سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۰
Vol.13, No. 4, Winter 2022 Iranian Remote Sensing & GIS

۱-۱٤

مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی احتمال رخداد بیماری فوزاریوم گندم با استفاده از روش جنگل تصادفی

الهام خدابنده‌لو[1*]، محسن آزادبخت[2]، سهیل رادیوم[3]، داود عاشورلو[4]، عباس علیمحمدی سراب[5]

۱ و ۳. مرکز تحقیقات فضایی، پژوهشگاه فضایی ایران
۲ و ۴. استادیار مرکز سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی
۵. استاد گروه GIS، دانشکدهٔ نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۰۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۲۳

چکیده

با توجه به رشد بالای جمعیت در جهان و نیاز به اطمینان از امنیت غذایی، افزایش تولید در واحد سطح محصولات زراعی به‌منزلهٔ راهبردی اساسی در حل مسئلهٔ تأمین غذا به‌شمار می‌رود. از سوی دیگر، با وجود محدودیت در افزایش سطح زیرکشت و پایین‌بودن میانگین عملکرد برخی محصولات کشاورزی مانند گندم در کشور، افزایش عملکرد محصول می‌تواند راهکاری عملی در پاسخ به نیاز کشور محسوب شود. یکی از مهم‌ترین بیماری‌های گندم فوزاریوم است که، با توجه به نقش پیش‌بینی این بیماری در جلوگیری از کاهش بهره‌وری محصول، مدل‌هایی به‌منظور پیش‌بینی فوزاریوم در کشورهای آمریکا، کانادا، آرژانتین و برزیل توسعه یافته است اما در ایران، به‌رغم لزوم توجه به این بیماری، تاک نون مدلی در این زمینه مطرح نشده است. بدین‌منظور، پهنه‌بندی مناطق رخداد بیماری فوزاریوم، با به‌کارگیری پارامترهای محیطی و داده‌های هواشناسی و نیز استفاده از تحلیل مکانی، در دشت مغان صورت گرفت. همچنین، برای افزایش دقت و کالیبراسیون دقیق مدل، شبکهٔ اینترنت اشیا (IoT) در دشت مغان استفاده شد تا داده‌های محیطی شامل رطوبت نسبی، بارندگی و دمای هوا جمع‌آوری شود. سپس شاخص‌های ترکیبی مناسب تهیه شد و (RF)برای اولویت‌بندی شاخص‌ها و تعیین اهمیت نسبی آنها و نیز پیش‌بینی شدت بیماری فوزاریوم گندم، روش جنگل تصادفی به‌کار رفت. برای این کار، از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و سنسورهای زمینی در فاصلهٔ سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۶ استفاده شد. نتایج ارزیابی حاکی از کارآیی مدل توسعه‌داده‌شده در پیش‌بینی بیماری فوزاریوم گندم است. همچنین، طبق نتایج، به‌کارگیری IoT به‌همراه تحلیل‌های مکانی روشی مؤثر در پیش‌بینی فوزاریوم است.

کلیدواژه‌ها: فوزاریوم گندم، اینترنت اشیا، GIS، جنگل تصادفی، مدل‌سازی مکانی- زمانی.

* نویسندهٔ مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.
Email: ekhodabandehloo@mail.kntu.ac.ir

۱- مقدمه

گندم نقش مهمی در عرصهٔ سیاسی و اقتصادی کشورها، به‌ویژه کشورهای درحال‌توسعه، ایفا می‌کند؛ ازاین‌رو، محصولی استراتژیک در دنیا محسوب می‌شود. در ایران، زراعت گندم سهم مهمی در تأمین غذا و کمک به زراعت‌های دیگر و تحکیم زیربنای اقتصادی دارد. بخش شمالی استان اردبیل و مناطق جلگه‌ای خزر (استان‌های مازندران و گلستان) از فوزاریوم‌خیزترین مناطق ایران محسوب می‌شوند. براساس آمار سال ۱۳۹۳، مساحت سطح زیرکشت گندم در کشور ۶۴۷۵۶۴۳ هکتار است. سهم استان‌های گلستان، مازندران و اردبیل از کشت گندم ۶۴۹۱۴۸ هکتار است که ۱۰٪ از سطح زیرکشت گندم کل کشور را شامل می‌شود (مرکز آمار ایران[1]، ۱۳۹۳). با توجه به محدودیت افزایش سطح زیرکشت گندم، افزایش عملکرد این محصول نقطهٔ اتکای راهکارهای عملی در پاسخ‌گویی به نیازهای کشور شمرده می‌شود. از عواملی که باعث کاهش بازده محصول می‌شوند، می‌توان به تنش‌های غیرزیستی و تنش‌های زیستی مانند آفات و بیماری‌ها اشاره کرد. یکی از تنش‌های زنده بیماری فوزاریوم سنبلهٔ گندم است که جزء بیماری‌های مخرب در مناطق گرم‌ومرطوب کشت گندم در جهان به‌شمار می‌رود (سپهوند و همکاران، ۱۳۸۸). شیوع گستردهٔ این بیماری در مزارع گندم استان‌های شمالی کشور، در اوایل دههٔ ۷۰ شمسی، خسارات زیادی به محصول وارد کرد. یکی از دلایل اهمیت این بیماری وجود مایکوتوکسین در دانه‌های گندم مبتلا به بیماری است که موجب بیماری‌هایی در انسان و دام می‌شود (آقاجانی و همکاران، ۱۳۹۵). در ایران، اولین‌بار در سال ۱۳۵۶ این بیماری در مزارع دشت ناز ساری گزارش شد و در سال‌های ۷۲-۱۳۷۱، میزان خسارت این بیماری در برخی مزارع استان گلستان سبب بیش از ۸۰٪ کاهش عملکرد محصول شد. در سال ۱۳۷۵، استان‌های جنوبی کشور شامل هرمزگان و جنوب فارس نیز به این بیماری آلوده شدند که میزان خسارت واردشده به محصول بسیار زیاد و درخور توجه بوده است (سلیمانیان ریزی و همکاران، ۱۳۸۹). خسارت‌های بیماری فوزاریوم گندم ابعاد گوناگونی دارد و افت عملکرد دانه، ازطریق کاهش تعداد و وزن دانه‌ها، از ۳۰ تا ۷۰٪ گزارش شده است. بادزدگی فوزاریومی سنبله، با تخریب ذخایر نشاسته و پروتئین و نیز آسیب‌رساندن به دیوارهٔ سلولی دانه‌ها، موجب کاهش کیفیت نان تهیه‌شده با این محصول می‌شود (سلیمانیان ریزی و همکاران، ۱۳۸۹).

تا کنون مدل‌های گوناگونی در دنیا برای پیش‌بینی این بیماری پیشنهاد شده است؛ برای نمونه، می‌توان به مدل‌های توسعه‌داده‌شده در کانادا (Hooker et al., 2002; Schaafsma & Hooker, 2007)، آمریکا (De Wolf et al., 2003; McMullen et al., 2012; Shah et al., 2013; Shah et al., 2014)، آرژانتین (Moschini and Fortugno, 1996; Moschini et al., 2001; Carranza et al., 2007)، برزیل (Del Ponte et al., 2005)، بلژیک (Landschoot et al., 2013)، هلند (Van Der Fels-Klerx et al., 2010)، سوئیس (Musa et al., 2007) و ایتالیا (Rossi et al., 2003) اشاره کرد. در مدل‌های مذکور، مسئلهٔ مهم وجود داده‌های جمع‌آوری‌شده، طی سالیان متعدد، در منطقهٔ مورد مطالعه است؛ با توسعهٔ مدل‌های تجربی، رابطهٔ بین پارامترهای هواشناسی و میزان وقوع فوزاریوم به‌دست‌آمده و در سال‌های متمادی، دقت مدل در منطقه بهبود داده شده است.

از مدل‌هایی که در آمریکا برای پیش‌بینی بیماری فوزاریوم گندم به‌کار رفته است، می‌توان به مدل توسعه‌یافته از سوی دِ وولف[2] و همکاران (۲۰۰۳) اشاره کرد که در آن مدل از پارامترهای دما، رطوبت نسبی و بارش استفاده شده است. شرایط دمایی بین ۳۰-۱۵ درجهٔ سانتی‌گراد در طول روز و رطوبت نسبی بیشتر از ۹۰٪ به‌منزلهٔ شرایط بهینه برای این بیماری معرفی شده‌اند.

1. https://www.amar.org.ir/
2. De Wolf

این مدل از روش رگرسیون لجستیک برای پیش‌بینی بهره می‌برد و برمبنای داده‌های هفت روز پیش از گل‌دهی تا ده روز پس از آن عمل می‌کند. در مدلی که شاه[1] و همکاران (۲۰۱۴) مطرح کردند احتمال وقوع بیماری، در زمانی که دما بین ۲۲-۱۴ درجهٔ سانتی‌گراد باشد، افزایش می‌یابد و دمای بهینهٔ به‌دست‌آمده ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد است. از سایر نتایج، می‌توان به رابطهٔ بین درصد وقوع بیماری و رطوبت نسبی اشاره کرد؛ بدین‌صورت که میزان ابتلا به بیماری، با وجود رطوبت نسبی بیش از ۷۰٪، افزایش فزاینده‌ای می‌یابد.

در تحقیق هووکر[2] و همکاران (۲۰۰۲)، از پارامترهای بارندگی روزانه، حداکثر و حداقل دمای روزانه و رطوبت نسبی ساعتی به‌منظور پیش‌بینی رخداد بیماری استفاده شده است. در این تحقیق، با هدف تعیین پارامترهای مهم از مدل رگرسیون استفاده شده است. مدل دیگری که شافسما[3] و هوکر (۲۰۰۷) مطرح کرده‌اند، برای دورهٔ ۷-۴ روز قبل از گل‌دهی، تعداد روزهای بارانی و تعداد روزهای با رطوبت نسبی بیش از ۷۵٪ پارامترهای افزایش‌دهندهٔ احتمال رخداد بیماری معرفی شده است. در مقابل، حداکثر دمای روزانهٔ بیش از ۳۲ درجه و میانگین دمای کمتر از ۱۲ درجهٔ سانتی‌گراد باعث کاهش DON[4] می‌شود. این محققان، در مدلی که برای ایالت منیتوبا در کشور کانادا توسعه یافته است، از داده‌های دما و رطوبت نسبی طی هفت روز پیش از گل‌دهی استفاده کردند و در مدلی توسعه‌یافته برای ایالت ساسکاچوان کانادا براساس گندم بهاره و پاییزه، از شاخص‌های دما و رطوبت نسبی طی پنج روز قبل از گل‌دهی و داده‌های دو روز پیش‌بینی بهره بردند (Schaafsma & Hooker, 2007). در این مدل، با مشاهدهٔ شرایط وقوع بیماری در سال‌های قبل، شرایط مناسب برای رشد قارچ Fograminearum دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد و درصد رطوبت نسبی بالا در نظر گرفته شد. در مدل پیش‌بینی‌کنندهٔ هوکر و همکاران (۲۰۰۲) درمورد کانادا، به‌منظور پیش‌بینی از پارامترهای بارندگی روزانه، حداکثر و حداقل دمای روزانه و رطوبت نسبی ساعتی استفاده شد. نتایج این مدل حاکی از آن است که، طی دورهٔ ۷-۴ روز قبل از گل‌دهی، با افزایش تعداد روزهایی که بارندگی بیش از ۵ میلی‌متر باشد، احتمال وقوع بیماری افزایش می‌یابد و با کاهش دما در روز به کمتر از ۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد، احتمال وقوع بیماری کمتر می‌شود. هاران[5] و همکاران (۲۰۱۰) مدل مکانی- زمانی پیش‌بینی‌کنندهٔ بیماری فوزاریوم را، براساس مدل تجربی به‌دست‌آمده درمورد ایالت داکوتای شمالی (آمریکا)، توسعه دادند. در مدلی که شاه و همکاران (۲۰۱۳) مطرح کردند، پیش‌بینی براساس شرایط آب‌وهوایی قبل و بعد از گل‌دهی انجام شده است. براساس این مدل، در این تحقیق، محاسبات برای بازه‌های پنج، هفت ده، چهارده و پانزده روز قبل و بعد از گل‌دهی انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده فقط از داده‌های پنج روز قبل و بعد از گل‌دهی کافی نیست و بهترین پنجرهٔ زمانی، برای داده‌ها، پانزده‌روزه است.

از مدل‌های پیش‌بینی‌کنندهٔ بیماری فوزاریوم گندم درمورد کشور آرژانتین، می‌توان به مدل موسکینی[6] و همکاران (۲۰۰۱) اشاره کرد که در آن از طول دورهٔ بارندگی دوروزه، با میزان بارندگی بیش از ۰.۲ میلی‌متر و رطوبت نسبی بیش از ۷۸٪، استفاده کردند. مدل دیگری که درمورد آرژانتین مطرح شد از روش رگرسیون برای پیش‌بینی استفاده کرده است (Carranza et al., 2007). ژیرو[7] همکاران (۲۰۱۶) سه مدل را برای پیش‌بینی بیماری فوزاریوم به‌کار بردند؛ در مدل اول فقط شرایط آب‌وهوایی هفت روز قبل از گل‌دهی، در مدل دوم مشاهدات شرایط آب‌وهوایی ده روز بعد از گل‌دهی و در مدل سوم شرایط اقلیمی قبل و بعد از گل‌دهی در نظر گرفته شده است.

1. Shah
2. Hooker
3. Schaafsma
4. Deoxynivalenol
5. Haran
6. Moschini
7. Giroux

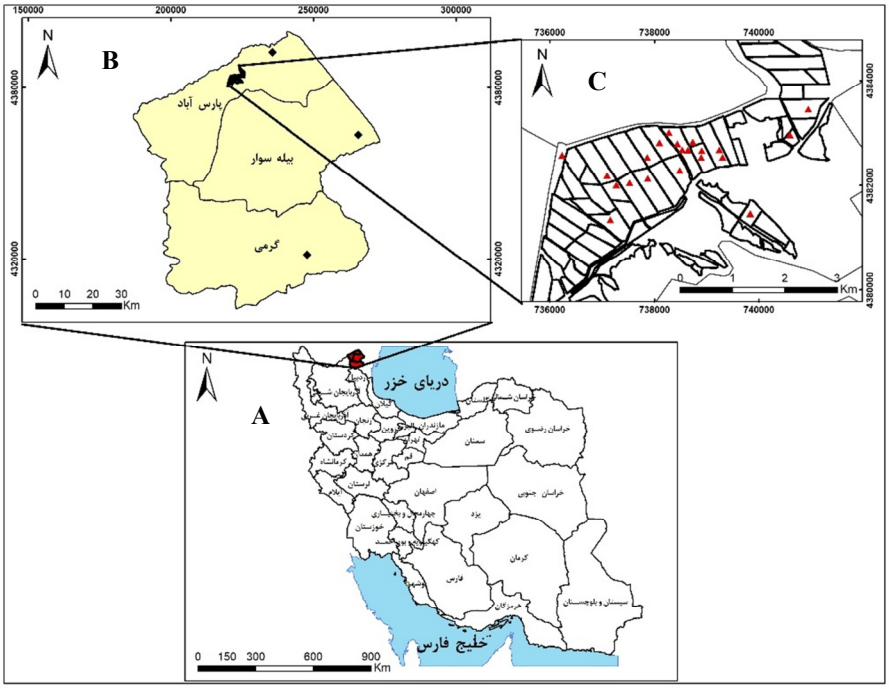
نتایج این تحقیق نشان داد مدل‌هایی که از داده‌های قبل و بعد از گل‌دهی و نیز مدلی که از داده‌های ده روز پس از گل‌دهی استفاده می‌کنند، درمورد ایالت کبک کانادا، بیشترین کارآیی را دارند.

همان‌طورکه در تحقیقات انجام‌شده مشاهده می‌شود، اثر تعداد روزهای مورد بررسی در پیش‌بینی بیماری فوزاریوم تأثیرگذار بوده است؛ بنابراین، با توجه به بررسی این تحقیقات، بیش از سیصد شاخص از عوامل مؤثر در مدل‌سازی فوزاریوم گندم تعریف شده که، به‌صورت مجزا و ترکیب دوتایی، از شرایط لازم رخداد بیماری به‌دست آمده است. ازآن‌جاکه مدل‌های مطرح‌شده به‌منظور پیش‌بینی بیماری در منطقهٔ ویژه‌ای پیشنهاد می‌شود، نمی‌توان از مدل‌های توسعه‌یافته براساس سایر مناطق در ایران بهره برد. به‌رغم اهمیت این بیماری در ایران، تا کنون هیچ مدلی به‌منظور پیش‌بینی آن در کشور ما مطرح نشده است. در این پژوهش، ابتدا عوامل مؤثر در وقوع بیماری فوزاریوم گندم بررسی می‌شود و با توجه به آن و با استفاده از عوامل مؤثر، شاخص‌هایی تعریف می‌شود. با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین، شاخص‌های مؤثر شناسایی و مدل پیش‌بینی، درمورد دشت مغان در استان اردبیل، اجرا می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد نظر در این پروژه، دشت مغان واقع در شمال استان اردبیل است که بین عرض جغرافیایی ۳۹.۴۶۵ تا ۳۹.۶۱۵ شمالی و طول جغرافیایی ۴۷.۵۴۸ تا ۴۸.۰۰۹ شرقی قرار گرفته است. هم‌اکنون شرکت‌های بزرگی، همچون کشت و صنعت و دام‌پروری مغان و شرکت پارس، در این منطقه فعالیت دارند. شهرستان پارس‌آباد در بخش شمالی جلگهٔ مغان قرار گرفته که، با مساحت ۱۵۵۴ کیلومترمربع، شمالی‌ترین شهرستان استان است. این شهرستان، ازلحاظ موقعیت جغرافیایی، بین ۳۹ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقهٔ عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقهٔ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد (شکل ۲-۱). شرکت کشت و صنعت مغان



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه: موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در ایران (A)؛ منطقهٔ مطالعاتی در استان اردبیل (B)؛ موقعیت سنسورهای نصب‌شده در دشت مغان (C)

به‌منزلهٔ منطقهٔ مطالعاتی در این تحقیق انتخاب شده است. این شرکت یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌های کشت و صنعت در ایران، با مساحت اراضی زراعی حدود بیست هزار هکتار است. منطقهٔ مورد نظر آب‌وهوای نیمه‌خشک معتدل و میانگین بارندگی سالیانهٔ حدود ۲۹۲ میلی‌متر دارد و محصولات مهم آن گندم، جو، یونجه، کلزا، پنبه، ذرت، چغندرقند و آفتابگردان است.

۲-۲- داده‌ها

پیش‌بینی فوزاریوم برپایهٔ داده‌های هواشناسی است. پارامترهای هواشناسی مورد استفاده در پروژه شامل بارش، درجهٔ حرارت هوا و رطوبت نسبی می‌شود. همان‌طورکه پیش‌تر بیان شد، بیماری فوزاریوم گندم بیشتر در مناطق مرطوب و پرباران اتفاق می‌افتد. همگی این عوامل باعث این رخداد می‌شوند و می‌توان با پایش، بررسی و پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی این بیماری را تا حد مورد قبولی پیش‌بینی و از خسارات محتمل جلوگیری کرد. مراحل انجام‌شده در این تحقیق، برای پیش‌بینی بیماری مورد نظر، شامل دو مرحله می‌شود: ۱. آماده‌سازی و پیش‌پردازش داده‌های هواشناسی؛ ۲. پردازش و پیش‌بینی فوزاریوم. داده‌های هواشناسی به‌کاررفته در این پژوهش از ایستگاه‌های هواشناسی و سنجنده‌های نصب‌شده در دشت مغان به‌دست آمده است. داده‌های لازم از ایستگاه‌های سینوپتیک در شمال‌غرب کشور، متعلق به سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۶، از سه ایستگاه نزدیک به منطقهٔ دشت مغان جمع‌آوری شد. به‌منظور استفاده از سنجنده‌های موجود در منطقهٔ دشت مغان، ۲۲ سنجنده در منطقهٔ ۹ کشت و صنعت مغان نصب شد. این سنجنده‌ها پارامترهای دمای هوا، رطوبت نسبی و میزان بارندگی را، با فاصلهٔ زمانی کمتر از یک ساعت، ثبت و به ایستگاه مرکزی ارسال می‌کنند. داده‌های سنجنده‌ها گردآوری و پس از آماده‌سازی و محاسبات، در مدل پیش‌بینی‌کننده به‌کار رفتند.

برای جمع‌آوری داده‌های لازم، باید داده‌های بارش، دما و رطوبت نسبی در بازه‌های زمانی پنج، ده و پانزده‌روزه در دسترس باشد. برای پیش‌بینی احتمال وقوع فوزاریوم در آینده، لازم است از داده‌های پیش‌بینی هواشناسی استفاده شود. از دو طریق می‌توان به این داده‌ها دست یافت: داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی و سنجنده‌های موجود در منطقهٔ دشت مغان. در این منطقه، فقط داده‌های سال ۱۳۹۶، که طی آن سنجنده‌های IoT[1] نصب شد، کاربرد دارند. درصورتی‌که کاربر به پیش‌بینی احتمال وقوع فوزاریوم پیش از رسیدن زمان گل‌دهی نیاز داشته باشد، باید از داده‌های پیش‌بینی هواشناسی استفاده شود. با بررسی وب‌سایت‌های هواشناسی، مشخص شد که همگی وب‌سایت‌ها بازهٔ پیش‌بینی حداکثر چهارده‌روزه دارند و وب‌سایت هواشناسی AccuWeather.com دارای امکان پیش‌بینی طولانی‌تر از دیگر وب‌سایت‌های هواشناسی است. پس از دریافت داده‌ها به‌شیوه‌های گفته‌شده، داده‌ها باید تحلیل و اولین مرحلهٔ آماده‌سازی درموردشان انجام شود. ازجملهٔ این تحلیل‌ها، می‌توان به حذف داده‌های پرت و غیرصحیح و رکوردهای خالی اشاره کرد. برخی سلول‌های داده‌های تعدادی از ایستگاه‌ها، به‌دلایل متفاوتی، دارای دادهٔ خالی و غیرصحیح‌اند. این موارد با مشاهدهٔ بصری و فیلترگذاری و پردازش‌های اولیه تصحیح شدند.

۲-۳- روش کار

به‌منظور پیش‌بینی بیماری فوزاریوم گندم، باید شاخص‌های مؤثر در آن شناسایی شود. برای مدل پیش‌بینی‌کننده، شاخص‌هایی معرفی شده که ترکیب عوامل مؤثر در وقوع بیماری است و وزن هریک از این شاخص‌ها تعیین می‌شود. با توجه به اقلیم کشور ایران و پرس‌وجو از کارشناسان این زمینه و بررسی منابع، مشخص شد که مناطق فوزاریوم‌خیز در ایران بیشتر

1. Internet of Things

شامل مناطق جلگه‌ای خزر (استان‌های گلستان و مازندران) و بخش شمالی استان اردبیل (دشت مغان) است. وضعیت اقلیمی این مناطق به‌گونه‌ای است که در دوره‌های رشد گندم (به‌ویژه حدود پانزده روز پیش، حین و بعد از گل‌دهی گندم) دارای بارش مناسب، رطوبت بالا و دمای مناسب‌اند. در ادامه، به نحوهٔ بررسی دورهٔ زمانی مورد بررسی و تعریف شاخص‌های پیش‌بینی‌کننده پرداخته می‌شود و روش جنگل تصادفی، به‌منزلهٔ روشی قدرتمند در رتبه‌بندی شاخص‌ها و تعیین اهمیت نسبی آنها، بررسی می‌شود.

۲-۳-۱- پیش‌بینی بیماری فوزاریوم گندم

با توجه به مطالعات گذشته (Shah et al., 2014) و اثر دورهٔ مورد بررسی در دقت پیش‌بینی بیماری فوزاریوم گندم، بازهٔ زمانی مورد نیاز برای پیش‌بینی سه دورهٔ پنج، ده و پانزده‌روزه انتخاب شد. در این پنجره‌ها، از ابتدای گل‌دهی تا پانزده روز پس از شروع آن، احتمال وقوع بیماری فوزاریوم محاسبه می‌شود. بنابراین، داده‌ها به‌صورت روزانه درمورد پنجره‌های اشاره‌شده آماده شد. علاوه‌براین، سنجنده‌ها با فواصل زمانی چنددقیقه‌ای داده‌ها را جمع‌آوری می‌کنند؛ بنابراین، از این داده‌ها حداقل، حداکثر و میانگین دمای روزانه و همچنین میانگین روزانه پارامتر رطوبت نسبی نیز محاسبه شد.

پس از آماده‌سازی داده‌ها، در مرحلهٔ دوم پارامترهای مؤثر در پیش‌بینی وقوع بیماری فوزاریوم اولویت‌بندی شد و مدل نهایی نیز اجرا شد. در این مرحله، با استفاده از مراجع و منابع گوناگون، شاخص‌ها از داده‌ها استخراج شد. به‌منظور اولویت‌بندی پارامترهایی که در مدل‌سازی بیماری فوزاریوم گندم به‌کار می‌روند، لازم است درصد اهمیت این پارامترها در وقوع فوزاریوم محاسبه شود و میزان تأثیر هریک در پیش‌بینی مقدار واقعی فوزاریوم به‌دست آید. یکی از راهکارهایی که در این زمینه کاربرد دارد استفاده از روش‌های انتخاب مشخصه[1] در حین اجرای مدل‌های پیش‌بینی میزان وقوع فوزاریوم است.

در این تحقیق، از الگوریتم‌های یادگیری ماشین به‌منظور پیش‌بینی وقوع بیماری فوزاریوم، در مناطق با داده‌های کمّی، استفاده شده است. هدف نهایی این الگوریتم‌ها استخراج اطلاعات بدون دخالت انسان است. هدف روش‌های یادگیری ماشینْ استخراج روابط خطی یا غیرخطی بین مشخصه‌های پیش‌بینی‌کننده و مشخصهٔ هدف است تا، براساس داده‌های انتخاب‌شده، بتوان یک مدل برای پیش‌بینی مقادیر خروجی طبق مقادیر مشاهده‌شدهٔ ورودی به‌دست آورد. جنگل تصادفی[2] یکی از روش‌هایی است که، هم در زمینهٔ آمار و هم در زمینهٔ یادگیری ماشین، شهرت بسیاری دارد. این روش، به‌ویژه در زمان افزایش تعداد متغیرها، عملکرد خوبی دارد؛ درحالی‌که بسیاری از روش‌های کلاسیک آماری، در شرایط مشابه، عملکردی ضعیف‌تر دارند (Breiman, 2001). در ادامه، به‌منظور پیش‌بینی مقادیر خروجی و نیز اولویت‌دهی پارامترها، الگوریتم جنگل تصادفی بررسی می‌شود.

۲-۳-۲- جنگل‌های تصادفی

به‌منظور شناسایی پارامترهای تأثیرگذار در مدل‌سازی و میزان اهمیت آنها، از روش جنگل‌های تصادفی استفاده می‌شود که شیوه‌ای کارآمد در داده‌کاوی است. رویکرد این روش مبتنی‌بر روش‌های ترکیب اطلاعات است که در آن، با هدف پیش‌بینی، تعداد بسیاری درخت ایجاد می‌شود. پس از مشخص‌کردن متغیر(های) پیشگو و متغیر هدف، جنگل‌های تصادفی شروع به رویاندن درخت می‌کنند و براساس دو پارامتر تعداد درختان و تعداد متغیرهای پیشگو، درختی رویانده می‌شود که بزرگ‌ترین اندازهٔ ممکن را داشته باشد. شناسایی متغیرهای مهم و بررسی ارتباط بین متغیرها، با درصد

1. Feature Selection
2. Random Forest

نهایی احتمال وقوع بیماری، هدف استفاده از روش جنگل تصادفی در این تحقیق است.

مبنای کار روش جنگل‌های تصادفی ترکیب چندین درخت تصمیم است که، در ساخت آن، چندین نمونهٔ Boot-Strap از داده‌ها شرکت دارند و در ساخت هر درخت، تعدادی از متغیرهای ورودی به‌طور تصادفی شرکت می‌کنند. روش Boot-Strap شیوهٔ نمونه‌گیری با جای‌گذاری است؛ بنابراین، با تکرار عملیات نمونه‌گیری، تعدادی مجموعه دادهٔ OOB[1] از مجموع آموزشی به‌وجود می‌آید که می‌توان، برای هر مجموعه دادهٔ آموزشی، یک درخت تصمیم محاسبه کرد و میزان خطای مدل برازش‌داده‌شده را با استفاده از این نمونه‌های OOB تخمین زد (Liaw and Wiener, 2002). اغلب روش‌های کلاسه‌بندی، زمانی که تعداد متغیرها از تعداد موارد یا مشاهدات بیشتر باشد، بیش‌برازش می‌کنند. الگوریتم کلی جنگل تصادفی بدین شرح است: اگر تعداد داده‌هایی که به‌منزلهٔ داده‌های آموزشی برای ساخت مدل استفاده می‌شود N فرض شود، تعداد کل متغیرهای پیش‌بینی‌کننده M در نظر گرفته شود و تعداد کل درخت‌های حاضر در مدل n (ntree) باشد؛ برای ساخت درخت iاُم (i=1,… ntree) کافی است این مراحل دنبال شود:

الف) نمونهٔ اصلی به دو قسمت نمونهٔ آموزشی و نمونهٔ آزمایشی تقسیم می‌شود. از نمونهٔ آموزشی، بار دیگر و به حجم K نمونه‌گیری می‌شود و یک‌سوم از نمونهٔ آموزشی جدید، به‌منزلهٔ نمونهٔ خارج از کیسه (OOB)، از مجموعه داده‌های آموزشی جدا می‌شود. در حقیقت، OOB در هر درخت نقش نمونهٔ امتحانی را برای آن درخت ایفا می‌کند.

ب) تعداد m متغیر، به‌تصادف، از بین M متغیر توضیحی انتخاب می‌شود (m<M). معمولاً تعداد متغیرها با mtry نشان داده می‌شود که کاربر آنها را انتخاب می‌کند. پیشنهاد شده است که، در مدل رگرسیونی، $m = \frac{M}{3}$ و در مدل طبقه‌بندی، $m = \sqrt{M}$ در نظر گرفته شود (Breiman, 2001). زمانی که درخت ساخته شد، دادهٔ OOB در درخت ساخته‌شده قرار می‌گیرد و میزان خطا محاسبه می‌شود. به‌دلیل زیادبودن تعداد درخت‌های ساخته‌شده روی نمونه‌های Boot-Strap، میزان خطا نااُریب می‌شود. داده‌های OOB برای برآورد نااُریب خطا و برآورد متغیرهای دارای اهمیت به‌کار می‌وند. در حقیقت، طبقه‌بندی روی درخت‌های ساخته‌شده روی OOBها انجام می‌شود.

با افزایش تعداد درخت‌ها، اثر بیش‌برازش که در روش درخت تصمیم اتفاق می‌افتد، ازطریق دقیق‌ترشدن مدل و کاهش خطای حداقل مربعات در هر مرحله از رشد درخت، از بین می‌رود. روش متوقف‌کنندهٔ رشد درخت ممکن است براساس کاهش sum of square خطا باشد؛ به‌طوری‌که اگر این مقدار در یک مرحله از رشد درخت تغییر چندانی نکند، می‌توان از رشد آن درخت در آن مرحله صرف‌نظر کرد. حداقل‌کردن خطا، در هر درخت تصمیم، معادل با مقدار بهینه برای ntree و mtry است. علاوه‌براین، با واردشدن یک بردار X به داخل جنگل تصادفی ساخته‌شده، بردار مورد نظر وارد همهٔ درخت‌ها می‌شود و در نودهای پایانی قرار می‌گیرد؛ پس از آن، بردار ورودی X در هریک از درخت‌ها یک کلاس را به خود اختصاص می‌دهد. در انتها، کلاسی که بیشترین تعداد برچسب را از بین کل درخت‌ها داشته باشد کلاس پیش‌بینی جنگل تصادفی برای بردار ورودی X خواهد بود (Breiman, 2001).

۲-۳-۳- اهمیت متغیرها

بررسی میزان اهمیت متغیرها و انتخاب متغیرهای مؤثر طی فرایند شکل‌گیری مدل پیش‌بینی‌کننده در بسیاری از رشته‌های علمی دارای اهمیت است. در بسیاری از

1. Out Of Bag

شرایط، هدف پیش‌بینی دقیق پاسخ و همچنین، تعیین این است که کدام متغیرها بیشترین اهمیت را در پیش‌بینی متغیر پاسخ با دقت بالا دارند. به‌دلیل کاربرد فراوان این مسئله و توانایی ساخت مدل دقیق با بررسی اهمیت متغیرها، روش جنگل‌های تصادفی به ابزاری اصلی در تحلیل داده، در رشته‌های گوناگون علمی، تبدیل شده است (Louppe, 2014).

با استفاده از نمونه‌های OOB، اهمیت متغیرها در RFR به‌دست می‌آید؛ قدرت پیش‌بینی برای متغیرها با آن اندازه‌گیری می‌شود. میانگین کاهش دقت مدل، درمورد همهٔ درخت‌ها، برای هر متغیر پیش‌بینی‌کننده اندازه‌گیری می‌شود. اگر M تعداد درخت‌ها باشد، برای اُمین متغیر $X^{(j)}$، ℓاُمین درخت از مجموعه دادهٔ OOB ، $\mathcal{D}_{\ell,n}$ نامیده می‌شود. $\mathcal{D}_{\ell,n}^{j}$ جایگزین تصادفی با $X^{(j)}$ است و $m_n(.;\Theta_\ell)$، ℓاُمین درخت تخمین‌زده به‌شمار می‌رود. در این تحقیق، از روش انتخاب متغیر میانگین کاهش دقت (MDA)[1]، به‌دلیل سهولت اجرای آن، در محاسبهٔ اهمیت هر متغیر در دقت مدل استفاده شده است که به‌صورت رابطه (۱) بیان می‌شود.

$$\widehat{MDA}(X^{(j)}) = \frac{1}{M}\sum_{\ell=1}^{M}[R_n[m_n(.;\Theta_\ell),\mathcal{D}_{\ell,n}^{j}] - R_n[m_n(.;\Theta_\ell),\mathcal{D}_{\ell,n}]]$$

رابطه (۱)

۲-۳-۴- تعریف شاخص‌ها

با توجه به مدل‌های بررسی‌شده، شاخص‌هایی که بیشترین تأثیر را در مدل‌سازی و پیش‌بینی بیماری فوزاریوم گندم دارند به شاخص‌های دما، بارش و رطوبت نسبی محدود می‌شوند. در این زمینه، برای ساخت مدل لازم است ارتباط بین هریک از پارامترهای مذکور با درصد بیماری ثبت‌شده بررسی شود. با این هدف، داده‌های بارندگی به میلی‌متر، دما در واحد درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی برحسب درصد جمع‌آوری شد. حدود آستانه‌ای که برای هریک از پارامترها، در مقالات و تحقیقات قبلی، بیان شده متفاوت است و این مقادیر، درمورد شرایط اقلیمی ایران نیز، با دیگر مناطق تفاوت دارد؛ ازاین‌رو، برای اینکه بتوان مقادیر مورد نظر را با استفاده از داده‌ها تعیین کرد، حالت‌های ترکیبی گوناگونی تعریف شد و با استفاده از درصد اهمیت متغیرها در روش جنگل تصادفی، درصد اهمیت متغیرها استخراج شد.

۳- نتایج

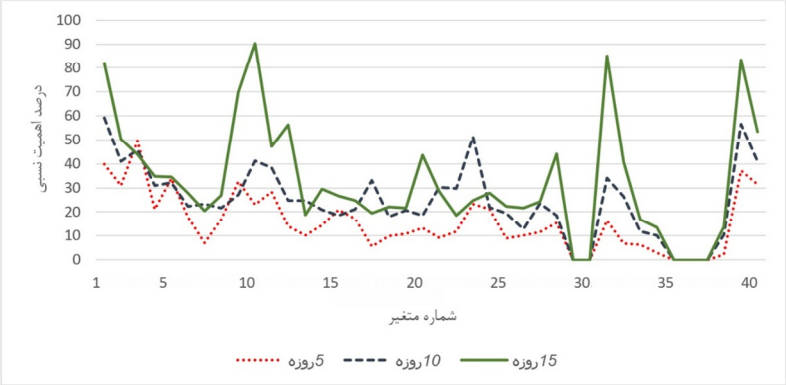
طبق سایر مطالعات صورت‌گرفته و شاخص‌های تعریف‌شده در مقالات، متغیرهایی که بدین‌منظور استخراج شده است شامل چهل حالت ترکیبی می‌شود. ازآن‌جاکه این مدل به داده‌های آموزشی نیاز دارد و به‌دلیل فقدان داده‌های کمّی در ایران، از شدت وقوع بیماری فوزاریوم طبق داده‌های آمریکا، درمورد ایالت‌های ویسکانسین[2] و داکوتای شمالی[3]، استفاده شده است. براساس شاخص‌های تعریف‌شده، با استفاده از روش جنگل تصادفی در سه بازهٔ زمانی پنج، ده و پانزده‌روزه اهمیت متغیرها در آمریکا طی سال ۲۰۱۷، درمورد ۴۷ ایستگاه، محاسبه و نتایج آن در شکل ۲ آورده شده است.

مطابق شکل ۲، اهمیت نسبی پیش‌بینی براساس داده‌های پانزده‌روزه بیشتر از داده‌های با پنجره‌های زمانی پنج و ده‌روزه است؛ بنابراین، مبنای مدل‌سازی در این پژوهش نیز پیش‌بینی با توجه به داده‌های پانزده‌روزه تعیین شد. طبق داده‌های پانزده‌روزه درمورد داده‌های آمریکا، بین حالت‌های مقایسه‌ای شاخص‌هایی که بیشترین اهمیت را در مدل داشتند و نیز، با توجه به انتخاب‌نکردن شاخص‌های دارای اثر مشابه، پنج شاخص مشخص شد:

۱- تعداد ساعت‌هایی که دما بین ۱۵ تا ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بیشتر از ۸۰٪ است؛

۲- تعداد ساعت‌هایی که رطوبت نسبی بیشتر از ۸۰٪ و بارندگی تجمعی بیشتر از ۵ میلی‌متر است؛

1. Minimum Decrease in Accuracy
2. Wisconsin
3. North Dakota



شکل ۲. اهمیت نسبی چهل شاخص مورد بررسی در سه بازهٔ زمانی پنج، ده و پانزده‌روزه (آمریکا)

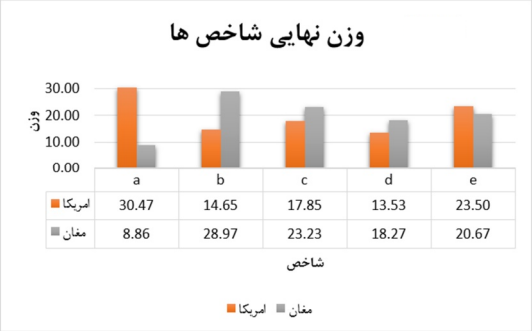
۳- تعداد حالاتی که، دو روز متوالی، رطوبت نسبی بیش از ۸۰٪ و دما بین ۱۵ تا ۳۰ درجهٔ سانتی گراد است.

۴- تعداد روزهایی که بارندگی بیش از ۵ میلی‌متر، حداکثر دمای بین ۲۰ تا ۳۰ درجهٔ سانتی گراد، حداقل دما بیشتر از ۱۵ درجهٔ سانتی‌گراد و اختلاف بین حداکثر و حداقل دما کمتر از ۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد باشد؛

۵- مجموع ساعت‌های اختلاف حداقل دما از ۱۰، به‌شرطی که حداقل دما بیش از ۱۵ درجهٔ سانتی گراد و حداکثر دما بین ۲۰ تا ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد باشد.

با استفاده از وزن‌های نسبی به‌دست‌آمده درمورد پارامترها و نیز نظر کارشناسی دربارهٔ مقادیر حد آستانهٔ دما و رطوبت نسبی و بارندگی با واقعیت زمینی، وزن‌های نهایی شاخص‌ها برای دشت مغان به‌دست آمد. تعیین وزن‌ها و حد آستانه‌های پارامترهای دما و رطوبت با استفاده از تست مدل در فاصلهٔ سال‌های ۸۹ تا ۹۵ برای این منطقه حاصل شد. وزن‌های مورد نظر در شکل ۳ آورده شده و طبق میزان اهمیتشان، با مقادیر وزن‌ها در ایالت‌های آمریکا مقایسه شده است.

پس از استخراج شاخص‌ها از داده‌های آماده‌شده، این داده‌ها به مدل تهیه‌شده وارد می‌شوند. با استفاده از شاخص‌های تهیه‌شده، مدل برای سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۶ در دشت مغان اجرا شد. با توجه به گزارش مسئولان کشت و صنعت مغان، میزان وقوع فوزاریوم در این منطقه در سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ بیش از ۴۰٪، در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ و ۱۳۹۶ بدون بیماری و طی سال ۱۳۹۵ حدود ۱۵٪ بوده است.



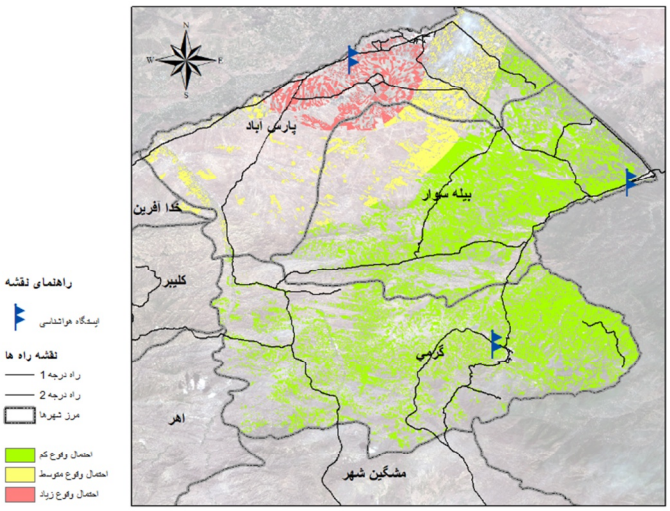
	a	b	c	d	e
امریکا	30.47	14.65	17.85	13.53	23.50
مغان	8.86	28.97	23.23	18.27	20.67

شکل ۳. مقایسهٔ وزن نسبی شاخص‌ها در منطقهٔ مغان با مقادیر معادل در ایالت‌های آمریکا

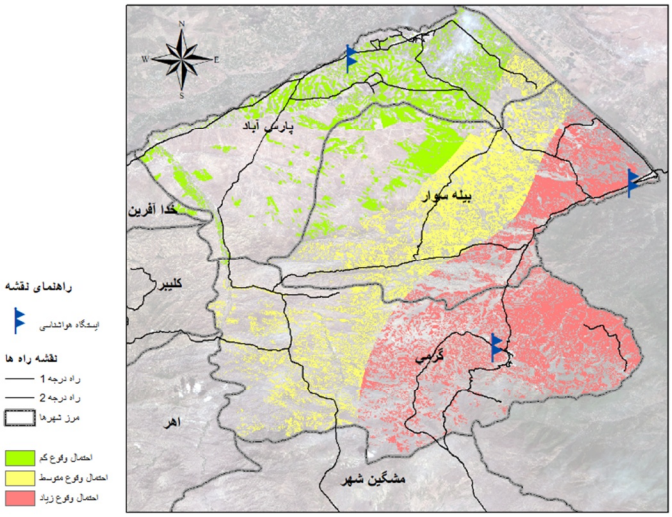
پس از محاسبهٔ درصد وقوع بیماری با مدل توسعه‌داده‌شده، نقشهٔ خروجی با استفاده از درون‌یابی IDW در محیط نرم‌افزار ArcGIS آماده شد. نقشه‌های احتمال وقوع در سه کلاس با احتمال وقوع اندک (۱۵٪-۰٪)، احتمال وقوع متوسط (۲۵٪-۱۵٪) و احتمال وقوع بالا (بیشتر از ۲۵٪) طبقه‌بندی شده است. شرایط وقوع فوزاریوم گندم، برای پانزده روز پیش‌بینی، وقوع حتی یک روز بیماری از پانزده روز است زیرا حتی

اگر طی یک روز شرایط برای فعال‌شدن قارچ عامل بیماری مساعد شود؛ بیماری روی می‌دهد. بر این اساس، درمورد سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۶، نقشه‌های خروجی روزهایی که احتمال وقوع بیماری زیاد بوده در شکل‌های ۴ تا ۷ نشان داده شده است.

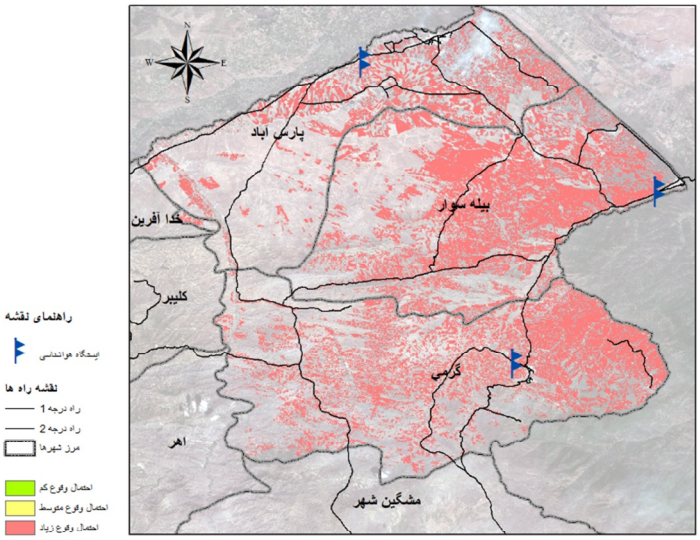
پس از اجرای مدل، میزان احتمال وقوع بیماری درمورد سال ۱۳۹۶ محاسبه شد. در همهٔ روزهای محاسبه‌شده، میزان احتمال وقوع فوزاریوم در منطقهٔ دشت مغان اندک ارزیابی شد و همانند گزارش میدانی کارشناسان کشت و صنعت مغان، مشخص شد که بیماری مورد نظر در آن منطقه مشاهده نشده و این نکته حاکی از موفقیت کامل مدل در پیش‌بینی این بیماری طی سال یادشده است.



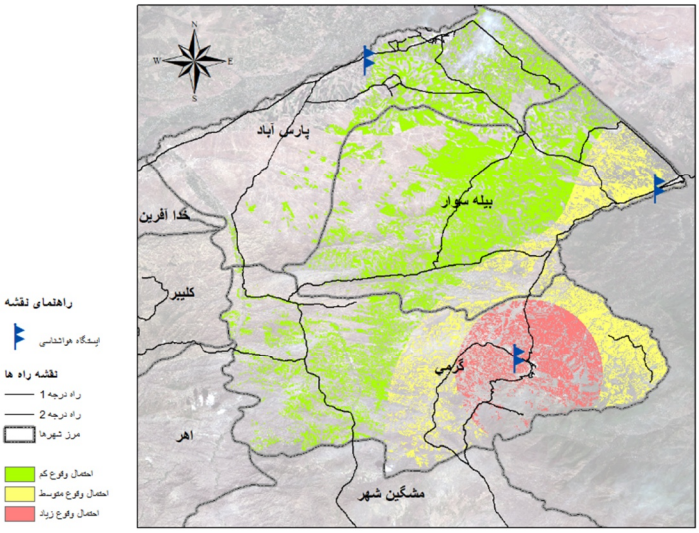
شکل ۴. نقشهٔ احتمال وقوع بیماری فوزاریوم گندم در سال ۱۳۸۹، دشت مغان، روز ۱۳۸۹/۰۲/۰۵



شکل ۵. نقشهٔ احتمال وقوع بیماری فوزاریوم گندم در سال ۱۳۹۰، دشت مغان، روز ۱۳۹۰/۰۱/ ۳۱



شکل ۶. نقشهٔ احتمال وقوع بیماری فوزاریوم گندم در سال ۱۳۹۴، دشت مغان، روز ۱۳۹۴/۰۲/۰۶



شکل ۷. نقشهٔ احتمال وقوع بیماری فوزاریوم گندم در سال ۱۳۹۶، دشت مغان، روز ۱۳۹۶/۰۲/۱۳

۴- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت پیش‌بینی بیماری فوزاریوم گندم و نقش آن در کاهش تولید محصول، در این تحقیق، این بیماری با استفاده از شبکهٔ سنجنده‌های زمینی و ترکیب آن با داده‌های هواشناسی مطالعه شده است. برای پیش‌بینی احتمال وقوع بیماری یادشده، از مدل‌های تجربی استفاده می‌شود. نکتهٔ مهم در این مدل‌ها وجود داده (پارامترهای محیطی و نیز شدت وقوع بیماری) براساس شرایطی است که بیماری رخ داده است؛ به این علت که بتوان، با بررسی ارتباط بین آنها، بهترین مدل را برای منطقهٔ مورد نظر برازش داد. ازآن‌جاکه در ایران چنین داده‌هایی وجود ندارد، از داده‌های دو ایالت آمریکا برای تست شاخص‌های معرفی‌شده بهره گرفته شد. شاخص‌های ترکیبی مطرح‌شده از ترکیب شرایط وقوع بیماری فوزاریوم

براساس داده‌های اقلیمی است. با توجه به اینکه مبنای مدل‌های پیش‌بینی‌کننده پارامترهای اقلیمی است؛ استفاده از شبکهٔ IoT که داده‌های هواشناسی را در سطح مزرعه گردآوری می‌کند، در افزایش دقت خروجی مدل، تأثیر فراوانی دارد و اجرای آن در سطح وسیع‌تر در مزارع گندم اطلاعات ارزشمندی درمورد شرایط مزارع فراهم می‌آورد. این اطلاعات در مدیریت مزارع مفید و کارآ خواهد بود و موجب بهبود تولید محصول می‌شود. نتایج مدل توسعه‌یافته حاکی از صحت کامل اجرای مدل پیش‌بینی بیماری فوزاریوم گندم در منطقهٔ مطالعاتی پایلوت، واقع در دشت مغان، است و در سال ۱۳۹۶، احتمال وقوع بیماری را پایین پیش‌بینی کرد که با واقعیت زمینی هم‌خوانی صددرصد داشت. با توجه به موفقیت این مدل در پیش‌بینی بیماری فوزاریوم گندم در سطح پایلوت، این مدل را می‌توان در فاز بعدی، درمورد مناطق مستعد فوزاریوم گندم در کل کشور، ارزیابی کرد. با توجه به متفاوت‌بودن شرایط اقلیمی در مناطق گوناگون ایران، لازم است مدل مذکور درمورد هر منطقه، با توجه به شرایط منطقه‌ای اجرا و حدود آستانه و ضرایب آنها تعیین شود.

۶- منابع

سپهوند، ن.ع.، حیدری، ف.، طوطیائی، ع.ح.، سراج آذری، م.، مظفری، ج.، ۱۳۸۸، **ارزیابی مزرعه‌ای و مولکولی مقاومت گندم‌های ایرانی به فوزاریوم سنبلهٔ گندم**، بیوتکنولوژی کشاورزی، دورهٔ اول، شمارهٔ ۱، صص. ۸۰-۶۳.

سلیمانیان ریزی، س.، نواب‌پور، س.، سلطانلو، ح.، کلاته عربی، م.، ۱۳۸۹، **بررسی اثرات صفات مرفولوژیک ژنوتیپ‌های گندم بهاره با مقاومت به بادزدگی فوزاریومی سنبله**، پژوهش‌های تولید گیاهی، جلد هفدهم، شمارهٔ ۴.

آقاجانی، م.ع.، فروتن، ع.ر.، کاظمی، ه.، ۱۳۹۵، **مدیریت بیماری‌های بادزدگی فوزاریومی سنبلهٔ گندم**، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسهٔ تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور (طرح پژوهشی).

Breiman, L., 2001, **Random Forests**, Machine Learning, 45(1), PP. 5-32.

Carranza, MR and Moschini, Ricardo Carlos and Kraan, Gilberto and Bariffi (2007). **Examination of meteorology-based predictions of Fusarium head blight of wheat grown at two locations in the southern Pampas region of Argentina**, Australasian Plant Pathology 36, 305—308.

De Wolf, E., Madden, L. & Lipps, P., 2003, **Risk Assessment Models for Wheat Fusarium Head Blight Epidemics Based on Within-Season Weather Data**, Phytopathology, 93(4), PP. 428-435.

Del Ponte, E.M., Fernandes, J.M.C. & Pavan, W., 2005, **A Risk Infection Simulation Model for Fusarium Head Blight of Wheat**, Fitopatologia Brasileira, 30(6), PP. 634-642.

Haran, M., Bhat, K.S., Molineros, J. & De Wolf, E., 2010, **Estimating the Risk of a Crop Epidemic from Coincident Spatio-Temporal Processes**, Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics, 15(2), PP. 158-175.

Hooker, D., Schaafsma, A., Tamburic-Ilincic, L., 2002, **Using Weather Variables Pre- and Post-Heading to Predict Deoxynivalenol Content in Winter Wheat**, Plant Disease,86, PP. 611-619.

Giroux, M-E and Bourgeois, G and Dion, Y and Rioux, S and Pageau, D and Zoghlami, S and Parent, C and Vachon, E and Vanasse, A (2016). **Evaluation of forecasting models for Fusarium head blight of wheat under growing conditions of Quebec, Canada** Plant disease 100(6): 1192-1201.

Landschoot, S., Waegeman, W., Audenaert, K., Van Damme, P., Vandepitte, J., De Baets, B. & Haesaert, G., 2013, **A Field-Specific Web Tool for the Prediction of Fusarium Head Blight and Deoxynivalenol Content in Belgium**, Computers and electronics in agriculture, 93, PP. 140-148.

Liaw, A. & Wiener, M., 2002, **Classification and Regression by Random Forest**, R News, 2(3), PP. 18-22.

Louppe, G., 2014, **Understanding Random Forests: From Theory to Practice**, arXiv preprint arXiv:1407.7502, PhD thesis.

McMullen, M., Bergstrom, G., De Wolf, E., Dill-Macky, R., Hershman, D., Shaner, G. & Van Sanford, D., 2012, **A Unified Effort to Fight an Enemy of Wheat and Barley: Fusarium Head Blight**, Plant Disease, 96(12), PP. 1712-1728.

Moschini, R.C. & Fortugno, C., 1996, **Predicting Wheat Head Blight Incidence Using Models Based on Meteorological Factors in Pergamino, Argentina**, European Journal of Plant Pathology, 102(3), PP. 211-218.

Moschini, R.C., Pioli, R., Carmona, M. & Sacchi, O., 2001, **Empirical Predictions of Wheat Head Blight in the Northern Argentinean Pampas Region**, Crop Science, 41(5), PP. 1541-1545.

Musa, T., Hecker, A., Vogelgsang, S. & Forrer, H., 2007, **Forecasting of Fusarium Head Blight and Deoxynivalenol content in Winter Wheat with Fusaprog**, EPPO bulletin, 37(2), PP. 283-289.

Rossi, V., Giosuè, S., Pattori, E., Spanna, F. & Del Vecchio, A., 2003, **A Model Estimating the Risk of Fusarium Head Blight on Wheat**, EPPO Bulletin, 33(3), PP. 421-425.

Schaafsma, A. & Hooker, D., 2007, **Climatic Models to Predict Occurrence of Fusarium Toxins in Wheat and Maize**, International Journal of Food Microbiology, 119(1), PP. 116-125.

Shah, D.A., De Wolf, E.D., Paul, P. & Madden, L., 2014, **Predicting Fusarium Head Blight Epidemics with Boosted Regression Trees**, Phytopathology, 104(7), PP. 702-714.

Shah, D.A., Molineros, J.E., Paul, P.A., Willyerd, K.T., Madden, L.V. & De Wolf, E.D., 2013, Predicting **Fusarium Head Blight Epidemics with Weather-Driven Pre- and Post-Anthesis Logistic Regression Models**, Phytopathology, 103(9), PP. 906-919.

Van Der Fels-Klerx, H., Burgers, S. & Booij, C., 2010, **Descriptive Modelling to Predict Deoxynivalenol in Winter Wheat in the Netherlands**, Food Additives and Contaminants, 27, PP. 636-643.

سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۰
Vol.13, No. 4, Winter 2022 Iranian Remote Sensing & GIS

1-14

Prediction of Wheat Fusarium Head Blight Severity by Using Random Forest

Khodabandehloo E.[1], Azadbakht M.[2], Radiom S.[3], Ashourloo D.[4], Alimohammadi A.[5]

1 & 3. Space Research Institute, Iranian Space Research Center
2. & 4. Assistant Prof., Dept. of RS & GIS, Shahid Beheshti University
5. Prof., Dept. of GIS Engineering, Faculty of Geodesy & Geomatic Engineering, K.N. Toosi Uniersity of Technology

Abstract

Rapid increase of the world population growth and the demand for food security makes increasing yield as an essential strategy for solving the food supply problem. What is more, because of the restrictions in increasing crop cultivation areas and the decrease in some crops such as wheat in Iran, increasing the yield potential can be an effective way to respond to this requirement. Fusarium Head Blight (FHB) is one of the most important wheat diseases and for prediction FHB some methods have already been developed in the USA, Canada, Argentina and Brazil. As there is no model for predicting FHB in Iran, in this study, a method for predicting severity of FHB based on spatial analysis and using environmental parameters and meteorological data was developed for the Moghan, which is in the northwest of Iran. An Internet of Things (IoT) network was established in the study area for measurement of environmental data, including relative humidity, rainfall and air temperature for evaluating the developed model. Random Forests (RF) and extracted indices were used for predicting FHB severity and calculating the relative importance of the indices. We evaluated FHB for the period of 1389 to 1396 and the results show the effectiveness of the developed model and the capability of IoT and spatial analysis for predicting FHB.

Keywords: wheat Fusarium, Internet of Things, Random Forests, Spatio-temporal modeling.

* Correspondence Address: K.N.Toosi of Technolgoy, Faculty of Geodesy and Geomatics Engeneering.,Valiasr St.,Tehran, Iran
Email: ekhodabandehloo@mail.kntu.ac.ir