



سنگش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال نهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۶
Iranian Remote Sensing & GIS
Vol.9, No. 4, Winter 2018

۱۱۱-۱۲۸

بررسی شاخص‌های طیفی

به‌منظور شناسایی بیماری‌های زنگ زرد و قهوه‌ای در مدل تاج‌پوشش

داوود عاشورلو^{۱*}، حسین عقیقی^۱، علی‌اکبر متکان^۲، حامد نعمت‌اللهی^۳

۱. استادیار مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲. استاد مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشگاه

شهید بهشتی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۸/۱۰

چکیده

بیماری‌های زنگ زرد و قهوه‌ای گندم از جمله مهم‌ترین بیماری‌های غلات در ایران و سایر کشورهای دنیا محسوب می‌شوند که سالیانه خسارات جبران‌ناپذیری را به اقتصاد کشاورزی وارد می‌کنند و در اغلب موارد، هم‌زمان رخ می‌دهند. بنابراین در این تحقیق، اثر بیماری‌های زنگ زرد و قهوه‌ای گندم در بازتابندگی برگ، با استفاده از شاخص‌های طیفی در مدل تاج‌پوشش، بررسی شد. بدین‌منظور، شاخص‌های گوناگون پوشش گیاهی استخراج‌شده از طیف برگ بیمار ارزیابی شدند. برای این کار، میزان گسترش بیماری‌های زنگ زرد و قهوه‌ای سطح برگ و درجات متفاوت آنها، با استفاده از دوربین دیجیتال و الگوریتم چندمرحله‌ای شامل تبدیلات رنگ، تهیه ماسک، استفاده از بافت و طبقه‌بندی حداکثر احتمال، استخراج شد. همچنین نتایج نشان داد، با افزایش نسبت سطح بیمار برگ، مقادیر عددی شاخص‌ها تغییر می‌کند؛ درحالی‌که پراکندگی داده‌ها به‌صورت کاملاً مشخصی افزایش می‌یابد. بیشترین میزان همبستگی برای شاخص NDVI برابر با ۰/۹ و حداقل در شاخص حداکثر شیب قرمز برابر با ۰/۲ است. با ارائه معیار همانندی، دامنه تغییرات و نیز پراکندگی درون‌کلاسی، روابط طیف و بیماری بررسی و مشخص شد که با گسترش بیماری، معیارهای مورد اشاره تغییر می‌یابند. اگرچه در بیماری زنگ زرد این تغییرات دیده نمی‌شود، در شاخص‌های گوناگون طیفی با افزایش میزان بیماری، اختلاط طیفی در بخش‌های متفاوت زرد، نارنجی، قهوه‌ای و مرده گیاه دلیلی بر پراکندگی داده‌ها با گسترش بیماری محسوب می‌شود.

کلیدواژه‌ها: شناسایی بیماری، داده‌های طیف‌سنجی، مدل تاج‌پوشش، شاخص باریک باند پوشش گیاهی، زنگ زرد و قهوه‌ای گندم.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: تهران، اوین، دانشگاه شهید بهشتی، مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS.

۱. مقدمه

گندم مهم‌ترین محصول کشاورزی در بسیاری از کشورهای دنیاست و اغلب زمین‌های کشاورزی در ایران به این محصول تعلق دارد. با وجود تلاش‌های وسیعی که در جهت افزایش تولید این محصول استراتژیک می‌شود، همه‌ساله مقادیر زیادی از محصول گندم بر اثر عوامل بیماری‌زا و آفات گیاهی، در مراحل گوناگون رشد، از بین می‌رود. برای جلوگیری از خسارات وارد به آن، حفظ محصول تولیدشده از گزند عوامل مورد اشاره، شناخت بیماری‌ها و آفات مهم این محصول و روش‌های کنترل آنها بسیار حائز اهمیت است. زنگ گیاهان، که از طریق خانواده‌ی بازیدیومیست‌ها ایجاد می‌شود، از مخرب‌ترین بیماری‌های گیاهی است که براساس گزارش‌های موجود، خسارات گسترده‌ای را به اقتصاد کشور وارد کرده است. طی سالیان متوالی، تحقیقات متنوع و گوناگون در رابطه با عوامل ایجاد و شناسایی گونه‌های مقاوم و حساس به این بیماری در کشور صورت گرفته است (جعفرپور و همکاران، ۱۳۸۹).

معمولاً بیماری زنگ یا هر بیماری دیگر گیاهی تنفس گیاه، رنگ برگ، مورفولوژی و تراکم گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از سوی دیگر، داده‌های سنجش از دور امکان مطالعه روی توده گیاهی، نیتروژن، کلروفیل، سطح برگ و بازدهی محصول را فراهم آورده است؛ بنابراین، با مطالعه اثر پارامترهای بیوفیزیکی و بیوشیمیایی در بازتابندگی گیاه، تشخیص بیماری امکان‌پذیر می‌شود. از دیگر سو، مشاهده چشمی روشی بسیار پرهزینه است (Wenjiang et al., 2007). داده‌های مورد استفاده در مطالعه بیماری‌های گیاهان شامل تصاویر ماهواره‌ای پهن‌باند، داده‌های ابرطیفی و داده‌های طیف‌سنجی می‌شود. شاخص‌های طیفی استخراج‌شده از نواحی مادون قرمز نزدیک و قرمز دارای توانایی بالایی در استخراج و تعیین میزان بیماری در مدل برگ و تاج‌پوشش‌اند

(Zhang et al., 2012). هانسن^۱ (۱۹۹۱)، در مطالعه زنگ زرد گندم با استفاده از اسپکترورادئومتر، کاهش تولید گندم بر اثر پیشروی بیماری را، بر مبنای نسبت مادون قرمز نزدیک به قرمز، بررسی کرد و نشان داد که شاخص پوشش گیاهی پیش‌بینی‌کننده‌ای مناسب برای کاهش تولید است. همچنین، آدامز و همکاران^۲ (۱۹۹۹) شاخص زرد رنگی^۳ را برای استخراج زردی برگ گیاهان، از جمله گندم، مطرح کردند. تحقیقات یادشده نشان دادند تغییر شکل طیف بازتابی بین حداکثر ۵۵۰ و حداقل ۶۵۰ نانومتر قادر به تشخیص بیماری گندم، از جمله بیماری‌های قارچی، است. ساساکی و همکاران^۴ (۱۹۹۹)، براساس داده‌های طیف‌سنجی در طول موج‌های ۵۰۰ و ۶۰۰ و ۶۵۰ نانومتر، برگ‌های سالم را از برگ‌های بیمار جدا و آنها را بررسی کردند. در این بررسی، بازتابندگی برگ را مهم‌ترین اندام رویشی گیاه برای تشخیص بیماری در نظر گرفتند. طول موج‌های مورد استفاده در این تحقیق منطبق بر عملکرد طیفی کلروفیل است.

در تحقیقی دیگر، رینهارت^۵ (۲۰۰۲) رابطه درجه بیماری (میزان گسترش بیماری در سطح برگ) با بازتابندگی تاج‌پوشش را، با استفاده از داده‌های طیف‌سنجی با دقت ۹۰٪، استخراج کرد. نتایج تحقیق نشان داد که با گسترش بیماری، بازتابندگی تاج‌پوشش تغییر می‌یابد و میزان گسترش آن با مدل‌های بازتابندگی تاج‌پوشش نیز قابل محاسبه است. لادین و همکاران^۶ (۲۰۰۳) چغندر قند سالم و ناسالم را، با استفاده از مثلث جذب (۸۰۰، ۶۸۰ و ۵۵۰ نانومتر) در فضای طیفی، مطالعه کردند. طبق این تحقیق، بیماری موجب تغییر در الگوی بازتابندگی طیف گیاه می‌شود و

1. Hansen
2. Adams et al.
3. yellowness
4. Sasaki et al.
5. Rinehart
6. Laudien et al.

شد. نتایج نشان داد با مدل سازی رشد بیماری، امکان تشخیص آن در روزهای متفاوت وجود دارد و مدل سازی رشد گندم پارامتر مهمی است که باید در مطالعات مدنظر قرار گیرد. میشل و همکاران^۷ (۲۰۱۰)، با بررسی اثر بیماری در مزارع نیشکر، به این نتیجه رسیدند که تکنیک‌های مشتق اول می‌توانند، در اوایل دوره رشد قارچ، زردی را تشخیص دهند. همچنین، تشخیص بیماری در رقم‌های متفاوت نیشکر دارای دقت‌های متفاوتی بود که این رقم‌های گوناگون برای محصول باید به صورت جداگانه در مطالعات به کار روند. رامف و همکاران^۸ (۲۰۱۰)، با استفاده از شاخص پوشش گیاهی و الگوریتم SVM، سه گونه بیماری چغندر قند در مدل برگ را تشخیص دادند و مطالعه کردند. نتایج نشان داد با استفاده از شاخص‌ها، امکان تشخیص زودهنگام بیماری امکان پذیر است. در تحقیق دیگر، ژانگ و همکارانش^۹ (۲۰۱۲) اثر سفیدک گندم با شاخص‌های متفاوت پوشش گیاهی در مدل برگ را بررسی کردند. نتایج نشان داد که شاخص‌های پوشش گیاهی گوناگون دارای روابط مشخصی با میزان بیماری‌اند.

عاشورلو و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۶a) تکنیک‌های رگرسیونی یادگیری ماشین به منظور شناسایی بیماری زنگ زرد گندم را، با استفاده از اندازه‌گیری‌های ابرطیفی، بررسی کردند. نتایج نشان داد که این روش‌ها، برخلاف روش شاخص‌های طیفی، به مراحل گوناگون بیماری حساسیت نشان نمی‌دهند و نتایج کار مورد اطمینان خواهد بود.

میزان گسترش بیماری را می‌توان براساس روش‌های هندسی در این فضا استخراج کرد. موشو و همکاران^۱ (۲۰۰۷) کاربرد الگوریتم‌های شبکه عصبی به منظور تشخیص اتوماتیک بیماری زنگ زرد گندم را، با استفاده از شاخص NDVI، به کار بردند. نتایج نشان داد با این روش می‌توان زنگ زرد را با دقت بالا استخراج کرد.

ونجیانگ و همکاران^۲ (۲۰۰۷) به مطالعه زنگ زرد گندم با شاخص فتوشیمیایی پرداختند. اندازه‌گیری این طیف با رادیومتر، با قدرت تفکیک ۱/۴ نانومتر در محدوده طیف مرئی و مادون قرمز و ۲ نانومتر در مادون قرمز میانی، صورت گرفت و شاخص بیماری (DI)^۳ استخراج شد. این شاخص گویای نسبت میزان برگ‌های بیمار به برگ‌های سالم است (Li et al., 1989). براساس نتایج به دست آمده، رابطه شاخص DI با شاخص فتوشیمیایی گیاه بسیار بالا بود. سپس این اطلاعات روی داده‌های حاصل از سنجنده هواپرد اعمال شد (عرض باندها ۵ نانومتر بود). دقت کار برای تشخیص بیماری مناسب بود و تحقیق یادشده نشان داد نتایج حاصل از داده‌های طیف‌سنجی روی تصاویر هواپرد نیز اجرایی‌اند؛ اگرچه، به دلیل اثر اتمسفر، مقداری از دقت الگوریتم کاسته می‌شود.

بیماری‌ها در آب موجود در گیاه نیز تأثیر می‌گذارند. با این فرض، کونیاکی و همکاران^۴ (۲۰۰۸) شاخص پژمردگی را با استفاده از داده‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک ماهواره ASTER بیان کردند. در ادامه، به منظور افزایش دقت، محاسبات شاخص نرمال شده پژمردگی با ترکیب شاخص NDVI^۵ و NDGI^۶ مطرح شد. با توجه به اینکه بیماری نیز موجب کاهش محتوای آب گیاه و پژمردگی آن می‌شود، این شاخص برای تشخیص بیماری گیاهان به کار رفت.

یانگ و همکاران (۲۰۰۹)، تأثیر دو نوع آفت را در گندم ارزیابی کردند. در این تحقیق، از نسبت باندهای ۸۰۰/۴۵۰ و ۹۵۰/۵۵۰ برای تشخیص آفت استفاده

1. Moshou et al.
2. Wenjiang et al.
3. Disease Index
4. Kuniaki et al.
5. Normal Difference Vegetation Index
6. Normal Difference Greenness Index
7. Michael et al.
8. Rumpf et al.
9. Zhang et al.
10. Ashourloo et al.

همچنین، آنها ثابت کردند تمامی شاخص‌های طیفی به شدت بیماری حساسیت نشان می‌دهند که به موجب این امر، دقت طبقه‌بندی بر اثر افزایش شدت بیماری کاهش می‌یابد. در ادامه، جهت افزایش دقت طبقه‌بندی و جداسازی مراحل متفاوت بیماری، شاخص بیماری عرضه شد (Ashourloo et al., 2014b; Ashourloo et al., 2016b).

زنگ زرد نیز از جمله بیماری‌های رایج گندم است که اغلب هم‌زمان با زنگ قهوه‌ای دیده می‌شود؛ بنابراین، لازم است تأثیر این بیماری هم‌زمان با زنگ قهوه‌ای بررسی شود. در کارهای انجام‌شده، بیشتر تخمین بیماری زنگ روی طیف و استخراج نوعی زنگ مدنظر قرار گرفته و کمتر به تأثیر هم‌زمان این زنگ‌ها در طیف بازتابندگی پرداخته شده است.

در تحقیق حاضر، تأثیر درجات گوناگون این بیماری‌های گندم در شاخص‌های پوشش گیاهی، در مدل تاج‌پوشش، بررسی شده و قرار است:

۱. رابطه شاخص‌های گوناگون گیاهی با پیشرفت بیماری زنگ زرد و قهوه‌ای گندم بررسی شود؛
۲. معیارهایی برای اندازه‌گیری میزان تغییر شاخص‌ها مطرح شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- شرایط نمونه برداری

نمونه‌ها از مؤسسه اصلاح بذر، به صورت کشت و آلوده‌شده به بیماری زنگ زرد و قهوه‌ای، تحویل در خرداد ۹۴، تهیه شد. به منظور آزمایش، فقط یک وارپته گندم حساس به بیماری زنگ قهوه‌ای، به نام‌های بولانی و روشن، به کار رفت. خاک استفاده‌شده برای کشت

جونز و همکاران^۱ (۲۰۰۵) روش‌هایی برای تشخیص سریع بیماری زنگ قهوه‌ای در مدل تاج‌پوشش را، با استفاده از دوربین چندطیفی و ابرطیفی، ارزیابی کردند. هدف تحقیق ارزیابی پتانسیل داده‌های چندطیفی و ابرطیفی در استخراج زنگ گندم بود. در این بررسی، نمونه‌ها به فاصله پنج روز پس از شروع آلودگی برداشت شدند. نتایج نشان داد که داده‌های ابرطیفی قادرند، پنج روز پس از آلوده‌شدن، بیماری را تشخیص دهند اما داده‌های چندطیفی دارای حساسیت پایینی به این تغییرات بودند. مناطق اشباع‌شده و نواحی تاریک گیاه مهم‌ترین عوامل ضعف در اندازه‌گیری انرژی دریافتی از پوشش گیاهی معرفی شدند که باید به این نکته توجه شود.

دیواداز و همکاران^۲ (۲۰۰۹) اثر ده شاخص متفاوت را جهت تمایز زنگ‌های زرد، قهوه‌ای و ساقه در مدل برگ بررسی کردند. نتایج نشان داد شاخص آنتوسیانین قابلیت تشخیص زنگ زرد را از زنگ ساقه و زنگ قهوه‌ای دارد. همچنین، شاخص TCARI^۳ توانایی تفکیک زنگ قهوه‌ای و ساقه را از هم دارد. بر مبنای این حقیقت که بیماری‌های متفاوت نشانه‌های متفاوتی دارند، پاسخ طیفی گیاه متناسب با آن تغییر خواهد کرد (Zhang et al., 2012). بنابراین، در زنگ قهوه‌ای گندم، ضروری است اثر درجات متفاوت بیماری در شاخص‌های پوشش گیاهی مطالعه شود. نشانه‌های بیماری زنگ روی برگ شامل نواحی زرد، نارنجی، قهوه‌ای تیره، خشک (مرده) است (Gail Ruhl., 2012). در تحقیقات انجام‌شده با داده‌های طیف‌سنج، هوایی و ماهواره‌ای روی گیاهان بیمار و غیربیمار بوده و تأثیر درجات گسترش بیماری زنگ در طیف دریافتی بررسی نشده است. عاشورلو و همکاران (۲۰۱۴a) نشان دادند که مراحل گوناگون بیماری در بازتابندگی طیفی گیاه بسیار تأثیرگذار است؛ یعنی با افزایش شدت بیماری، منحنی طیفی گیاه دچار تغییرات زیادی می‌شود.

1. Jones et al.
2. Devadas et al.
3. Transformed Chlorophyll Absorption and Reflectance Index

بر اساس معادله‌های (۱) تا (۵) صورت گرفت. در مرحله بعد، برای خوشه‌بندی، مؤلفه‌های H و S و روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده K-Means به کار رفت و با شناسایی ماهیت خوشه‌ها، ماسک مناسب تهیه شد. این ماسک پیکسل‌های دارای مقادیر صفر (هر سه مؤلفه آبی، سبز و قرمز) و نیز پیکسل‌های مرزی خوشه‌های بیمار و نواحی سبز را به طور کامل حذف می‌کند. در گام بعدی، مؤلفه‌های H و S برای آنالیز بافت تصویر استفاده شد و با استفاده از ماتریس GLCM^۱، المان‌های مربوط به بافت به دست آمد که این المان‌ها در جدول ۱ آورده شده‌اند.

$$r = \frac{R}{R+G+B}, g = \frac{G}{R+G+B}, \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$b = \frac{B}{R+G+B}$$

$$hue = \cos^{-1} \left[\frac{0.5[(r-g) + (r-b)]}{[(r-g)^2 + (r-b)(g-b)]^{1/2}} \right]$$

$$h \in [0, \pi] \text{ for } g \leq b \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$hue = 2\pi - \cos^{-1} \left[\frac{0.5[(r-g) + (r-b)]}{[(r-g)^2 + (r-b)(g-b)]^{1/2}} \right] \quad \text{رابطه (۳)}$$

نیز برابر است با: saturation و intensity

$$saturation = 1 - 3 \cdot \min(r, g, b) \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$intensity = (R + G + B) / (3.255) \quad \text{رابطه (۵)}$$

ردیف	برداشت عکس
۱	تبدیل به فضای HIS
۲	طبقه‌بندی K-Means
۳	ماسک نواحی سبز و حاشیه‌ها
۴	استخراج بافت (از داده‌های مرحله دوم) و اعمال ماسک
۵	طبقه‌بندی حداکثر احتمال

شکل ۱. مراحل شناسایی و جداسازی ناحیه‌های گوناگون بیماری

1. hue, saturation, intensity
2. Gray-level Co-occurrence Matrix

گندم دارای بافت شنی-رسی بود. انتقال رنگ قهوه‌ای و زرد مرحله دوبرگی شدن با استفاده از اسپور بیماری انجام گرفته بود. به منظور انتقال و گسترش بیماری، شرایط مورد نیاز رشد قارچ در گلخانه و مزرعه شبیه‌سازی می‌شود. این شرایط برای رنگ قهوه‌ای شامل رطوبت بالای ۹۰٪ و دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد است. همچنین برای رنگ زرد، این شرایط رطوبت بالای ۹۵٪ و دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد را دربر می‌گیرد.

۲-۲- اندازه‌گیری پاسخ طیفی برگ‌های زنگ گندم

از دستگاه طیف‌سنجی Ocean optic، با دقت طیفی بالا، به منظور اندازه‌گیری پاسخ طیفی برگ‌های آلوده به زنگ گندم در مدل تاج‌پوشش استفاده شد. طیف‌ها در فاصله ۳۵۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر و با فواصل ۱ نانومتری (در ناحیه مرئی و مادون قرمز) برداشت شدند. از دستگاه کالیبراسیون BaSO₄، با ابعاد ۱۰ × ۱۰ سانتی‌متر، برای محاسبه بازتابندگی نسبی استفاده شد. گلدان‌های استفاده‌شده درجات متفاوت آلودگی را دارا بودند، نمونه برداری طیفی از زمان آغاز بیماری تا آلودگی کامل برگ‌ها انجام گرفت و در مجموع، دویست نمونه جمع‌آوری شد.

۲-۳- تعیین میزان زنگ‌زدگی برگ گندم

به منظور جداسازی ناحیه بیمار از غیربیمار و شناسایی نواحی گوناگون بیماری هر نمونه، طبق نمودار شکل ۱، مراحل متفاوتی براساس دوربین دیجیتال Canon DIGITAL IXUS 85 IS; F-109 number: f/3.2; Shutter speed: 1/60 استخراج شد. تبدیل فضای مقادیر RGB به فضای HSI^۱ برای به دست آوردن مؤلفه‌هایی به کار رفت که مستقل از دستگاه یا دوربین باشند. سیستم RGB وابسته به دوربین یا ابزار است و با تغییر مقدار نور یا کنتراست دوربین، مقادیر RGB پیکسل‌ها در تصویر تغییر می‌کند (Hiary et al., 2011). بنابراین، تبدیل داده‌ها از فضای RGB به فضای HSI

فتوشیمیایی، شاخص آب و شاخص استرس آبی بیماری، حساس‌اند. در مجموع، هشت شاخص استفاده شد که در جدول ۲ آمده‌اند.

۲-۵- بررسی پراکندگی داده‌ها برای شاخص‌های گوناگون در فضای طیف

محاسبه پراکندگی داده‌ها از جمله مهم‌ترین پارامترهای بررسی کلاس‌ها و خوشه‌بندی به‌شمار می‌روند. در این تحقیق، از فاصله اقلیدسی (رابطه (۷)) به‌منظور محاسبه پراکندگی درون کلاسی استفاده شد.

$$d^2 = (x - m)^t(x - m) \quad (7) \quad \text{رابطه (۷)}$$

m: میانگین خوشه؛ x: مقدار هر نمونه

نسبت بیماری برگ از ۰ تا ۱۰۰ به ده کلاس مساوی تقسیم شد. هر کلاس گویای میزان پیشرفت بیماری به میزان ۱۰٪ است. میانگین پراکندگی داخل هر کلاس براساس فاصله اقلیدسی برای شاخص‌های گوناگون به‌دست آمد. با توجه به اینکه نسبت پیشرفت بیماری بین ۰ تا ۱۰۰ است، برای محاسبه فاصله اقلیدسی، تمامی مقادیر شاخص‌ها نیز بین ۰ تا ۱۰۰ نرمال شدند تا وزن شاخص پوشش گیاهی و پیشرفت بیماری در محاسبات یکسان باشد.

پس از فراخوانی تابع GLCM برای محاسبه ویژگی‌های بافت و اعمال ماسک، در ادامه، طبقه‌بندی حداکثر احتمال براساس رابطه (۶) روی خروجی بافت اعمال شد.

$$g(x) = \ln p(w_i) - 1/2 \ln \left[\sum_i i \right] - 1/2(x - m_i)t \sum (i - 1)(x - m_i) \quad (6) \quad \text{رابطه (۶)}$$

i = شماره کلاس

x = ابعاد

P(wi) = احتمال اولیه کلاس

$\sum_i i$ = ماتریس واریانس کواریانس

$\sum_i i - 1$ = معکوس ماتریس واریانس کواریانس

mi = بردار میانگین

۲-۴- شاخص‌های پوشش گیاهی مورد استفاده

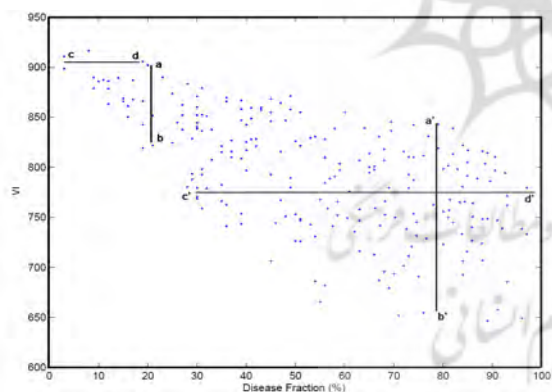
شاخص‌های پوشش گیاهی مورد استفاده در این تحقیق شامل شاخص‌های رایج می‌شود. این شاخص‌ها به متغیرهای استخراج شده از مشتق طیف (حداکثر مشتق اول در ناحیه لبه زرد و قرمز) و دیگر متغیرهای پوشش گیاهی، شامل شاخص پوشش گیاهی نرمال شده، شاخص بازتابندگی نیتروژن، شاخص بازتابندگی

جدول ۱. پارامترهای آماری بافت مورد استفاده در تحقیق

متغیر	شرح	تعریف
ASM	Second Moment Angular	$\sum_{n=0}^{NG-1} \sum_{n=0}^{NG-1} [P(i, j)]^2$
IDM	Inverse Difference Moment	$\sum \sum \frac{1}{1+(i-j)^2} P(i, j)$
ENT	Entropy	$\sum_{n=0}^{NG-1} \sum_{n=0}^{NG-1} P(i, j) \ln(P(i, j))$
COR	Correlation	$\sum_{n=0}^{NG-1} \sum_{n=0}^{NG-1} \frac{\{i * j\} * P(i, j) - \{\mu_x * \mu_y\}}{\sigma_x * \sigma_y}$
M	Mean	$\sum_{n=0}^{NG-1} \sum_{n=0}^{NG-1} i P_{ij}$
Con	Contract	$\sqrt{\sum_{n=0}^{NG-1} \sum_{n=0}^{NG-1} P_{i,j} (i - \mu)^2}$

جدول ۲. مشخصات شاخص‌های طیفی مورد استفاده

متغیر	شرح	تعریف	منبع
D_y	Maximum value of 1st derivative within yellow edge	حداکثر مقدار مشتق اول در ناحیه ۵۸۲ تا ۵۵۰ نانومتر	Gong et al. (2002)
D_r	Maximum value of 1st derivative within red edge	حداکثر مقدار مشتق اول در ناحیه ۶۷۰ تا ۷۳۷ نانومتر	Gong et al. (2002)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$(R_{NIR} - R_R)/(R_{NIR} + R_R)$, بیانگر طول موج R_{NIR} 775-825 nm، بیانگر طول موج 650-700 nm.	Rouse et al. (1973)
NRI	Nitrogen Reflectance Index	$(R_{570} - R_{670})/(R_{570} + R_{670})$	Filella et al. (1995)
PhRI	Physiological Reflectance Index	$(R_{550} - R_{531})/(R_{550} + R_{531})$	Gamon et al. (1992)
TVI	Triangular Vegetation Index	$0.5[120(R_{750} - R_{550}) - 200(R_{670} - R_{550})]$	Broge and Leblanc Haboudane et al. (2004)(2000);
DSWI	Disease Water Stress Index	$(R_{802} + R_{547})/(R_{1657} + R_{682})$	Galvão et al. (2005)
WI	Water Index	R_{900}/R_{970}	Peñuelas et al. (1997)



شکل ۲. رابطه افزایش نسبت بیماری و شاخص پوشش گیاهی I

اگر پاره‌خط‌های ab و $a'b'$ را دامنه تغییر در درجات متفاوت بیماری و پاره‌خط‌های cd و $c'd'$ را همانندی عددی شاخص در نسبتی خاص از پیشرفت بیماری بدانیم، در این تحقیق، از میزان شباهت در مقادیر شاخص پوشش گیاهی در درجات متفاوت بیماری و دامنه تغییر به‌منزله معیارهای حساسیت شاخص

براساس شکل ۲، در درجه‌ای مشخص از نسبت بیماری، هرچه دامنه تغییر شاخص افزایش یابد، حساسیت آن شاخص در آن درجه از بیماری کمتر خواهد بود. این بدان معناست که شاخص مورد نظر، در نسبتی مشخص از میزان بیماری، مقادیر متفاوتی را شامل می‌شود. براساس شکل ۲، دامنه تغییر داده‌ها در میزان بیماری ۸۰٪ بسیار بیشتر از زمانی است که میزان بیماری برابر با ۲۰٪ است (پاره‌خط $a'b'$ در مقایسه با ab). از سوی دیگر، هرچه مقادیر متفاوت از یک شاخص درجات متفاوتی از بیماری را پوشش دهند، حساسیت آن شاخص کمتر در برابر گسترش بیماری دارد (پاره‌خط $c'd'$ در مقایسه با cd). برای نمونه، پاره‌خط $c'd'$ دارای مقادیر یکسان از شاخص پوشش گیاهی است؛ درحالی‌که میزان بیماری از ۳۰ تا ۱۰۰ درصد تغییر کرده است.

متفاوت بیماری زنگ گندم، با دقت بیشتری انجام گیرد (شکل ۳(b)).

درجات گوناگون پیشرفت بیماری، با تأثیرات متفاوت در رنگدانه‌های برگ گندم، رنگ‌های متفاوتی را تشکیل می‌دهند. کنار هم قرار گرفتن این درجات سبب ایجاد بافت‌های متفاوتی در برگ می‌شود. به منظور حذف اثر شدت نور در طبقه‌بندی این درجات، از مؤلفه H و S برای استخراج مؤلفه‌های گوناگون ماتریس GLCM استفاده شد.

از درجات متفاوت بیماری شامل زرد، نارنجی، قرمز و مرده، نمونه‌های آموزشی تهیه شد. پس از اعمال ماسک (شکل ۳(b))، طبقه‌بندی حداکثر احتمال روی مؤلفه‌های H و S اعمال گردید و مطابق با شکل ۳(c)، درجات گوناگون بیماری استخراج شد.

۳-۲- رابطه شاخص پوشش گیاهی و نسبت بیماری

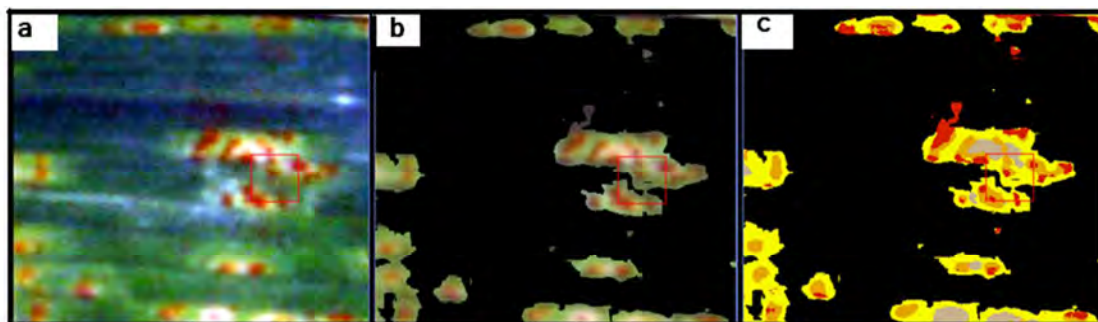
میزان تغییر شاخص‌های گوناگون پوشش گیاهی با تغییر میزان زنگ‌زدگی در شکل ۳ نشان داده شده است. در این مرحله، از طیف برداشت‌شده و تصاویر طبقه‌بندی‌شده به صورت داده‌های واقعیت زمینی برای ارزیابی شاخص‌ها استفاده شد. محور x نشان‌دهنده درصد بیماری برگ و محور Y گویای مقدار عددی شاخص مورد نظر است. با توجه به نمودارهای شکل ۴، با افزایش نسبت بیماری، پراکندگی مقادیر عددی شاخص‌ها افزایش یافته است.

به نسبت پیشرفت بیماری استفاده شد. هرچه میزان این معیارها بیشتر باشد، شناسایی نسبت پیشرفت بیماری براساس آن شاخص دشوارتر خواهد بود. به همین منظور، معیارهای مورد نظر به صورت معیارهای حساسیت به نسبت پیشرفت بیماری، برای شاخص‌های گوناگون پوشش گیاهی، محاسبه شدند.

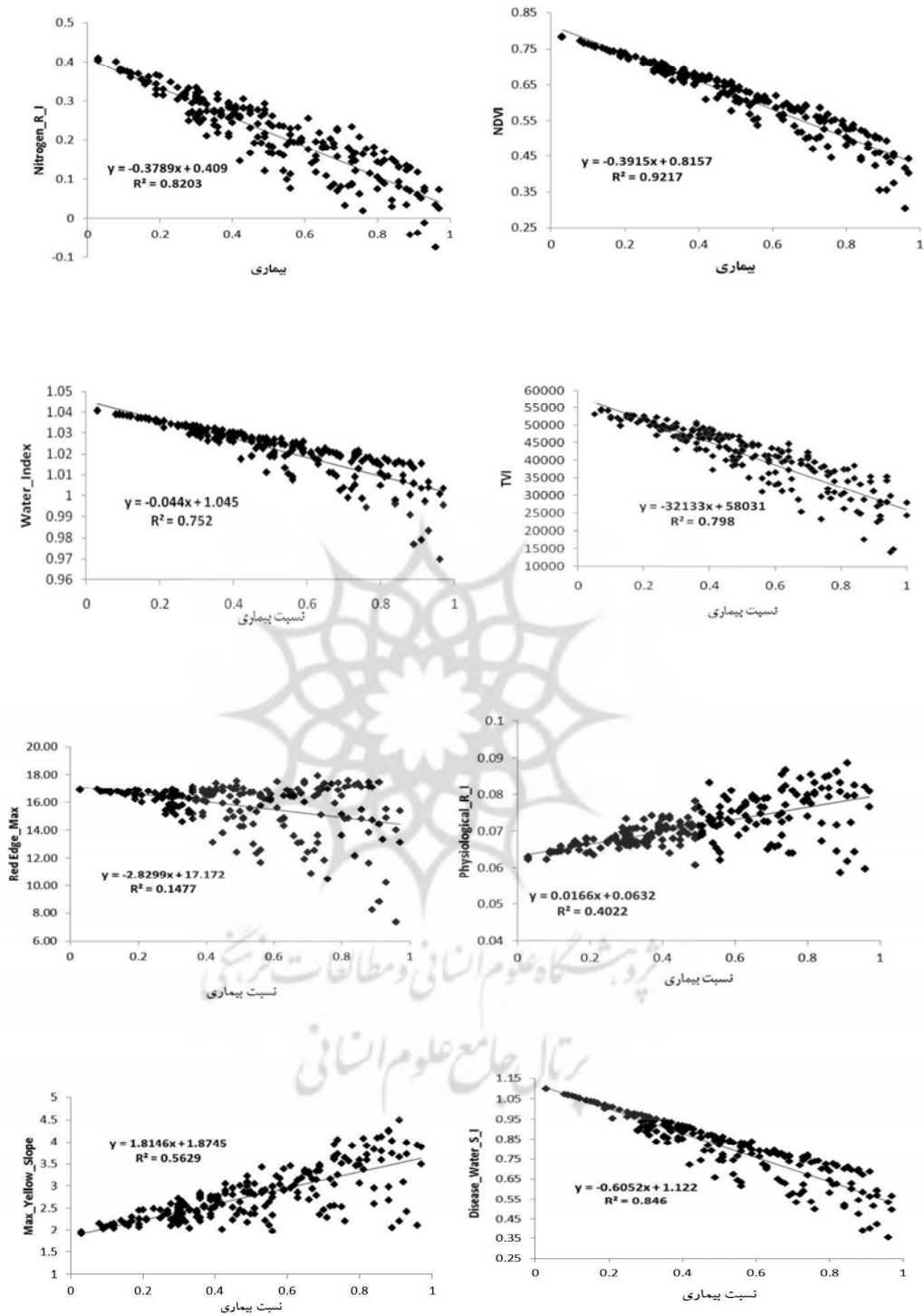
۳- نتایج

۳-۱- استخراج نواحی گوناگون بیماری

بیماری زنگ گندم، براساس درجه پیشرفت بیماری، سبب ایجاد رنگ‌های متفاوتی در برگ می‌شود. در این تحقیق، برای تعیین نسبت بیماری و درجه پیشرفت آن، از تصاویر RGB دوربین دیجیتال استفاده شده است. همان‌طور که شکل ۳(a) نشان می‌دهد، با گسترش بیماری، رنگ سطح برگ تغییر می‌کند. به دلیل ناهمواری سطح برگ، رنگ سبز برگ گیاه دارای شدت‌های متفاوتی است. به منظور حذف اثر شرایط نوری در دوربین دیجیتال، تبدیل رنگی RGB به HIS انجام گرفت و در مراحل بعدی تحقیق، از مؤلفه I که بیانگر شدت نور است چشم‌پوشی شد. روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده K-means با مؤلفه‌های H و S صورت گرفت. مناسب‌ترین تعداد خوشه‌ها برابر با ۷ تا ۹ عدد بود که در هر تصویر طبقه‌بندی‌شده، سه تا چهار کلاس به منزله ناحیه سبز برگ انتخاب شدند. با شناسایی نواحی سبز برگ، ماسک سبز تهیه شد تا طبقه‌بندی نواحی دیگر برگ بیمار، برای تعیین درجات



شکل ۳. شناسایی و طبقه‌بندی ناحیه‌های گوناگون برگ بیمار: a: برگ اولیه؛ b: اعمال ماسک؛ c: طبقه‌بندی

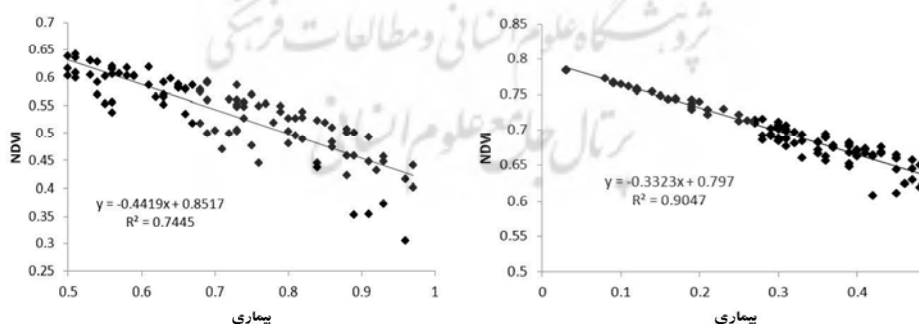


شکل ۴. رابطه شاخص‌های گوناگون با افزایش نسبت بیماری

دامنه تغییرات و همانندی عددی شاخص (هرچه مقادیر متفاوت شاخصی درجات متفاوتی از بیماری را پوشش دهد، همانندی شاخص افزایش می‌یابد و می‌توان گفت حساسیت آن شاخص در برابر گسترش بیماری کمتر است) به منظور بررسی حساسیت شاخص‌ها به افزایش بیماری استفاده شد. در شکل ۶، میزان همانندی عددی شاخص، در نسبتی خاص از پیشرفت بیماری برای شاخص‌های NDVI و حداکثر شیب قرمز، نشان داده شده است. برای شاخص NDVI، این میزان بین ۵ تا ۱۸ است. به عبارت دیگر، زمانی مقادیر شاخص برابر با ۰/۵ است که براساس شکل ۵ (سمت چپ) میزان شباهت برابر با ۱۵ باشد. یعنی زمانی که میزان بیماری ۱۵٪ پیشرفت کرده، مقدار شاخص ثابت و برابر با ۰/۵ است. هرچه میزان شباهت بیشتر باشد، مقادیر شاخص حساسیت کمتری به گسترش بیماری دارند. برای شاخص حداکثر شیب قرمز، میزان شباهت در بیشتر مقادیر شاخص بیشتر از ۳۰٪ است که، حتی در برخی موارد، میزان آن به ۹۰٪ می‌رسد (براساس شکل ۶- سمت راست).

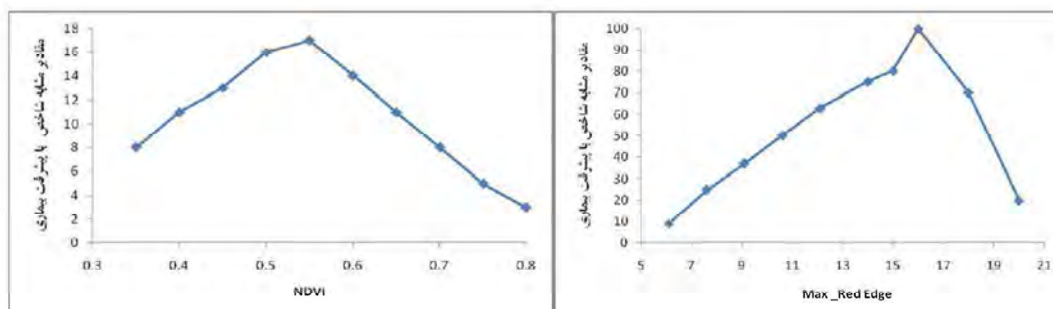
براساس شکل ۴، شاخص‌های NDVI و DWI^۱ دارای بیشترین همبستگی‌اند که مقدار عددی آنها به ترتیب برابر با ۰.۹۲ و ۰.۸۴ است و شاخص حداکثر قرمز نیز کمترین مقدار همبستگی را دارد. همان‌طور که نمودارهای شکل ۵ نشان می‌دهند، در شاخص NDVI که دارای بیشترین مقدار همبستگی است، هنگامی که میزان بیماری از ۵۰٪ بیشتر می‌شود، حساسیت شاخص به بیماری کاهش می‌یابد و میزان همبستگی برابر با ۰.۷۴ است (شکل ۵- سمت چپ)؛ درحالی‌که در نسبت بیماری کمتر از ۵۰٪، حساسیت شاخص برابر با ۰.۹ است. به عبارت دیگر، با گسترش بیماری، حساسیت شاخص کاهش یافته و درمورد دیگر پراکندگی شاخص‌ها نیز، با گسترش بیماری، افزایش یافته است. باید با بررسی معیارهای گوناگون، پراکندگی و حساسیت شاخص مطالعه شود.

۳-۳- بررسی حساسیت شاخص‌ها به نسبت بیماری
در یک نسبت خاص از پیشرفت بیماری، از معیارهای



شکل ۵. رابطه شاخص NDVI با افزایش نسبت بیماری از سالم تا ۵۰٪ برگ (سمت چپ) و ۵۰٪ برگ تا ۱۰۰٪ (سمت راست)

1. diseases water index

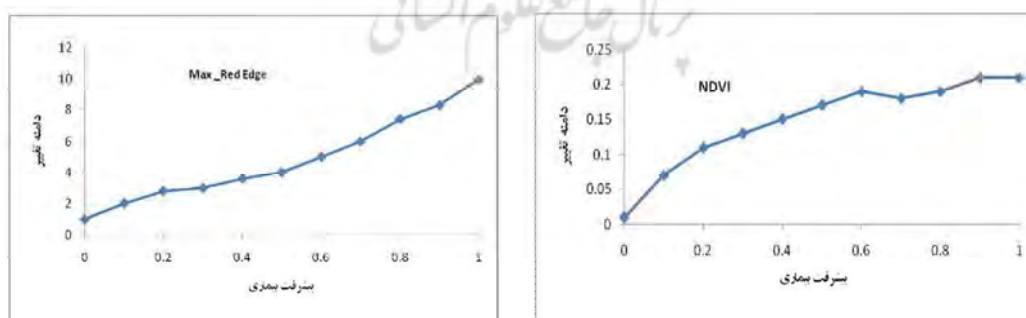


شکل ۶. میزان همانندی عددی شاخص در نسبتی خاص از پیشرفت بیماری برای شاخص NDVI (سمت چپ) و حداکثر لبه قرمز (سمت راست)

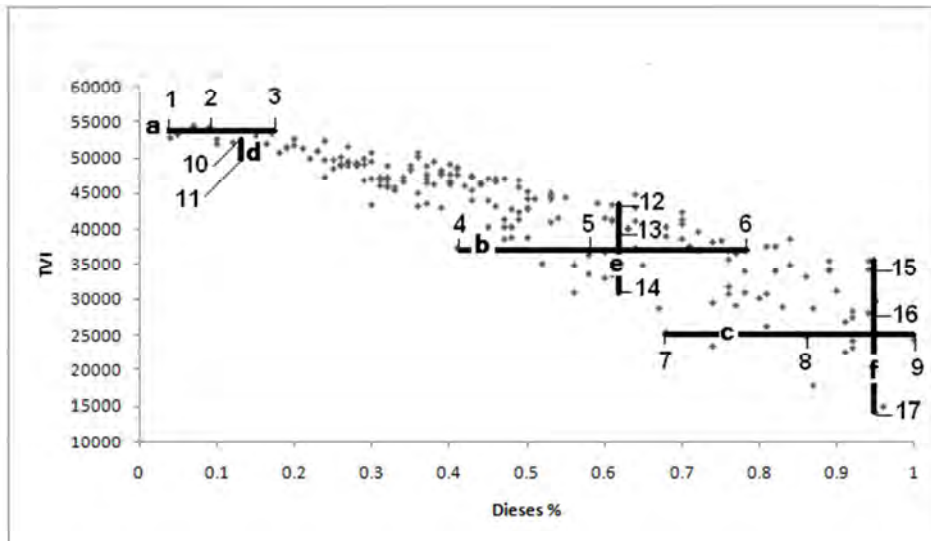
۳-۴ محاسبه میزان تغییر و پراکندگی درجات گوناگون بیماری

با توجه به الگوی پراکندگی شاخص پوشش گیاهی با پیشرفت بیماری، تغییر درجات گوناگون بیماری در شاخص‌های گیاهی بررسی شد. در شکل ۸، رابطه نسبت بیماری و شاخص TVI نشان داده شده است. به منظور بررسی پراکندگی شاخص با پیشرفت بیماری، روی پاره‌خط‌های a, b, c, d و e، به ترتیب ۳، ۳، ۳، ۲، ۳ و ۳ نقطه انتخاب شد. در جدول‌های ۳ و ۴، درجه پیشرفت بیماری در هریک از نقاط پاره‌خط‌ها نشان داده شده که این درجات به کمک دوربین دیجیتال و تکنیک طبقه‌بندی به دست آمده است.

همان‌طور که شکل ۷ مشخص است، دامنه تغییرات مقادیر شاخص‌های NDVI و حداکثر شیب قرمز با افزایش نسبت بیماری افزایش یافته است. یعنی شاخص‌های مورد نظر، با گسترش بیماری، اعداد متفاوتی را به خود اختصاص داده‌اند که این اعداد دامنه بالایی دارند. براساس نتایج معیارهای شباهت و دامنه تغییر، لازم است ناحیه بیمار با دقت بیشتری بررسی شود زیرا با افزایش نسبت بیماری، دامنه تغییرات داده‌ها و شباهت شاخص‌ها افزایش می‌یابد.



شکل ۷. رابطه افزایش نسبت بیماری و دامنه تغییر داده‌ها برای شاخص NDVI (سمت راست) و حداکثر لبه قرمز (سمت چپ)



شکل ۸. پراکندگی شاخص پوشش گیاهی با افزایش بیماری

جدول ۳. تغییرات میزان درجه زنگ‌زدگی در میزان شاخص ثابت

شماره خط	شماره نقطه	افزایش بیماری				
		سبز	زرد	نارنجی	قهوه‌ای تیره	مرده
a	۱	۹۵	۴	۱	۰	۰
a	۲	۸۹	۵	۵	۱	۰
a	۳	۸۳	۸	۵	۴	۰
b	۴	۵۹	۱	۳	۷	۳۰
b	۵	۴۲	۱۹	۱۸	۱۹	۲
b	۶	۲۴	۱۵	۳۴	۲۷	۰
c	۷	۲۶	۱۱	۹	۷	۴۷
c	۸	۱۴	۱۲	۲۸	۷	۳۹
c	۹	۸	۱۸	۲۵	۵	۴۴

جدول ۴. تغییرات درجه زنگ‌زدگی در نسبت بیماری ثابت

شماره خط	شماره نقطه	افزایش بیماری				
		سبز	زرد	نارنجی	قهوه‌ای تیره	مرده
d	۱۰	۸۷	۴	۵	۴	۰
d	۱۱	۸۵	۸	۵	۲	۰
e	۱۲	۳۹	۲۸	۲۴	۹	۰
e	۱۳	۴۰	۷	۱۸	۲۱	۱۴
e	۱۴	۴۰	۹	۹	۵	۳۷
f	۱۵	۶	۱۴	۳۹	۴۱	۰
f	۱۶	۶	۲۰	۱۹	۱۸	۳۷
f	۱۷	۵	۷	۸	۶	۷۴

طبقه‌بندی عکس‌های دوربین دیجیتال حاصل شده است.

مقادیر محاسبه‌شده (طبقه‌بندی) در جدول ۵ براساس ۱۴۰ نمونه اندازه‌گیری شده است. طبق این جدول، با گسترش بیماری، سهم نواحی گوناگون آن به سرعت افزایش یافته است. ناحیهٔ مرده از ۳۰ تا ۴۰ درصد پیشرفت بیماری آغاز و در ۹۰ تا ۱۰۰ درصد آلودگی برگ، ۳۳٪ برگ بیمار را دربر می‌گیرد. ناحیهٔ قهوه‌ای نیز از ۱۰ تا ۲۰ درصد آلودگی برگ آغاز و در ۹۰ تا ۱۰۰ درصد، بیشترین سهم را همانند نواحی مرده دارد. ناحیهٔ نارنجی از ابتدا در برگ آلوده بوده و بیشترین سهم خود را زمانی دارد که گسترش بیماری ۷۰ تا ۸۰ درصد است. ناحیهٔ زرد، طی دورهٔ رشد بیماری، ۱۵٪ تغییر داشته و بیشینهٔ آن در ۶۰ تا ۷۰ درصد است. تأثیر میزان درجهٔ پیشرفت بیماری در پراکندگی شاخص در نمودار شکل ۹ مشاهده می‌شود. مطابق نمودار شکل ۱۰، گسترش نواحی مردهٔ A، B، C، D، E و F در سطح برگ به ترتیب میزان نواحی مردهٔ ۱۰-۰، ۲۰-۱۰، ۳۰-۲۰، ۴۰-۳۰، ۵۰-۴۰ و ۱۰۰-۵۰ را بیان می‌کند. این شکل نشان می‌دهد با افزایش ناحیهٔ مرده در برگ، پراکندگی افزایش می‌یابد؛ به گونه‌ای که ناحیهٔ F دارای پراکندگی در جهت عمودی به نسبت جهت افقی است. این افزایش پراکندگی به دلیل تنوع طیف‌ها یا، به عبارتی، پراکندگی درون کلاسی است. در مقابل آن، ناحیهٔ A که سهم مرده در آن کمتر است، در جهت افقی، توسعهٔ بیشتری در مقایسه با جهت عمودی داشته است.

با توجه به شکل ۱۰، با گسترش نواحی مرده، میزان شاخص پوشش گیاهی تغییر کرده است. میانگین شاخص در نواحی A، B، C، D، E و F به ترتیب ۴۴۱۸، ۳۷۱۵، ۳۵۱۱، ۳۱۸۲، ۳۲۱۶ و ۲۳۴۳ بوده و با گسترش میزان نواحی مرده، میزان شاخص نیز تغییر یافته است.

همان‌طور که جدول ۳ نشان می‌دهد، هریک از نقاط روی پاره‌خط، در مقایسه با نقاط دیگر، دارای مقادیری متفاوت از نواحی سبز، زرد، نارنجی، قهوه‌ای تیره و مرده است. با توجه به شکل ۷، می‌توان گفت مقدار شاخص در هریک از پاره‌خط‌های a، b و c ثابت؛ ولی نسبت بیماری (ناحیهٔ سالم به کل سطح برگ) افزایش یافته است. براساس جدول ۴، این شباهت به دلیل تفاوت در نسبت‌های متفاوت درجهٔ پیشرفت بیماری (رنگ ناحیهٔ بیمار برگ) است. همچنین براساس شکل ۸، هریک از پاره‌خط‌های d، e و f دارای نسبت بیماری ثابت است ولی درجات گوناگون پیشرفت بیماری را نشان می‌دهد که علت این تفاوت نیز تغییر در نسبت‌های متفاوت درجات پیشرفت بیماری به‌شمار می‌رود.

پراکندگی درون کلاسی براساس فاصلهٔ اقلیدسی محاسبه شد. نسبت بیماری برگ از ۰ تا ۱۰۰ به ده کلاس مساوی تقسیم‌بندی شد و در هر کلاس، میانگین پراکندگی درون کلاسی براساس فاصلهٔ اقلیدسی به دست آمد. در شکل ۸، تغییرات پراکندگی درون کلاسی با افزایش نسبت بیماری، برای شاخص‌های متفاوت، نشان داده شده است.

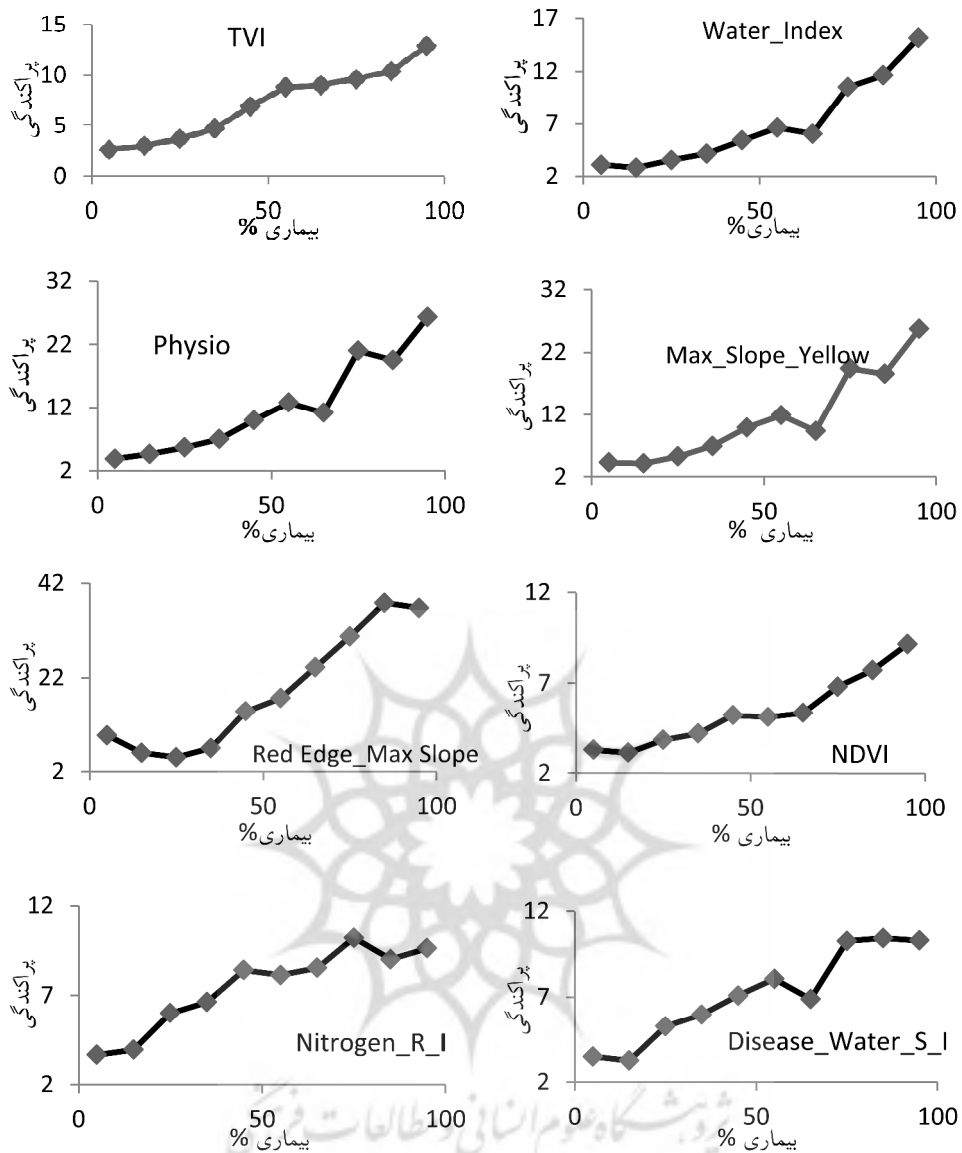
براساس نمودارهای شکل ۹، می‌توان گفت در تمامی شاخص‌ها پراکندگی درون کلاسی، با گسترش نسبت بیماری، افزایش یافته است؛ اگرچه در برخی خوشه‌ها، کاهش محلی مشاهده می‌شود.

۳-۵- بررسی تغییر در سهم بخش‌های متفاوت

برگ بیمار بر اثر گسترش

با گسترش بیماری در سطح برگ، درجات گوناگونی از بیماری سطح برگ را دربر می‌گیرند. براساس جدول ۵، با گسترش بیماری، سهم مقادیر متفاوت آن از صفر تا ۱۰۰ با فواصل ۱۰ نشان داده شده که این نتایج از

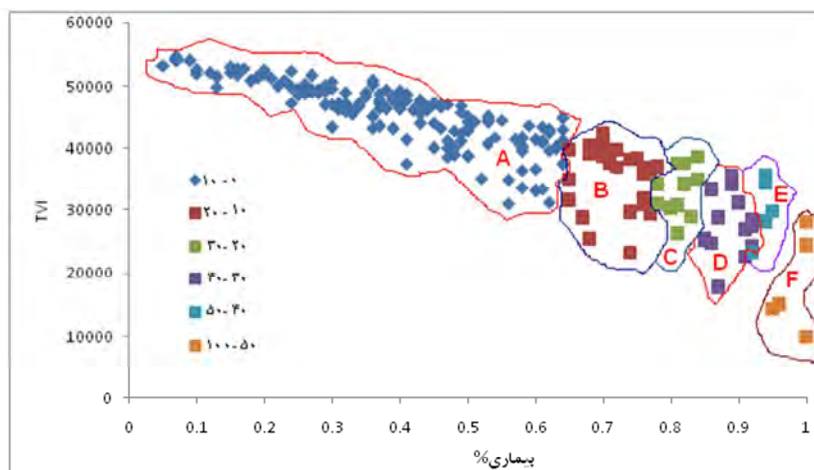
بررسی شاخص‌های طیفی به منظور شناسایی بیماری‌های ...



شکل ۹. رابطه میان گسترش بیماری و میانگین فاصله‌های خوشه برای شاخص‌های گوناگون پوشش گیاهی

جدول ۵. سهم مقادیر گوناگون بیماری

میزان پیشرفت بیماری	٪ سالم	٪ زرد	٪ نارنجی	٪ قهوه‌ای	٪ مرده
۰-۱۰	۹۳	۵	۲	۰	۰
۱۱-۲۰	۸۴	۷	۵	۴	۰
۲۱-۳۰	۷۴	۱۰	۹	۵	۱
۳۱-۴۰	۶۴	۱۳	۱۱	۹	۳
۴۱-۵۰	۵۴	۱۵	۱۳	۱۱	۷
۵۱-۶۰	۴۴	۱۵	۱۵	۱۴	۱۲
۶۱-۷۰	۳۵	۲۰	۱۸	۱۸	۹
۷۱-۸۰	۲۵	۱۳	۲۵	۲۴	۱۳
۸۱-۹۰	۱۵	۱۴	۲۳	۲۸	۲۰
۹۱-۱۰۰	۵	۱۴	۲۱	۲۷	۳۳



شکل ۱۰. گسترش نواحی مرده در سطح برگ

بدین معناست که با پیشرفت بیماری، مقادیر شاخص تغییر چندانی نداشته است. پراکندگی درون کلاسی و دامنه تغییرات نیز، با افزایش نسبت سطح بیمار، به سرعت بیشتر شده است؛ یعنی با افزایش میزان بیماری، دامنه تغییرات داده‌ها افزایش یافته و درصد بیماری اعداد متفاوتی را اختیار کرده است. بررسی‌های بیشتر نشان داد برگ گیاه بیمار شامل نواحی سبز، زرد، نارنجی، قهوه‌ای و مرده است. اختلاط طیفی نسبت‌های متفاوت درجات بیماری موجب تغییر در پراکندگی داده‌ها بر اثر پیشرفت بیماری شده است. همچنین، بررسی گسترش نواحی گوناگون بیماری، با استفاده از شاخص‌های طیفی، الگوی مشخصی در سطح برگ دارد. به منظور بررسی نسبت بیماری، لازم است در تحقیقات آینده، میزان سهم هریک از درجات بیماری مشخص شود. همچنین، عوارض جذبی هریک از نواحی یادشده بررسی و مقایسه شود.

۵- منابع

جعفرپور، بهروز؛ بیکزاده، ناصر؛ ۱۳۸۹. مدیریت بیماریها

و آفات گندم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

Ashourloo, D., Mobasheri, M.R. & Huete, A., 2014a, **Evaluating the Effect of Different Wheat Rust Disease Symptoms on Vegetation Indices Using Hyperspectral Measurements**, Remote Sensing, 6, PP. 5107-5123.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

امروزه گندم از مهم‌ترین منابع غذایی زندگی بشر به‌شمار می‌رود و ارزش غذایی این محصول بر کسی پوشیده نیست. شاخص‌های پوشش گیاهی نمایه‌هایی برای نشان دادن وضعیت سلامت و بیماری گیاهان محسوب می‌شوند. شاخص‌ها ساختار، آب، سبزیگی و رنگدانه‌های گیاه را براساس انرژی دریافتی سنجنده، در دو یا چند طول موج متفاوت، بررسی می‌کنند. در تحقیق حاضر، شاخص‌های NDVI، TCI، WI، فیزیولوژی بیماری و استرس آبی استفاده شدند. شاخص NDVI و بیشینه شیب قرمز، به ترتیب، دارای بالاترین و پایین‌ترین همبستگی‌اند. به‌طور کلی در تمامی شاخص‌های یادشده، با افزایش نسبت سطح بیمار برگ، مقادیر شاخص‌ها تغییر کرده‌اند ولی این تغییرات به گونه‌ای است که با افزایش نسبت بیماری برگ، پراکندگی داده‌ها نیز به سرعت افزایش می‌یابد. در ادامه تحقیق، میزان پراکندگی و دلایل آن بررسی شد. معیار همانندی نشان داد که امکان تفکیک نسبت سطح بیمار به سالم در سطح برگ، با افزایش بیماری، کاهش می‌یابد؛ به‌صورتی که در بیشتر شاخص‌ها، در مواردی که میزان پیشرفت بیماری بین ۳۰ تا ۷۰ درصد باشد، معیار همانندی بالاست. این

- Ashourloo, D., Mobasheri, M.R. & Huete, A., 2014b, **Developing Two Spectral Disease Indices for Detection of Wheat Leaf Rust (*Puccinia triticina*)**, Remote Sensing, 6, PP. 4723-4740.
- Ashourloo, D., Aghighi, H., Matkan, A.A., Mobasheri, M.R. & Rad, A.M., 2016a, **An Investigation into Machine Learning Regression Techniques for the Leaf Rust Disease Detection Using Hyperspectral Measurement**, IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Observ., Remote Sensing, 9, PP. 4344-4351.
- Ashourloo, D., Matkan, A.A., Huete, A., Aghighi, H. & Mobasheri, M.R., 2016b, **Developing an Index for Detection and Identification of Disease Stages**, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 13(6), PP. 851-855.
- Adams, M.L., Philpot, W.D. & Norvell, W.A., 1999, **Yellowness Index: An Application of Spectral Second Derivatives to Estimate Chlorosis of Leaves in Stressed Vegetation**, International Journal of Remote Sensing, 20, PP. 3663-3675.
- Broge, N.H. & Leblanc, E., 2001, **Comparing Prediction Power and Stability of Broadband and Hyperspectral Vegetation Indices for Estimation of Green Leaf Area Index and Canopy Chlorophyll Density**, Remote Sensing of Environment, 76, PP. 156-172.
- Cheng, Z., Rui-liang, P., Ji-hua, W. & Wen-jiang., 2012, **Detecting Powdery Mildew of Winter Wheat Using Leaf Level Hyperspectral Measurements**, Computers and Electronics in Agriculture, 85, PP. 13-23.
- Devadas, R., Lamb, D.W., Simpfendorfer, S. & Backhouse, D., 2009, **Evaluating Ten Spectral Vegetation Indices for Identifying Rust Infection in Individual Wheat Leaves**, Precision Agriculture, 10, PP. 459-470.
- Filella, I.; Serrano, L.; Serra, J.; Penuelas, J. 1995 **"Evaluating wheat nitrogen status with canopy reflectance indices and discriminant analysis,"** Crop Sci., vol.35, pp.1400-1405.
- Galvão, L.S., Formaggio, A.R. & Tisot, D.A., 2005, **Discrimination of Sugarcane Varieties in Southeastern Brazil with EO-1 Hyperion Data**, Remote Sensing of Environment, 94, PP. 523-534.
- Gail Ruhl., 2012, <http://www.btny.purdue.edu/Extension/Pathology/CropDiseases/Wheat/Wheat1.html>.
- Gamon, J.A.; Penuelas, J.; Field, C.B. 1992 **"A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency,"** Remote Sens. Environ., vol. 41, pp.35-44.
- Gong, P., Pu, R. & Heald, R.C., 2002, **Analysis of in Situ Hyperspectral Data for Nutrient Estimation of Giant Sequoia**, International Journal of Remote Sensing, 23, PP. 1827-1850.
- Haboudane, D., Miller, J.R., Pattery, E., Zarco-Tejad, P.J. & Strachan, I.B., 2004, **Hyperspectral Vegetation Indices and Novel Algorithms for Predicting Green LAI of Crop Canopies: Modeling and Validation in the Context of Precision Agriculture**, Remote Sensing Environment, 90, PP. 337-352.
- Hansen, J.G., 1991, **Use of Multispectral Radiometry in Wheat Yellow Rust Experiments**, OEPP/EPPO Bulletin, 21, PP. 651-658.
- Haralick, R.M. & Shanmugam, K., 1973, **Computer Classification of Reservoir Sandstones**, IEEE Trans. on Geo. Eng, 11, PP. 171-177.
- Hiary, A.S., Bani-Ahmad, M., Reyalat, M.B. & ALRahamneh, Z., 2011, **Fast and Accurate Detection and Classification of Plant Diseases**, International Journal of Computer Applications, 17, PP. 31-38.
- Jonas Franke, Gunter Menz, Erich-Christian Oerke., 2005 **"Comparison of multi- and hyperspectral imaging data of leaf rust infected wheat plants,"** SPIE vol.5976-59761D.
- Kuniaki, U., Takabayashi, Y. & Kosugi, Y., 2008, **Hyperspectral Analysis of Japanese Oak Wilt to Determine Normalized Wilt Index**, In Proceedings of 2008 IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium, Boston, MA, USA, 6-11 July 2008, 2, PP. 295-298.
- Laudien, R., Bareth, G. & Doluschitz, R., 2003,

- Analysis of Hyperspectral Field Data for Detection of Sugar Beet Diseases**, Proc. EFITA Conf. 2003. Debrecen, Hungary, PP. 375-381.
- Li, G. B., Zeng, S. M., & Li, Z. Q. 1989. **Integrated Management of Wheat Pests** (pp. 185– 186). Beijing: Press of Agriculture Science and Technology of China.
- Michael, P., Grisham, R., Johnson, M.V. & Zimba, P., 2010, **Detecting Sugarcane Yellow Leaf Virus Infection In Asymptomatic Leaves With Hyperspectral Remote Sensing And Associated Leaf**, Journal of Virological Methods, 167, PP. 140-145.
- Moshou, D., Bravo, C., West, J.S, McCartney, W.S. & Ramon, H.A., 2007, **Automatic Detection of Yellow Rust' in Wheat Using Reflectance Measurements and Neural Networks**, Computers and Electronics in Agriculture, 44, PP. 173-188.
- Peñuelas, J.; Pinol, J.; Ogaya, R.; Filella, I. 1997 **"Estimation of plant water concentration by the reflectance water index WI (R900/R970) ,"** Int. J. Remote Sens., vol. 18, pp.2869-2875
- Rinehart, G.L., Cathoun, J.H. & Schabbenberger, O., 2002, **Remote Sensing of Stripe Patch and Dollar Spot on Creeping Bentgrass and Annual Bluegrass Turf Using Visible and Near-infrared Spectroscopy**, Australian Turfgrass Management, Vol. 4.2.
- Rumpf, T., Mahlein, A.K., Steiner, U., Oerke, E.C., Dehne, H.W. & Plümer, L., 2010, **Early Detection and Classification of Plant Diseases with Support Vector Machines Based on Hyperspectral Reflectance**, Computers and Electronics in Agriculture, 74, PP. 91-99.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. & Deering, D.W., 1973, **Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS**, Proc. Third ERTS Symposium, 1, PP. 48-62.
- Sasaki, Y., Okamoto, T., Imou, K. & Torii, T., 1999, **Generating of Distinction Parameter for Automatic Diagnosis of Plant Disease by GP**, Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 61, PP. 73-80.
- Wenjiang, H., Lamb, D.W., Zheng, N., Yongjiang, Z., Liangyun, L. & Jihua, W., 2007, **Identification of Yellow Rust in Wheat Using in-Situ Spectral Reflectance Measurements and Airborne Hyperspectral Imaging**, Precision Agriculture, 8, PP. 187-197.
- Yang, Z., Rao, M. N., Elliott, N. C., Kindler, S. D., & Popham, T. W. 2009. **Differentiating stress induced by greenbugs and Russian wheat aphids in wheat using remote sensing**. Computers and Electronics in Agriculture, 67, 64–70.
- Zhang, J.; Pu, R.; Huang, W.; Yuan, L.; Luo, J.; Wang, J. 2012 **"Using in-situ hyperspectral data for detecting and discriminating yellow rust disease from nutrient stresses,"** Field Crops Res.,vol.134, pp. 165–174.