

## پیش آگاهی بیماری زنگ زرد گندم دیم در استان کرمانشاه

### Predicting rain-fed wheat yellow rust in Kermanshah province

بیتا ناصری

دانشیار بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، کرمانشاه، ایران

شماره همراه: ۰۹۱۲۶۲۲۴۵۶۱

نشانی رایانامه: b.naseri@areeo.ac.ir

Bitan Naseri

Associate professor, Plant Protection Research Department, Kermanshah Agricultural & Natural Resources Research & Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran

Mobile: 0912 622 4561

Email: b.naseri@areeo.ac.ir

#### چکیده:

در این پژوهش (۱۳۸۸-۹۷) با هدف پیش‌آگاهی همه‌گیری زنگ زرد، گندم‌زارهای دیم از چهار پهنه‌ی کانون آلودگی به این بیماری در شهرستان‌های سرپل‌ذهاب و گیلان‌غرب (گرمسیری) و اسلام‌آباد غرب و ماهدشت (معتدل) استان کرمانشاه برای ارزیابی همبستگی داده‌های هواشناسی با رخداد همه‌گیری و شناسایی ویژگی‌های زمینه‌ساز گسترش بیماری پایش شدند. در سال‌های ۱۳۹۰-۹۱ و ۱۳۹۵-۹۶ و ۱۳۹۶-۹۷ بدون بروز هیچگونه جوش زنگ زرد در کانون‌های آلودگی استان، سال‌های ۱۳۸۹-۹۰ و ۱۳۹۱-۹۲ و ۱۳۹۲-۹۳ و ۱۳۹۳-۹۴ با آلودگی پایین و پراکنده، و سال‌های ۱۳۸۸-۸۹ و ۱۳۹۴-۹۵ با آلودگی بالا همه‌گیر شد. آزمون آماری تجزیه به مولفه اصلی (Principal component analysis) داده‌های هواشناسی و پایش بیماری در این دوره ده ساله نشان داد که شمار روزهای بارانی از مهر تا اردیبهشت، دوره‌های دربرگیرنده روزهای پیاپی با دمای کمینه‌ی ۶-۹ درجه سلسیوس و نم بالای ۶۰ درصد و بلندترین دوره روزانه با این ویژگی، میانگین بیشینه درصد نم بهمن‌ماه و میانگین کمینه دمای اسفندماه برترین نشانگرهای رخداد همه‌گیری زنگ زرد در هر چهار پهنه مورد بررسی بودند. دو ویژگی روزهای یخبندانی و روزهای با دمای کمینه‌ی زیر ۱۰- درجه سلسیوس برترین نشانگرهای پیش‌بینی زمان بروز بیماری بودند. همخوانی این یافته‌ها با مدل رگرسیون ترتیبی برازش شده نشان داد که پیش‌بینی سال همه‌گیری زنگ زرد در استان کرمانشاه و زمان بروز بیماری در دیم‌زارهای هر پهنه با کمک این شناسه‌های کلیدی در پایان اسفندماه هر سال انجام‌پذیر است. سپس کارایی مدل برازش شده در پیش‌آگاهی درست از نبود رخداد بیماری زنگ زرد در سال ۱۳۹۶ و آلودگی پایین در سال ۱۳۹۷ راستی‌آزمایی گردید.

واژگان کلیدی: بروز (وقوع) بیماری، دیم‌زار، زنگ نواری، همه‌گیری.

## Abstract

In this ten-year study (2009-2018), rainfed wheat fields were selected to evaluate disease and examine associations of climatic data with wheat yellow rust disease epidemics across four regions, Sarpolzohab and Gilangharb (tropical), Eslamabad Gharb and Mahidasht (temperate). No disease was evident in 2009-2010, 2016-2017 and 2017-18 and there was low and sparse disease levels in remainder years. Principal component analysis of climatic and disease data indicated that number of rainy days from October to May, periods of consequential days with minimum temperature within 6-9°C and maximum relative humidity > 60%, and longest period with these climatic characters were the best indicators of yellow rust disease epidemics occurrence across four study regions. Two characters of monthly average of maximum relative humidity for February and minimum temperature of March were also identified as important disease epidemics predictors. Two characteristics, number of icy days and days with minimum temperature under -10°C were recognized as best indicators to predict disease onset time. To test efficiency of developed stripe-rust-predicting model, lack of or low disease occurrence for two years of 2017 and 2018 were predicted correctly.

**Key words:** disease occurrence, epidemic, rainfed land, stripe rust.

## مقدمه:

گندم (*Triticum aestivum* L.) با سطح زیر کشت دیم ۳/۹ میلیون هکتار در کشور و ۲۹۵ هزار هکتار در استان کرمانشاه در سال ۹۷-۹۸ فرآورده کشاورزی مهم و اقتصادی در کشور و در استان کرمانشاه به شمار می‌آید. همچنین استان کرمانشاه با عملکرد دیم ۱/۳ تن در هکتار دارای جایگاه چهارم کشوری می‌باشد (Anonymous, 2020). در این استان با فراهم بودن آب و هوای سازگار با پیشروی آلودگی به ویژه بارندگی‌های زمستانه و بهاره قارچ *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* عامل بیماری زنگ زرد گسترش چشمگیری بر روی گندم یافته است. یافته‌های چند سال گذشته نشان داده است که در پایان زمستان و با آغاز بهار بیماری در گندم‌کاری‌های کانون‌های آلودگی گرمسیری استان بروز کرده و سپس آلودگی به بخش‌های معتدل و سردسیری استان هم کشیده می‌شود. زیان این بیماری در گندم‌کاری‌های برخی پهنه‌های آمریکا تا ۵۰ درصد گزارش شده است (Eversmeyer & Burleigh, 1969). زیان بیماری زنگ زرد به درجه حساسیت گیاه، زمان آلودگی، نرخ رشد و درازای دوره بیماری بستگی دارد (Chen 2005) که همگی این ویژگی‌ها به ویژگی‌های آب و هوایی بویژه دما و نم وابسته هستند (Chen, 2007; Gladders et al., 2007; Park, 1990; Zadoks, 1961).

مبارزه شیمیایی این بیماری زیان‌آور در استان همواره با کاربرد گسترده قارچ‌کش‌های پروپیکونازول یا تیلت پس از گزارش گروه‌های پایش کانون‌های آلودگی انجام گفته است. بسیار روشن است که این مبارزه دیرنگام نمی‌تواند به هدف خود برای کاهش زادمایه و جلوگیری از پیشروی بیماری از پهنه گرمسیری به دیگر پهنه‌ها برسد. از سوی دیگر چنین مبارزه بی‌رویه و گسترده‌ی هر ساله تنها برپایه‌ی آلودگی ۵ درصد برگ پرچم و ناآگاهی از چگونگی گسترش آلودگی وابسته به رویدادهای هواشناسی، می‌تواند آلودگی گندم و زیستگاه به قارچکش را در پی داشته باشد. پس برای جلوگیری از هدررفت هزینه و آلودگی‌های زیان‌بار با قارچکش، دستیابی به دانش پیش‌آگاهی همه‌گیری زنگ زرد برپایه‌ی ویژگی‌های آب و هوایی زمینه‌ساز آلودگی نیازی اساسی است. از سوی دیگر سهم بزرگی از مهار کارآمد و کاهش زیان بیماری در ارقام فراگیر گندم دیم استان، سرداری و آذر ۲، با حساسیت ۱۰۰ درصد به زنگ زرد، درگرو زمان‌بندی درست نخستین سمپاشی با کمک پیش‌بینی بیماری همه‌گیر است. زیرا از یکسو در رقم حساس دیم همان آلودگی اولیه در نبود مهار شیمیایی زمان‌بندی شده می‌تواند فشار بیماری و زیان بالاتری را در مقایسه با رقم کمتر حساس آبی داشته باشد. از سوی دیگر همین حساسیت ۱۰۰ درصدی گندم

دیم توانسته زمان رخداد بیماری را در مقایسه با گندم نیمه مقاوم آبی جلوتر بیاندازد. از همین رو دستیابی به دانش پیش‌آگاهی زنگ زرد در گندم‌زارهای دیم به همان اندازه گندم آبی نیازمند بررسی بود.

پیرو نقش بنیادی دمای هوا بر روی چرخه‌ی آلودگی، زمستان و تابستان‌گذرانی قارچ *P. striiformis* f.sp. *tritici* همواره در پیش‌آگاهی همه‌گیری بیماری به کار می‌رود (Coakley et al., 1988). دمای ۷ درجه سانتی‌گراد دمای پایه برای جوانه زنی اوردینوسپور و آلودگی شناخته شد (Sharma-Poudyal & Chen, 2011). در آمریکا، میانگین دمای ژانویه با بیماری زنگ زرد بر روی ارقام حساس همبستگی داشت (Coakley et al., 1982) و انباشت روز درجه‌های منفی (یکم دسامبر تا ۳۱ ژانویه) و مثبت (یکم آپریل تا ۳۰ ژون) با پیشرفت بیماری همبستگی داشتند. با کمک رگرسیون لجیستیک روشن شد که درصد بوته‌های بیمار با رویداد یخبندان‌های بسیار سرد (کمتر از ۵- درجه سانتی‌گراد)، ضدعفونی بذر با قارچکش سیستمیک و سمپاشی زمان‌بندی شده کاهش یافت (Gladders et al., 2007). در فرانسه همه‌گیری زنگ زرد پس از زمستان‌های سرد رخ نداد و انباشت دماهای زیر ۷ درجه سانتی‌گراد در دوره زمانی دسامبر تا آپریل بهترین نشانگر هواشناسی در پیش‌بینی همه‌گیری شناخته شد (Gladders et al., 2007). در آمریکا، دمای ماه‌های پاییز و زمستان نشانگر پیش‌بینی رخداد همه‌گیری زنگ زرد گندم شناخته شد و میانگین کمینه دما از آغاز اکتبر تا نوامبر با بیماری همبستگی همسو داشت (Coakley et al., 1988). در آمریکا درصد نم خاک در پاییز-زمستان و دمای ۷-۱۲ درجه سانتی‌گراد در بهار نمایانگر همه‌گیری زنگ زرد بودند (Grabow et al., 2016). در اروپا رخداد همه‌گیری با نم ۹۲٪ درصد، دما ۱۶-۴ درجه و بارش ۰/۱ میلی‌متر در ماه‌های می-ژوئن وابسته بود (Jarroudi et al., 2017). درصد راستی‌آزمایی پایین این مدلها (زیر ۶۰ درصد) را میتوان به واکاوی دوره کوتاه ۲-۳ ماهه بهاری، نادیده گرفتن دمای ماهانه پاییز-زمستان و به کارگیری ویژگی گمراه‌کننده دمای میانگین روزانه یا ماهانه (Sharma-Poudyal & Chen, 2011) برگرداند.

در ایران، گسترش زنگ زرد در کرت‌های آزمایشی پهنه‌ی معتدل اسلام آباد غرب کرمانشاه با شمار روزهای با کمینه دمای ۱۲-۵ درجه سانتی‌گراد و نم بالای ۶۰ درصد از مهر تا اردیبهشت، زمان سرآغاز بیماری، زمان رسیدگی گیاه، زمان کاشت و مقاومت نژاد همبستگی نشان داد (Naseri & Marefat, 2018). همچنین این بررسی نشان‌دهنده‌ی کارایی بسیار بالاتر ویژگی‌های آب و هوایی از ویژگی‌های مقاومت رقم و زمان کاشت در پیش‌بینی همه‌گیری زنگ‌های زرد، قهوه‌ای و سیاه و سفیدک پودری گندم است (Naseri & Sabeti, 2021; Naseri & Sheikholeslami, 2021; Naseri & Jalilian, 2021). برپایه برونداد مدل پایه کرمانشاه برای نخستین بار در کشور همه‌گیری زنگ زرد گندم آبی برپایه ویژگی‌های آب و هوایی پیش‌آگاهی شد (Naseri & Sharifi, 2019). این مدل با ارزیابی رخداد همه‌گیری زنگ زرد در راستی‌آزمایی (اعتبارسنجی) آماری توانست ۱۰۰ درصد رخداد‌های همه‌گیری در پهنه‌های استان برای ده سال گذشته را بدرستی برآورد نماید. در راستی‌آزمایی میدانی برای سه بهار پربارش سالهای ۱۳۹۶-۱۳۹۸ نیز نبود همه‌گیری را بدرستی پیش‌بینی نمود. چراکه در پیش‌آگاهی بیماری‌های گیاهی در پهنه‌های بزرگ و گسترده، رگرسیون ترتیبی با داده ناپیوسته (کیفی) کارآمدتر از رگرسیون کمی برپایه داده‌های پیوسته‌ای چون میزان یا شدت بیماری یا اندازه‌گیری مایه بیماریزا شناخته شده است (Landschoot et al., 2013). همچنین پیش‌آگاهی زنگ گندم برپایه اندازه‌گیری مایه بیماریزا (Inoculum) بویژه شمارش اسپور نمی‌تواند به برآورد

درستی برسد (Burleigh et al., 1972). از سوی دیگر، پیش‌آگاهی برپایه مایه بیماریزا نیازمند داده‌برداری روزانه-هفتگی برای دوره ۹ ماهه (پاییز-زمستان-بهار) از دستگاه‌های اسپورتراپ یا اسلایدهای گیرنده اسپور در پهنه‌های کانون بیماری بود که در همه استان-کانون هدف فراهم نشد. از همین رو در مدل پایه زنگ زرد کرمانشاه روش برتر ordinal regression و داده ناپیوسته رخداد همه‌گیری با توان پیش‌گویی بالاتر بکار رفت. همچنین نشانگرهای پیشرفت بیماری زنگ زرد گندم با کمک مدل Gaussian برای نخستین بار از ایران به گزارش رسید (Nasari & Kazemi, 2020). زیان زنگ زرد در گندم‌زار با آبیاری بارانی یا در پهنه‌های شمالی کشور با بارندگی بالا روی گندم سازگار با بیماری بالای ۸۰ درصد گزارش شده است (Elahinia, 2000). پس راستی آزمایشی دانش بدست آمده در گندم دیم نیز نیازمند بررسی است. از سوی دیگر کاربرد هر ساله و بی‌رویهی تنها قارچکش تیلت در استان می‌تواند در کنار چالش آلاینده‌گی، مقاومت قارچ بیمارگر به قارچکش را نیز در پی داشته باشد. از همین رو این پژوهش به شناسایی ویژگی‌های آب و هوایی زمینه‌ساز رخداد همه‌گیری زنگ زرد گندم در دیم‌زارهای استان کرمانشاه پرداخت.

### روش بررسی:

در این پژوهش هر ساله دست‌کم ۱۲ گندم‌زار دیم در دو پهنه‌ی آب و هوایی استان کرمانشاه دربرگیرنده‌ی گندم‌کاری‌های سرپل ذهاب و گیلان غرب (گرمسیری)، ماهیدشت و اسلام آباد غرب (معتدل) برای بررسی برگزیده شدند. در هر پهنه دست‌کم ۳ گندم‌زار از ارقام مورد کشت و کار و در نزدیکی ایستگاه هواشناسی (تا ۲۰ کیلومتری، Mila et al., 2003) بررسی شدند. گندم‌کاری‌های مورد بررسی در پهنه‌های گرمسیری بیشتر از کانون‌های آلودگی زنگ زرد استان برگزیده شدند. برپایه‌ی یافته‌های گذشته در زمینه‌ی بازه زمانی رخداد زنگ زرد از اسفند تا فروردین‌ماه در گندم‌کاری‌های پهنه‌ی گرمسیری استان، بازدیدهای پاییزه و زمستانه تنها در این پهنه دربرگیرنده کانون‌های زنگ زرد استان انجام شد. در پهنه‌ی معتدل نیز بازدیدهای هفتگی از فروردین‌ماه هر سال آغاز شد. در هر بازدید، بوته‌های گندم در ۵ مشاهده ۱۰۰ بوته‌ای (۵۰۰ بوته در هر گندم‌زار) بررسی شده و برپایه‌ی بود یا نبود جوش‌های زنگ زرد، درصد بوته آلوده یادداشت‌برداری شد. درصد بافت برگی آلوده (شدت بیماری) نیز برای ۲-۱ برگ از جوان‌ترین برگ‌های هر بوته آلوده برای ۵ بوته تکرار در هر مشاهده به دست آمد (Gladders et al., 2007).

داده‌های هواشناسی مورد بررسی در این پژوهش دما (کمینه، بیشینه و میانگین روزانه) و درصد نم (در ساعات ۶/۳۰، ۱۲/۳۰ و ۱۸/۳۰)، شمار روزهای بارانی و یخبندان، و اندازه بارش ماهانه بودند. هرچند برپایه‌ی ارزیابی‌های پیشین، میانگین دمای کمینه‌ی ماهانه و میانگین بیشینه درصد نم نسبی ماهانه برای هشت ماه از سال (از مهرماه تا اردیبهشت‌ماه) در سنجش آماری پیشرفته بکار گرفته شدند. از آنجاییکه هر دو ویژگی دما و نم از نشانگرهای کلیدی پیش‌آگاهی زنگ زرد شناخته شده‌اند (Sharma-Poudyal & Chen, 2011)، چندین نشانگر دربرگیرنده‌ی هر دو ویژگی همانند زیر برای مدلسازی ساخته شدند. با ارزیابی داده‌های روزانه، شمارش روزهای با دمای کمینه ۸-۷ درجه سلسیوس با نم بالاتر از ۶۰ درصد، روزهای با دمای کمینه ۹-۶ درجه سلسیوس با نم بالاتر از ۶۰ درصد، رخداد پیاپی روزهای (دست‌کم دو روز پشت سرهم) با دمای کمینه ۹-۶

درجه سلسیوس با نم بالاتر از ۶۰ درصد، و بلندترین دوره روزهای با این ویژگی برای هر سال جداگانه از آغاز مهرماه تا پایان اردیبهشت انجام شد. همچنین برپایه‌ی گزارش کاهش چشمگیر زمستان‌گذرانی قارچ بیماری زنگ زرد گندم پیرو روزهای یخبندان بویژه زیر ۵- درجه سانتی‌گراد و زمستان سرد (Gladders *et al.*, 2007)، روزهای یخبندانی با دمای کمتر از ۵- و ۱۰- درجه سلسیوس برای دوره‌ی هشت ماهه‌ی مورد بررسی در هر سال شمارش شد.

در پردازش آماری داده‌های درصد بوته بیمار (میزان بیماری) و درصد بافت برگی آلوده (شدت بیماری)، از روش ANOVA و در مقایسه‌ی میانگین‌های بیماری در بین گندم‌زارها از آزمون Least significant difference (LSD) بهره‌گیری شد. برای مدلسازی پیش‌آگاهی بیماری زنگ زرد، ارزیابی داده‌ی بیماری بدست‌آمده از گندم‌زارهای دیم استان برپایه‌ی روزشمار از آغاز مهرماه تا زمان رخداد بیماری (Disease onset) و نمره‌دهی به رویداد همه‌گیری (۰= نبود بیماری، ۱= آلودگی پایین و پراکنده، ۲= آلودگی بالا و همه‌گیری بیماری) در هر سال پژوهشی انجام گرفت. در این نمره‌دهی سال‌های مورد آزمون به سه دسته گروه‌بندی شدند: (۱) سال‌های ۱۳۹۰-۹۱ و ۱۳۹۵-۹۶ و ۱۳۹۶-۹۷ بدون بروز هیچگونه جوش زنگ زرد در کانون‌های آلودگی استان، (۲) سال‌های ۱۳۸۹-۹۰ و ۱۳۹۱-۹۲ و ۱۳۹۲-۹۳ و ۱۳۹۳-۹۴ با آلودگی پایین‌تر و آنهم پراکنده در بین گندم‌زارهای پهنه و یا درون یک گندم‌زار با رقم حساس، (۳) سال‌های همه‌گیری زنگ زرد ۱۳۸۸-۸۹ و ۱۳۹۴-۹۵ با آلودگی بالاتر و در همه‌ی گندم‌زارها حتی ارقام مقاوم که در ارقام حساس آلودگی بالاتر و یکدست‌تر را در پی داشت.

پس هیچ داده‌ی درصد بوته یا بافت برگی آلوده‌ای در چنین داده‌پردازی بکار نرفت، چراکه در سال بدون همه‌گیری نیز میانگین بالای درصد آلودگی برگی یا بوته به دلایلی چون شکسته شدن مقاومت رقم، تراکم بوته، کوددهی بی‌رویه، نزدیکی برخی گندم‌زارها به رودخانه، به چشم می‌خورد که خود می‌تواند پیش‌آگاهی برپایه داده پیوسته بیماری را دچار افزایش خطای آماری نماید. از همین‌رو در این پژوهش از داده ناپیوسته رخداد همه‌گیری با کمک نمره‌دهی بالا در مدلسازی بهره‌گیری شد. داده‌ی پنج ساله ناپیوسته‌ی رخداد همه‌گیری زنگ زرد در چهار پهنه‌ی آب و هوایی جداگانه و در دست‌کم سه گندم‌زار به ازای هر پهنه-سال ارزیابی شد بخوبی درجه آزادی (۵ سال × ۴ پهنه × ۳ گندم‌زار = ۶۰ ارزیابی رخداد همه‌گیری) موردنیاز مدلسازی پیش‌آگاهی همه‌گیری را فراهم ساخت. همچنین داده‌ی رخداد همه‌گیری در پنج سال بیشتر از این پژوهش (۹۲-۱۳۸۸) برپایه گزارش‌های رسمی اداره حفظ نباتات استان کرمانشاه بکار گرفته شد. پس پیش‌آگاهی زرد گندم در استان کرمانشاه با داده‌ی ده ساله (۱۳۸۸-۹۷) رخداد همه‌گیری بیماری (۲ سال همه‌گیری، ۳ سال نبود بیماری، ۴ سال آلودگی کم و پراکنده) و زمان آغاز بیماری (نخستین جوش یا تک نوار بیمارگر در هر پهنه) برپایه ویژگی‌های کلیدی هواشناسی برآزش گردید. همبستگی دو شناسه‌ی بیماری، زمان رخداد بیماری و نمره‌دهی به رویداد همه‌گیری، با ۲۵ ویژگی آب و هوایی از روش PCA (Principal component analysis) ارزیابی شد. پس از شناسایی نشانگرهای کلیدی هواشناسی، برآورد پارامتری هر نشانگر هواشناسی با کمک روش آماری Ordinal logit regression model به دست آمد. یکی از پنج روش برتر راستی‌آزمایی رگرسیون ترتیبی، تعیین درصد برآوردهای درست یا نادرست مدل در مقایسه observed data با fitted data از رخداد همه‌گیری است (Landschoot *et al.*, 2013) که در ارزیابی کارایی مدل (راستی‌آزمایی آماری) پایه کرمانشاه بکار رفت. در پردازش آماری این پژوهش نرم‌افزار GenStat به کار برده شد.

## نتیجه و بحث:

روشن است که پیش‌آگاهی کارآمد بیماری زنگ زرد نیازمند داده‌برداری درستی از زمان رخداد و نوسان‌های سالانه‌ی این بیماری مهم گندم در آب و هوای استان است. دستیابی به شناسه‌های آب و هوایی همه‌گیری بیماری به ویژه دما و درصد نم در یک دوره زمانی چند ساله می‌تواند در پیش‌بینی درست و کارشناسانه‌ی این پدیده بسیار کارساز باشد. در این پژوهش، داده‌ی پیوسته زمان رخداد بیماری زنگ زرد (روز) و داده‌ی ناپیوسته رخداد همه‌گیری (0 = نبود بیماری، 1 = آلودگی پایین و پراکنده، 2 = آلودگی بالا و همه‌گیر) برای پیش‌آگاهی این بیماری مهم گندم در دیم‌زارهای استان کرمانشاه برگزیده شدند. از بکارگیری داده درصد بوته آلوده و درصد بافت آلوده گیاهی که از گندم‌زارهای مورد بررسی بدست آمد، در مدل‌سازی پیش‌آگاهی زنگ زرد چشم‌پوشی شد. این گزینش شناسه‌ی بیماری برای مدل برپایه‌ی همبستگی داده‌ی بیماری با ویژگی‌های هواشناسی انجام گرفت و دو شناسه‌ی زمان بروز بیماری و رخداد همه‌گیری بهترین هم‌خوانی را با نوسان‌های سالانه‌ی آب و هوایی در این پژوهش ده ساله داشتند. با کمک آزمون آماری PCA، برترین ویژگی‌های هواشناسی نشانگر همه‌گیر شدن بیماری زنگ زرد گندم در دیم‌زارهای استان کرمانشاه شناسایی شدند (نمودار 1).

نمودار 1 به ما نشان می‌دهد که سه ویژگی شمار روزهای بارانی، دوره‌های دربرگیرنده روزهای پیاپی با دمای کمینه‌ی 9-6 درجه سلسیوس و نم بالای 60 درصد، و بلندترین دوره با این ویژگی برترین نشانگرهای رخداد همه‌گیری زنگ زرد گندم دیم در هر چهار پهنه‌ی مورد بررسی بودند. برترین ویژگی هواشناسی نشانگر زمان رخداد بیماری نیز روزهای با دمای کمینه‌ی زیر 10- درجه سلسیوس بود که بستگی بسیار بالایی با پهنه‌ی مورد بررسی داشت. این یافته به روشنی گویای این نکته است که با افزایش چنین روزهای بسیار سردی زمان رخداد بیماری زنگ زرد در استان کرمانشاه عقب خواهد افتاد. در بین ماه‌های مورد آزمون، میانگین بیشینه درصد نم بهمن‌ماه و میانگین کمینه دمای اسفندماه نیز در گروه نشانگرهای هواشناسی کلیدی برای پیش‌آگاهی همه‌گیری بیماری دسته‌بندی شدند. این یافته‌ها نشان داد که پیش‌بینی سال همه‌گیری زنگ زرد گندم دیم در استان کرمانشاه برپایه‌ی این هفت شناسه‌ی کلیدی انجام‌پذیر است. برآورد پارامتری و عدد ثابت مدل رگرسیونی پیش‌آگاهی زنگ زرد گندم دیم استان کرمانشاه در جدول 1 آمده است.

### هم‌خوانی داده هواشناسی با رخداد همه‌گیری زنگ زرد:

نخستین نشانه‌های بیماری زنگ زرد گندم دیم در سرپل‌ذهاب در سال 93-1392 در 11 فروردین‌ماه، سال 94-1393 در 29 اسفندماه، و سال 95-1394 در 8 فروردین‌ماه بر روی رقم کوه‌دشت به گزارش رسید. در سال‌های 96-1395 و 97-1396 هیچ‌گونه نشانه‌ی بیماری در دیم‌زارهای این شهرستان حتی در کانون‌های بیماری به چشم نخورد. با نگاهی به دمای هوای ماه‌های زمستان 1394 (همه‌گیری زنگ زرد در بهار 1395 استان کرمانشاه) و 1395 در سرپل‌ذهاب (جدول 2)، می‌توان به کاهش 1/1 درجه‌ای میانگین دمای کمینه‌ی دی‌ماه، 1/7 درجه‌ای در بهمن‌ماه و 4 درجه‌ای در اسفندماه 1395 در مقایسه با 1394 پی برد. به گونه‌ایکه زمستان 1395 از سردترین زمستان‌های پهنه‌ی گرمسیری در این پژوهش بود. برای نمونه، پایین‌ترین میانگین کمینه دمای ماهانه زمستانی، 1/8 درجه سلسیوس، در بهمن‌ماه 1395 روی داد. پیرو همین روند با کاهش میانگین دمای کمینه‌ی فروردین‌ماه و اردیبهشت‌ماه، سال 96-1395 بهار خنک‌تری نسبت به 95-1394 داشت. همین میانگین دمای کمینه‌ی ماهانه‌ی پایین‌تر در دی و اسفندماه زمستان‌های سرد 1392 و 1393 نیز در مقایسه با سال همه‌گیری 95-1394

دیده می‌شود. اگرچه چنین زمستان سردی در سال ۱۳۹۶ دیده نمی‌شود، میانگین درصد نم ماه‌های زمستان در این سال در مقایسه با سال‌های دیگر این پژوهش بسیار کمتر است. هرچند بارش ماهانه در نیمه‌ی دوم زمستان و بهار ۹۷-۱۳۹۶ سیل آسا و بسیار بیشتر از سال همه‌گیری زنگ زرد در سال ۹۵-۱۳۹۴ بود، همین میانگین ماهانه‌ی پایین درصد نم پاییز و زمستان می‌تواند از زادآوری قارچ و فشار بیماری برای همه‌گیری بیماری در بهار ۱۳۹۷ سرپل‌ذهاب بکاهد. از همین‌رو چنین بارش‌های سیل‌آسای زمستانه-بهاره اما پراکنده و دیربه‌دیر در کانون‌های بیماری توانست از رخداد هرگونه نشانه‌ی بیماری و جوش زنگ زرد در سراسر استان کرمانشاه جلوگیری نماید.

### هم‌خوانی داده هواشناسی با زمان رخداد زنگ زرد:

در پهنه گرمسیری سرپل‌ذهاب، گمان می‌رود که رخداد زودهنگام نشانه‌های بیماری در دهه‌ی نخست اسفندماه هم‌زمان با مرحله رشدی پنجه زنی گندم (Large, 1954) می‌تواند زمینه‌ساز همه‌گیری زنگ زرد باشد. بررسی‌های همه‌گیرشناسی در آمریکا و اروپا نشان دادند که دماهای بالاتر از ۱۸ درجه سلسیوس بیماری زنگ زرد در گندم‌زار را سرکوب می‌کند (van den Berg & van den Bosch, 2007; Te Beest *et al.*, 2008). همچنین دمای خنک و نم بالا زمینه‌ساز گسترش بیماری شناخته شده‌اند که بویژه در بامداد با یکدیگر هم‌زمان روی می‌دهند. به گونه‌ایکه به کارگیری دمای روزانه در پردازش مدل‌های پیش‌آگاهی بیماری زنگ زرد همراه کننده است (Chen, 2005, 2007). از یک‌سو، آلودگی برگ گندم با قارچ *P. striiformis* f.sp. *tritici* در بازه‌ی دمایی ۱۲-۵ درجه سانتیگراد با دمای بهینه‌ی ۸ درجه سانتیگراد رخ می‌دهد (de Vallavieille-Pope *et al.*, 1995) و از سوی دیگر اوردینوسپور زنگ زرد به دست‌کم ۳ ساعت دوره‌ی نم پیوسته یا شب‌نم برای جوانه‌زنی و آلودگی گیاه گندم نیاز دارد (Rapilly, 1979). گزارش دیگر به بررسی هم‌زمان این دو ویژگی دما و نم پرداخت که روشن ساخت کوتاه‌ترین دوره نمناکی پیوسته برای آلودگی گندم از ۶-۴ ساعت در دمای پایه‌ی ۸ درجه سانتیگراد به دست‌کم ۱۶ ساعت در دماهای ۵ و ۱۲ درجه سانتیگراد افزایش یافت و آلودگی در دماهای بالای ۱۵ درجه سانتیگراد به پایان رسید (de Vallavieille-Pope *et al.*, 1995). برای نمونه، هم‌زمانی دوره‌ی پیوسته‌ی ۴ ساعت نم بالای ۶۰ درصد با دمای بهینه‌ی ۸ درجه سانتیگراد در دوره‌ی ۹ روز پیاپی با دمای کمینه درون بازه ۱۲-۵ درجه سلسیوس از نوزدهم تا ۲۸ اسفندماه ۹۴ در سرپل‌ذهاب به بروز بیماری بر روی رقم کوه‌دشت در ۸ فروردین‌ماه ۹۵ انجامید. چنین یافته‌هایی به ما یادآوری می‌کند که پیش‌آگاهی همه‌گیری زنگ زرد نیازمند گنجاندن نشانگرهای هواشناسی با بکار بستن هر دو ویژگی دما و نم بهینه خواهد بود. از همین‌رو چندین نشانگر دربرگیرنده‌ی این دو ویژگی مانند روزهای با دمای کمینه‌ی ۸-۷ درجه سلسیوس و نم بیشتر از ۶۰ درصد برای پیش‌آگاهی همه‌گیری بیماری بکار گرفته شدند.

### کارآیی پیش‌بینی نشانگرهای هواشناسی برآزش شده در سال ۹۳-۱۳۹۲:

نبود نشانه‌ی بیماری در اسفندماه ۱۳۹۲ سرپل‌ذهاب را شاید بتوان پس از کاهش زمستان‌گذرانی در زمستان سرد، به وجود ۱۲ روز با دمای کمینه‌ی کمتر از ۷ درجه سلسیوس (بعنوان دمای پایه بر روی توسعه بیماری، Sharma-Poudyal & Chen, 2011; Gladders *et al.*, 2007) و ۳ روز دمای کمینه‌ی بالاتر از ۱۲ درجه سلسیوس (بیرون از بازه دمایی سازگار با آلودگی، de Vallavieille-Pope *et al.*, 1995) در این ماه برگرداند. با نگاهی به نیاز اوردینوسپور زنگ زرد به دست‌کم ۳ ساعت نم هوا یا شب‌نم روی برگ برای جوانه‌زنی و آلودگی گیاه گندم (Rapilly, 1979) و یا در گزارش دیگری دست‌کم ۶-۴ ساعت نم در

دمای ۸ درجه سانتی‌گراد (de Vallavieille-Pope et al., 1995) درمی‌یابیم که با فراهم شدن همزمانی دست‌کم ۶ ساعت نم‌پیوسته در دمای کمینه‌ی ۹-۸ درجه سانتی‌گراد در یک دوره‌ی شش روزه از سیزدهم تا هجدهم اسفندماه ۱۳۹۲ در سرپل ذهاب، سرانجام نخستین نشانه‌های بیماری در یازدهم فروردین‌ماه ۱۳۹۳ در رقم کوهدشت به گزارش رسید.

#### کارآیی پیش‌بینی نشانگرهای هواشناسی برازش شده در سال ۹۴-۱۳۹۳:

نبود نشانه‌ی بیماری تا ۲۹ اسفندماه ۱۳۹۳ در گندم دیم سرپل ذهاب را پس از کاهش زامایه قارچ بدنبال زمستان سرد، به وجود تنها ۳ روز با دمای کمینه ۱۲-۵ درجه سلسیوس (بازه دمایی موردنیاز آلودگی (de Vallavieille-Pope et al., 1995) تا هجدهم اسفندماه برمی‌گردد. پس از این دوره ناسازگار، با فراهم شدن شش روز پیاپی با نم بالای ۶۰ درصد و دمای کمینه درون بازه ۱۲-۵ درجه سلسیوس بیماری در ۲۹ اسفندماه در رقم کوهدشت رخ داد. واکاوی داده هواشناسی اسلام‌آباد غرب در زمستان ۱۳۹۳ بیانگر میانگین ماهانه کمینه دما بترتیب ۳/۷-، ۱/۳- و ۱/۱- درجه سلسیوس (جدول ۳) و کمینه دمای روزانه زیر صفر برای ۲۷ روز در دی‌ماه با ۱۲ روز دمای زیر ۵- درجه سلسیوس و ۱۹ روز یخبندانی در ماه‌های بهمن و اسفندماه به ترتیب با ۸ و ۴ روز دمای زیر ۵- درجه سلسیوس است (جدول ۴) که برپایه‌ی گزارش‌های در دست (Gladders et al., 2007) می‌تواند جلوی زمستانگذرانی قارچ در این پهنه از استان کرمانشاه را بگیرد. باینکه این قارچ با آب و هوای خنک سازگاری خوبی دارد، پدیده‌ی یخبندان می‌تواند ریشه در حال اسپورزایی را در بافت‌های برگ‌ی زمستان‌گذران نابود کند، هرچند ریشه بدون اسپورزایی در برگ می‌تواند در سرما تا ۱۰- درجه سانتی‌گراد زنده بماند (Rapilly, 1979). بایستی افزود که در این شهرستان کمینه دمای روزهای زمستانی پایین‌تر از ۱۰- درجه سانتی‌گراد برپایه‌ی گزارش بالا به زندگی ریشه بدون اسپورزایی قارچ زنگ زرد در برگ گندم پایان می‌دهد. از همین‌رو بروز همه‌گیری در پهنه‌ی معتدل استان نیازمند زامایه از پهنه‌ی گرمسیری جایگاه زمستان‌گذرانی قارچ زنگ زرد است. همچنین نبود زنگ زرد گندم دیم در بهار ۱۳۹۴ اسلام‌آباد غرب را شاید بتوان به کمبود روزهای با دما و نم سازگار برگرداند، به گونه‌ایکه تنها ۴ روز با دمای کمینه‌ی ۱۲-۵ درجه سلسیوس (بازه‌ی دمایی موردنیاز آلودگی (de Vallavieille-Pope et al., 1995) در فروردین و ۴ روز هم در نیمه‌ی نخست اردیبهشت‌ماه به چشم خورد. سپس با رسیدگی گندم از نیمه‌ی دوم اردیبهشت در دیم‌زارهای این پهنه هیچگونه نشانه‌ی بیماری زنگ زرد گندم دیم رخ نداد. گرچه در همین سال چرخه‌ی کوتاه دو هفته‌ای (از یکم تا شانزدهم خردادماه) زنگ زرد به دنبال چالش کشوری کم‌آبی و زودرسی در گندم آبی اسلام‌آباد غرب به گزارش رسید. همین گوناگونی زمان رخداد، روند پیشرفت و بلندی چرخه‌ی بیماری بین گندم دیم و آبی را به خوبی نمایان می‌سازد.

#### کارآیی پیش‌بینی نشانگرهای هواشناسی برازش شده در سال ۹۵-۱۳۹۴:

با پایان یافتن روزهای یخبندانی در سال ۹۵-۱۳۹۴، نخستین نشانه‌ی بیماری زنگ زرد و بروز زود هنگام آن بر روی رقم حساس سرداری در بیستم فروردین‌ماه روی داد. در مقایسه با گندم آبی، نخستین رخداد بیماری در رقم بسیار سازگار بولانی در ۲۸ فروردین‌ماه ۱۳۹۵ درست پس از شش روز پیاپی با دمای کمینه درون بازه ۱۲-۵ درجه سلسیوس و بارش اسلام‌آباد غرب روی داد. چنین تفاوت زمانی در زمان رخداد همه‌گیری زنگ زرد در بین کشت آبی و دیم، آنهم در ارقام حساس فراگیر دیم‌زارهای بالای ۲۵۰ هزار هکتار سطح زیر کشت استان کرمانشاه، نشانگر اهمیت پیش‌آگاهی و زمانبندی درست نخستین سمپاشی پیشگیری‌کننده در گندم دیم است که بایستی جداگانه از گندم آبی بررسی و انجام گردد. در کنار این یافته، تنها ۹-۸



روز یخبندانی در زمستان ۱۳۹۴ سرپل‌ذهاب و گیلان‌غرب زمینه‌ی زمستانگذرانی و زادآوری قارچ بیمارگر برای رخداد همه‌گیری در بهار ۱۳۹۵ را فراهم آورد. برپایه‌ی یافته‌های گذشته (de Vallavieille-Pope *et al.*, 1995) با فراهم شدن دما و نم موردنیاز بیمارگر در ۲۰ روز اسفندماه ۹۴، از نوزدهم تا ۲۸ با همزمانی دوره‌ی پیوسته ۴ ساعت نم با دمای بهینه‌ی ۸ درجه سانتی‌گراد در دوره ۹ روز پیاپی با دمای کمینه درون بازه ۱۲-۵ درجه سلسیوس، بیماری روی رقم کوهدشت در ۸ فروردین‌ماه ۱۳۹۵ در سرپل‌ذهاب رخ داد. این یافته‌ها به روشنی گویای کارایی و ویژگی روزهای یخبندانی و دمای کمینه روزانه و ماهانه از دیدگاه همه‌گیرشناسی زنگ زرد است.

#### کارایی پیش‌بینی نشانگرهای هواشناسی برازش شده در سال ۹۶-۱۳۹۵:

در بهار سال ۱۳۹۶ نیز نخستین جوش‌های زنگ زرد در دیم‌زارها به دنبال یازده روز دما و نم سازگار در ۲۲ اردیبهشت‌ماه بر روی رقم سرداری و آذر ۲ نمایان شدند. هرچند چنین آلودگی دیرهنگام و ناچیزی در یکی دو هفته‌ی پایانی دوره‌ی نمودی گندم دیم این پهنه هیچگونه نیازی به سمپاشی نداشت. همانگونه که پیشتر گفته شد، دمای یخبندان به ویژه دماهای زیر ۵- درجه سانتی‌گراد در زمان زمستانگذرانی قارچ تاثیر معنی‌داری بر کاهش بیماری زنگ زرد گندم دارد (Gladders *et al.*, 2007). در زمستان بسیار سرد ۱۳۹۵ با ۳۰ روز یخبندانی در سرپل‌ذهاب و حتی یک روز با دمای کمینه‌ی زیر ۵- درجه در گیلان‌غرب از بروز هرگونه نشانه‌ی بیماری زنگ زرد در دیم‌زارهای پهنه‌ی گرمسیری جلوگیری نمود. از همین‌رو، گسترش بیماری در پهنه‌ی معتدل استان نیز بسیار ناچیز و کم‌رنگ بود و بارش‌ها و دمای سازگار بهار ۱۳۹۶ در این پهنه تنها توانست کانون‌های بسیار کوچک و لکه‌ای آلودگی زنگ زرد درون برخی دیم‌زارها را بسازد.

#### کارایی پیش‌بینی نشانگرهای هواشناسی برازش شده در سال ۹۷-۱۳۹۶:

اگرچه زمستان ۱۳۹۶ کمترین روزهای یخبندانی و بیشترین بارش برای پهنه‌های گرمسیری را داشت، در بهار پربارش ۱۳۹۷ هیچ نشانی از زنگ زرد گندم در دیم‌زارهای کرمانشاه نبود. در تلاش برای پاسخگویی به این پرسش، ویژگی‌های روزهای بارانی، شمار روزهای با دمای کمینه‌ی ۸-۷ درجه سلسیوس و نم بالای ۶۰ درصد، و شمار دوره (دست‌کم دو روز پشت‌سره‌م با این ویژگی) روزهای پیاپی با دمای کمینه‌ی ۹-۶ درجه سلسیوس و نم بالای ۶۰ درصد بکار گرفته شدند. این سه ویژگی به روشنی گویای چگونگی پراکنش روزهای بارانی در دوره‌ی هشت ماهه‌ی مورد بررسی است. همانگونه که در جدول ۴ آمده است، شمار روزهای بارانی در سال ۹۷-۱۳۹۶ نزدیک به سال کم بارش ۹۴-۱۳۹۳ با چالش خشکسالی است. از سوی دیگر بخش بزرگی از بارش فراوان سال ۹۷-۱۳۹۶ به برخی بارندگی‌های سیل‌آسا در نیمه‌ی دوم زمستان و نیمه‌ی نخست بهار برمی‌گردد. بگونه‌ایکه میانگین بیشینه درصد نم آبان‌ماه، یک دیگر از ویژگی‌های کلیدی پیش‌آگاهی بیماری، در سال ۹۷-۱۳۹۶ بویژه در سرپل‌ذهاب پایین بوده است. اینگونه بارندگی با دوره‌های خشکی (نم > ۶۰ درصد) بلند و فراوان در پاییز و زمستان به کاهش زادمایه قارچ در کانون‌های آلودگی استان و کاهش فشار بیماری زنگ زرد گندم در دیم‌زارهای پهنه‌ی معتدل انجامید. برای نمونه، از دوره‌ی خشکی بدون بارش از آغاز دهه‌ی دوم اسفندماه تا پایان دهه‌ی دوم فروردین‌ماه در هر چهار پهنه‌ی مورد بررسی این پژوهش می‌توان یاد نمود که همزمان با جلوگیری از چرخه‌ی بیماری در کانون‌های پهنه‌ی گرمسیری، به زودرسی گندم دیم در همین پهنه نیز انجامید.

راستی‌آزمایی آماری و میدانی مدل پیش‌آگاهی برازش شده:

از آنجاییکه متغیرهای این مدل رگرسیونی برپایه روش PCA شناسایی شدند، رخداد همه‌گیری بیماری زنگ زرد در همه‌ی سال‌های مورد بررسی (۱۳۸۸-۹۷) در پهنه‌های گرمسیری و معتدل استان کرمانشاه را به خوبی و درستی برآورد نمود. به زبانی دیگر در این پژوهش ده ساله، همه‌ی سال‌های بدون بیماری، بیماری پایین و پراکنده، و بیماری همه‌گیر در داده همه‌گیری میدانی (Observed data) با داده همه‌گیری برآورد شده با مدل پیش‌آگاهی (Fitted data) هم‌خوانی ۱۰۰ درصدی داشت. همچنین بایستی افزود که نشانگرهای پیش‌آگاهی همه‌گیری زنگ در گندم دیم با نشانگرهای همه‌گیری در گندم آبی یکسان نشد. بگونه‌ایکه دو نشانگر هواشناسی بلندترین دوره روزهای پشت‌سرهم با کمینه دمای ۹-۶ درجه سلسیوس و بیشینه نم < ۶۰ درصد و میانگین بیشینه نم بهمن‌ماه در پیش‌آگاهی زنگ گندم دیم کلیدی بودند اما با رخداد همه‌گیری زنگ گندم آبی همبستگی بالایی نداشتند. همین دو ویژگی هواشناسی نمایانگر دوگانگی میان مدل پیش‌آگاهی همه‌گیری زنگ زرد گندم دیم و آبی است.

### راهنمای بکارگیری دانش پیش‌آگاهی زنگ زرد گندم دیم بر پایه یافته‌های این پژوهش:

۱- با کمک داده‌ی روزانه اداره هواشناسی استان کرمانشاه، در سال‌های با زمستان سرد (< ۱۵ روز با دمای کمینه‌ی زیر صفر درجه سلسیوس در سرپل‌ذهاب و گیلان‌غرب) هیچگونه همه‌گیری بیماری زنگ زرد در پهنه‌ی گرمسیری دربرگیرنده‌ی کانون‌های آلودگی استان حتی با بارش فراوان روی نخواهد داد. در چنین سالی حتی با فراهم شدن آب‌وهوای سازگار با گسترش بیماری در پهنه‌ی معتدل، آلودگی دیم‌زارها بسیار پایین و پراکنده خواهد بود.

۲- شش ویژگی کلیدی هواشناسی برای پیش‌آگاهی همه‌گیری زنگ زرد در گندم دیم شناسایی شد که با رویداد همگی پدیده‌های زیر بیماری در پهنه‌ی گرمسیری استان همه‌گیر خواهد شد:

\* > ۸ روز یخبندانی با دمای کمینه‌ی برابر یا زیر صفر درجه سلسیوس

\* < ۶۰ روز بارانی از آغاز مهرماه تا فروردین‌ماه

\* دوره‌های ۲-۳ روزه از روزهای پشت‌سرهم با کمینه دمای ۹-۶ درجه سلسیوس و بیشینه نم < ۶۰ درصد

\* < ۷ دوره (دست‌کم دو روز پشت‌سرهم با این ویژگی) روزهای پیاپی با کمینه دمای ۹-۶ درجه و بیشینه نم < ۶۰ درصد

\* میانگین بیشینه نم < ۹۰ درصد در بهمن‌ماه

\* میانگین کمینه دمای اسفندماه < ۸/۵ درجه سلسیوس

۳- پیرو پیش‌بینی رخداد همه‌گیری زنگ زرد در پهنه‌ی گرمسیری، با ادامه روند سازگار با گسترش بیماری و رویدادهای زیر، می‌توان رخداد بیماری همه‌گیر را در پهنه‌ی معتدل نیز پیش‌بینی نمود:

\* > ۸۵ روز یخبندانی با دمای کمینه‌ی برابر یا زیر صفر درجه سلسیوس

\* < ۶۵ روز بارانی از آغاز مهرماه تا فروردین‌ماه

\* < دوره‌های ۲-۶ روزه از روزهای پشت‌سرهم با کمینه دمای ۹-۶ درجه سلسیوس و بیشینه نم < ۶۰ درصد

\* < ۱۰ دوره (دست‌کم دو روز پشت‌سرهم با این ویژگی) روزهای پیاپی با کمینه دمای ۹-۶ درجه و بیشینه نم < ۶۰ درصد

\* میانگین بیشینه نم < ۹۰ درصد در بهمن‌ماه

\* میانگین کمینه دمای اسفندماه < ۲/۵ درجه سلسیوس

- ANONYMOUS. 2020. Agricultural Production Report. The Iranian Ministry of Agriculture, Tehran, Iran.
- CHEN, X.M. 2005. Epidemiology and control of stripe rust [*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*] on wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 27: 314-337.
- CHEN, X.M. 2007. Challenges and solutions for stripe rust control in the United States. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58: 648-655.
- COAKLEY, S.M., W.S. Boyd and R.F., Line. 1982. Statistical models for predicting stripe rust on winter wheat in the Pacific Northwest. *Phytopathology*, 72: 1539-1542.
- COAKLEY, S.M., R.F., Line. and L.R., McDaniel. 1988. Predicting stripe rust severity on winter wheat using an improved method for analyzing meteorological and rust data. *Phytopathology*, 78: 543-550.
- DE VALLAVIEILLE-POPE C., L. HUBER., M. LECONTE. and H. GOYEAU. 1995. Comparative effects of temperature and interrupted wet periods on germination, penetration, and infection of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* and *P. striiformis* on wheat seedlings. *Phytopathology*, 85: 409-415.
- ELAHINIA, S.A. 2000. Assessment of urediniospore germination of *Puccinia striiformis* at various temperature on agar and detached leaves of wheat. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2:1-8.
- EVERSMeyer, M.G. and J.R. BURLEIGH. 1969. A method of predicting epidemic development of wheat leaf rust. *Phytopathology*, 60: 805-811.
- GRABOW, B.S., D.A. SHAH and E.D. DEWOLF. 2016. Environmental conditions associated with stripe rust in Kansas winter wheat. *Plant Disease*, 100: 2306-2312.
- GLADDERS, P., S.D. LANGTON, I.A. BARRIE, N.V. HARDWICK, M.C. TAYLOR and N.D. PAVELEY. 2007. The importance of weather and agronomic factors for the overwinter survival of yellow rust (*Puccinia striiformis*) and subsequent risk in commercial wheat crops in England. *Annals of Applied Biology*, 150: 371-382.
- JARROUDI, M.E., L. KOUADIO., C.H. BOCK., M.E. JARROUDI., J. JUNK., M. PASQUALI., H. MARAITE. and P. DELFOSSE. 2017. A threshold-based weather model for predicting stripe rust infection in winter wheat. *Plant Disease*, 101:693-703.
- LANDSCHOOT, S., W. WAEGEMAN., K. AUDENAERT., G. HAESAERT. and D. BAETS. 2013. Ordinal regression models for predicting deoxynivalenol in winter wheat. *Plant Pathology*, 62:1319-1329.
- LARGE, E.C. 1954. Growth stages in cereals. *Plant Pathology*, 3:128-129.
- MILAM A.L., A.L. CARRIQUIRY., J. ZHAO. and X.B. YANG. 2003. Impact of management practices on prevalence of soybean Sclerotinia stem rot in the north-central United States and on farmers' decisions under uncertainty. *Plant Disease*, 87: 1048-1058.
- NASERI, B. and F. JALILIAN. 2021. Characterization of leaf rust progress in wheat cultivars with different resistance levels and sowing dates. *European Journal of Plant Pathology*, 159:665-672.
- NASERI, B. and H. KAZENI. 2020. Structural characterization of stripe rust progress in wheat crops sown at different planting dates. *Heliyon*, 6:e05328.
- NASERI, B. and A.R. MAREFAT. 2018. Wheat stripe rust epidemics in interaction with climate, genotype and planting date. *European Journal of Plant Pathology*, 154:1077-1089.
- NASERI, B. and P. SABETI. 2021. Analysis of the effects of climate, host resistance, maturity and sowing date on wheat stem rust epidemics. *Journal of Plant Pathology*, 103:197-205.
- NASERI, B. and F. SHARIFI. 2019. Predicting wheat stripe rust epidemics according to influential climatic variables. *Journal of Plant Protection Research*, 59:519-528.
- NASERI, B. and M. SHEIKHOLESLAMI. 2021. Powdery mildew development is highly associated with a combination of sowing date, weather, wheat cultivar and maturity. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23:1367-1378.
- PARK, R.F. 1990. The role of temperature and rainfall in the epidemiology of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* in the summer rainfall area of eastern Australia. *Plant Pathology*, 39: 416-423.
- RAPILLY, F. 1979. Yellow rust epidemiology. *Annual Review of Phytopathology*, 17: 59-73.
- SHARMA-POUDYAL, D. and X.M. CHEN. 2011. Models for predicting potential yield loss of wheat caused by stripe rust in the U.S. Pacific Northwest. *Phytopathology*, 101: 544-554.
- SIMKO, I. and H.P. PIEPHO. 2012. The area under the disease progress stairs: Calculation, advantage, and application. *Phytopathology*, 102:381-389.
- TE BEEST, D.E., N.D. PAVELEY, M.W. SHAW. and F. VAN DEN BOSCH. 2008. Disease-weather relationships for powdery mildew and yellow rust on winter wheat. *Phytopathology*, 98: 609-617.
- VAN DEN BERG F. and F. VAN DEN BOSCH. 2007. The elasticity of the epidemic growth rate to observed weather patterns with an application to yellow rust. *Phytopathology*, 97: 1512-1518.
- ZADOKS, J.C. 1961. Yellow rust on wheat: studies in epidemiology and physiologic specialization. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 67: 69-259.

جدول ۱- مدل رگرسیون ترتیبی پیش‌آگاهی رخداد همه‌گیری زنگ زرد گندم دیم در استان کرمانشاه

Table 1- Ordinal logit regression model for predicting rain-fed wheat yellow rust in Kermanshah province

Variables	Parameter estimate	Chi prob.
Constant 1	12.47	< 0.001
Contant 2	16.25	< 0.001
Mean maximum relative humidity in Bahman	0.06	< 0.063
Mean minimum temperature in Esfand	0.25	< 0.003
Periods of days with minimum temperature 6-9°C & relative humidity >60%	0.20	< 0.056
Rainy days no.	0.13	< 0.001

جدول ۲- آمار هواشناسی سال‌های ۹۷-۹۲ در سرپل ذهاب استان کرمانشاه

Table 2- Climatic data for 2013-2018 years in Sarpol Zohab, Kermanshah province

Climatic parameter		Temperature			Rainfall	Relative humidity	
Year	Month	Mean	Maximum	Minimum	mm	Maximum	Minimum
2013	Dey	8.1	15.2	3.1	44.8	88	38
	Bahman	8.8	15.5	3.4	46.9	90	40
	Esfand	13.5	20.8	7.5	91	90	38
2014	Farvardin	16	24.3	8.3	19.2	85	29
	Ordibehesht	23.9	33.1	15.2	2	68	19
	Dey	7.7	14.5	2.5	13.8	93	46
	Bahman	10.4	18.1	4.7	17.7	89	35
	Esfand	12	19.8	5.3	53.8	84	30
2015	Farvardin	16.5	24.2	9.1	27.1	83	27
	Ordibehesht	23.4	32.3	14.1	3.7	59	13
	Dey	8.7	15.2	4.2	73.9	95	48
	Bahman	8.7	15.4	3.5	52.2	91	44
	Esfand	14.2	21.2	8.7	55.1	89	37
2016	Farvardin	15.3	22.4	8.9	129.4	89	38
	Ordibehesht	22.9	31.8	14.9	19.1	79	-
	Dey	8.3	15.4	3.1	36.2	91	-
	Bahman	6.6	13	1.8	72.1	93	-
	Esfand	11.8	19.7	4.8	66.5	85	-
2017	Farvardin	16	22.6	10	82.1	90	41
	Ordibehesht	23.1	32.7	13.9	5.4	74	19
	Dey	11.3	19.2	5.8	33.9	78	31

Bahman	10.6	17.6	5.4	156.5	84	35
Esfand	14.5	20.9	8.7	96.1	85	40

جدول ۳- آمار هواشناسی سال های ۹۷-۹۲ در اسلام آباد غرب استان کرمانشاه

Table 3- Climatic data for 2013-2018 years in Eslam Abad Gharb, Kermanshah province

Climatic parameter		Temperature			Rainfall	Relative humidity	
Year	Month	Mean	Minimum	Minimum	mm	Maximum	Minimum
2013	Farvardin	10.8	18.7	2.5	42.2	85	26
	Ordibehesht	16.9	25.5	7.8	25	77	22
	Khordad	21.6	31.2	10.8	3.7	60	15
2014	Farvardin	10.3	18.3	2.6	58.1	86	39
	Ordibehesht	17.4	27	6.5	9.7	68	19
	Khordad	24.5	33.6	13.3	0	56	19
2015	Farvardin	9.6	16.6	3.3	137.6	87	40
	Ordibehesht	16.3	24.8	8.1	39.8	87	31
	Khordad	20.1	29.5	9.3	0	69	17
2016	Farvardin	10.4	17.2	4.2	135.1	89	40
	Ordibehesht	17.1	26.1	7.3	21.5	80	26
	Khordad	21.4	31.8	9.2	0	63	15
2017	Farvardin	12.9	20.9	4.2	96.8	82	46
	Ordibehesht	-	20	7.8	153.9	90.2	48.5

جدول ۴- ویژگی های کلیدی هواشناسی هدف پیش آگاهی در سه پهنه ی دربرگیرنده کانون زنگ زرد استان کرمانشاه

Table 4- Key climatic characteristics for predicting yellow rust in three disease foci of Kermanshah province

Climatic parameter		Rainy days no.	Icy days no.	Days with minimum temperature < -10°C	Longest period of days with minimum temperature 6-9°C & relative humidity >60%	Periods of days with minimum temperature 6-9°C & relative humidity >60%	Mean minimum temperature in Esfand	Mean maximum relative humidity in Bahman
Year	Region							
2013-14	Sarpol Zohab	53	18	0	11	9	7.5	90
	Gilan Gharb	39	13	0	5	5	7.6	75
	Islamabad Gharb	53	85	2	5	9	0.8	90
2014-15	Sarpol Zohab	60	8	0	4	13	5.3	89
	Gilan Gharb	54	4	0	5	10	6	60
	Islamabad Gharb	62	97	0	5	6	-1.1	87

2015-16	Sarpol Zohab	74	8	0	4	7	8.7	91
	Gilan Gharb	50	9	0	6	11	9.2	79
	Islamabad Gharb	78	87	1	6	13	2.5	90
2016-17	Sarpol Zohab	59	30	0	3	7	4.8	93
	Gilan Gharb	47	15	0	8	7	6.1	43
	Islamabad Gharb	59	109	8	4	4	-2.4	92
2017-18	Sarpol Zohab	66	7	0	4	7	8.7	84
	Gilan Gharb	62	2	0	6	7	8.5	74
	Islamabad Gharb	66	81	0	9	8	1.8	89

نمودار ۱- شناسایی برترین ویژگی‌های هواشناسی نشانگر همه‌گیری بیماری زنگ زرد گندم در دیم‌زارهای استان کرمانشاه با کمک آزمون PCA (RH= میانگین بیشینه درصد نم ماهانه، T= میانگین دمای کمینه‌ی ماهانه، nd7-8%60= شمار روزهای با دمای کمینه‌ی ۷-۸ درجه سلسیوس و بیشینه درصد نم < ۶۰، Lncon6-9%60= بلندترین دوره روزهای پیاپی با دمای کمینه‌ی ۶-۹ درجه سلسیوس و بیشینه درصد نم < ۶۰، Epidemic= از نبود آلودگی تا همه‌گیری بیماری، Occ.T= زمان بروز بیماری، nd\_10= شمار روزهای با دمای کمینه‌ی > ۱۰- درجه سلسیوس، ndrainy= شمار روزهای بارانی، nd icy= روزهای یخبندانی، region= پهنه)

Figure 1- Detection of best climatic predictors of wheat yellow rust in rain-fed fields of Kermanshah province using PCA test (RH= mean maximum monthly relative humidity (RH), T= mean minimum monthly temperature, nd7-8%60= days with minimum temperature within 7-8°C & maximum RH >60%, Lncon6-9%60= periods of consecutive days with minimum temperature within 6-9°C & maximum RH >60%, Epidemic= no disease to epidemic disease, Occ.T= disease onset date, nd\_10= days with minimum temperature <-10, ndrainy= rainy days, nd icy= icy days)

