نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال هفدهم، شماره ۴۴، بهار ۹۶

تشخیص مزارع آلوده به بیماری زنگ گندم با استفاده از تصاویر لندست

دریافت مقاله: ۹۵/۶/۹ پذیرش نهایی: ۹۵/۱۱/۱۱
صفحات:۲۴-۷

محمدرضا مباشری: استاد گروه مهندسی سنجش‌ازدور، موسسه آموزش عالی خاوران مشهد[1]
Mohammadreza.mobasheri@khi.ac.ir
سمیرا رنجبر: دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور، دانشکده مهندسی ژئوماتیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
Samira.ranjbar69@yahoo.com

چکیده

هدف این پژوهش تشخیص مزارع آلوده به بیماری زنگ گندم می‌باشد. برای این منظور از داده‌های سنجنده ETM^+ ماهواره لندست ۷ در سال زراعی ۹۲-۹۳ و داده‌های آزمایشگاهی مربوط به طیف بازتابندگی برگ و درجه سلامت برگ در مراحل مختلف بیماری استفاده شده است. مقادیر بازتابندگی برگ در محدوده طیفی قرمز و مادون‌قرمز نزدیک را از طیف اسپکترورادیومتر استخراج نموده و با استفاده از تابع پاسخ طیفی لندست ۷ داده‌ها برای باندهای این سنجنده شبیه‌سازی گردید. سپس با استفاده از شاخص DVI و داده‌های مربوط به کسر سلامت برگ شاخصی به نام شاخص سلامت گندم ایجاد گردید. در این رابطه مقدار همبستگی این شاخص با کسر سلامت برگ ۰/۸۲ به دست آمد. در ارزیابی شاخص WHI مقدار RMSE برابر ۰/۰۸۹ به دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که این شاخص در مراحل سبزینگی گیاه عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهد و می‌تواند مناطق سالم، بیمار و مشکوک به بیماری را تشخیص دهد. ازآنجاکه شاخص به‌دست‌آمده یک شاخص طیفی است و به رنگ برگ حساس می‌باشد هرچه تصاویر به زمان برداشت محصول نزدیک‌تر شوند این شاخص ضعیف‌تر عمل می‌کند. منطقه مورد آزمون در این تحقیق در شهرستان سعادت شهر استان فارس واقع است.

کلیدواژگان: بیماری زنگ گندم، شاخص طیفی، شاخص DVI، تصویر لندست، سنجش از دور.

---

[1]. **نویسنده مسئول:**مشهد، بزرگراه امامعلی(ع)، بلوار شهید رفیعی، فلاجی ۲/۱۱ موسسه آموزش عالی خاوران کد پستی ۹۱۸۴۱۶۸۶۱۹

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.1.7]

مقدمه

بیماری یکی از فاکتورهای مهم تهدیدکننده پایداری محصول کشاورزی می‌باشد. به طوری که در طول سال‌های متوالی، متداول‌ترین روش برای تشخیص بیماری به صورت بصری توسط افراد باتجربه از طریق بازدید میدانی و روش‌های آزمایشگاهی صورت می‌گرفت. این روش‌ها نیازمند صرف زمان و هزینه زیادی می‌باشند که حتی ممکن است نتوانند نوع و شدت آفت را در مقیاس بزرگ با دقت برآورد کنند. در نتیجه با استفاده از داده‌های طیفی، روش‌های پیشرفته سنجش‌ازدور، داده‌های به دست آمده از عکس‌برداری هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و سنجنده‌های مبتنی بر زمین می‌توان علائم بیماری‌های بسیاری از محصولات کشاورزی را پیش از آنکه بیماری به وضوح دیده شود، تشخیص داد. گندم از آغاز کاشت تا هنگام برداشت، مورد حمله عامل‌های بیماری‌زا قارچی، ویروسی، باکتریایی و نماتدها قرار می‌گیرد و از عامل‌های غیرانگلی نیز آسیب می‌بیند. بنابراین کنترل این عوامل می‌تواند نقش به سزایی در افزایش پایدار تولید گندم داشته باشد(اسماعیل زاده مقدم،۱۹۸:۱۳۹۴).

بیماری زنگ گندم جز مهم‌ترین بیماری‌های قارچی گندم در کشور می‌باشد. سه نوع بیماری زنگ شامل زنگ‌های سیاه (زنگ ساقه یا سیاه ساقه)، زرد (زنگ خطی یا نواری) و قهوه‌ای (زنگ برگ یا نارنجی) روی گندم رخ می‌دهد. علائم بیماری زنگ زرد گندم در بهار، به طور معمول زودتر از دیگر زنگ‌های غلات ظاهر می‌شود. در آغاز روی برگ‌های جوان پوستول‌ها[1] یا جوش-های اوردیا[2] زرد رنگ تشکیل می‌شوند. اندازه هر جوش حدود ۰/۵-۱ در ۰/۳-۰/۵ میلی متر بوده که به تدریج به هم متصل و به صورت خطی یا نواری به موازات رگبرگ‌ها، هر دو سطح برگ را قرا می‌گیرند. شوند. است. نشانه‌های بیماری زنگ ساقه به صورت جوش‌های اورد یا با بیش از ۱/۵ میلی متر قطر، روی سطح بالایی پهنک برگ‌ها ظاهر می‌شود. این جوش‌ها قهوه‌ای و نارنجی رنگ و شکوفا هستند. جوش‌های تلیال که در زیر اپیدرم به ویژه برگ و غلاف تشکیل می‌شوند، به اندازه اوردیاها سیاه براق می‌باشند ولی شکوفا نیستند. عامل بیماری زنگ ساقه قارچ Puccinia graminis f.sp. tritici است. اوردیوسپورهای این قارچ بیشتر روی ساقه غلات برگ گندم تشکیل شده، ولی ممکن است پهنک برگ، پوشه و ریشک‌ها را نیز آلوده کند. جوش‌های اوردیال پاره شده و بافت اپیدرمی در حاشیه آن قرار می‌گیرد. جوش‌ها بیضوی کشیده یا دوکی‌شکل هستند (اسماعیل زاده مقدم،۱۹۹:۱۳۹۴).

1 Pustules
2 Uredia

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.1.7]

تحقیقات زیر قابلیت شاخص‌های پوشش گیاهی را در شناسایی بیماری زنگ گندم نشان می‌دهند.

Devadas و همکاران در سال ۲۰۰۹ از ده شاخص طیفی پوشش گیاهی باریک باند در ناحیه مرئی و مادون‌قرمز نزدیک برای تشخیص زنگ‌های مختلف در مقیاس برگ استفاده نمودند. در تحقیق آن‌ها هیچ شاخصی به‌تنهایی قادر به تشخیص سه نوع زنگ از یکدیگر نبود. بااین‌حال نشان دادند که شاخص بازتابندگی آنتوسیانین (ARI)[1] برای تشخیص زنگ زرد قابل‌استفاده است و قادر به جداسازی برگ‌های سالم از برگ‌های آلوده به زنگ می‌باشد. همچنین نشان دادند که شاخص TCARI[2] می‌تواند زنگ ساقه را از زنگ برگ جدا کند (Devadas,2009:459).

Zhang و همکاران در سال ۲۰۱۲ با استفاده از داده‌های ابر طیفی به تشخیص و جداسازی بیماری زنگ گندم از تنش‌های غذایی پرداختند. آن‌ها پاسخ ۳۸ شاخص پوشش گیاهی رایج را در ۵ مرحله مهم رشد از طریق آنالیز همبستگی موردبررسی قراردادند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که شاخص‌های بازتابندگی فتوشیمیایی (PRI)[3]، بازتابندگی فیزیولوژیکی (PhRI)[4]، نسبت رنگ‌دانه کلروفیل نرمال شده (NPCI)[5] و ARI حضور بیماری زنگ گندم را در ۴ مرحله از ۵ مرحله رشد نشان می‌دهند. این شاخص‌ها کاندیدهایی برای تشخیص بیماری زنگ زرد هستند. آن‌ها با انجام آزمون t بر روی این ۴ شاخص به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های ARI، PRI و NPCI مسئول تنش‌های مربوط به مقدار آب گیاه هستند که باعث ابهام در تشخیص بیماری زنگ زرد می‌شوند. همچنین شاخص PhRI حساس به بیماری زنگ زرد است و دقت بالایی در تشخیص بیماری زنگ زرد دارد (Zhang,2012:165).

عاشورلو و همکاران در سال ۲۰۱۴ با استفاده از رفتار طیفی برگ گیاه راهکاری جهت تشخیص بیماری زنگ قهوه‌ای ارائه دادند. آن‌ها بازتابندگی برگ‌های سالم و بیمار گندم را در مراحل مختلف توسعه بیماری با اسپکترورادیومتر جمع‌آوری کردند و همچنین نسبت بیماری سطح برگ به‌کل مساحت برگ و سهم درجات مختلف بیماری شامل زرد، نارنجی، قهوه‌ای تیره و خشک را با دوربین دیجیتال استخراج کردند. آن‌ها با داشتن سهم دقیق مراحل مختلف بیماری و طیف بازتابندگی برگ بیمار، طیف‌های بازتابندگی مربوط به مراحل مختلف بیماری را با استفاده از ترکیب طیفی خطی و روش کمترین مربعات به دست آوردند. منحنی بازتابندگی

1 Anthocyanin reflectance index
2 Transformed chlorophyll Absorption and Reflectance Index
3 Photochemical Reflectance Index
4 The physiological reflectance index
5 Normalised pigment chlorophyll ratio index

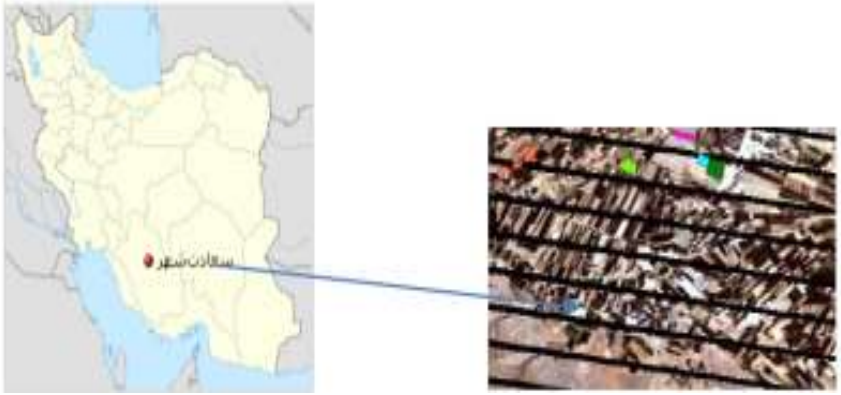
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.1.7]

مراحل مختلف بیماری در طول‌موج‌های ۴۵۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر جهت یافتن طول‌موج مناسب برای تخمین بیماری مورد ارزیابی قراردادند و با بررسی منحنی‌های بازتابندگی با تابع فیشر دو شاخص LRDSI_1[1] و LRDSI_2[2] مبتنی بر بازتابندگی در طول‌موج‌های ۶۰۵، ۶۹۵ و ۴۵۵ نانومتر برای تخمین بیماری زنگ قهوه‌ای به دست آوردند. برای هر دو شاخص بالا ضریب همبستگی بین مقادیر تخمینی نسبت بیماری و مقادیر واقعی آن بیشتر از ۰/۹۵ به دست آمد. آن‌ها برای اولین بار، تابعی برای پیشرفت مراحل مختلف بیماری در یک سختی مشخص از بیماری ارائه دادند که بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این تابع طول‌موج‌های ۷۷۵ و ۶۷۵ نانومتر بیش‌ترین مقدار را نشان می‌دهند؛ بنابراین از نسبت بازتابندگی در طول‌موج‌های ۷۷۵ و ۶۷۵ به‌عنوان نسبت طیفی مناسب، جهت تشخیص پیشرفت بیماری استفاده کردند. دقت کلی و دقت کاپا برای تشخیص شدت بیماری در چهار سطح مختلف به ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۶۶ به دست آمد (Ashourloo,2014:4723) و (Ashourloo,2014:5107).

داده ها و روش کار

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهرستان سعادت شهر، واقع در استان فارس می‌باشد که در ۱۰۵ کیلومتری شمال شرقی شهر شیراز قرار دارد. این شهرستان بین طول‌های جغرافیایی ۵۲/۹۸۰۰۴۱ تا ۵۳/۱۴۲۸۲۶ و عرض جغرافیایی ۳۰/۰۴۴۲۶۹ تا ۳۰/۱۱۲۸۳۳ قرار دارد. شکل (۱) موقعیت منطقه مطالعاتی را همراه با تصویر لندست به نمایش گذاشته است.



شکل (۱). موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر لندست

1.Leaf Rust Disease Severity Index-1
2. Leaf Rust Disease Severity Index-2

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.1.7]

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از تصاویر سنجنده ETM^+ ماهواره لندست ۷ در سال زراعی ۹۲-۹۳ استفاده شده است. این تصاویر از طریق سایتwww.earthexplorer.usgs.gov دانلود گردیده است. داده‌های میدانی مورد استفاده در این تحقیق اطلاعاتی در مورد مزارع گندم شهرستان سعادت شهر که شامل نقشه زمینی از مزارع سالم و آلوده به بیماری زنگ گندم، تاریخ کاشت، آبیاری، کود دهی، سم پاشی، برداشت و تاریخ مشاهده زنگ گندم می‌باشد. داده‌های آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش، طیف بازتابندگی برگ و درجه سلامت برگ در مراحل مختلف رشد بیماری می‌باشد که توسط عاشورلو و همکاران در سال ۲۰۱۴ تهیه گردیده است.

.

آماده سازی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای

در این پژوهش جهت بهبود کیفیت تصاویر، افزایش وضوح و درنتیجه افزایش میزان اطلاعات قابل استخراج از تصاویر، نیاز داشت که تصحیحات رادیومتریکی و جوی بر روی تصاویر صورت بگیرد. همان‌طور که گفته شد در این پژوهش از تصاویر سنجنده ETM^+ استفاده شده است که این تصاویر توسط شرکت تأمین‌کننده مورد تصحیح رادیومتریکی قرارگرفته‌اند به‌طوری‌که بسیاری از خطاهای مکانیکی/ الکترونیکی بر روی آن‌ها اصلاح شده است. در نتیجه این تصاویر نیاز به تصحیح رادیومتریکی نداشتند. به همین دلیل در مورد داده‌های استفاده شده در این پژوهش فقط تصحیحات مربوط به خطاهای جوی طی دو مرحله تبدیل DN[1] به چگالی شار تابشی دهانه‌ی سنجنده و تبدیل چگالی شار تابشی به بازتابندگی سطحی با استفاده از الگوریتم FLAASH[2] در نرم افزار ENVI5.1 اعمال شده است. پارامترهای ورودی این الگوریتم از طریق اطلاعات جانبی[3] مربوط به تصاویر ماهواره‌ای و نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مورد مطالعه به دست آمد. در نهایت خروجی این الگوریتم تصویر بازتابندگی سطح می‌باشد.

مبانی روش پیشنهادی

شاخص‌های گیاهی

در این قسمت چهار شاخص گیاهی به کار رفته در این تحقیق به طور مختصر شرح داده شده است:

1. Digital Number
2. Fast Line of-sight Atmosphere Analysis In spectral Hypercubes
3. Metadata

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.1.7]

شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار[1]

این شاخص که اولین بار توسط Rouse و همکاران در سال ۱۹۷۳ پیشنهاد گردید، بیشترین کاربرد را در سنجش از دور دارد. این شاخص نسبت به تغییر در مقدار بیومس، مقدار کلروفیل و تنش در مقدار آب تاج پوشش واکنش نشان می‌دهد. شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار اساساً بر پایه رفتارهای مختلف نمایش داده شده به وسیله اختلاف در طول‌موج‌های الکترومغناطیس گسیل شده از گیاهان می‌باشد. کلروفیل داخل گیاه انرژی واقع در طول موج قرمز را جذب می‌کند درحالی‌که مزوفیل در بخش مادون قرمز امواج را منعکس می‌کند. این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Rouse,1973:309).

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \qquad (1)$$

که در این رابطه ρ_{NIR} و ρ_{RED} به ترتیب بازتابندگی نواحی قرمز و مادون قرمز نزدیک است.

شاخص گیاهی تفاضلی[2]

این شاخص ساده‌ترین شاخص پوشش گیاهی که توسط Tucker در سال ۱۹۷۹ ارائه‌شده است. این شاخص از کسر کردن مقادیر انعکاس باند قرمز از باند مادون قرمز به دست می‌آید (Tucker,1979:127).

$$\mathrm{NDVI} = \rho_{NIR} - \rho_{RED} \qquad (۲)$$

شاخص نسبت ساده چند طیفی[3]

این شاخص که توسط Jordan در سال ۱۹۶۹ پیشنهاد شده است از نسبت بازتابندگی باند مادون نزدیک به بازتابندگی در باند قرمز استفاده شده است. این شاخص شیب خطی است که پوشش گیاهی را در فضای قرمز طیف الکترومغناطیس نسبت به مادون قرمز نزدیک طیف الکترومغناطیس نشان می‌دهد (Jordan,1969:663). این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\mathrm{SR} = \rho_{NIR} / \rho_{RED} \qquad (۳)$$

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Difference Vegetation Index
3. Simple Ratio Index

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.1.7]

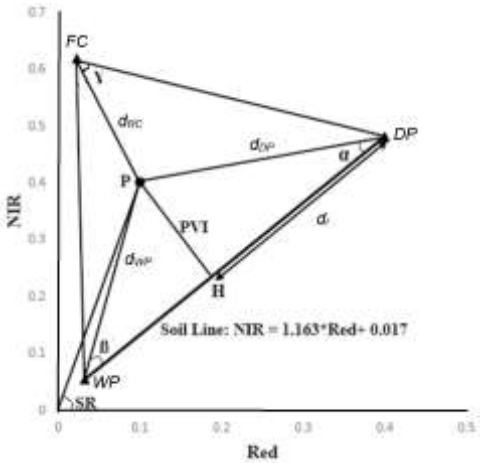
شاخص سطح برگ[1]

این شاخص توسط امانی و مباشری در سال ۲۰۱۵ ارائه شد که از اطلاعات پوشش گیاهی موجود در نمودار پراکنش باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک تصاویر ETM^{+} برای برآورد LAI استفاده کردند. این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Amani and Mobasheri,2015:475)

$$LAI = 1.14 \times SR + 22.04 \times PVI - 2.3 \times d_{wp} - 3.35 \times \beta + 0.7 \times \gamma \quad \textbf{(4)}$$

پارامترهای استخراج شده مطابق شکل (۲) این‌گونه تعریف می‌شوند:

شاخص PVI: فاصله عمودی از خط خاک، شاخص SR: شیب خط ایجاد شده توسط موقعیت هر نقطه و مبدأ نمودار، d_{WP}: فاصله از نقطه‌ی مرطوب روی خط خاک، β: زاویه ایجاد شده توسط خط اتصال موقعیت هر نقطه و نقطه WP با خط خاک و γ: زاویه ایجاد شده توسط خط اتصال موقعیت هر نقطه و نقطه FC با خط اتصال نقاط DP و FC.



شکل (۲) پارامتر استخراج شده برای برآورد LAI

روش تحقیق

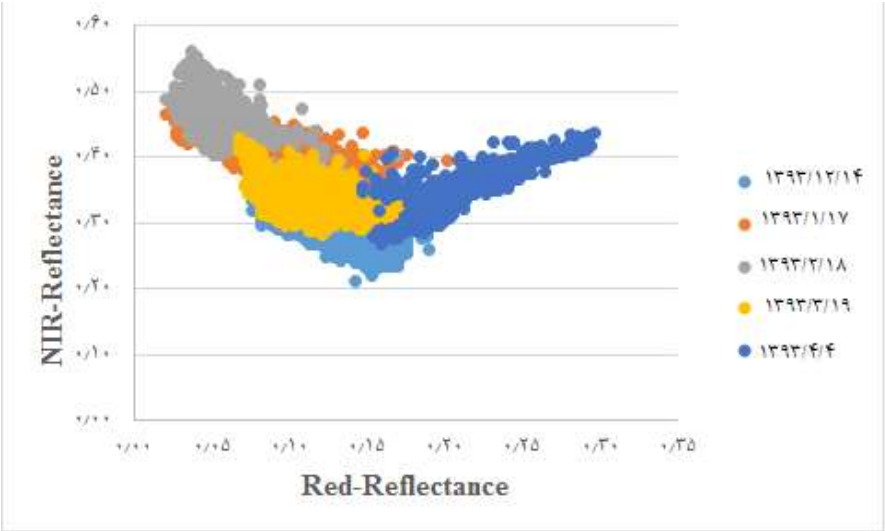
نمودار پراکنش NIR-Red دارای اطلاعات فراوانی در مورد پوشش گیاهی و خاک پس‌زمینه است. پیکسل‌هایی که دارای بازتابندگی NIR بالا و Red پایین هستند در رأس بالایی این مثلث قرار دارند که نشان دهنده پوشش گیاهی متراکم می‌باشد. هم چنین قاعده مثلث نشان دهنده خط خاک است که از خاک مرطوب تا خاک خشک کشیده شده است. در این پژوهش

1. Leaf Area Index

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.1.7]

تصاویری از تاریخ کاشت تا برداشت مزارع تهیه شده است. جهت تشخیص مزارع سالم و آلوده به بیماری زنگ گندم نیاز به تصاویری است که دارای پوشش گیاهی بوده و به مرحله خشکی نرسیده باشند؛ که با توجه به نمودار زیر دیده می‌شود که تصویر مربوط به تاریخ ۱۳۹۳/۲/۱۸ در رأس بالایی این مثلث قرار دارد و دارای پوشش گیاهی انبوه است. همچنین تصاویر مربوط به تاریخ‌های ۱۳۹۳/۱۲/۱۴ و ۱۳۹۳/۴/۴ به ترتیب در محدوده خاک مرطوب و خشک قرار دارند. پس با توجه به این نمودار تصاویر مربوط به تاریخ‌های ۱۳۹۳/۱/۱۷، ۱۳۹۳/۲/۱۸ و ۱۳۹۳/۳/۱۹ به جهت دارا بودن پوشش گیاهی، تصاویر مناسبی برای این پژوهش محسوب می‌شوند.



شکل (۳). نمایش نحوه توزیع پیکسل‌های این پژوهش در نمودار پراکنش RED-NIR

جهت تشخیص مزارع سالم و آلوده به بیماری زنگ گندم نیاز است پیکسل‌هایی که دارای پوشش گیاهی انبوه هستند را در مزارع جدا نمود؛ زیرا برای تشخیص پیکسل‌های سالم و ناسالم نباید پوشش گیاهی مزرعه تنک باشد و خاک در آن دیده شود بدین منظور جهت انتخاب پیکسل‌های دارای پوشش گیاهی از شاخص‌های NDVI و LAI در این پژوهش استفاده شده است. مقدار آستانه مناسب برای شاخص‌های NDVI و LAI جهت جداسازی پیکسل‌های دارای پوشش گیاهی به ترتیب مقادیر ۰/۵ و ۶ در نظر گرفته شده است و پیکسل‌هایی که مقادیر LAI کمتر از ۶ و NDVI کمتر از ۰/۵ رادارند، به‌عنوان پیکسل‌هایی که در آن‌ها خاک

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.1.7]

وجود دارد کنار گذاشته می‌شوند. سپس مقادیر بازتابندگی برگ در محدوده طیفی قرمز و مادون‌قرمز نزدیک را از طیف اسپکترورادیومتر استخراج نموده و با استفاده از تابع پاسخ طیفی لندست ۷ و رابطه زیر این داده‌ها را شبیه‌سازی کرده و به محدوده باندهای لندست ۷ برده می‌شوند.

$$R^{sim} = \frac{\int_{\lambda 1}^{\lambda 2} RSR_{\lambda} * R_{\lambda} * d\lambda}{\int_{\lambda 1}^{\lambda 2} RSR_{\lambda} * d\lambda} \qquad (5)$$

در این رابطه R بازتابندگی شبیه‌سازی شده، RSR تابع پاسخ طیفی و λ_1، λ_2 به ترتیب طول‌موج ابتدایی و انتهایی مربوط به باندهای مورد نظر هستند (Soudani et al..2006:161).

با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی مربوط به طیف بازتابندگی برگ و درجه سلامت برگ در مراحل مختلف بیماری شاخصی به نام شاخص سلامت گندم (WHI[1]) ایجاد گردید. از بین کل داده‌های مربوط به طیف بازتابندگی برگ (۲۰۱ داده فیلترشده)،۱۵۱ داده (۷۵ درصد) را به عنوان داده آموزشی و ۵۱ داده (۲۵ درصد) را برای ارزیابی در نظر گرفته شده است. با استفاده از داده‌های آموزشی ابتدا شاخص DVI را محاسبه نموده و پس از آن با استفاده از این شاخص و کسر سلامت برگ رابطه لگاریتمی مانند رابطه ۶ ایجاد گردید.

$$WHI = 1.041Ln(DVI) + 1.298 \qquad \textbf{(6)}$$

سپس این معادله با استفاده از داده‌های ارزیابی مورد بررسی قرار گرفت که ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE= ۰/۰۸۹)، مقدار نسبی ریشه میانگین مجذور خطا (RRMSE= ۱۷/۱۲ درصد) و ضریب همبستگی (R=۰/۸۲) به دست آمد. از آنجایی که داده‌های مورد استفاده در این پژوهش بر اساس اطلاعات بازتابندگی طیفی برگ بوده که به باندهای لندست ۷ تجمیع شده است می‌باشد که مطمئنا در سطح ماهواره بخوبی قابل‌اجرا نمی‌باشد. برای اینکه بتوان از این شاخص برای تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد ش یب لبه قرمز محدود بین محدوده باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک از داده‌های طیفی برگ (DVI_{leaf}) به شیب همین ناحیه در داده‌های ماهواره ($DVI_{satellite}$) تصحیح گردید. برای این منظور از ضریب تصحیح شیب که مطابق رابطه ۷ به دست می‌آید استفاده گردید.

1. Wheat Health Index

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.1.7]

$$\alpha = \frac{DVI_{Satellite}}{DVI_{Leaf}} \quad (7)$$

در این رابطه، جهت به دست آوردن $DVI_{satellite}$ از بین پیکسل‌های با پوشش گیاهی انبوه درگذرهای مختلف ماهواره تعدادی پیکسل سالم و ناسالم را جدا کرده و بین DVI آن‌ها میانگین گرفته شد. در نتیجه این کار مقدار $DVI_{satellite}$ برابر ۰/۳۷ به‌دست‌آمد. همچنین برای تعیین DVI_{leaf} از بین داده‌های آزمایشگاهی مربوط به طیف بازتابندگی تعدادی برگ که از سلامت بیشتری برخوردار بوده و نیز تعدادی که دارای سلامت کمتری بودند را جدا نموده و بین DVI آن‌ها میانگین گرفته شد. در نتیجه مقدار DVI_{leaf} مناسب در این پژوهش ۰/۵۹ به دست آمد. در نهایت با استفاده از رابطه (۷) ضریب تصحیح شیب برای این پژوهش ۰/۶۲ حاصل گردید. سپس این ضریب تصحیح شیب به‌دست‌آمده درشیب معادله مربوط به شاخص سلامت گندم (۶) ضرب شده و بر روی تصاویر ماهواره‌ای اعمال گردید.

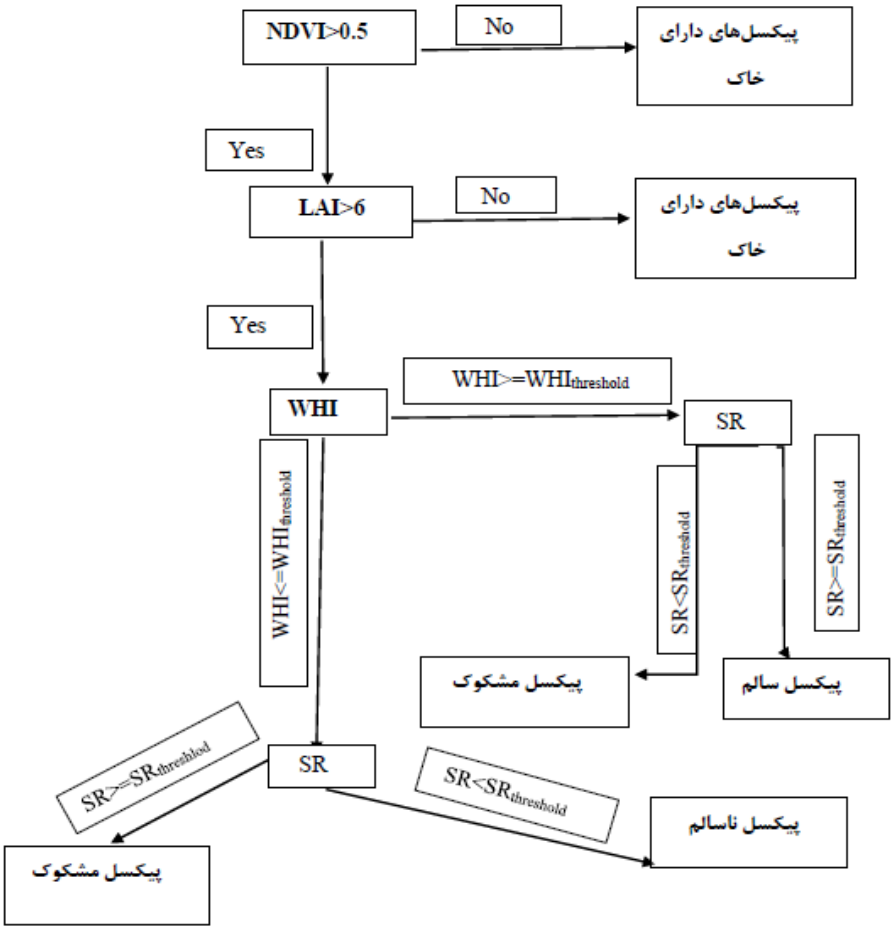
$$WHI = 1.000742 \times Ln(DVI) + 1.298 \quad (8)$$

پس از جداسازی پیکسل‌های با پوشش گیاهی انبوه، شاخص‌های سلامت گندم و SR بر روی تصاویر اعمال گردید. سپس جهت جداسازی پیکسل‌های سالم، مشکوک و ناسالم اقدام به تعیین آستانه مناسب برای شاخص‌های سلامت گندم و SR شد. برای این کار ابتدا در هر گذر ماهواره پیکسل‌هایی که مقدار شاخص‌های سلامت گندم و SR آن‌ها بالا است را به‌عنوان پیکسل‌هایی که قطعاً سالم هستند و پیکسل‌هایی که مقدار شاخص‌های سلامت گندم و SR آن‌ها پایین است را به‌عنوان پیکسل‌هایی که قطعاً ناسالم هستند جدا شدند. سپس بین پیکسل‌هایی که در هر گذر ماهواره به‌عنوان قطعاً ناسالم جداشده‌اند میانگین گرفته شد. این کار برای پیکسل‌های قطعاً سالم نیز صورت گرفت. به این ترتیب آستانه مناسب برای جداسازی پیکسل‌های سالم، مشکوک و ناسالم به دست آمد. مقدار این آستانه برای WHI و SR در این پژوهش به ترتیب ۰/۳ و ۸/۹۴ به دست آمد.

پس از تعیین آستانه مناسب برای شاخص‌های WHI و SR با استفاده از شرط‌هایی که در روندنما زیر آورده شده است، پیکسل‌های سالم، ناسالم و مشکوک در مزارع جدا گردیدند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.1.7]



شکل (۴). مراحل جداسازی پیکسل‌های سالم، مشکوک و ناسالم

آنالیز نتایج و ارزیابی

درجه زنگ زدگی گندم بستگی به گذر ماهواره دارد و زمانی ماهواره می‌تواند بیماری زنگ گندم را مشاهده کند که این بیماری شیوع پیدا کرده باشد. در واقع ماهواره تأثیر تمام لکه‌های برگ را روی یک پیکسل باهم می‌تواند ببیند. از این رو این مدل می‌باید در هر گذر ماهواره اعمال گردد. جدول (۱) مربوط به اطلاعات میدانی مزارع سالم و ناسالم می‌باشد که در این جدول تعداد پیکسل‌های مزارع را در سه گذر ماهواره به ترتیب در تاریخ‌های ۱۳۹۳/۱/۱۷، ۱۳۹۳/۲/۱۸ و ۱۳۹۳/۲/۱۹ را نشان می‌دهد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.1.7]

جدول (۱). اطلاعات مربوط به مزارع سالم و ناسالم در هر گذر ماهواره

تاریخ گذر ماهواره	شماره مزرعه	وضعیت سلامت	تعداد پیکسل‌های دارای پوشش گیاهی انبوه در هر مزرعه	مجموع پیکسل‌های سالم و زنگ زده	مجموع کل پیکسل‌های مزرعه در هر گذر
۱۳۹۳/۱/۱۷	مزرعه ۱	زنگ زده	۲۱۵	۲۵۲	۵۱۱
	مزرعه ۲	زنگ زده	۳۷		
	مزرعه ۳	سالم	۱۰۴	۲۵۹	
	مزرعه ۴	سالم	۶۶		
	مزرعه ۵	سالم	۸۹		
۱۳۹۳/۲/۱۸	مزرعه ۱	زنگ زده	۲۳۳	۲۸۱	۶۷۵
	مزرعه ۲	زنگ زده	۴۸		
	مزرعه ۳	سالم	۱۹۳	۳۹۴	
	مزرعه ۴	سالم	۷۶		
	مزرعه ۵	سالم	۱۲۵		
۱۳۹۳/۳/۱۹	مزرعه ۱	زنگ زده	۷۲	۷۲	۲۱۵
	مزرعه ۲	زنگ زده	۰		
	مزرعه ۳	سالم	۷۶	۱۴۳	
	مزرعه ۴	سالم	۵۵		
	مزرعه ۵	سالم	۱۲		

همان‌طور که در جدول (۱) دیده می‌شود، در تاریخ ۱۳۹۳/۱/۱۷ تعداد کل پیکسل‌های مزارع ۵۱۱ می‌باشد که از بین این پیکسل‌ها، ۲۵۹ پیکسل مربوط به مزارع سالم و ۲۵۲ پیکسل مربوط به مزارع ناسالم است. همچنین در تاریخ ۱۳۹۳/۲/۱۸ تعداد کل پیکسل‌های مزارع ۶۷۵ می‌باشد که از بین این پیکسل‌ها، ۳۹۴ پیکسل در مزارع سالم و ۲۸۱ پیکسل مزارع ناسالم قرار دارند و در تاریخ۱۳۹۳ /۳/۱۹ نیز تعداد کل پیکسل‌های مزارع ۲۱۵ بوده که از بین این‌ها ۱۴۳ پیکسل مربوط به مزارع سالم و ۷۲ پیکسل مربوط به مزارع ناسالم قرار دارند جدول‌های (۲)، (۳) و (۴) نتایج ارزیابی مدل را به ترتیب در سه گذر ۱۳۹۳/۱/۱۷، ۱۳۹۳/۲/۱۸ و ۱۳۹۳/۲/۱۹ را نشان می‌دهد. مزارع تحت مطالعه در این تحقیق ثابت بودند و دلیل اصلی متفاوت بودن تعداد پیکسل‌ها در گذرهای متفاوت، قرار گرفتن قسمت‌های متفاوت زمین در نوارهای برداشت در هر گذر است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.1.7]

جدول (۲). نتایج ارزیابی مدل WHI در گذر ۱۳۹۳/۱/۱۷

کلاس	سالم (ماهواره)	ناسالم (ماهواره)	مجموع
مزارع سالم (مشاهدات)	۲	۱۹۳	۱۹۵
مزارع ناسالم (مشاهدات)	۱۰۴	۹۷	۲۰۱
مجموع	۱۰۶	۲۹۰	۳۹۶

همچنین همان‌طور که درجدول (۱) دیده شد، پس از اعمال این مدل بر روی تصویر۱۳۹۳/۱/۱۷ از بین ۵۱۱ پیکسل، این مدل توانسته است ۳۹۶ پیکسل را تشخیص داده و ۱۱۵ پیکسل را تشخیص ندهد. علت اینکه این مدل نتوانسته است تعدادی از این پیکسل‌ها را تشخیص دهد ممکن است به دلیل آستانه‌های تعریف شده برای شاخص‌های سلامت گندم و SR باشد که با تغییر این آستانه‌ها تعداد این پیکسل‌ها می‌تواند کم و زیاد شود. بنابراین به نظر می‌رسد که نیاز است همراه با گذر ماهواره کیفیت زمین‌ها مرتب بازدید شود تا مدل بتواند حد آستانه‌های خود را بهتر تعریف کند. در این پژوهش، این مدل برای پیکسل‌هایی که توانسته است تشخیص دهد مورد ارزیابی قرار گرفته است ولی اگر دقت تشخیص صحیح پیکسل‌های سالم و ناسالم، بر اساس کل پیکسل‌های مزارع محاسبه گردند مسلماً باعث کاهش دقت می‌شود. با این حال این مسئله مشکل ساز نمی‌باشد چون اگر در مزرعه‌ای اکثریت پیکسل‌ها سالم تشخیص داده شوند آن مزرعه را به عنوان سالم و برعکس اگر بیشتر پیکسل‌های مزرعه‌ای ناسالم تشخیص داده شوند آن مزرعه به عنوان مشکوک به بیماری طبقه‌بندی می‌شود. همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود این مدل از بین ۳۹۶ پیکسلی که توانسته است تشخیص دهد، ۱۹۵ پیکسل مربوط به مزارع سالم و ۲۰۱ پیکسل مربوط به مزارع ناسالم می‌باشد که این مدل جمعاً ۹۹ (۲+۹۷) پیکسل از ۲۹۰ پیکسل را درست تشخیص داده است (تقریباً ۳۰ درصد). دقت کاربری و تولید کننده برای کلاس سالم به ترتیب برابر ۱/۰۲ و ۱/۸۹ درصد به دست آمد. از این میان تنها ۲ مورد از ۱۹۵ مورد سالم و ۹۷ مورد از ۲۰۱ مورد ناسالم را توانسته است تشخیص دهد که عملکرد چندان مطلوبی نیست. همچنین برای کلاس ناسالم دقت کاربری و تولید کننده به ترتیب برابر ۴۸/۲۶ و ۳۳/۴۵ درصد به دست آمد. دقت تشخیص صحیح کلاس‌های سالم و ناسالم بر اساس پیکسل‌هایی که این مدل توانسته است تشخیص دهد (۳۹۶ پیکسل) برابر ۲۵ درصد به دست آمده است البته در صورتی که میزان این دقت بر اساس کل پیکسل‌های مزارع (۵۱۱ پیکسل) محاسبه شود برابر ۱۹/۳۷ درصد می‌باشد؛ که همان‌طور دیده می‌شود مقدار دقت کلی کاهش پیدا می‌کند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.1.7]

جدول (۳) نتایج ارزیابی مدل WHI در گذر ۱۳۹۳/۲/۱۸

کلاس	سالم (ماهواره)	ناسالم (ماهواره)	مجموع
مزارع سالم (مشاهدات)	۲۲۹	۴۲	۲۷۱
مزارع ناسالم (مشاهدات)	۱۸۱	۳۹	۲۲۰
مجموع	۴۱۰	۸۱	۴۹۱

بار دیگر توجه به جدول (۱)، تعداد کل پیکسل‌های مزارع در تاریخ ۱۳۹۳/۲/۱۸، ۶۷۵ می‌باشد. پس از اعمال این مدل بر روی تصویر، از بین ۶۷۵ پیکسل این مدل ۴۹۱ پیکسل را توانسته است تشخیص دهد و ۱۸۴ پیکسل را تشخیص نداده است. همان‌طور که در جدول (۳) دیده می‌شود این مدل از بین ۴۹۱ پیکسلی که توانسته است تشخیص دهد ۲۷۱ پیکسل مربوط به مزارع سالم و ۲۲۰ پیکسل مربوط به مزارع ناسالم است که این مدل ۴۱۰ پیکسل را سالم و ۸۱ پیکسل را ناسالم تشخیص داده است. دقت کاربری و تولید کننده برای کلاس سالم به ترتیب برابر ۸۴/۵ و ۵۵/۸۵ درصد به دست آمد. همچنین برای کلاس ناسالم دقت کاربری و تولید کننده به ترتیب برابر ۱۷/۷۲ و ۴۸/۱۵ درصد می‌باشد. دقت تشخیص صحیح کلاس‌های سالم و ناسالم دست آمده برابر ۳۹/۷ درصد می‌باشد؛ که نسبت به گذر قبلی از رشد قابل توجهی برخوردار است.

جدول (۴) نتایج ارزیابی مدل WHI در گذر ۱۳۹۳/۳/۱۹

کلاس	سالم (ماهواره)	ناسالم (ماهواره)	مجموع
مزارع سالم (مشاهدات)	۰	۱۴۳	۱۴۳
مزارع ناسالم (مشاهدات)	۰	۷۲	۷۲
مجموع	۰	۲۱۵	۲۱۵

تعداد کل پیکسل‌های مزارع در تاریخ ۱۳۹۳/۳/۱۹، ۲۱۵ می‌باشد (حدول ۱). پس از اعمال این مدل بر روی تصویر، این مدل توانسته است هر ۲۱۵ پیکسل را تشخیص دهد. با این حال با توجه به جدول (۴)، از بین این ۲۱۵ پیکسل،۱۴۳ پیکسل در مزارع سالم و ۷۲ پیکسل در مزرعه ناسالم قرار دارند. همان‌طور که دیده می‌شود این مدل تمامی پیکسل‌ها را به عنوان پیکسل‌های ناسالم تشخیص داده است. با توجه به نتایج به دست آمده از جدول‌های (۲)، (۳) و (۴) می‌توان گفت هرچه تصاویر به سمت پوشش گیاهی انبوه‌تر نزدیک می‌شوند این مدل بهتر می‌تواند کلاس‌های سالم و ناسالم را تشخیص دهد و هرچه محصول به مرحله برداشت نزدیک می‌شود این مدل ضعیف عمل کرده و تمامی پیکسل‌ها در مزارع را ناسالم تشخیص می‌دهد. در نتیجه این شاخص چون یک شاخص طیفی است و به رنگ برگ حساس می‌باشد؛ اگر قبل از

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.1.7]

اینکه گیاه به مرحله سبزینگی برسد استفاده گردد به دلیل وجود خاک و حضور زمین نمی‌تواند زنگ را تشخیص دهد. همچنین زمانی هم که از مرحله سبزینگی گیاه بگذرد چون برگ به سمت زردی می‌رود باز نمی‌تواند بیماری زنگ را تشخیص دهد؛ بنابراین باید از این شاخص در مراحل رشد و سبزینگی گیاه گندم استفاده گردد. لازم به ذکر است که اگر در آینده بتوان از تصاویری با قدرت تفکیک زمانی بهتر استفاده کرد با این مدل می‌توان به نتایجی با دقت بالاتر دست یافت. شکل‌های (۵)، (۶) و (۷) به ترتیب نتایج حاصل از طبقه بندی با استفاده از این مدل در تاریخ‌های ۱۳۹۳/۱/۱۷، ۱۳۹۳/۲/۱۸ و ۱۳۹۳/۳/۱۹ را نشان می‌دهد که رنگ‌های سبز، زرد و قرمز در تصویر به ترتیب نشان دهنده پیکسل‌های سالم، مشکوک و ناسالم است. طی گزارش‌های ارائه شده توسط کارشناسان منطقه، تاریخ ۱۳۹۳/۲/۱۸ در بازه زمانی مشاهده زنگ گندم می‌باشد. با توجه به شکل (۶) دیده می‌شود که مزارعی که کارشناسان به عنوان مزارع زنگ زده گزارش کرده‌اند پیکسل‌های آلوده به بیماری در آن‌ها مشاهده می‌شود. از طرفی در مزارعی هم که به عنوان سالم گزارش کرده‌اند، پیکسل‌های مشکوک و آلوده به بیماری دیده می‌شود. از آنجایی که شرایط اصلی برای رشد بیماری زنگ گندم وجود آب و رطوبت زیاد است می‌توان با پایش میزان دما و رطوبت شرایط بروز بیماری را رصد کرده و شاخص WHI را بر آن مزارع اعمال نمود تا به نتایج مورد نظر دست یافت.

شکل (۵). تصویر حاصل از طبقه بندی با استفاده از مدل WHI در تاریخ ۱۳۹۳/۱/۱۷. رنگ‌های سبز، زرد و قرمز در تصویر به ترتیب نشان‌دهنده پیکسل‌های سالم، مشکوک و ناسالم می‌باشند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.1.7]

شکل (۶). تصویر حاصل از طبقه بندی با استفاده از مدل WHI در تاریخ ۱۳۹۳/۲/۱۸. رنگ‌های سبز، زرد و قرمز در تصویر به ترتیب نشان‌دهنده پیکسل‌های سالم، مشکوک و ناسالم می‌باشند.

شکل (۷). تصویر حاصل از طبقه بندی با استفاده از مدل WHI در تاریخ ۱۳۹۳/۳/۱۹. رنگ‌های سبز، زرد و قرمز در تصویر به ترتیب نشان‌دهنده پیکسل‌های سالم، مشکوک و ناسالم می‌باشند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از تصاویر سنجنده $7ETM^{+}$ لندست و داده‌های آزمایشگاهی مربوط به طیف بازتابندگی برگ در مراحل مختلف بیماری، تلاش به جداسازی مزارع سالم از مزارع آلوده به بیماری زنگ گندم گردید. برای این منظور ابتدا داده‌های آزمایشگاهی مربوط به بازتابندگی برگ با استفاده از تابع پاسخ طیفی لندست برای این سنجنده شبیه‌سازی گردید. سپس با استفاده از شاخص DVI و کسر سلامت برگ، شاخصی به نام شاخص سلامت گندم تعریف گردید. در این رابطه مقدار همبستگی این شاخص با کسر سلامت برگ ۰/۸۲ به دست آمد. در ارزیابی شاخص WHI مقدار RMSE برابر ۰/۰۸۹ به دست آمد که برای تشخیص مراحل پیشرفته بیماری بسیار نتیجه خوبی است. هم‌چنین برای اینکه بتوان از این شاخص برای تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد، با استفاده از ضریب تصحیح شیب، شیب محدوده باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک از داده‌های برگ به داده‌های ماهواره تصحیح گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که این شاخص در مراحل سبزینگی گیاه عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهد

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.1.7]

ولی قبل از آن و پس از آن زمانی که تصاویر به مرحله برداشت محصول نزدیک‌تر می‌شوند این شاخص ضعیف‌تر عمل می‌کند. این نویسندگان اعتقاد دارند که اجرای مدل WHI بر روی تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک زمانی متوسط همچون لندست، تنها می‌تواند نقاط مشکوک به زنگ را تعیین کرده و در نتیجه ابزار کمکی مناسبی برای کارشناسان کشاورزی خصوصاً در شرکت‌های عظیم کشت و صنعتی باشد.

منابع و ماخذ

۱. اسماعیل زاده مقدم، محسن. ، (۱۳۹۴) **راهنمای گندم (کاشت، داشت و برداشت)، کرج، سازمان تحقیقات**، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت آموزش و ترویج، نشر آموزش کشاورزی.

Amani, M., & Mobasheri, M.R. (2015). ***A Parametric method for estimation of leaf area index using landsat ETM+ data***. *GIScience & Remote Sensing 52(4)*, 475-497.

Ashourloo, D., Mobasheri, M.R., & Huete, A. (2014***). Developing Two Spectral Disease Indices for Detection of Wheat Leaf Rust (Pucciniatriticina)***. *Remote Sens, 6*, 4723-4740.

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

Devadas, R., Lamb, D. W., Simpfendorfer, S., & Backhouse ,D. (2009). ***Evaluating ten spectral vegetation indices for identifying rust infection in individual wheat leaves***. *Precision Agric, 10*, 459-470.

Jordan, C. F., (1969). ***Derivation of leaf-area index from quality of light on forest floor***. *Ecological Society of America, 50*, 663-666.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., & Eering, D.W D. (1973). ***Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS***. *In 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I*, 309–317.

Soudani, K., Francois, C., Maire, G., Dantec, V., & Dufrene ,E. (2006). ***Comparative analysis of IKONOS, SPOT, and ETM+ data for leaf area index estimation in temperate coniferous and deciduous forest stands***. *Remote Sensing of Environment*, 161-175.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.1.7]

Tucker, J. (1979). ***Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation***. *Remote Sensing of Environment, 8*, 127-150.

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 Research, 134*, 165-174.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.44.1.7]