، برای محور افقی نمودار نیز به‌جای 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 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 می‌کرد و با توجه به هدف موردنظر، معیار استفاده شده نتاج بهتری را ارائه نمود.

رابطه (۲۱) $PG = a \times CS + b$

برای ارزیابی مدل، درصد حضور لکه سبز با معادله خط بدست آمده تخمین زده شد و با مقدار واقعی استخراج شده مقایسه گردید. برای این‌کار از سه پارامتر آماری ضریب $R^2$، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE[1]) مطلق و نسبی استفاده شد.

برای انتخاب داده‌های آموزشی از میان ۲۱۳

[1] Root Mean Square Error



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-06 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.6.4.17 ]

نمونه آموزشی، ابتدا نمونه‌ها برحسب میزان حضورلکه 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 می‌دهد، استفاده از مشتق طیف بازتابندگی باعث افزایش $R^2$ شده‌است. انتخاب مرتبه بهینه مشتق بستگی به طول موج های مورد استفاده دارد. مقایسه کلی بین آن‌ها نشان می دهد که استفاده از ناحیه فروسرخ 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 نمی‌دهد. اگرچه در طول موج‌های ۴۰۰ تا ۱۰۵۰ نانومتر، مراتب بالاتر مشتق با افزایش $R^2$ همراه بوده است، ولی RMSE نسبی آن نیزافزایش یافته‌است.

**جدول ۲: نتایج اجرای کد EIC**

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

### ۳-۲- اجرای کد TC

این کد در سه حالت ۱بیت، ۲ بیت و ۳بیت اجرا شد. همان‌طور که نتایج جدول‌های (۳، ۴ و ۵) نشان می‌دهد، 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 ۱بیت، بالاترین $R^2$ مربوط به استفاده از کد طیف بازتابندگی و کد مشتق تا مرتبه دوم برای طول‌موج‌های ۱۰۵۰-۴۰۰ نانومتر و تا مرتبه سوم برای طول‌موج‌های ۸۰۰-۵۰۰ نانومتر می‌باشد. برای حالت ۲بیت در هر دو بازه‌های طول‌موج‌های استفاده شده، استفاده از طیف بازتابندگی و مشتق تا مرتبه سوم عملکرد بهتری داشته‌اند و برای حالت سوم بهترین نتیجه برای طول موج‌های ۱۰۵۰-۴۰۰ نانومتر تا مشتق سوم و برای طول موج‌های ۸۰۰-۵۰۰ 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 سه‌حالت، اگرچه استفاده از کد سه بیت، باعث طولانی‌تر شدن رشته کد می‌شود ولی با درنظرگرفتن رفتار طیف بازتابندگی و مشتق‌های آن به صورت جزئی‌تر، در بارز کردن تفاوت‌ها موفق‌تر از دو حالت اول عمل کرده است.



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-06 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.6.4.17 ]

**جدول ۳: نتایج اجرای کد TC-1 Bit**

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

**جدول ۴: نتایج اجرای کد TC-2 Bit**

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

**جدول ۵: نتایج اجرای کد TC-3 Bit**

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

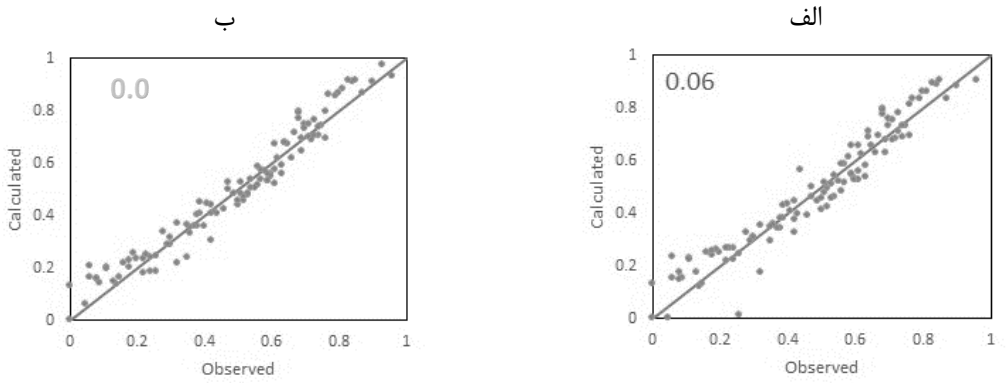
### ۳-۳- تجزیه و تحلیل نتایج

در شکل‌های (۲، ۳، ۴ و ۵ (الف و ب)) پراکندگی داده‌های آزمون را نسبت به خط ۴۵درجه برای بهترین نتایج هر روش در طول‌موج‌های به‌ترتیب ۴۰۰-۱۰۵۰ و ۵۰۰-۸۰۰ 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.

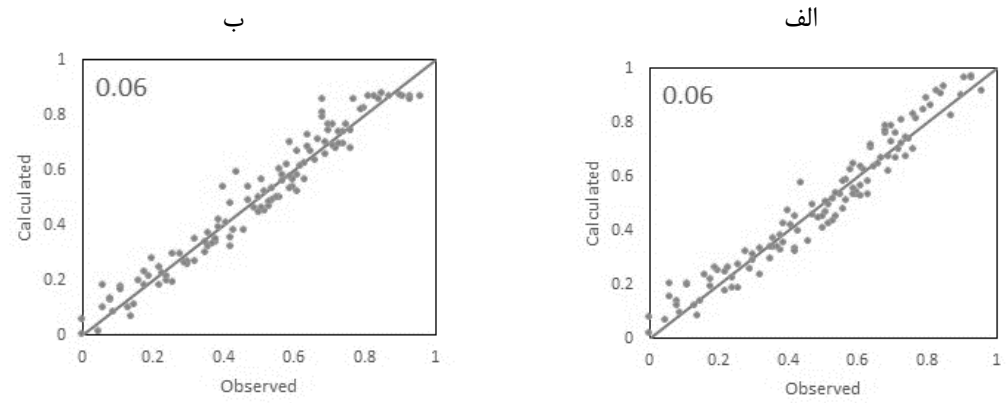


[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-06 ]

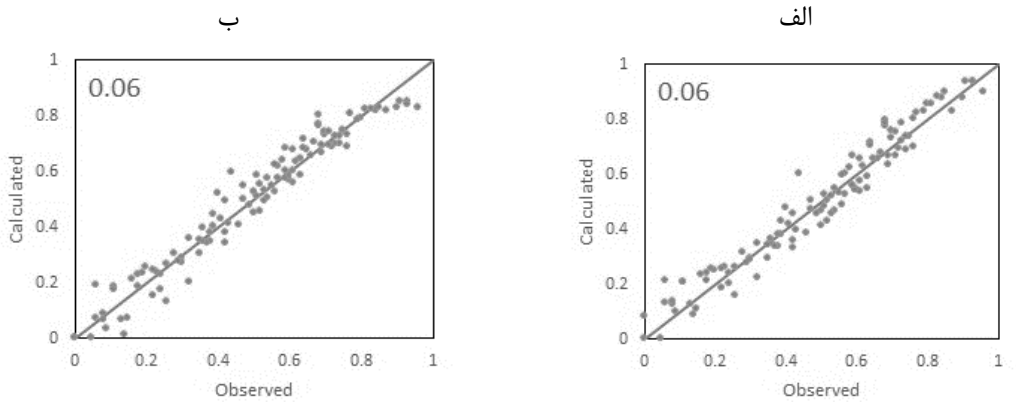
[ DOI: 10.29252/jgit.6.4.17 ]




**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)**



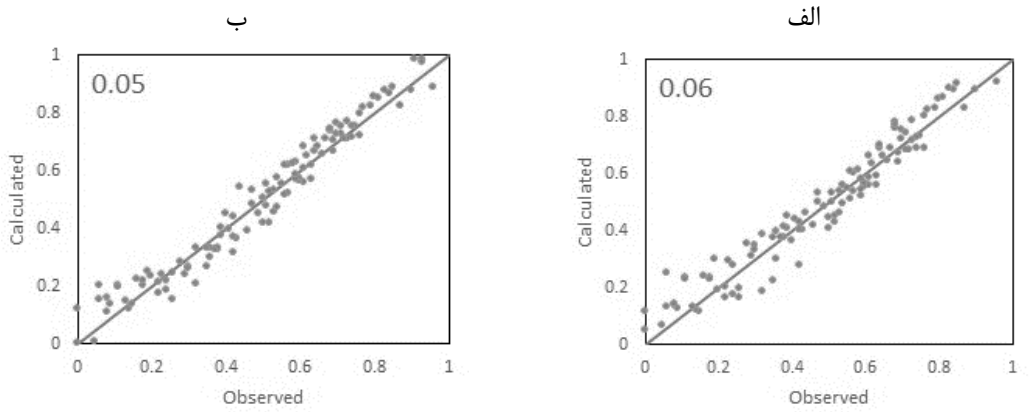

**شکل ۳: نمودار میزان حضور لکه سبز محاسبه شده بر حسب میزان مشاهده شده با استفاده از روش TC-1 Bit**
**(الف:۴۰۰ -۱۰۵۰ نانومتر و ب: ۵۰۰-۸۰۰ نانومتر)**




**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)**

[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-06 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.6.4.17 ]




**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)**

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 روشEIC در نسبت دادن عدد ۱ به هر بیت می‌باشد. در روش TC نیز استفاده از روش ۳بیت که جزئیات بیشتری را از طیف استخراج می‌کند، بالاترین $R^2$ و کم‌ترین RMSE را برای داده‌های آزمون به‌همراه 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 طول‌موج ۵۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر به‌عنوان بهترین نتیجه انتخاب شد و معادله خط درصد حضور لکه سبز برحسب کسینوس زاویه شباهت (رابطه (۲۲)) استخراج و درصد آلودگی برگ به بیماری زنگ (RD[1]) 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)

$$PG = (2.8328 \times (CS) - 1.5199) \times 100 \quad (27° < SAM \leq 57°)$$

رابطه (۲۳)

$$RD = 100 - PG$$

## ۴- نتیجه‌گیری

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 درنظرگرفتن کل طیف، دقت‌های بالاتری در شناسایی بیماری از خود نشان داده‌اند.

[1] Rust Degree



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-06 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.6.4.17 ]

جدول ۶: ماتریس ابهام درجه‌بندی زنگ گندم در ۴سطح

| | | مقدار محاسبه شده | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0<CRF**≤25 | 25<CRF≤ 50 | 50< CRF≤ 75 | 75< CRF≤ 100 | مجموع |
| مقدار مشاهده‌شده | 0 < ORF*≤ 25 | ۱۵ | ۱ | ۰ | ۰ | ۱۶ |
| | 25< ORF≤ 50 | ۴ | ۳۸ | ۵ | ۰ | ۴۷ |
| | 50< ORF≤ 75 | ۰ | ۲ | ۲۳ | ۳ | ۲۸ |
| | 75< ORF≤ 100 | ۰ | ۰ | ۱ | ۲۲ | ۲۳ |
| | مجموع | ۱۹ | ۴۱ | ۲۹ | ۲۵ | ۱۱۴ |

CRF* = Calculated Rust Fraction
ORF** = Observed Rust Fraction

این پژوهش با هدف تخمین شدت زنگ‌زدگی گندم در سطح برگ انجام شد. این روش می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای استخراج اطلاعات از بازتابندگی اندازه‌گیری شده توسط تصاویر سنجش از دوری استفاده شود[۲۳]. اگر چه کار کردن در مقیاس برگ ضعف بالقوه نادیده گرفتن تاثیر ویژگی‌های ساختاری اکوسیتم و بوته را دارد، با این حال طیف بازتابندگی برگ یک جز اساسی برای ساخت مدل‌های محیطی پیچیده‌تر و بزرگتر است [۲۴]. باتوجه به شباهت‌های ظاهری طیف‌های بازتابندگی و به منظور استفاده از اطلاعات شکل و رفتار طیف بازتابندگی درتمامی باندها با صرف زمان کمتر و نیز به‌دلیل مزایای طیف مشتق و عدم وابستگی آن به اندازه داده‌ها، از روش کدگذاری طیف بازتابندگی و مشتق‌های آن استفاده شد. روش‌های استفاده شده در این پژوهش برای ناحیه طول‌موج‌های ۴۰۰-۱۰۵۰نانومتر و ۵۰۰-۸۰۰ نانومتر با درنظرگرفتن 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 به‌روش 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 درجه‌بندی زنگ گندم با این روش در ۴سطح که با روابط (۲۲ و ۲۳) محاسبه شد، برابر ۸۵/۹۶ به‌دست آمد.

## 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 algorithme 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.



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-06 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.6.4.17 ]

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 (Pucciniatriticina)," 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.



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-06 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.6.4.17 ]

[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.

[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-06 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.6.4.17 ]

*K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY*
*FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING*

***Journal of Geospatial Information Technology***
**Vol.6, No.4, Winter 2019**

# Wheat Leaf Rust Disease Severity Estimation Using Reflectance Spectrum Coding Methods

**Mohamad Reza Mobasheri *[1], Pegah Darouei[2], Davood Ashourloo[3]**

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 Beheshty 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.

**Correspondence Address** Remote Sensing Laboratory, Khavaran Institute of Higher Education, Mashhad, Iran.
**Tel :** +989121226630
**Email :** mohammadreza.mobasheri@khi.ac.ir



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-06 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.6.4.17 ]