



## مقاله پژوهشی

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

بی‌تا ناصری ✉

دانشیار، بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، کرمانشاه، ایران  
(تاریخ دریافت: دی ۱۴۰۰؛ تاریخ پذیرش: تیر ۱۴۰۱)

## چکیده

این پژوهش با هدف پیش‌آگاهی همه‌گیری زنگ زرد، گندم‌زارهای دیم در چهار پهنه‌ی کانون آلودگی به این بیماری در شهرستان‌های سرپل‌ذهاب و گیلان‌غرب (گرمسیری) و اسلام‌آباد غرب و ماهیدشت (معتدل) استان کرمانشاه در سال‌های ۹۷-۱۳۸۸ انجام شد و به‌منظور ارزیابی همبستگی داده‌های هواشناسی با رخداد همه‌گیری، ویژگی‌های زمینه‌ساز گسترش بیماری شناسایی و پایش شد. بیماری در سال‌های ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ بدون بروز هیچ‌گونه جوش زنگ زرد در کانون‌های آلودگی استان، سال‌های ۹۰-۱۳۸۹ و ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ با آلودگی پایین و پراکنده، و سال‌های ۸۹-۱۳۸۸ و ۹۵-۱۳۹۴ با آلودگی بالا همه‌گیر شد. آزمون آماری تجزیه به مؤلفه 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 کمینه ۹-۶ درجه سلسیوس و نم بالای ۶۰ درصد و بلندترین دوره روزانه با این ویژگی، میانگین بیشینه درصد نم بهمن ماه و میانگین کمینه دمای اسفندماه 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 پیش‌بینی صحیح، از نبود رخداد بیماری زنگ زرد در سال ۱۳۹۶ و آلودگی پایین در سال ۱۳۹۷ راستی‌آزمایی گردید.

واژه‌های کلیدی: دیم‌زار، زنگ نواری، وقوع بیماری، همه‌گیری

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

B. NASERI

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

## Abstract

During 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.

**Keywords:** Disease occurrence, epidemic, rainfed land, stripe rust

✉ E-mail: b.naseri@areeo.ac.ir

© 2022, The Author(s). Published by Iranian Research Institute of Plant Protection (IRIPP). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)

## 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 محصول زراعی 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 فراهم بودن آب و هوای سازگار با پیشروی آلودگی به‌ویژه بارندگی‌های زمستانه و بهاره برای قارچ *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* عامل بیماری زنگ زرد، گسترش چشمگیر این بیماری روی گندم را باعث می‌شود. یافته‌های چند سال گذشته نشان داده است که در پایان زمستان و آغاز بهار بیماری در گندم‌کاری‌های کانون‌های آلودگی گرمسیری استان بروز کرده و سپس به بخش‌های معتدل و سردسیری استان هم کشیده می‌شود. زیان این بیماری در گندم‌کاری‌های آمریکا گاه‌ها تا ۵۰ درصد گزارش شده است (Eversmeyer & Burleigh, 1969). خسارت زنگ زرد به درجه حساسیت گیاه، زمان آلودگی، نرخ رشد و طول مدت دوره بیماری بستگی دارد (Chen 2005) که همگی این ویژگی‌ها به ویژگی‌های آب و هوایی به‌ویژه دما و نم وابسته هستند (Chen, 2007; Gladders et al., 2007; Park, 1990; Zadoks, 1961).

مبارزه شیمیایی با این بیماری زیان‌آور در استان همواره با کاربرد وسیع قارچ‌کش‌های پروپیکونازول یا تیلت پس از گزارش گروه‌های پایش کانون‌های آلودگی انجام گرفته است. بسیار روشن است که این مبارزه دیر هنگام نمی‌تواند پاسخگوی هدف کاهش زادمایه و جلوگیری از پیشروی بیماری از پهنه گرمسیری به دیگر پهنه‌ها باشد. از سوی دیگر هر ساله مبارزه تنها برپایه‌ی آلودگی ۵ درصد برگ پرچم و با ناآگاهی از چگونگی گسترش آلودگی و وابستگی آن بارویدادهای هواشناسی به‌طور گسترده‌ی انجام می‌شود، چنین مبارزه بی‌رویه و گسترده‌ی می‌تواند آلودگی گندم و مقاومت به قارچ‌کش را در پی داشته باشد. پس برای جلوگیری از هدر رفت 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 سلسیوس دمای پایه برای جوانه زنی اوردینوسپور و آلودگی شناخته شده است (Sharma-Poudyal & Chen, 2011). در آمریکا، میانگین دمای ژانویه با بروز بیماری زنگ زرد در 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 داشته است. با کمک رگرسیون لجیستیک روشن شده که درصد بوته‌های بیمار با رویداد یخبندان‌های بسیار سرد (کمتر از ۵- درجه سلسیوس)، ضد‌فوننی بذر با قارچ‌کش سیستمیک و سمپاشی زمان‌بندی شده کاهش یافته است (Gladders et al., 2007). در فرانسه همه‌گیری زنگ زرد پس از زمستان‌های سرد رخ نداد و انباشت دماهای زیر ۷ درجه سلسیوس در دوره زمانی دسامبر تا آپریل بهترین نشانگر هواشناسی در پیش‌بینی همه‌گیری شناخته شده است (Gladders et al., 2007).

نماید. در راستی‌آزمایی میدانی برای سه بهار پربارش سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۸ نیز نبود همه‌گیری را بدرستی پیش‌بینی نموده، چرا که 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 زاد مایه بیماری (Inoculum) به‌ویژه شمارش اسپور نمی‌تواند به برآورد درستی برسد (Burleigh *et al.*, 1972). از سوی دیگر، پیش‌آگاهی برپایه زاد مایه بیماری نیازمند داده‌برداری روزانه-هفتگی برای دوره ۹ ماهه (پاییز-زمستان-بهار) از دستگاه‌های اسپورتراپ یا اسلایدهای گیرنده اسپور در پهنه‌های کانون بیماری بوده که در همه استان-کانون هدف فراهم نشده است. از اینرو در مدل پایه زنگ زرد کرمانشاه روش برتر ordinal regression و داده ناپیوسته رخداد همه‌گیری با توان پیش‌گویی بالاتر بکار رفته است. همچنین نشانگرهای پیشرفت بیماری زنگ زرد گندم با کمک مدل Gaussian برای نخستین بار از ایران به گزارش رسیده است (Naseri & Kazemi, 2020). خسارت زنگ زرد در مزارع گندم 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 راستی‌آزمایی دانش بدست آمده در گندم دیم نیز نیازمند بررسی بود. 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 اینرو این پژوهش به شناسایی ویژگی‌های آب و هوایی زمینه‌ساز رخداد همه‌گیری زنگ زرد گندم در دیم‌زارهای استان کرمانشاه پرداخت.

در آمریکا، دمای ماه‌های پاییز و زمستان نشانگر پیش‌بینی رخداد همه‌گیری زنگ زرد گندم شناخته شده و میانگین کمینه دما از آغاز اکتبر تا نوامبر با بیماری همبستگی همسو داشته است (Coakley *et al.*, 1988). در آمریکا درصد نم خاک در پاییز-زمستان و دمای ۷-۱۲ درجه سلسیوس در بهار نمایانگر همه‌گیری زنگ زرد بوده است (Grabow *et al.*, 2016). در اروپا رخداد همه‌گیری با نم <math>92</math> درصد، دما ۱۶-۴ درجه و بارش ۰/۱ میلی‌متر در ماه‌های می-ژوئن وابسته بوده است (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 سلسیوس و نم بالای ۶۰ درصد از مهر تا اردیبهشت، زمان سرآغاز بیماری، زمان رسیدگی گیاه، زمان کاشت و مقاومت نژاد همبستگی نشان داده است (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 بوده 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 شده است (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

## روش بررسی

در این پژوهش هر ساله دست‌کم ۱۲ گندم‌زار دیم در دو پهنه‌ی آب و هوایی استان کرمانشاه شامل گندم‌کاری‌های سرپل ذهاب و گیلان غرب (گرمسیری)، ماهیدشت و اسلام‌آباد 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، بازبیدهای پاییزه و زمستانه تنها در این پهنه دربرگیرنده کانون‌های زنگ زرد استان انجام شد. در پهنه‌ی معتدل نیز بازبیدهای 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 ۱-۲ 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 ۷-۸ درجه سلسیوس با نم بالاتر از ۶۰ درصد، روزهای با دمای کمینه ۶-۹ درجه سلسیوس با نم بالاتر از ۶۰ درصد، رخداد پیاپی روزهای (دست‌کم دو روز پشت سرهم) با دمای کمینه ۶-۹ 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 به‌ویژه زیر ۵- درجه سلسیوس 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 به‌دست‌آمده 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 آن هم پراکنده در بین گندم‌زارهای پهنه و یا درون یک گندم‌زار با رقم حساس، (۳)

سال‌های همه‌گیری زنگ زرد ۸۹-۱۳۸۸ و ۹۵-۱۳۹۴ 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 می‌توانست پیش‌آگاهی برپایه داده پیوسته بیماری را دچار افزایش خطای آماری نماید. از همین رو در این پژوهش از داده ناپیوسته رخداده همه‌گیری با کمک نمره‌دهی بالا در مدل‌سازی بهره‌گیری شد. داده‌ی پنج ساله ناپیوسته‌ی رخداده همه‌گیری زنگ زرد در چهار پهنه‌ی آب و هوایی جداگانه و در دست‌کم سه گندم‌زار به ازای هر پهنه-سال ارزیابی شد به‌خوبی درجه آزادی (۵ سال  $\times$  ۴ پهنه = ۳ گندم‌زار = ۶۰ ارزیابی رخداده همه‌گیری) موردنیاز مدل‌سازی پیش‌آگاهی همه‌گیری را فراهم ساخت. همچنین داده‌ی رخداده همه‌گیری در پنج سال پیشتر 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 (۹۷-۱۳۸۸) رخداده 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 رخداده 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 به‌دست آمد. یکی از پنج روش برتر راستی‌آزمایی رگرسیون ترتیبی، تعیین درصد برآوردهای درست یا نادرست مدل در مقایسه observed data با fitted data از رخداده همه‌گیری است (Landschoot *et al.*, 2013) که در ارزیابی کارایی مدل (راستی‌آزمایی آماری) پایه کرمانشاه به‌کار رفت. در پردازش آماری این پژوهش نرم‌افزار GenStat به‌کار برده شد.

### نتیجه و بحث

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 به‌ویژه دما و درصد نم در یک دوره زمانی چند ساله می‌تواند در پیش‌بینی درست و کارشناسانه‌ی این پدیده کارساز باشد. در این پژوهش، داده‌ی پیوسته زمان رخداده بیماری زنگ زرد (روز) و داده‌ی ناپیوسته رخداده همه‌گیری (۰ = نبود بیماری، ۱ = آلودگی پایین و پراکنده، ۲ = آلودگی بالا و همه‌گیر) برای پیش‌آگاهی این بیماری مهم گندم در دیم‌زارهای استان کرمانشاه برگزیده شدند. از به‌کارگیری داده درصد بوته آلوده و درصد بافت آلوده گیاهی که از گندم‌زارهای مورد بررسی به‌دست آمد، در مدل‌سازی پیش‌آگاهی زنگ زرد چشم‌پوشی شد. این گزینه‌ی شناسه‌ی بیماری برای مدل برپایه‌ی همبستگی داده‌ی بیماری با ویژگی‌های هواشناسی انجام گرفت و دو شناسه‌ی زمان بروز بیماری و رخداده 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 (شکل ۱).

پهنه‌ی گرمسیری در این پژوهش بود. برای نمونه، پایین‌ترین میانگین کمینه دمای ماهانه زمستانی، ۱/۸ درجه سلسیوس، در بهمن‌ماه ۱۳۹۵ روی داد. پیرو همین روند با کاهش میانگین دمای کمینه‌ی فروردین‌ماه و اردیبهشت‌ماه، سال ۱۳۹۵-۹۶ بهار خنک‌تری نسبت به ۱۳۹۴-۹۵ داشت. همین میانگین دمای کمینه‌ی ماهانه‌ی پایین‌تر در دی و اسفندماه زمستان‌های سرد ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ نیز در مقایسه با سال همه‌گیری ۱۳۹۴-۹۵ 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 ۱۳۹۶-۹۷ سیل‌آسا و بسیار بیشتر از سال همه‌گیری زنگ زرد در سال ۱۳۹۴-۹۵ 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 داده‌های هواشناسی با زمان رخداد زنگ زرد

در پهنه گرمسیری سرپل‌ذهاب، گمان می‌رود که رخداد زود هنگام 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 به‌ویژه در بامداد با یکدیگر هم‌زمان روی می‌دهند. به گونه‌ای که به کارگیری دمای روزانه در پردازش مدل‌های پیش‌آگاهی بیماری زنگ زرد گمراه‌کننده است (Chen, 2005). از یک‌سو، آلودگی برگ گندم با قارچ *P. striiformis* f.sp. *tritici* در بازه‌ی دمایی ۱۲-۵ درجه سلسیوس با دمای

شکل ۱ به ما نشان می‌دهد که سه ویژگی شمار روزهای بارانی، دوره‌های دربرگیرنده روزهای پایی با دمای کمینه‌ی ۹-۶ درجه سلسیوس و نم بالای ۶۰ 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 ۱۰- 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 ۱ آمده است.

#### هم‌خوانی داده‌های هواشناسی با رخداد همه‌گیری زنگ زرد

نخستین نشانه‌های بیماری زنگ زرد گندم دیم در سرپل‌ذهاب در سال ۱۳۹۳-۹۴ در ۱۱ فروردین‌ماه، سال ۱۳۹۳-۹۴ در ۲۹ اسفندماه، و سال ۱۳۹۴-۹۵ در ۸ فروردین‌ماه روی رقم کوه‌دشت گزارش رسید. در سال‌های ۱۳۹۵-۹۶ و ۱۳۹۶-۹۷ هیچ‌گونه نشانه‌ی بیماری در دیم‌زارهای این شهرستان حتی در کانون‌های بیماری به چشم نخورد. با نگاهی به دمای هوای ماه‌های زمستان ۱۳۹۴ (همه‌گیری زنگ زرد در بهار ۱۳۹۵ استان کرمانشاه) و ۱۳۹۵ در سرپل‌ذهاب (جدول ۲)، می‌توان به کاهش ۱/۱ درجه‌ای میانگین دمای کمینه‌ی دی‌ماه، ۱/۷ درجه‌ای در بهمن‌ماه و ۴ درجه‌ای در اسفندماه ۱۳۹۵ در مقایسه با ۱۳۹۴ پی‌برد. به‌گونه‌ای که زمستان ۱۳۹۵ از سردترین زمستان‌های

دوره‌ی پیوسته‌ی ۴ ساعت نم بالای ۶۰ درصد با دمای بهینه‌ی ۸ درجه سلسیوس در دوره‌ی ۹ روز پیاپی با دمای کمینه درون بازه ۵-۱۲ درجه سلسیوس از نوزدهم تا ۲۸ اسفندماه ۹۴ در سرپل ذهاب 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 به‌کار بستن هر دو ویژگی دما و نم بهینه خواهد بود. از همین رو 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 به‌کار گرفته شدند.

بهینه‌ی ۸ درجه سلسیوس 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 سلسیوس به دست‌کم ۱۶ ساعت در دماهای ۵ و ۱۲ درجه سلسیوس افزایش یافت و آلودگی در دماهای بالای ۱۵ درجه سلسیوس به پایان رسید (de Vallavieille-Pope et al., 1995). برای نمونه، هم‌زمانی

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
Constant 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.

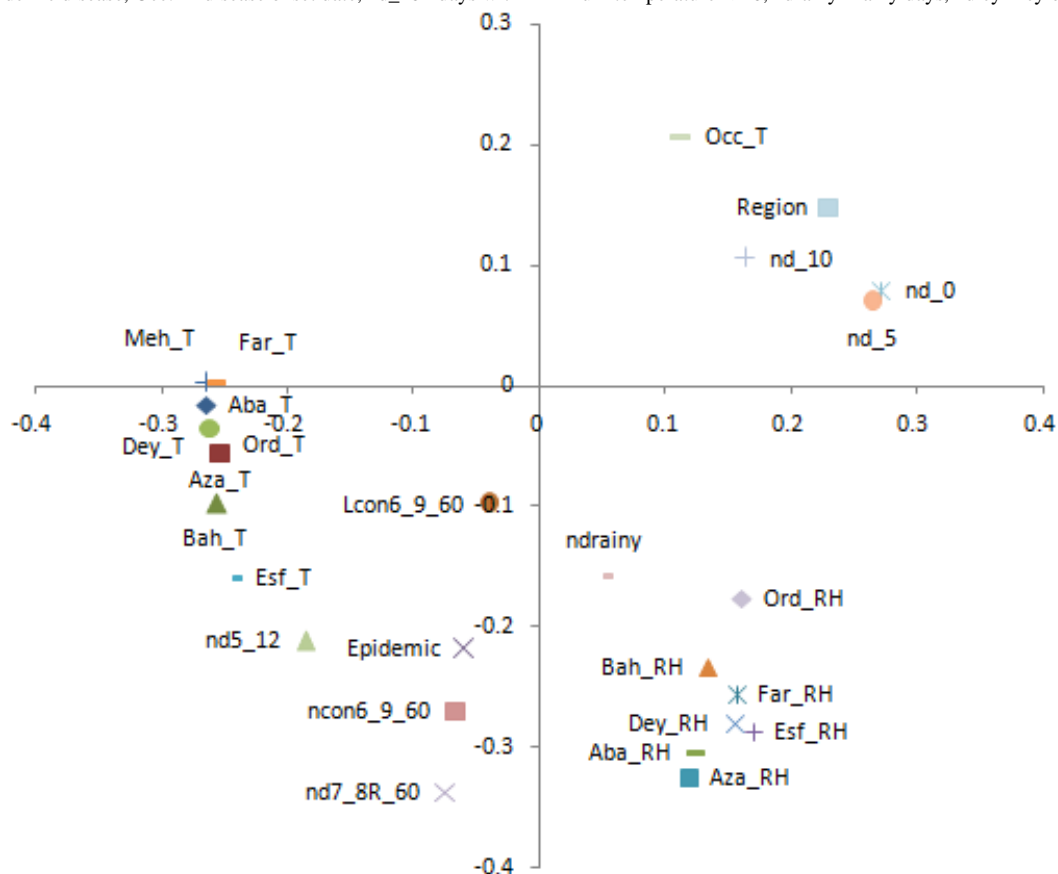
Year	Climatic parameter	Temperature			Rainfall	Relative humidity	
		Month	Mean	Maximum	Minimum	mm	Maximum
2013	Dey	8.1	15.2	3.1	44.8	88	38
	Bahman	8.8	15.5	3.4	46.9	90	40
	Esfand	13.5	20.8	7.5	91	90	38
	Farvardin	16	24.3	8.3	19.2	85	29
2014	Ordibehesht	23.9	33.1	15.2	2	68	19
	Dey	7.7	14.5	2.5	13.8	93	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
2016	Esfand	14.2	21.2	8.7	55.1	89	37
	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	-
2017	Bahman	6.6	13	1.8	72.1	93	-
	Esfand	11.8	19.7	4.8	66.5	85	-
	Farvardin	16	22.6	10	82.1	90	41
	Ordibehesht	23.1	32.7	13.9	5.4	74	19
2018	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

به دست کم ۳ ساعت نم هوا یا شبنم روی برگ برای جوانه زنی و آلودگی گیاه گندم (Rapilly, 1979) و یا در گزارش دیگری دست کم ۶-۴ ساعت نم در دمای ۸ درجه سلسیوس (de Vallavieille-Pope *et al.*, 1995) درمی یابیم که با فراهم شدن همزمانی دست کم ۶ ساعت نم پیوسته در دمای کمینه ۹-۸ درجه سلسیوس در یک دوره ی شش روزه از سیزدهم تا هجدهم اسفندماه ۱۳۹۲ در سرپل ذهاب، سرانجام نخستین نشانه های بیماری در یازدهم فروردین ماه ۱۳۹۳ در رقم کوهدشت به گزارش رسید.

کارآیی پیش بینی نشانگرهای هواشناسی برآزش شده در سال ۹۳-۱۳۹۲ نبود نشانه ی بیماری در اسفندماه ۱۳۹۲ سرپل ذهاب را شاید بتوان پس از کاهش زمستانگذرانی در زمستان سرد، به وجود ۱۲ روز با دمای کمینه ی کمتر از ۷ درجه سلسیوس (به عنوان دمای پایه بر روی توسعه بیماری، Sharma-Poudyal & Chen, 2011; Gladders *et al.*, 2007) و ۳ روز دمای کمینه ی 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

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

**Fig. 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, ndicy= icy days).





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

نبود نشانه‌ی بیماری تا ۲۹ اسفندماه ۱۳۹۳ در گندم دیم سرپل ذهاب را پس از کاهش زادمایه قارچ به‌دنبال 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 اسلام آباد غرب در زمستان ۱۳۹۳ بیانگر میانگین ماهانه کمینه دما به ترتیب ۳/۷-، ۱/۳- و ۱/۱- درجه سلسیوس (جدول ۳) و کمینه دمای روزانه زیر صفر برای ۲۷ روز در دی ماه 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 دردست (Gladders et al., 2007) می‌تواند جلوی زمستانگذرانی قارچ در این پهنه از استان کرمانشاه را بگیرد. بااینکه این قارچ با آب و هوای خنک سازگاری خوبی دارد، پدیده‌ی یخبندان می‌تواند ریشه درحال اسپورزایی را در بافت‌های برگی زمستان‌گذران نابود کند، هرچند ریشه بدون اسپورزایی در برگ می‌تواند در سرما تا ۱۰- درجه سلسیوس زنده بماند (Rapilly, 1979). بایستی افزود که در این شهرستان کمینه دمای روزهای زمستانی پایین‌تر از ۱۰- درجه سلسیوس برپایه‌ی گزارش بالا به زندگی ریشه بدون اسپورزایی قارچ زنگ زرد در برگ گندم پایان می‌دهد. ازهمین‌رو بروز همه‌گیری در پهنه‌ی معتدل استان نیازمند زادمایه از پهنه‌ی گرمسیری جایگاه زمستان‌گذرانی قارچ زنگ زرد است. همچنین نبود زنگ زرد گندم دیم در بهار ۱۳۹۴ اسلام آباد 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 اسلام آباد 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 ۱۳۹۴-۹۵

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 اسلام آباد غرب روی داد. چنین تفاوت زمانی در زمان رخداد همه‌گیری زنگ زرد در بین کشت آبی و دیم، آن هم در ارقام حساس فراگیر دیم‌زارهای بالای ۲۵۰ هزار هکتار سطح زیر کشت استان کرمانشاه، نشانگر اهمیت پیش‌آگاهی و زمانبندی درست نخستین سمپاشی پیشگیری کننده 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 سرپل ذهاب 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 سلسیوس در دوره ۹ روز پیاپی با دمای کمینه درون بازه ۱۲-۵ درجه سلسیوس، بیماری روی رقم کوهدشت در ۸ فروردین‌ماه ۱۳۹۵ در سرپل ذهاب رخ داد. این یافته‌ها به روشنی گویای

سلسیوس در زمان زمستانگذرانی قارچ تأثیر 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 ویژگی روزهای یخبندانی و دمای کمینه روزانه و ماهانه از دیدگاه همه‌گیرشناسی زنگ زرد است.

کارایی پیش‌بینی نشانگرهای هواشناسی برازش شده در سال ۱۳۹۵-۹۶

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 دیرنگام و ناچیزی در یکی دو هفته‌ی پایانی دوره‌ی نموی گندم دیم این پهنه هیچگونه نیازی به سمپاشی نداشت. همانگونه که پیشتر گفته شد، دمای یخبندان به ویژه دماهای زیر ۵- درجه

جدول ۳- آمار هواشناسی سال‌های ۹۷-۹۲ در اسلام‌آباد 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- ویژگی‌های کلیدی هواشناسی هدف پیش‌آگاهی در سه پهنه‌ی 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	Icy days	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	Mean maximum relative humidity	
						Esfand	in Bahman	
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
-----------------	----	----	---	---	---	-----	----

### کارایی پیش‌بینی نشانگرهای هواشناسی برآزش 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 ۷-۸ درجه سلسیوس و نم بالای ۶۰ درصد، و شمار دوره (دست‌کم دو روز پشت‌سرمه با این ویژگی) روزهای پیاپی با دمای کمینه‌ی ۶-۹ 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 به‌ویژه در سرپل‌ذهاب پایین بوده است. اینگونه بارندگی با دوره‌های خشکی (نم  $> 60$  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 برآزش شده

از آنجایی که متغیرهای این مدل رگرسیونی برپایه روش PCA شناسایی شدند، رخداد همه‌گیری بیماری زنگ زرد در همه‌ی سال‌های مورد بررسی (۹۷-۱۳۸۸) 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. به‌گونه‌ای که دو نشانگر هواشناسی بلندترین دوره روزهای پشت‌سرمه با کمینه دمای ۹-۶ درجه سلسیوس و بیشینه نم  $< 60$  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 به‌کارگیری 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 (بیش از 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:

- بیش از ۶۵ روز بارانی از آغاز مهرماه تا فروردین ماه
- بلندتر از ..... دوره‌های ۶-۲ روزه از روزهای پشت‌سرهم با کمینه دمای ۹-۶ درجه سلسیوس و بیشینه نم بیش ۶۰ درصد
- بیش از ۱۰ دوره (دست‌کم دو روز پشت‌سرهم با این ویژگی) روزهای پیاپی با کمینه دمای ۹-۶ درجه و بیشینه نم بیش از ۶۰ درصد
- میانگین بیشینه نم بیش از ۹۰ درصد در بهمن‌ماه
- میانگین کمینه دمای اسفندماه بیش از ۲/۵ درجه سلسیوس

### سپاسگزاری

نویسنده از همه کسانی که در بازدیدهای میدانی و گردآوری داده هواشناسی همکاری دلسوزانه داشته‌اند، و همچنین همکاران دست‌اندرکار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه سپاسگزاری می‌نماید.

- کمتر از هشت روز یخبندانی با دمای کمینه‌ی برابر یا زیر صفر درجه سلسیوس
- بیش از ۶۰ روز بارانی از آغاز مهرماه تا فروردین‌ماه
- دوره‌های ۳-۲ روزه از روزهای پشت‌سرهم با کمینه دمای ۹-۶ درجه سلسیوس و بیشینه نم بیش از ۶۰ درصد
- بیش از ۷ دوره (دست‌کم دو روز پشت‌سرهم با این ویژگی) روزهای پیاپی با کمینه دمای ۹-۶ درجه و بیشینه نم بیش از ۶۰ درصد
- میانگین بیشینه نم بیش از ۹۰ درصد در بهمن‌ماه
- میانگین کمینه دمای اسفندماه بیش 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:
- کمتر از ۸۵ روز یخبندانی با دمای کمینه‌ی برابر یا زیر صفر درجه سلسیوس

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*

### References

- 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.
- 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.