

# تعیین مناطق مستعد شیوع بیماری زنگ گندم با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

پروین حسن تیموری<sup>1\*</sup>، محمدرضا مباشری<sup>2</sup>

<sup>1</sup> کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور، دانشکده ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

P.teimouri@ssaa.ir

<sup>2</sup> استاد مهندسی سنجش‌ازدور، آزمایشگاه سنجش‌ازدور خاوران/دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

Mohammadreza.mobasheri@khi.ac.ir

(تاریخ دریافت: آبان 1400، تاریخ تصویب: مهر 1401)

## چکیده

گندم یکی از مهمترین غلات در جهان به شمار می‌آید و نقش بسیار مهمی در چرخه‌ی اقتصادی جامعه دارد. بنابراین، توجه به سلامت آن از اهمیت بالایی برخوردار است. این گونه‌ی گیاهی تحت تاثیر عوامل طبیعی و انسانی مختلف دچار بیماری می‌شود. بروز بیماری زنگ گندم در این گیاه موجب کاهش تولید و ایجاد اختلال در چرخه‌ی اقتصادی و مدیریتی در کشور می‌شود. به همین علت، پیش‌بینی و پیشگیری از وقوع بیماری زنگ گندم، یکی از دغدغه‌های اصلی مدیریتی به شمار می‌رود. در این رابطه، روشی که بتواند شرایط وقوع بیماری را قبل از بروز آن مشخص کند، می‌تواند مفید واقع شود. با توجه به تحقیقات انجام‌شده، سه پارامتر دما، رطوبت و پوشش سبزیگی، مهمترین پارامترهای موثر در وقوع بیماری زنگ گندم هستند. در این پژوهش سعی شده‌است شرایط دمایی، رطوبتی و همچنین میزان NDVI مناسب، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استخراج و با برهم نشانی آن‌ها، مناطقی که دارای پتانسیل شیوع بیماری زنگ گندم هستند، شناسایی شوند. منطقه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش، کشور آرژانتین انتخاب شده‌است. تصاویر ماهواره‌ای بکار برده‌شده با استفاده از سنجنده مادیس با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر اخذ شده‌است. خروجی نهایی به صورت ارائه یک تصویر با دو کلاس، شامل مناطق دارای پتانسیل شیوع بیماری زنگ گندم و مناطقی که شرایط وقوع بیماری زنگ گندم در آن‌ها مهیا نیست، می‌باشد. همچنین، بازه‌های دمایی، رطوبتی و NDVI مناسب برای رخداد بیماری معرفی گردیده و در نهایت الگوریتمی برای شناسایی مناطق دارای پتانسیل شیوع بیماری زنگ گندم ارائه شده‌است. با توجه به نتایج بدست‌آمده در این مقاله، وجود دمای بین 2 تا 37 درجه‌ی سانتی‌گراد، رطوبت بالای 19 درصد و NDVI بالای 0.3 به مدت سه روز متوالی، برای شیوع بیماری زنگ گندم مناسب تشخیص داده شده‌است که با شرایط اعلام‌شده در مطالعات میدانی مطابقت دارد. همچنین، نتایج این ارزیابی نشان می‌دهد که دقت کلی حاصل برای شناسایی مناطق دارای پتانسیل شیوع بیماری زنگ گندم 90.70 درصد می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** زنگ گندم، دما، رطوبت، سبزیگی، تصاویر مادیس، سنجش‌ازدور.

\* نویسنده رابط

## 1- مقدمه

میزان تولید محصولات کشاورزی یکی از مسائل مهم در چرخه‌ی اقتصادی جامعه است. بنابراین، توجه به سلامت محصولات کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است. گندم نیز یکی از محصولاتی است که بخاطر نقش مهمی که در عرصه‌ی سیاسی و اقتصادی کشورها به خصوص کشورهای در حال توسعه ایفا می‌کند، یک محصول استراتژیک در تمام دنیا به حساب می‌آید [1]. اهمیت اقتصادی گندم چه از نظر تولید و چه از نظر تغذیه در دنیا بیش از سایر محصولات کشاورزی می‌باشد. این گونه‌ی گیاهی، تحت تاثیر عوامل مختلف دچار تنش و بیماری می‌شود. با توجه به تحقیقات انجام‌شده در زمینه‌ی بیماری‌های گندم، چهار نوع بیماری سیاهک، سفیدک، کچلی و زنگ، گندم را تهدید می‌کند. در این مقاله بر روی بیماری زنگ گندم تمرکز شده‌است. بیماری زنگ دارای سه نوع زنگ زرد (خطی)، زنگ قهوه‌ای (برگ) و زنگ سیاه (ساقه) است. مولد این بیماری قارچ‌های کلاه‌داری به نام بازیدومیست‌ها هستند [2]. این بیماری موجب وارد آمدن خسارات کلان به کشاورزان و شرکت‌های بیمه و از طرفی افزایش نیاز به واردات از کشورهای دیگر می‌شود. علاوه بر این، کشاورزان برای از بین بردن این بیماری به استفاده از مواد شیمیایی روی می‌آورند که این امر آلودگی زیست‌محیطی را در پی دارد [3].

روش‌های مختلفی در راستای شناسایی و تشخیص بیماری زنگ گندم وجود دارد که این روش‌ها به دو دسته‌ی مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند [3]. روش مستقیم نیاز به زمان و مهارت زیاد و فشار کاری بالا به خصوص در طول آماده‌سازی نمونه در بدست‌آوردن نتایج قابل اعتماد و دقیق برای بیماری گیاهان دارد. همچنین، این روش نیاز به معرف متناسب با تشخیص هر عامل بیماری خاص دارد. این روش به عنوان ابزاری قوی برای اطمینان از حضور بیماری‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما به دلیل مدت زمان مورد نیاز نمی‌تواند به عنوان ابزاری برای پردازش تعداد زیادی از نمونه‌ها مورد استفاده قرار بگیرد [4]. روش غیرمستقیم شامل روش‌های طیف‌سنجی و تصویربرداری می‌باشد [4]. تکنیک‌های تصویربرداری و طیف‌سنجی می‌تواند برای تشخیص سریع بیماری‌های گیاهی مورد استفاده قرار بگیرد. این تکنولوژی همچنین می‌تواند برای

تعیین میزان استرس و مواد مغذی در گیاهان استفاده شود [4]. مشکل روش‌های طیف‌سنجی و تصویربرداری هزینه‌بر بودن آن‌هاست [4].

هدف از انجام مطالعات در زمینه‌ی پیش‌بینی مناطق مستعد بیماری زنگ گندم با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پیش‌بینی منطقه‌ی وقوع بیماری در کمترین زمان و با حداقل هزینه است. با آشکار شدن این موضوع، می‌توان سازمان‌ها و کشاورزان را از امکان بروز بیماری در منطقه آگاه کرد، در نتیجه می‌توان از ایجاد خسارت فراوان جلوگیری کرد. در این زمینه، سنجش‌ازدور به عنوان روشی دقیق و ارزان در کمترین زمان ممکن می‌تواند اطلاعات مناسب از منطقه و شرایط محیطی را در اختیار قرار دهد.

روث (1992) در کتاب خود به بررسی بیماری زنگ گندم و عوامل محیطی موثر بر این بیماری پرداخت. با توجه به تحقیقات وی پارامترهای موثر بر بیماری زنگ گندم، دما و رطوبت می‌باشند. قارچ‌های مولد بیماری زنگ گندم می‌توانند توسط باد از یک منطقه به منطقه‌ی دیگری انتقال پیدا کنند اما بیشتر این قارچ‌ها در مکان اصلی خود قرار می‌گیرند که این امر به وزن قارچ‌ها بستگی دارد [2]. این قارچ‌ها مدت نسبتاً طولانی زندگی می‌کنند و می‌توانند در زمین‌های اطراف برای چندین هفته زنده بمانند. در صورت مساعد بودن شرایط دمایی و رطوبتی به مدت 5 روز متوالی و یا بیشتر، این قارچ‌ها می‌توانند به ادامه‌ی حیات بر روی گیاه بپردازند و تولید مثل کنند. در نتیجه‌ی این فرایند بیماری زنگ شروع به پیشرفت می‌کند و به گیاه آسیب می‌زند [2].

ناگارجان و همکاران (1976) با ارائه‌ی مدلی به نام قانون زنگ ساقه در هند، به پیش‌بینی نشانه‌های بیماری زنگ ساقه‌ی گندم در مرکز و جنوب هند پرداخت. مدل ارائه‌شده به بررسی رخداد طوفان، مقدار فشار و وجود چرخند در منطقه پرداخته‌است. هدف این مدل پیش‌بینی احتمال وقوع بیماری زنگ ساقه گندم در قسمت مرکزی و جنوبی هند بود. محدودیت این مدل این بود که فقط برای منطقه‌ای خاص در هند می‌توان از آن استفاده کرد [5].

ملوگین و همکاران (1984) در تحقیقات خود به پیش‌بینی بیماری زنگ نواری گندم زمستانه پرداختند. آن‌ها در مدل خود از داده‌های دمایی و شدت بیماری زنگ استفاده کردند و با استفاده از روش رگرسیون خطی بین

این دو پارامتر رابطه‌ی خطی برازش دادند. با توجه به تحقیقات آن‌ها هر چه دما در فصل بهار بالاتر برود، بیماری بیشتر می‌شود. محدودیت مدل ارائه‌شده این بود که فقط برای منطقه‌ای خاص کاربرد داشت و فقط یک پارامتر را مورد بررسی قرار داده بود. دقت مدل‌های ارائه‌شده برای نواحی مختلف بین 60 درصد تا 69 درصد متفاوت بود [6].

موشو و همکاران (2005) به بررسی زنگ‌های گندم با توجه به شاخص‌های پوشش گیاهی پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که شاخص بازتابندگی آنتوسیانین می‌تواند برگ‌های سالم را از برگ‌های آلوده به زنگ جدا کند، در حالی که این شاخص قادر به جداسازی زنگ ساقه از جوش‌ها و کورک‌ها نیست. همچنین، به استثناء شاخص تبدیل جذب کلروفیل به بازتابندگی، تمام شاخص‌ها می‌توانستند گندم دارای زنگ زرد را از برگ سالم و برگ‌های آلوده به زنگ ساقه و برگ تشخیص دهند [7].

ونگ و همکاران (2011)، به پیش‌بینی بیماری زنگ ساقه با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان پرداختند. آن‌ها در این مطالعه به مقایسه‌ی روش‌های انجام‌شده با استفاده از ماشین بردار پشتیبان و آنالیز رگرسیون پرداختند. نتایج بدست‌آمده حاصل از این تحقیق نشان داد که روش ماشین بردار پشتیبان دارای دقت بالاتری نسبت به روش آنالیز رگرسیون می‌باشد. علاوه بر این، تحقیقات بسیاری در زمینه‌ی پیش‌بینی زنگ ساقه گندم در چین به انجام رسیده‌است. برای انجام این تحقیقات از روش‌های آنالیز رگرسیون، آنالیز تفکیک، شبکه‌ی عصبی، پیش‌بینی مارکوف، آنالیز اجزای اصلی و روش پیش‌بینی مدل خاکستری استفاده شده‌است. مشکل این روش‌ها اندازه‌ی کوچک نمونه‌ها در روند تصمیم‌گیری در زنگ ساقه گندم می‌باشد. ماشین بردار پشتیبان نسبت به روش‌های دیگر دارای این برتری است که خطاهای آموزشی را در نظر می‌گیرد و با قابلیت تعمیم بهتر می‌تواند به حل مشکل نمونه‌های کوچک، مشکلات غیرخطی، ابعاد بالا و مینی‌م-های محلی می‌پردازد. مدل بدست‌آمده با این روش نیز برای مناطق مختلف متفاوت بود، اما برای هر منطقه دقت روش ماشین بردار پشتیبان نسبت به رگرسیون خطی بالاتر بوده‌است. به طوری که برای یک منطقه دقت روش رگرسیون برابر با 50 درصد و دقت ماشین بردار پشتیبان برابر با 70 درصد برآورد شده بود [8].

دوتا و همکاران (2013) به بررسی بیماری زنگ زرد گندم در نواحی کوهپایه‌ای ایالت پنچاب در هند، در بازه‌های زمانی 3 روزه و مناطق با ابعاد 5\*5 کیلومتر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS-P6 AWiFS پرداختند. پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش دما و رطوبت بوده‌است. طبق نتایج بدست‌آمده احتمال ابتلا به بیماری، زمانی زیاد است که اختلاف دمای حداکثر و حداقل در روز کمتر از 5 درجه سانتیگراد و اختلاف حداکثر و حداقل رطوبت نسبی یک روز، در اوایل دوره رشد گندم کمتر از 40 درصد باشد. محدودیت روش مورد استفاده بررسی پارامترهای دمایی و رطوبتی برای ابعاد 5 کیلومتر و همچنین به صورت موردی برای یک منطقه خاص می‌باشد و جامعیت آن برای یک منطقه وسیع‌تر و همچنین بررسی انواع مختلف بیماری زنگ، مورد بررسی قرار نگرفته‌است [9].

کریشنا و همکاران (2014) پتانسیل اطلاعات بازتابندگی ابرطیفی برای ارزیابی شدت بیماری زنگ زرد را مورد مطالعه قرار دادند. اطلاعات سنجش‌ازدور ابرطیفی برای گندم زمستانه در سطوح مختلف بیماری با استفاده از طیف‌سنج برای محدوده‌ی 350 تا 2500 نانومتر جمع‌آوری شد. در تحقیق وی تکنیک‌های حداقل مربعات نسبی<sup>1</sup> برای شناسایی محدوده‌ی طول موج‌های حساس و رگرسیون خطی چندگانه<sup>2</sup> برای ارزیابی مدل در جهت شناسایی باندهای زنگ زرد در محصولات زمستانه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان می‌داد که مدل توسعه‌یافته دارای پتانسیل بالا برای تعیین و کشف دقیق بیماری زنگ زرد در محصولات گندم زمستانه است [10].

عاشورلو و همکاران در سال 2014 دو شاخص طیفی برای تشخیص زنگ برگ توسعه دادند. هدف ایشان از این کار توسعه‌ی شاخص‌های طیفی بیماری برای شناسایی زنگ برگ بود. طیف بازتابی از برگ‌های سالم و بیمار گندم در گام‌های مختلف بیماری با استفاده از یک طیف‌سنج جمع‌آوری شد. به عنوان داده‌ی زمینی، نسبت نواحی بیمار به مجموع سطح کل برگ با توجه به میزان شکستگی نشانه‌های مختلف از تصاویر دوربین دیجیتال RGB، استخراج شد. نشانه‌های ترک‌خوردگی بیماری‌های مختلف با استفاده از یک دوربین دیجیتال استخراج و با طیف

<sup>1</sup> Partial Least Squares (PLS)

<sup>2</sup> Multiple Linear Regression (MLR)

بازتابندگی اندازه‌گیری شد. از برگ‌های بیمار به عنوان یک ورودی در آنالیز طیف‌های مخلوط<sup>1</sup> استفاده شد. سپس، بازتابندگی طیفی از علائم بیماری‌های مختلف با استفاده از SMA و کمترین مربعات استخراج شد. بازتابندگی علائم بیماری‌های مختلف در 450 تا 1000 نانومتر با استفاده از تابع فیشر<sup>2</sup> مورد مطالعه قرار گرفت. دو شاخص طیفی بیماری براساس بازتابندگی در طول موج‌های 605، 695 و 405 نانومتر گسترش پیدا کرد. شاخص  $R^2$  تخمین زده شده برابر با 0.94 بدست آمد. نتایج تحقیق نشان داد که زنگ برگ دارای نشانه‌های مختلف با طیف بازتابندگی متفاوت برای هر بخش است [11].

واکی و همکاران (2016) زنگ برگ گندم در اتیوپی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مادیس را مورد مطالعه قرار دادند. در واقع، در این پژوهش بیشتر به بررسی متغیرهای مختلف محیطی و ارتباط آن‌ها با بیماری زنگ گندم پرداخته شد. لذا روش رگرسیون درختی تقویت شده<sup>3</sup> برای توسعه مدل‌های مکانی مورد نظر به کار برده شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، روش BRT برای پیش‌بینی بیماری زنگ برگ گندم در کلاس‌های با شدت مختلف بیماری، کارایی بیشتری نسبت به روش‌های رگرسیون خطی داشته و نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. همچنین، در طی این پژوهش این نتیجه حاصل شد که متغیرهایی مثل پوشش گیاهی و دما، در برخی از ماه‌های خاص در منطقه مورد مطالعه دارای تاثیر بالاتری جهت پیش‌بینی بیماری می‌باشند. از جمله محدودیت‌های این مطالعه، عدم بررسی تمامی پارامترهای موثر در بروز بیماری زنگ گندم از جمله رطوبت می‌باشد [12].

پرایزنت و همکاران (2017) پایش بیماری زنگ ساقه، نواری و برگ گندم را در منطقه اتیوپی مورد مطالعه قرار دادند. در طی این پژوهش به بررسی ویژگی‌های طیفی گیاه و شاخص‌های همانند،  $GNDVI^4$ ،  $TVI^5$ ،  $SAVI^6$ ،  $OSAVI^7$  و  $PSRI^8$  و ... از طریق باندهای برداشت‌شده از

ماهواره MODIS و استفاده از روش‌های CONVOLUTION و شبکه Long Short-Term Memory پرداخته شد. نتایج بدست‌آمده از این روش دارای دقت کلی 67 درصد می‌باشد. محدودیت این روش عدم بررسی پارامترهای اساسی موثر در شیوع بیماری زنگ گندم و همچنین پایین بودن دقت نتایج بدست‌آمده می‌باشد [13].

مباشری و همکاران (2017) طی پژوهشی به تشخیص مزارع آلوده به بیماری زنگ گندم در استان فارس پرداختند. در این مطالعه از داده‌های ماهواره لندست 7 در سال زراعی 92-93 و داده‌های آزمایشگاهی مربوط به طیف بازتابندگی برگ و درجه سلامت برگ در مراحل مختلف بیماری استفاده شد. مقادیر بازتابندگی برگ در محدوده طیفی قرمز و مادون قرمز نزدیک، از طیف اسپکترو رادیومتر استخراج و با استفاده از تابع پاسخ طیفی لندست 7، داده‌ها برای باندهای این سنجنده شبیه‌سازی گردید. سپس با استفاده از شاخص  $DVI^9$  و داده‌های مربوط به سلامت برگ، شاخصی به نام شاخص سلامت گندم تعریف گردید. در این رابطه مقدار همبستگی این شاخص با سلامت برگ برابر با 0.82 به دست آمد. در ارزیابی شاخص  $WHI^{10}$  مقدار RMSE برابر 0.089 به دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که این شاخص در مراحل سبزیگی گیاه عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهد و می‌تواند مناطق سالم، بیمار و مشکوک به بیماری را تشخیص دهد. از آنجا که شاخص به دست‌آمده یک شاخص طیفی است و به رنگ برگ حساس می‌باشد هر چه تصاویر به زمان برداشت محصول نزدیکتر شوند این شاخص ضعیف‌تر عمل می‌کند. در واقع، این روش برای منطقه محدود به بررسی شدت بیماری زنگ پرداخته‌است [14].

چن و همکاران (2018) به تهیه نقشه از مناطق دارای بیماری زنگ گندم در استان هنان در کشور چین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ZY-3 پرداختند. در این پژوهش، از روش انتخاب ویژگی wrapper به منظور فیلتر نمودن نواحی فاقد پوشش گیاهی، لجن‌زارها و در نهایت شناسایی نواحی دارای زنگ گندم استفاده شد. دقت بدست‌آمده در این روش برابر با 93.6 بدست آمد. در واقع هدف این پژوهش مدیریت میزان تولیدات در کشور بود. از جمله

1 Spectral mixture analysis (SMA)

2 Fisher

3 Boosted Regression Trees (BRT)

4 Green Normalized Difference Vegetation Index

5 Triangular vegetation index

6 Soil adjusted vegetation index

7 Optimized soil adjusted vegetation index

8 Plant senescence reflectance index

9 Difference vegetation index

10 Wheat Health Index

محدودیت این روش عدم پیش‌بینی زمان وقوع بیماری زنگ گندم می‌باشد [15].

مباشری و همکاران در سال 2019 به استفاده از مدل NEAT<sup>1</sup> به منظور پیش‌بینی مناطق دارای پتانسیل سرمازدگی در ایالت جورجینای آمریکا پرداختند. در این پژوهش، داده‌های سنجنده مادیس و داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی AMEN مورد استفاده قرار گرفت. در واقع، در این پژوهش ابتدا با استفاده از داده‌های شبکه AMEN ضرایب مدل NEAT برای برون‌یابی داده‌های دما به ساعات بعد محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس، دمای هوای نزدیک به سطح زمین با استفاده از اطلاعات بدست‌آمده از سنجنده مادیس برای لحظه گذر شبانه استخراج گردید. در نهایت، مدل NEAT بر روی دمای هوای استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای اعمال گردید و دمای شبانه از حدود ساعت 22:30 شب تا 7:30 صبح در بازه‌های زمانی 15 دقیقه پیش‌بینی شد. در این پژوهش، مقدار RMSE کل برای 13840 داده برابر با 2.5 درجه بدست آمد. نتایج تحقیقات در شناسایی و پیش‌بینی مناطق در خطر سرمازدگی تا حد زیادی می‌تواند مثمر ثمر واقع گردد [16].

مباشری و همکاران در سال 2019 به تخمین شدت بیماری زنگ گندم با استفاده از روش‌های کدگذاری طیف بازتابندگی پرداختند. در واقع، در این پژوهش به استفاده از روش کدگذاری و مشتقات آن به منظور بررسی شکل طیف مستقل از زمان و مکان می‌باشد. در روش به کار برده‌شده، کدگذاری با فواصل مساوی و آستانه‌گذاری 1 بیت، 2 بیت و 3 بیت در محدوده طول موج‌های 400-1050 و 500-800 نانومتر برای طیف بازتابندگی و مشتقات آن ارزیابی گردید. بنابراین، در رابطه به کار برده‌شده، پس از کدگذاری طیف بازتابندگی مربوط به برگ سبز به عنوان کد مرجع که بیانگر سلامت گیاه می‌باشد، برای نمونه‌های آزمایشی زاویه شباهت میان رشته کدها مورد محاسبه و نمودار میزان درصد حضور لکه سبز برحسب کسینوس زاویه شباهت ترسیم و یک معادله خطی به آن برازش داده‌شد. بهترین خط برازش داده‌شده در این پژوهش برای روش کدگذاری آستانه با سه بیت در طول موج‌های 500-800 نانومتر با مقدار RSME برابر با 0.05 بدست آمد [17].

راون و همکاران (2021) به پیش‌بینی زنگ نواری گندم با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل در ایالت شانسی در کشور چین پرداختند. در این پژوهش، شاخص‌های پوشش گیاهی حساس به زنگ گندم مثل NDVI، GNDVI و OSAVI شناسایی و با سه روش SVM<sup>2</sup>، KNN<sup>3</sup> و BPNN<sup>4</sup> مورد بررسی قرار گرفت که در این بین بهترین روش، SVM شناخته شد. دقت حاصل از این روش 86.2 درصد می‌باشد. یکی از محدودیت‌های این روش کوچک بودن منطقه مورد مطالعه و همچنین بررسی فقط یک نوع از بیماری زنگ گندم می‌باشد. همچنین، شاخص‌های موثر دیگر در بروز بیماری زنگ گندم از جمله رطوبت و دما مورد بررسی قرار نگرفته‌است.

گوا و همکاران (2021) به بررسی بیماری زنگ زرد گندم پرداختند. در این پژوهش از اطلاعات بدست‌آمده توسط پهپاد برای بررسی شاخص‌های پوشش گیاهی<sup>5</sup> و ویژگی‌های بافت<sup>6</sup> مربوط به گیاه که توسط پهپاد استخراج شده‌است، استفاده شده‌است.

با توجه به پژوهش انجام‌شده بررسی بیماری گیاه با استفاده از VIها نسبت به TF دارای دقت بالاتری جهت پایش گیاه در اواسط دوره آلودگی را داشته و در اواخر دوره آلودگی ترکیب دو مدل فوق دقت مطلوب‌تری را داشت. در واقع، در این پژوهش فقط بررسی روش‌های مختلف صورت پذیرفته و مناطق دارای بیماری زنگ زرد گندم شناسایی و طبقه‌بندی می‌شوند [19].

ژنگ و همکاران (2021) به بررسی بیماری زنگ زرد گندم در کشور چین پرداختند. در این پژوهش، مدلی برای پایش زنگ زرد براساس تصاویر چندطیفی Sentinel-2 و مجموعه‌ای از شاخص‌های پوشش گیاهی دو مرحله‌ای و داده‌های هواشناسی (اعم از میانگین رطوبت نسبی، میانگین بارش و ساعت آفتابی) پیشنهاد شده‌است. شاخص‌های طیفی حساس پوشش گیاهی (شاخص‌های تک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای) و ویژگی‌های هواشناسی برای تشخیص زنگ

2 Support Vector Machine

3 K\_Nearest neighbors

4 Back-Propagation Nneural Network

5 Vegetation Indexs (VIs)

6 Texture Indexs (TIs)

1 Near-surface Estimated Air Temperature

جدول 1- بررسی پژوهش‌های انجام‌شده

| نام پژوهشگر (سال)         | موضوعات مورد بررسی                                                                                        | توضیحات و محدودیت‌ها                                                                                                           |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| روئلف و همکاران (1992)    | بررسی بیماری زنگ گندم و عوامل محیطی موثر بر آن                                                            | انجام کار به صورت آزمایشگاهی و فقط شناسایی پارامترهای موثر بر وقوع بیماری زنگ گندم                                             |
| ناگارجان و همکاران (1976) | بررسی زنگ ساقه گندم با استفاده از رخدادهای طوفان، مقدار فشار و وجود چرخند                                 | بررسی یک نوع بیماری زنگ گندم و در یک منطقه کوچک                                                                                |
| ملوگین و همکاران (1984)   | بررسی زنگ نواری گندم با استفاده از پارامترهای دمایی و شدت بیماری زنگ گندم                                 | بررسی میزان تاثیر برخی از پارامترهای موثر بر بیماری و فقط در یک منطقه                                                          |
| موشو و همکاران (2005)     | بررسی بیماری زنگ گندم با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی                                                   | بررسی فقط شاخص‌های پوشش گیاهی موثر در شناسایی بیماری زنگ گندم و عدم پیش‌بینی بیماری                                            |
| ونگ و همکاران (2011)      | پیش‌بینی بیماری زنگ ساقه گندم و مقایسه روش‌های مختلف                                                      | اندازه کوچک نمونه‌ها در روند تصمیم‌گیری در زنگ ساقه گندم                                                                       |
| دوتا و همکاران (2013)     | بررسی بیماری زنگ زرد گندم                                                                                 | بررسی بیماری در مناطق با ابعاد بزرگ 5*5 کیلومتر و برای منطقه خاص                                                               |
| کریشنا و همکاران (2014)   | ارزیابی شدت بیماری زنگ زرد گندم                                                                           | بررسی شدت بیماری زنگ زرد گندم و عدم پیش‌بینی وقوع بیماری                                                                       |
| عاشورلو و همکاران (2014)  | بررسی دو شاخص طیفی برای تشخیص بیماری زنگ برگ گندم                                                         | توسعه شاخص‌های طیفی بیماری برای شناسایی بیماری و عدم شناسایی مناطق دارای پتانسیل وقوع بیماری                                   |
| واکی و همکاران (2016)     | بررسی بیماری زنگ زرد گندم با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای                                                 | بررسی متغیرهای مختلف محیطی و ارتباط با بیماری زنگ گندم و عدم بررسی تمامی پارامترهای موثر بر بیماری                             |
| پرایزنت و همکاران (2017)  | پایش انواع مختلف بیماری زنگ گندم                                                                          | عدم بررسی پارامترهای اساسی و موثر بر بیماری زنگ گندم جهت پیش‌بینی و شناسایی                                                    |
| مباشری و همکاران (2017)   | تشخیص مزارع آلوده به بیماری زنگ گندم با استفاده از طیف بازتابندگی                                         | تشخیص مناطق دارای بیماری زنگ گندم و مناطق سالم و عدم پیش‌بینی احتمال وقوع بیماری زنگ                                           |
| چن و همکاران (2018)       | تهیه نقشه از مناطق دارای بیماری زنگ گندم                                                                  | طبقه‌بندی مناطق آلوده به بیماری زنگ گندم و مناطق سالم و تهیه نقشه                                                              |
| مباشری و همکاران (2019)   | تخمین شدت بیماری زنگ گندم با استفاده از روش‌های کدگذاری                                                   | بررسی بیماری به صورت آزمایشگاهی و عدم مطالعه در مناطق وسیع                                                                     |
| راون و همکاران (2021)     | پیش‌بینی وقوع بیماری زنگ نواری گندم با بررسی شاخص‌های پوشش گیاهی                                          | بررسی شاخص‌های پوشش گیاهی و عدم بررسی تمامی پارامترهای موثر بر بیماری زنگ گندم                                                 |
| گوا و همکاران (2021)      | بررسی بیماری زنگ زرد گندم با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی                                               | بررسی شاخص‌های پوشش گیاهی و عدم بررسی تمامی پارامترهای موثر بر بیماری زنگ گندم                                                 |
| ژنگ و همکاران (2021)      | بررسی دقت الگوریتم‌های مختلف در پایش بیماری زنگ زرد گندم با بررسی شاخص‌های پوشش گیاهی و داده‌های هواشناسی | عدم بررسی تمامی پارامترهای موثر بر بیماری زنگ گندم و بررسی فقط یک نوع بیماری زنگ و در نهایت بررسی روش‌های مختلف در پایش بیماری |

## 2-2- داده‌های مورد استفاده

### 2-2-1- داده‌های زمینی

داده‌های زمینی استفاده‌شده در این پژوهش شامل 77 منطقه‌ی زنگ‌زده و 8 منطقه‌ی زنگ‌نزده در کشور آرژانتین در سال 2014 است. این داده‌ها شامل اطلاعاتی راجع به مکان مزرعه‌ی زنگ‌زده، نوع گندم کاشت‌شده، تاریخ مشاهده‌ی اولین زنگ در منطقه، میزان زنگ‌زدگی، نوع زنگ و مرحله‌ی رشد گندم می‌باشد. موقعیت داده‌های زمینی بکار برده‌شده در این مقاله در شکل (1) نمایش داده شده‌است.

### 2-2-2- تصاویر ماهواره‌ای

برای دستیابی به پارامترهای مورد نیاز همچون دما و رطوبت و شاخص سبزی‌نگی گیاه از مناطق مورد نظر، از تولیدات سنجنده‌ی مادیس استفاده شده‌است. سنجنده‌ی مادیس یکی از ابزارهای جمع‌آوری اطلاعات علمی است که توسط ناسا بر روی ماهواره‌ی ترا<sup>3</sup> در سال 1999 و بر روی ماهواره آکوا<sup>4</sup> در سال 2002 در مدار قرار گرفت. این سنجنده 490 آشکارساز را حمل می‌کند و با آن‌ها داده‌ها را در 36 باند در محدوده‌ی طیفی 0.4 میکرومتر تا 14.4 میکرومتر و با توان تفکیک مکانی متفاوت شامل 2 باند 250 متری، 5 باند 500 متری و 29 باند یک کیلومتری ذخیره می‌کند. این سنجنده سطح زمین را در طی یک یا دو روز تصویربرداری می‌کند. در این پژوهش، در حدود سه ماه قبل از پیدایش نشانه‌های بیماری زنگ بر روی گیاه گندم در منطقه تصاویر مورد نیاز به صورت یک روز در میان، اخذ شد. تعداد کل تصاویر مورد استفاده، در حدود 450 تصویر می‌باشد. که هر کدام از این تصاویر برای استخراج اطلاعات مختلف مورد استفاده قرار گرفت.

### 2-3- روش تحقیق

#### 2-3-1- استخراج اطلاعات گیاه‌شناسی

با توجه به تحقیقات انجام‌شده، پارامتر دما و رطوبت فاکتورهای کلیدی در رشد قارچ‌های مولد بیماری زنگ

زرد گندم با استفاده از روش جنگل تصادفی انتخاب شدند. مدل‌های پایش زنگ زرد گندم با استفاده از سه روش طبقه‌بندی مختلف ایجاد شد: تجزیه و تحلیل تشخیص خطی<sup>1</sup>، SVM، و شبکه عصبی مصنوعی<sup>2</sup>. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که الگوریتم SVM بهترین عملکرد را برای پایش زنگ زرد گندم در بین سه الگوریتم مورد بررسی، داشته‌است. دقت طبقه‌بندی این روش (84.2%) به ترتیب 10.5% و 5.3% بیشتر از LDA و ANN بود. همراه با رشد محصول و اطلاعات محیطی، مدل ما پتانسیل بالایی برای نظارت بر زنگ زرد گندم در مقیاس منطقه‌ای دارد. در واقع در این مقاله سعی بر این بوده‌است تا به طبقه‌بندی مناطق دارای تنش پرداخته شود. در جدول (1) روش‌های به کار برده‌شده مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌است.

با توجه به مطالعات انجام‌شده در این زمینه، تا زمان انجام این پژوهش مدلی برای پیش‌بینی وقوع بیماری زنگ گندم، با بررسی پارامترهای دما، رطوبت و پوشش گیاهی (به عنوان پارامترهای موثر در وقوع انواع بیماری زنگ گندم) استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای و در سطح وسیع مثل یک کشور، ارائه نشده‌است. لذا در این پژوهش تلاش بر این بوده‌است تا با بررسی پارامترهای موثر در وقوع بیماری زنگ گندم با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و در یک سطح وسیع به پیش‌بینی وقوع انواع بیماری زنگ گندم پرداخته شود.

## 2- مواد و روش‌ها

### 2-1- منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه، کشور آرژانتین در محدوده‌ی 53 الی 73 درجه غربی و 24 الی 55 درجه جنوبی می‌باشد. به دلیل دامنه‌ی تغییرات در طول جغرافیایی و ارتفاع، این کشور دارای اقلیم‌های متفاوتی است. آب و هوای آرژانتین از نیمه گرمسیری در شمال تا اقلیم سرد در جنوب در نوسان است. انتخاب این کشور جهت مطالعه در این پژوهش، به علت در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز (زمینی و ماهواره‌ای) می‌باشد. نمایی از این کشور به همراه مناطق زنگ‌زده در سال 2014 در شکل (1) نمایش داده شده‌است.

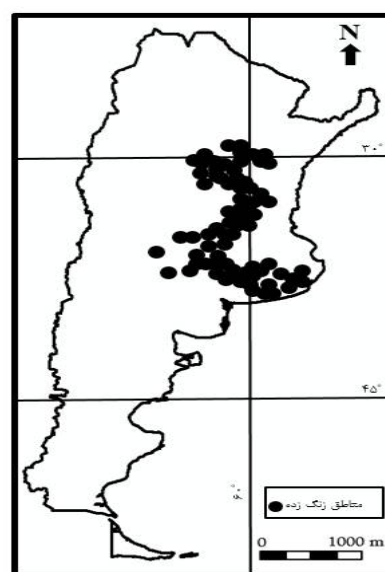
3 Terra

4 Aqua

1 Linear Discriminant Analysis (LDA)

2 Artificial Neural Network (ANN)

هستند. همچنین، گندم زمانی به زنگ دچار می‌شود که دارای سبزی‌نگی مطلوبی باشد. در این تحقیق، برای تشخیص میزان سبزی‌نگی گیاه از شاخص NDVI استفاده شده‌است. با توجه به اطلاعات داده‌شده، بازه‌ی دمایی مطلوب برای رشد قارچ 2 تا 30 درجه‌ی سانتی‌گراد، رطوبت بالای 30 درصد و سبزی‌نگی بین 0.3 تا 0.6 می‌باشد. با استناد به اطلاعات بدست‌آمده در این تحقیق به بررسی تاثیر پارامترهای دما، رطوبت و سبزی‌نگی، استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای، بر روی رشد قارچ‌های مولد بیماری و در نهایت امکان بروز زنگ گندم در منطقه می‌پردازیم.



شکل 1- کشور آرژانتین و مناطق زنگ زده در سال 2014

Predicted Outbreak Region (WRPOR)) ارائه شده‌است. در این روش برای تعیین مناطق دارای پتانسیل شیوع بیماری زنگ گندم لازم است تا مقادیر دما، رطوبت و سبزی‌نگی مناسب برای رشد قارچ مولد بیماری زنگ مشخص شود. در صورتی که مقادیر دمایی، رطوبتی و سبزی‌نگی برای 5 روز متوالی و یا بیشتر در منطقه مناسب زنگ باشد، خطر زنگ‌زدگی در منطقه افزایش پیدا می‌کند. پارامترهای دما، رطوبت و سبزی‌نگی در مناطق زنگ‌زده برای کشور آرژانتین، سه ماه قبل از مشاهده‌ی اولین علائم بیماری زنگ بر روی گیاه گندم در سال 2014 بدست آمد. برای تعیین مناطق دارای بیماری و شناسایی بازه‌های مناسب برای رخداد زنگ، از 23 بازه‌ی مختلف دمایی، رطوبتی و سبزی‌نگی استفاده شد. در این راستا، بازه‌ی اولیه‌ی انتخاب‌شده برای دما، رطوبت و سبزی‌نگی، برابر با بازه‌ی معرفی‌شده در بخش گیاه‌شناسی بود. سپس، برای هر دسته از بازه‌های انتخابی، تعداد مناطق زنگی که از نظر مقدار دمایی، رطوبتی و سبزی‌نگی در بازه‌ی انتخابی قرار می‌گرفتند، شناسایی شد. بنابراین، بازه‌هایی که تعداد بیشتری از مناطق زنگ در آن قرار گرفتند، به عنوان بازه‌های مطلوب دمایی، رطوبتی و سبزی‌نگی برای وقوع بیماری زنگ در نظر گرفته شد. در گام بعدی، با استفاده از بازه‌های بدست‌آمده، الگوریتم WRPOR (الگوریتم پیشنهادی) برای شناسایی مناطق دارای پتانسیل شیوع بیماری ارائه شد.

### 3-1- برآورد پارامترهای دما، رطوبت و سبزی‌نگی

برای برآورد دمای هوا  $T_a$  [20]، رطوبت نسبی (RH) [21]، سبزی‌نگی  $NDVI_{improved}$  [22]، به ترتیب از روابط (1)، (2) و (3) استفاده شده‌است. پارامترهای مورد استفاده در این روابط به صورت خلاصه در جدول (2) بیان شده‌است. در این روابط، TPW آب قابل بارش کلی جو، RH رطوبت نسبی، LI شاخص ناپایداری جو، و  $e$  و  $e_s$  به ترتیب فشار جزئی بخار آب و مقدار اشباع آن می‌باشند.

$$T_a = 0.75 \times LST + 1.21 \times TPW - 0.06 \times Li + 6.98 \times NDVI_{improved} - 3.47 \quad (1)$$

$$RH = \frac{e}{e_s} \times 100 \quad (2)$$

$$NDVI_{improved} = 0.6951 \times NDVI - 0.1377 \quad (3)$$

### 2-3-2- تصحیحات هندسی

در تصحیح هندسی خطاهای اعوجاجات تصویر با استفاده از نرم‌افزار ENVI ماژول مادیس تولکیت<sup>1</sup>، از بین برده شد. همچنین، این نرم‌افزار امکان زمین‌مرجع نمودن تصاویر را فراهم می‌آورد. پس از انجام تصحیحات، تصاویر موزاییک شده و منطقه‌ی مورد مطالعه از آن جدا شده‌است.

### 3- روش پیشنهادی WRPOR

در این پژوهش، روش پیشنهادی جدید با نام "پیش‌بینی مناطق دارای پتانسیل شیوع زنگ گندم" (Wheat Rust)

1 Modis Toolkit

## 3-2- پیاده‌سازی

### 3-2-1- تعیین بازه‌های دمایی، رطوبتی و سبزی‌نگی

با توجه به معلوم‌بودن زمان مشاهده‌ی زنگ‌زدگی به صورت تقریبی، به بررسی پارامترهای موثر در بروز و شیوع بیماری زنگ، 90 روز قبل از مشاهده‌ی اولین علائم زنگ پرداخته شد. در این مقاله سعی شد تا مقادیر دمایی، رطوبتی و سبزی‌نگی در 5 روزه‌های متوالی مورد بررسی قرار بگیرد. در صورتی که مزارع گندم طی یک دوره‌ی 5 روزه و یا بیشتر دارای شرایط مطلوب از نظر دمایی، رطوبتی و سبزی‌نگی بودند، به عنوان مناطق دارای پتانسیل وقوع بیماری زنگ شناخته شدند. در کل 77

منطقه زنگ‌زده (شامل زنگ برگ، ساقه و نواری) و 8 منطقه‌ی زنگ‌زده در کشور آرژانتین در سال 2014 وجود داشت، که از بین این مناطق، 37 منطقه‌ی زنگ زده و 4 منطقه‌ی زنگ‌زده با پراکندگی مناسب برای تعیین بازه‌ی مطلوب مورد استفاده قرار گرفت. در این مقاله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و با به کار بردن روابط (1)، (2) و (3) پارامترهای دمایی، رطوبتی و سبزی‌نگی برآورد شدند. بنابراین، در نتیجه‌ی این کار سه لایه‌ی اطلاعاتی برای دما، رطوبت و سبزی‌نگی بدست آمد. برای تعیین بازه‌های مناسب برای وقوع بیماری زنگ گندم، از بازه‌های بدست‌آمده در گیاه‌شناسی به عنوان داده‌ی اولیه استفاده شد.

جدول 2- معرفی پارامترهای مورد استفاده در روابط دما، رطوبت و سبزی‌نگی

| پارامترهای برآورد زنگ | پارامترهای موجود در روابط                 | معرفی پارامترها                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سبزی‌نگی بهبود یافته  | شاخص سبزی‌نگی (NDVI)                      | سبزی‌نگی شاخصی است که به میزان پوشش گیاه حساسیت دارد و با استفاده از محصولات مادیس MOD13 استخراج شد.                                                                                                                                                                                         |
| دما                   | دمای سطح زمین <sup>1</sup>                | دمای سطح زمین به عنوان یکی از پارامترهای مهم در مطالعه‌ی تعادل انرژی و آب در مقیاس منطقه‌ای و جهانی است [24]. دمای سطح زمین با استفاده از محصولات مادیس MOD11 استخراج شد.                                                                                                                    |
|                       | شاخص پایداری <sup>2</sup>                 | این شاخص ارتباط بین دمای بسته‌ی هوای در حال صعود و دمای محیط در ارتفاع 500 میلی‌بار می‌باشد [25]، که به طور مستقیم از محصولات مادیس MOD07 استخراج شد.                                                                                                                                        |
|                       | آب قابل بارش کلی <sup>3</sup>             | تمامی بخار آب موجود در ستونی از جو که قابلیت بارش دارد، آب قابل بارش کلی می‌نامند [26]. این پارامتر با استفاده از محصولات مادیس MOD05 استخراج شد.                                                                                                                                            |
| رطوبت                 | فشار جزئی بخار آب (e)                     | مقدار فشار ناشی از سطح برخورد مولکول‌های بخار آب موجود در جو، فشار جزئی بخار آب نامیده می‌شود [27]. برای بدست آوردن این پارامتر از فشار سطح <sup>4</sup> (P <sub>s</sub> ) و رطوبت ویژه (q) [28] استفاده می‌شود، که به ترتیب هر کدام با استفاده از محصولات مادیس MOD07 و MOD05 بدست می‌آیند. |
|                       | فشار جزئی اشباع بخار آب (e <sub>s</sub> ) | اگر مقدار حداکثر بخار آب در دمای ثابت وارد هوا شود، هوا در این دما از بخار آب اشباع شده و دارای رطوبت اشباع می‌باشد، که به فشار بخار آب در این حالت فشار جزئی اشباع بخار آب می‌گویند. برای بدست آوردن این پارامتر از دمای هوای بدست آمده در مرحله‌ی قبل، استفاده می‌شود [29].                |

1 Land Surface Temperature (LST)

2 Lifted Index (LI)

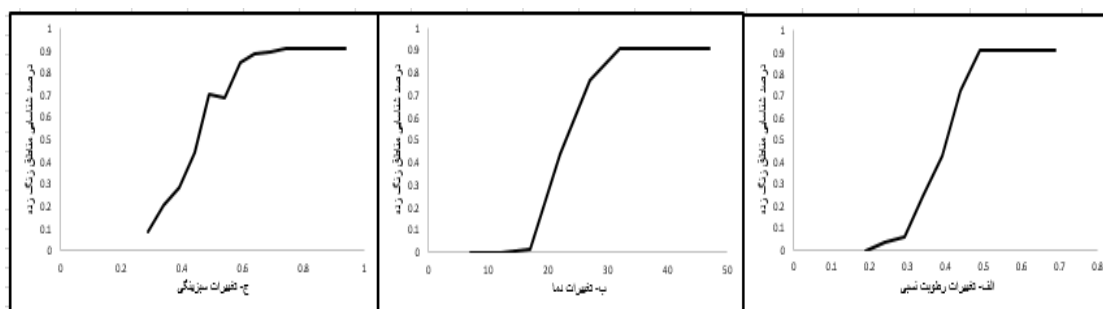
3 Total Pressure Water (TPW)

4 Surface Pressure (P<sub>s</sub>)

بدین ترتیب، ابتدا به بررسی لایه‌ی رطوبت پرداخته و پیکسل‌هایی که رطوبت آن‌ها به مدت 5 روز متوالی و یا بیشتر، دارای مقادیر بالاتر از 30 درصد بود، برچسب یک داده شد. حال به بررسی دما در پیکسل‌های با برچسب یک پرداخته شد. از بین پیکسل‌های دارای برچسب یک، پیکسل‌هایی که مقادیر دمای آن‌ها برای 5 روز متوالی و یا بیشتر، بالاتر از 2 درجه و کمتر از 30 درجه بود، شناسایی شده و به این پیکسل‌ها برچسب دو داده شد. حال در مرحله‌ی بعد به بررسی پارامتر سبزی‌نگی برای پیکسل‌های دارای برچسب دو پرداخته شد. پیکسل‌هایی که دارای مقادیر سبزی‌نگی بالاتر از 0.3 و کمتر از 0.6 برای 5 روز متوالی و یا بیشتر بودند، شناسایی شده و برچسب سه داده شد. در نتیجه‌ی این فرایند لایه‌ای تولید شد که سه پارامتر دما، رطوبت و سبزی‌نگی در این لایه در بازه‌های اولیه‌ی انتخابی قرار دارد. در این لایه به بررسی 37 منطقه دارای زنگ و 4 منطقه بدون زنگ پرداخته شد. مناطقی که هم دارای برچسب سه هستند و هم جزء 37 پیکسل زنگ هستند با برچسب چهار مشخص شدند. همچنین، تعداد مناطقی که هم بدون برچسب سه هستند و هم جزء مناطق

زنگ نزده‌اند با برچسب پنج مشخص شده‌اند. تعداد مناطق دارای برچسب چهار و پنج میزان صحت بازه‌ی انتخابی برای شناسایی نواحی زنگ را نمایش می‌دهد. برای بازه ارائه شده توسط علم گیاه‌شناسی تعداد مناطق زنگ شناسایی شده برابر با 29 منطقه و تعداد مناطق بدون زنگ شناسایی شده 4 پیکسل بود.

برای رسیدن به بازه‌های دقیق‌تر و شناسایی تعداد بیشتری از مناطق زنگ، به تغییر بازه‌های رطوبتی، دمایی و سبزی‌نگی پرداخته شد. در راستای این هدف، در مرحله‌ی اول، برای شناسایی بازه‌ی رطوبتی مطلوب، بازه‌های دمایی و سبزی‌نگی حاصل از گیاه‌شناسی ثابت نگه داشته شدند و بازه‌ی رطوبتی با گام‌های 5 درصد تغییر پیدا کرد. روند تغییرات بازه‌ی رطوبت با گام‌های 5 درصد تا جایی ادامه پیدا کرد که تعداد بیشتری مناطق دارای زنگ شناسایی شود. بازه‌ی رطوبتی که بیشترین تعداد مناطق زنگ در آن قرار گرفتند بالاتر از 19 درصد برآورد شد. روند تغییرات بازه‌ی رطوبت و درصد مناطق زنگ شناسایی‌شده در هر گام، در نمودار (1-الف) نمایش داده شده‌است.



نمودار 1- درصد پیکسل‌های شناسایی‌شده توسط پارامترهای (الف) رطوبت، (ب) دما و (ج) سبزی‌نگی

شد. برای تعیین بازه‌ی مناسب برای این پارامتر، بازه‌ی دمایی و رطوبتی ثابت نگه داشته شدند و بازه‌ی سبزی‌نگی با گام‌های 0.05 تغییر پیدا کرد. بازه‌ی سبزی‌نگی تا جایی تغییر پیدا کرد که بیشترین تعداد مناطق زنگ را شناسایی کند. بنابراین، با این روند بازه‌ی سبزی‌نگی از 0.3 تا 1 به عنوان بهترین بازه برای شناسایی مناطق مستعد بیماری زنگ بدست آمد. روند تغییرات بازه‌ی سبزی‌نگی و درصد مناطق شناسایی‌شده در نمودار (1-ج) نمایش داده شده‌است. از 37 منطقه زنگ در این حالت تعداد 35 منطقه به عنوان زنگ و از 4 منطقه غیر زنگ در این حالت 3 منطقه به عنوان غیر زنگ شناسایی شد.

در مرحله‌ی دوم، پس از تعیین بازه‌ی رطوبتی، به تعیین بازه‌ی دمایی مناسب پرداخته شد. بدین صورت که این بار بازه‌های رطوبتی و سبزی‌نگی ثابت نگه داشته شده و بازه‌ی دمایی با گام‌های 5 درجه تغییر پیدا کرد. روند تغییرات دما تا جایی ادامه پیدا کرد که تعداد بیشتری از مناطق دارای زنگ شناسایی شود. بازه‌ی دمایی که بیشترین تعداد مناطق زنگ در آن قرار گرفتند بین 2 تا 37 درجه‌ی سانتی‌گراد بود. روند تغییرات بازه‌ی دما و درصد تعداد مناطق زنگ شناسایی‌شده در هر گام، در نمودار (1-ب) نمایش داده شده‌است. پس از تعیین بازه‌ی دما و رطوبت به تعیین بازه‌ی سبزی‌نگی مناسب پرداخته

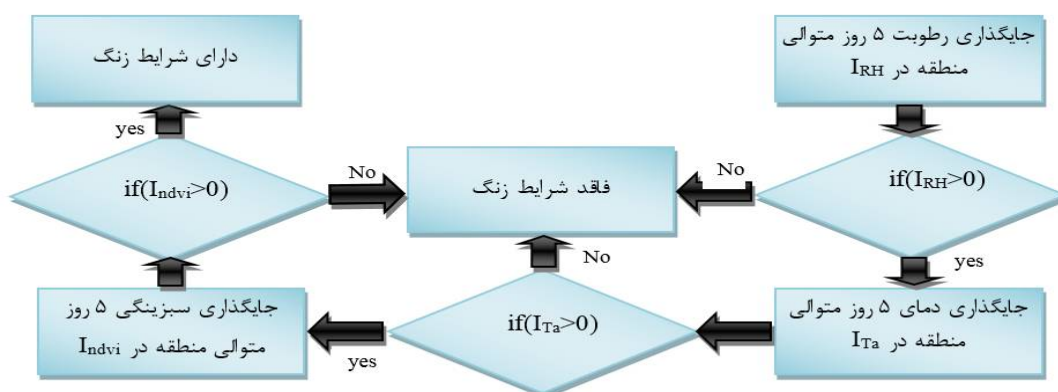
### 3-2-2- الگوریتم پیشنهادی تعیین مناطق دارای پتانسیل شیوع بیماری WRPOR

با توجه به بازه‌های دمایی، رطوبتی و سبزیگی بدست‌آمده جهت شناسایی مناطق دارای پتانسیل بیماری زنگ گندم، الگوریتمی برای شناسایی بیماری ارائه شد. در این الگوریتم از سه رابطه‌ی (4)، (5) و (6) استفاده شده‌است که به ترتیب با استفاده از برازش polynomial نمودارهای مربوط به هر پارامتر، در بازه‌های تعیین‌شده برای رطوبت، دما و سبزیگی جهت سهولت در تایید شرایط مناسب برای شیوع بیماری، بدست آمده‌است. خروجی این سه رابطه به گونه‌ای است که برای مقادیر موجود در بازه‌های مورد نظر حاصل روابط، عددی مثبت و برای مقادیر خارج از بازه‌های تعیین‌شده حاصل روابط، عددی منفی خواهد شد. به عنوان مثال، اگر دمای منطقه برابر با 35 درجه سانتی‌گراد باشد مقدار رابطه (5) برابر با 0.0545 بدست خواهد آمد. مثبت بودن مقدار رابطه، بیانگر این است

$$I_{RH} = -1.6 \times 10^{-4} \times RH^2 + 0.0182 \times RH - 0.28959 \quad (4)$$

$$I_{Ta} = -8.2 \times 10^{-4} \times Ta^2 + 0.032 \times Ta - 0.061 \quad (5)$$

$$I_{ndvi} = -2.0408 \times NDVI^2 + 2.653 \times NDVI - 0.6123 \quad (6)$$



شکل 2- الگوریتم شناسایی مناطق دارای شرایط وقوع بیماری زنگ

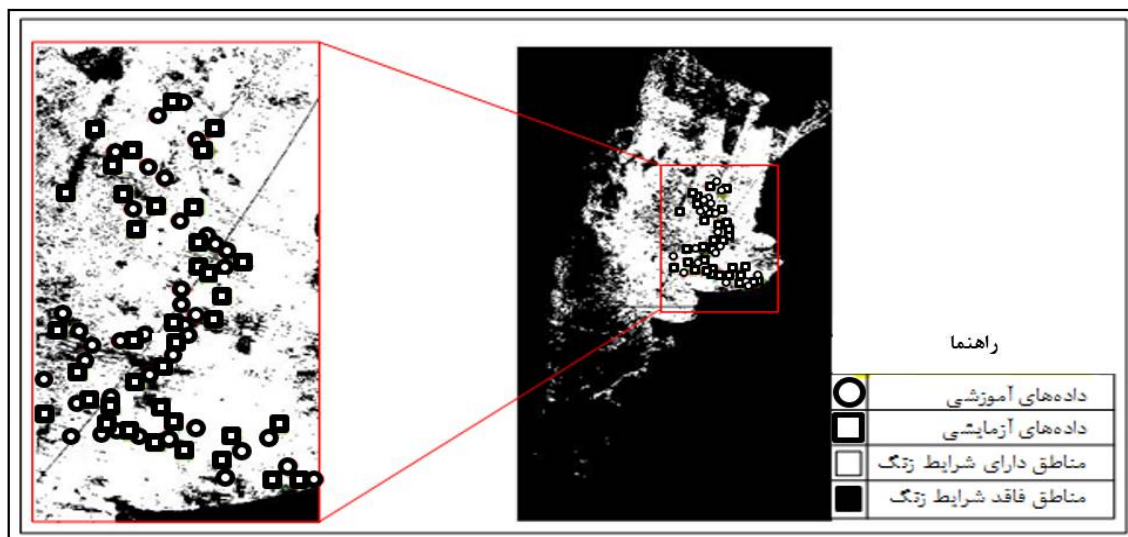
با توجه به شکل (2) ابتدا مقدار رطوبت منطقه برای 5 روز متوالی، وارد رابطه (4) می‌شود. در صورتی که خروجی رابطه برای یک روز و یا بیشتر مقداری منفی شد، شرایط زنگ در منطقه وجود ندارد و دیگر نیازی به بررسی دما و سبزیگی نمی‌باشد. اما اگر خروجی رابطه برای هر 5 روز متوالی مقداری مثبت باشد، از نظر رطوبتی در منطقه شرایط زنگ وجود دارد. در اینصورت باید به بررسی دما پرداخت. در این راستا دمای منطقه برای همان 5 روز متوالی در رابطه‌ی (5) قرار داده می‌شود. در صورتی که خروجی رابطه‌ی (5) برای یک روز و یا بیشتر مقداری منفی شد، شرایط زنگ در منطقه وجود ندارد و دیگر نیازی به

بررسی سبزیگی نمی‌باشد. اما اگر خروجی این رابطه برای هر 5 روز مقداری مثبت باشد از نظر دمایی در منطقه شرایط زنگ وجود دارد. در اینصورت باید به بررسی سبزیگی پرداخت. به همین ترتیب، مقدار سبزیگی منطقه برای همان 5 روز متوالی در رابطه‌ی (6) قرار داده می‌شود. در صورتی که خروجی رابطه‌ی (6) برای یک روز و یا بیشتر مقداری منفی شد، شرایط زنگ در منطقه وجود نخواهد داشت. اما اگر خروجی رابطه برای هر 5 روز متوالی مقداری مثبت شد از نظر سبزیگی نیز شرایط برای وقوع زنگ در منطقه وجود خواهد داشت.

#### 4- ارزیابی روش پیشنهادی WRPOR

از 77 منطقه زنگ زده و 8 منطقه زنگ نزده در سال 2014، 38 منطقه زنگ و 4 منطقه غیر زنگ برای تعیین بازه‌ی مناسب دمایی، رطوبتی و سبزیگی برای شرایط وقوع زنگ و همچنین تهیه‌ی الگوریتمی برای شناسایی نواحی دارای شرایط زنگ استفاده شده‌است. از 39 منطقه

زنگ‌زده و 4 منطقه زنگ‌نزده دیگر برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی استفاده شده‌است. با توجه به الگوریتم بدست‌آمده تصویر کل کشور آرژانتین به دو کلاس زنگ و غیر زنگ طبقه‌بندی شد. خروجی این تصویر در شکل (3) نمایش داده شده‌است. این الگوریتم از 39 داده‌ی زنگ 34 مورد را به عنوان زنگ و 5 مورد را به عنوان غیر زنگ شناسایی کرده‌است.



شکل 3- تصویر طبقه‌بندی شده کشور آرژانتین برای زنگ گندم

است که الگوریتم اشتباه‌های کمتری در شناسایی کلاس مربوطه دارد [23].

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN} \quad (7)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (8)$$

$$F = \frac{sensitivity \times precision}{sensitivity + precision} \quad (9)$$

$$Acc = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (10)$$

$$K = \frac{(TP + TN) \times (RP + RN) - (CP \times RP + CN \times RN)}{((RP + RN)^2 - (CP \times RP + CN \times RN))} \quad (11)$$

همچنین، از بین 4 داده‌ی غیر زنگ سه مورد را به عنوان مناطق فاقد شرایط زنگ و 1 مورد را به عنوان منطقه‌ی دارای شرایط زنگ شناسایی کرده‌است. جهت ارزیابی از روابط (7-11) بهره گرفته شده‌است که در آن دقت کلی<sup>1</sup> و ضریب کاپا (k)، معیارهایی کلی هستند که نمی‌توانند صحت عملکرد طبقه‌بندی‌کننده را در کلاس‌های مختلف ارزیابی کنند. در حالی که معیار حساسیت<sup>2</sup>، دقت<sup>3</sup> و معیار نمره‌دهی<sup>4</sup> بطور مجزا کارایی و عملکرد طبقه‌بندی‌کننده را برای کلاس‌های مختلف نشان می‌دهند. هرچه میزان حساسیت بالاتر باشد بیانگر این است که قابلیت شناسایی درست کلاس مربوطه بیشتر است. در مقابل هرچه میزان دقت بیشتر باشد، بیانگر این

1 Overall Accuracy (Acc)

2 Sensitivity

3 Precision

4 Fscore

سال و بررسی نواحی مناسب و غیر مناسب جهت کاشت، امکان بهره‌برداری بیشتر از محصولات ارائه خواهد شد.

نتایج حاصل از این پژوهش، دارای دقت 97.3 و دقت کلی 90.7 برای پیش‌بینی مناطق مستعد شیوع بیماری زنگ گندم می‌باشد. لذا با توجه به مطالعات پیشین صورت‌پذیرفته، تاکنون روشی برای پیش‌بینی وقوع بیماری زنگ گندم در منطقه وسیع با به کارگیری داده‌های زمینی و ماهواره‌ای و رسیدن به سطح دقت کلی 90.7 انجام نشده‌است.

با توجه به تصویر طبقه‌بندی‌شده در شکل (3)، حاصل از بازه‌های بدست‌آمده و الگوریتم ارائه‌شده (WRPOR)، مشاهده می‌شود که یک سری از مناطق در داده‌های آزمایشی به عنوان مناطق زنگ معرفی شده‌اند ولی الگوریتم ارائه‌شده نتوانسته این مناطق را بدرستی تشخیص دهد. علت این موضوع می‌تواند کمبود اطلاعات از منطقه توسط تصاویر ماهواره‌ای به دلیل وجود ابر و یا خطای سیستماتیک باشد. از طرف دیگر مناطقی در تصویر وجود دارند که هیچ اطلاعات اولیه از آن‌ها موجود نمی‌باشد و به عنوان مناطق دارای پتانسیل شیوع بیماری شناخته شده‌اند. برای توجیه این مناطق باید به بررسی چندین عامل پرداخته شود. قارچ‌های مولد بیماری زنگ گندم به دلیل سبک وزن بودن به راحتی توسط باد انتقال پیدا می‌کنند و از منطقه‌ای به منطقه‌ای دیگر می‌روند و در صورتی که در منطقه شرایط مطلوب برای زندگی آن‌ها وجود داشته باشد، شروع به رشد و تکثیر می‌کنند و به محصولات موجود در منطقه آسیب وارد می‌کنند. بنابراین، در صورتی که باد از مناطق زنگ زده به سمت مناطق سالم حرکت نکرده باشد، احتمال آلوده شدن زمین‌ها حتی در صورت وجود شرایط مناسب دمایی، رطوبتی و سبزی‌گی کم می‌شود. از طرف دیگر، در صورتی که زمین‌های کشاورزی در مناطقی قرار بگیرند که دور آن‌ها حصار و یا کوه قرار داشته باشند، احتمال نفوذ قارچ توسط باد به داخل این مزارع کاسته می‌شود. در نتیجه این مناطق به بیماری زنگ دچار نخواهند شد. همچنین، اخیراً علم گیاهپزشکی پیشرفت‌هایی در زمینه‌ی اصلاح بذرها داشته و قادر به تولید بذرهایی است که دارای مقاومت بالاتری نسبت به بیماری زنگ هستند. بنابراین، در صورت کاشت این بذرها، احتمال آلوده‌شدن زمین‌های کشاورزی به زنگ کمتر می‌شود.

$$\begin{aligned} RP &= TP + FP, RN = TN + FN, CP \\ &= TP + FN, CN \\ &= FP + TN \end{aligned} \quad (12)$$

<sup>1</sup>TP بیانگر تعداد مناطقی است که به عنوان تغییر یافته طبقه‌بندی شده‌است و در داده‌های آزمایشی نیز تغییر یافته هستند، <sup>2</sup>FP بیانگر تعداد مناطقی است که با هیچکدام از پیکسل‌های تغییر یافته در داده‌های آزمایشی مرتبط نیست، <sup>3</sup>FN بیانگر پیکسل‌هایی است که در داده‌های آزمایشی به عنوان تغییر یافته مشخص شده اما به وسیله روش پیشنهادی به عنوان تغییر یافته شناسایی نشده است و <sup>4</sup>TN بیانگر پیکسل‌هایی است که در داده آزمایشی و طبقه‌بندی، تغییر نیافته هستند. جدول (3) دقت‌های بدست‌آمده را نشان می‌دهد.

جدول 3- دقت‌های بدست‌آمده

| Sensitivity | precision | $F_{score}$ | ACC  | K  |
|-------------|-----------|-------------|------|----|
| 92.3        | 97.3      | 47.36       | 90.7 | 55 |

## 5- نتیجه‌گیری

در این پژوهش در گام اول از بازه‌های دمایی، رطوبتی و سبزی‌گی مناسب و مورد تایید علم گیاه-شناسی، جهت بررسی شیوع بیماری زنگ گندم استفاده شده و سپس با استفاده از اطلاعات دمایی، رطوبتی و سبزی‌گی موجود در مناطق دارای بیماری زنگ گندم و مناطق فاقد بیماری زنگ گندم، به بهینه‌سازی بازه‌های مربوط به پارامترهای مورد بررسی پرداخته شد، که در این راستا، از الگوریتم پیشنهادی wropp استفاده شده‌است. در واقع، این الگوریتم قابلیت شناسایی مناطق مستعد شیوع بیماری زنگ گندم از 5 روز قبل از بروز بیماری را دارد و قادر به تولید نقشه‌ای می‌باشد که در آن از 5 روز قبل مناطق مستعد شیوع بیماری زنگ گندم قابل پیش‌بینی خواهد بود. یکی از کاربردهای مهم این نقشه‌ها، تعیین مناطق مناسب جهت کاشت محصولات خواهد بود. به نحوی که با تولید نقشه‌ها در طول یک

- 1 True Positives
- 2 False Positives
- 3 False Negatives
- 4 True Negatives

## قدردانی

مادیس جهت در اختیار قراردادن اطلاعات و داده‌های  
مورد نیاز ابراز می‌نمایند.

پژوهشگران مراتب قدردانی را از دانشگاه ویومینگ  
آمریکا و همچنین مسئولین سایت تصاویر ماهواره‌ای

## مراجع

- [1] Belasque, L, Gasparoto. M. C. (2008). "Detection of mechanical and disease stresses in citrus plants by fluorescence spectroscopy." OSA publishing, Applied Optics 47(11): 1922\_1926.
- [2] Roelfs, A. P., R. P. Singh. (1992). "Rust Diseases of Wheat: Concepts and methods of disease management." Mexico, D. F.: CIMMYT. 81 pages.
- [3] Sankaran, S., A. Mishra, R. Ehsani. (2010). "A review of advanced techniques for detecting plant diseases." Computers and Electronics in Agriculture, 72(1): 1\_13.
- [4] Omrani, E., Mohtasabi, S., Rafiee, Sh., Hosseinpour, S. (2013). "A review on methods used in detection of plant diseases." 5122\_5136.
- [5] Nagarajan. S. S. H. (1976). "Preliminary studies on forecasting wheat stem rust appearance." Elsevier Scientific Publishing Company. Agric. Meteorol, pp. 17:281-289.
- [6] Melugin, S., S. William. (1984). "Denelopement of Regional Models that Use Meteorological Variables for Predicting Stripe Rust Disease on WInter Wheat." Climate and Applied Meteorology, 23, 1234\_1240.
- [7] Moshou, D., C. Bravo, J. West, S. Wahlen, A. McCartney and H. Ramon. (2004). "Automatic detection of 'yellow rust' in wheat using reflectance measurements and neural networks. " Computers and Electronics in Agriculture, 44: 173\_188.
- [8] Wang, H., Z. Ma. (2011). "Prediction of Wheat Stripe Rust Based on Support Vector Machine." IEEE, 379\_383.
- [9] Dutta, S., Singh, S. K., & Khullar, M. (2014). A case study on forewarning of yellow rust affected areas on wheat crop using satellite data. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 42(2), 335-342.
- [10] Krishna, G. (2014). "ASSESSING WHEAT YELLOW RUST DISEASE THROUGH HYPERSPECTRALREMOTE SENSING." The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-8.
- [11] Ashourloo, D., M. R. Mobasheri. (2014). "Developing Two Spectral Disease Indices for Detection of Wheat Leaf Rust (Pucciniatriticina)." Remote Sensing, 6, 4723-4740.
- [12] Wakie, T. T., Kumar, S., Senay, G. B., Takele, A., & Lencho, A. (2016). Spatial prediction of wheat septoria leaf blotch (Septoria tritici) disease severity in Central Ethiopia. Ecological Informatics, 36, 15-30.
- [13] Pryzant, R., Ermon, S., & Lobell, D. (2017). Monitoring Ethiopian wheat fungus with satellite imagery and deep feature learning. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (pp. 39-47).
- [14] Mobasheri, M. R, Ranjbar, S., (2017). "Diagnosis of fields infected with wheat rust disease Using Landsat images". Journal of Applied researches in Geographical Sciences, 44:7\_24.
- [15] Chen, D., Shi, Y., Huang, W., Zhang, J., & Wu, K. (2018). Mapping wheat rust based on high spatial resolution satellite imagery. Computers and Electronics in Agriculture, 152, 109-116.
- [16] Mobasheri, M. R, Khesali, E., (2019). "Prediction of areas at risk of frost using the NEAT model". Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 28: 41\_52.
- [17] Mobasheri, M. R, Darouei, P., (2019). "Wheat Leaf Rust Disease Severity Estimation Using Reflectance Spectrum Coding Methods." Journal of Geospatial Information Technology. 6(4):18\_30.

- [18] Ruan, C., Dong, Y., Huang, W., Huang, L., Ye, H., Ma, H., ... & Ren, Y. (2021). Prediction of Wheat Stripe Rust Occurrence with Time Series Sentinel-2 Images. *Agriculture*, 11(11), 1079.
- [19] Guo, A., Huang, W., Dong, Y., Ye, H., Ma, H., Liu, B., ... & Geng, Y. (2021). Wheat yellow rust detection using UAV-based hyperspectral technology. *Remote Sensing*, 13(1), 123.
- [20] Mobasheri, M. R., Khesali, E., Ghorbani, A. R., (2018). "An Attempt in Presenting a Model for Temperature Determination at Near Land Surface Using Modis Image." 13th Symposium on Advances in Sceince and Technoligy.
- [21] Peng, G., Li, J., Chen, Y., Norizan, A. P., & Tay, L. (2006). "High-resolution surface relative humidity computation using MODIS image in Peninsular Malaysia." *Chinese Geographical Science*, 16(3), 260-264.
- [22] Javadnia, E. M. R. Mobasheri. (2009). "MODIS NDVI quality enhancement using ASTER images." *Journal of agricultural science and technology*, pp. 11,549-558.
- [23] Sokolova, M., N. Japkowicz, and S. Szpakowicz. (2006). "Beyond accuracy, F-score and ROC: a family of discriminant measures for performance evaluation." in *Australasian Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 1015-1021.
- [24] Anderson. A. (2008). "A thermal-based remote sensing techniquis for routins mapping of land-surface carbon, water and energy fluxes from field to regional." *Remote Sensing of Environment*, pp. 112(12): p. 4227-4241.
- [25] Galway, J. (1956). "The Lifted Index as a Predictor of Latent Instability." *Blamer Meteor. Soc*: 37,528-59.
- [26] Kaufman, Y. J, B. C. Gao. (1992). "Remote sensing of water vapor in the near IR from EOS/MODIS. " *Geoscience and Remote sensing*, pp. 30(5),871-884.
- [27] KNMI. (2000). "Koninklijk Nederland Meteorological Institut".
- [28] Hedayatifard, M. (2014). "Interactive selection of regions with specific climatological parameters using MODIS images." Master of Science, KNT University.
- [2<sup>۹</sup>] Buck, A. L., J. Appl. (1981). "New equations for computing vapor pressure and enhancement factor." *Meteorol*, 20, 1527-1532.