

## بررسی امکان پیش‌آگاهی بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله گندم بر اساس عامل‌های آب و هوایی و زراعی

محمدعلی آقاجانی<sup>۱</sup>، حسین براری<sup>۲</sup> و حسین کربلایی خیایوی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۲

### چکیده

بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله یکی از مهم‌ترین بیماری‌های گندم و یکی از بیماری‌های بسیار پراهمیت برای پیش‌آگاهی محسوب می‌شود. تحقیق حاضر به منظور تعیین ارتباط آماری میان وقوع بیماری و متغیرهای آب و هوایی و زراعی به مدت سه سال (سال‌های زراعی ۹۵-۹۴، ۹۶-۹۵ و ۹۷-۹۶) در استان‌های گلستان، مازندران و اردبیل انجام شد. بدین منظور، در مزارع گندم موجود در اطراف ایستگاه‌های هواشناسی، مشخصات زراعی و شدت بیماری یادداشت‌برداری شد. تعداد نه داده آب و هوایی روزانه به ۳۰ متغیر دوره‌ای تبدیل شد. تلفیق تاریخ‌های شروع مرحله گلدهی و طول این دوره در سال‌ها و مناطق مختلف نیز به صورت ۱۱ متغیر تقویم زمانی و آب و هوایی محاسبه شد و در تحلیل‌های آماری مورد استفاده قرار گرفت. نتایج آزمون همبستگی متغیرهای یادشده با بیماری نشان داد که بهترین پنجره زمانی برای پیش‌آگاهی بیماری، B020 (۲۰ روز قبل از گلدهی) بود و متغیرهای میانگین دمای بیشینه، تعداد روزهای بارانی، تعداد روزهای خشک، میانگین نسبت ویژه دمایی مرطوب و تعداد روزهای بارانی با رطوبت نسبی بالاتر از ۸۰ درصد، بالاترین همبستگی را با بیماری داشتند. نتایج تجزیه رگرسیون لجستیک و تابع تشخیص برای متغیرهای منتخب به صورت مستقل، دوتایی و سه‌تایی نشان داد که بهترین متغیر پیشگو به صورت مستقل، میانگین دمای بیشینه بود. بهترین ترکیب دوتایی از متغیرهای پیشگو نیز با استفاده از متغیرهای میانگین دمای بیشینه و تعداد روزهای بارانی با رطوبت نسبی بالاتر از ۸۰ درصد به دست آمد و افزودن متغیر میانگین نسبت ویژه دمایی مرطوب به این دو متغیر، افزایش معنی‌داری در کارایی پیش‌بینی مدل ایجاد نکرد. بنابراین دو متغیر میانگین دمای بیشینه و تعداد روزهای بارانی با رطوبت نسبی بالاتر از ۸۰ درصد در پنجره ۲۰ روزه قبل از گلدهی، به عنوان بهترین مدل برای پیش‌بینی بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله گندم معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی، وقوع بیماری، *Fusarium graminearum*

- ۱- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، گرگان، ایران
- ۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، ساری، ایران
- ۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، اردبیل، ایران

\* نویسنده مسئول: [maaghajana@yahoo.com](mailto:maaghajana@yahoo.com)

## مقدمه

بازدگی فوزاریومی سنبله به واسطه شدت اپیدمی‌ها، خسارت‌های ناشی از آلودگی مایکوتوکسین و دوره زمانی کوتاه مربوط به اسپورزایی بیمارگر، انتشار زادمایه و آلودگی میزبان، یک بیماری بسیار خوب برای مدل‌سازی ارزیابی احتمال خطر است (De Wolf *et al.*, 2003). طبیعت بیماری به‌گونه‌ای است که آلودگی تنها در دوره گلدهی، مدت زمانی که گل‌های گندم برای انجام گرده‌افشانی باز شده‌اند، امکان‌پذیر است. علامت شروع گلدهی، خروج بساک‌های پرچم سبز مایل به زردی است که از گل‌ها آویزان می‌شوند و پس از مدتی که به‌طور معمول حدود ۱۰-۷ روز طول می‌کشد، بساک‌ها چروکیده شده، به‌رنگ سفید در می‌آیند و سپس می‌ریزند و این نشانه پایان دوره گلدهی است (Rossi *et al.*, 2003). با توجه به این مطلب، مناسب‌ترین زمان سمپاشی مزرعه اوایل گلدهی است، یعنی زمانی که حدود ۲۵ درصد سنبله‌های گندم وارد مرحله گلدهی شده‌اند (Aghajani, 2008; Kokcheli *et al.*, 2013; Abedi *et al.*, 2016). علایم بیماری، بعد از مرحله گلدهی در سنبله‌های گندم ظاهر می‌شود، یعنی زمانی که دیگر برای سمپاشی دیر شده است. بنابراین زمان مناسب سمپاشی، هنگامی است که هنوز علایم بیماری ظاهر نشده و اطلاعاتی در باره ظهور یا عدم ظهور بیماری وجود ندارد. این مساله، ضرورت پیش‌آگاهی در مورد این بیماری را دوچندان می‌کند (Aghajani *et al.*, 2016).

مطالعه اپیدمی‌های FHB (Fusarium Head Blight) تجربه شده در ایالات متحده آمریکا به پروژه‌ای برای ساختن یک مدل پیش‌آگاهی منتهی شد. با استفاده از داده‌های هواشناسی، مرحله رشد گیاه و مشاهدات بیماری از مناطق تولید گندم بهاره و زمستانه در هفت ایالت، مدل‌های پیش‌بینی FHB گندم ساخته شد (De Wolf *et al.*, 2003; van Maanen and Xu, 2003). مدل‌های نهایی از دمای ساعتی، رطوبت و بارش باران برای پیش‌بینی احتمال خطر شدت بیماری بالاتر از ۱۰ درصد استفاده کردند. مدل ساخته شده در سال ۲۰۰۴ شامل متغیرهایی بود که برای کاربران امکان مشخص کردن نوع گندم (زمستانه و بهاره) و اینکه آیا گندم زمستانه در بقایای ذرت کاشته شده یا نه را فراهم می‌کرد. بر اساس داده‌های مورد استفاده برای اعتبارسنجی، صحت مدل توسعه‌یافته در ۲۳ ایالت در سال

۲۰۰۴ به‌عنوان جزئی از مرکز ملی پیش‌بینی FHB، نزدیک به ۸۰ درصد تخمین زده شد. مدل‌سازی این داده‌ها نشان داد که شرایط محیطی قبل از گلدهی، اهمیت بیش‌تری از شرایط دوره گلدهی دارد (Xu, 2003). صحت مدل در آزمون‌های مزرعه‌ای، معمولاً بالا بود، اما بهبود صحت آن هنوز هم در دست بررسی است (Madden *et al.*, 2004).

کریس و همکاران (Kriss *et al.*, 2010) با استفاده از روش قاب پنجره و داده‌های مربوط به نوسانات سالانه‌ی شدت بیماری از ایالت‌های اوهایو (۴۴ سال)، ایندیانا (۳۶ سال)، کانزاس (۲۸ سال) و داکوتای شمالی (۲۳ سال) و آزمودن پنجره‌هایی با طول ۱۰ تا ۲۸۰ روز دریافتند که متغیرهای وابسته به رطوبت یا خیسگی (نظیر رطوبت نسبی متوسط روزانه و مقدار بارندگی روزانه)، ارتباط مثبتی با مقدار بیماری دارند. البته بالاترین ضریب همبستگی برای پنجره‌های ۱۵ و ۳۰ روزه در فاصله ۶۰ روز آخر فصل رویشی، به ویژه نزدیک زمان گلدهی به‌دست آمد. این دوره شامل مراحل نظیر تولید و انتشار اسپور و آلوده شدن سنبله‌های گندم بود. رابطه میان مقدار بیماری و دمای هوا، تقریباً پایین بود، اما ترکیب دما با رطوبت (مثلاً دوره‌های زمانی دارای دمای ۱۵ تا ۳۰ درجه و رطوبت نسبی بالاتر از ۸۰ درصد) رابطه‌ی مثبتی با بیماری داشت. همین تیم کاری (Kriss *et al.*, 2012) با بررسی شرایط آب و هوایی و رابطه آنها با شدت بیماری و میزان آلودگی مایکوتوکسین‌ها در کشورهای اروپایی دریافتند که متغیرهای وابسته به رطوبت (نظیر رطوبت نسبی متوسط روزانه و تعداد ساعت‌های دارای رطوبت نسبی بالاتر از ۸۰ درصد)، قوی‌ترین ارتباط مثبت را با متغیرهای مربوط به بیماری نشان می‌دهند.

در ایران، صفایی و علیزاده (Safaei and Alizadeh, 2006) با اقتباس از مدل دی وولف و همکاران (De Wolf *et al.*, 2004) و داده‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان، مدلی را برای پیش‌بینی مقدار بیماری در استان پیشنهاد کردند که میزان اعتبار آن به صورت کاربردی تعیین نشد. در زمینه مدل‌های آماری برای نحوه تاثیر دما بر رشد میسلیومی قارچ عامل بیماری نیز تحقیقی صورت پذیرفت که بر اساس مدل‌های انتخاب شده، دمای کمینه، بهینه و بیشینه برای رشد میسلیومی قارچ *F. graminearum* به ترتیب معادل ۱۰/۳، ۳۱ و ۳۶/۲ درجه سلسیوس اعلام

شد (Mazhari et al., 2016). عابدی و همکاران (Abedi et al., 2016) با بررسی ارتباط آماری مقدار بیماری و دی اکسی نیوالنول در دانه‌های آلوده با متغیرهای آب و هوایی در استان‌های گلستان و مازندران نشان دادند که در پنجره زمانی دو هفته بعد از گلدهی، آلودگی دی اکسی نیوالنول با متغیرهای تعداد ساعت با رطوبت نسبی بالای ۸۰ درصد، مجموع بارندگی به‌ازای هر روز و ساعات خیسی همبستگی قوی دارد و بنابراین در دو هفته بعد از گلدهی، شرایط برای آلودگی دی اکسی نیوالنول و تجمع آن در دانه‌های گندم فراهم می‌شود. در این تحقیق نیز ارتباط آماری بین بیماری با متغیرهای آب و هوایی و زراعی به‌منظور مطالعه امکان پیش‌آگاهی بیماری بررسی شد.

### مواد و روش‌ها

این مطالعه به‌مدت سه سال (سال‌های زراعی ۹۵-۹۴، ۹۶-۹۵ و ۹۷-۹۶ معادل ماه‌های آذر تا اردیبهشت) و در سطح مزارع گندم استان‌های گلستان، مازندران و اردبیل (مغان) انجام شد. با توجه به اهمیت داده‌های آب و هوایی جهت توسعه یک مدل اپیدمیولوژیک و وجود ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک در نقاط مختلف این استان‌ها، تعداد ۱۰ مزرعه گندم واقع در شعاع ۱۰ کیلومتری هر ایستگاه هواشناسی انتخاب و مراحل مختلف یادداشت‌برداری و آماربرداری از آن‌ها انجام شد. داده‌هایی که برای ساختن مدل جمع‌آوری شدند، تقریباً بر اساس تمامی مدل‌های پیش‌آگاهی مربوط به بیماری انتخاب شدند (De Wolf et al., 2003; Madden et al., 2004; Kriss et al., 2010). این داده‌ها شامل داده‌های آب و هوایی، داده‌های زراعی و داده‌های بیماری بودند. این مدل کاربردی، در سال‌های اخیر با استفاده از روش‌های آماری مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته و برای افزایش کارایی آن، جزییاتی بدان افزوده شده است (Shah et al., 2013, 2014).

با توجه به سطح زیر کشت گندم و تنوع شرایط آب و هوایی، هشت ایستگاه هواشناسی در سه استان گلستان (پنج ایستگاه)، مازندران (دو ایستگاه) و اردبیل (یک ایستگاه) در نظر گرفته شد و داده‌های هواشناسی مربوطه برای ماه‌های آبان تا اردیبهشت سه سال زراعی ۹۵-۹۴، ۹۶-۹۵ و ۹۷-۹۶ از آنها دریافت شد. پنج ایستگاه هواشناسی استان گلستان، علی‌آباد، هاشم‌آباد گرگان، فرودگاه گرگان، گنبد و کلالة، ایستگاه‌های استان مازندران شامل قراخیل قائمشهر و دشت ناز ساری و تنها ایستگاه

هواشناسی موجود در استان اردبیل، ایستگاه پارس‌آباد مغان بود (جدول ۱).

داده‌های آب و هوایی مورد استفاده شامل دمای روزانه (بیشینه، کمینه و متوسط)، رطوبت نسبی (بیشینه، کمینه و متوسط)، حجم ریزش باران، تعداد روزهای بارانی، تعداد روزهای یخبندان، میزان تبخیر، ساعت‌های آفتابی و سرعت و جهت وزش باد بودند که از ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک موجود در استان‌ها دریافت شدند. علاوه بر متغیرهای ساده (نظیر دمای متوسط روزانه، دمای کمینه و بیشینه روزانه و ...)، متغیرهای مرکب از ترکیب و تلفیق متغیرهای ساده ساخته شدند و ارتباط آماری آن‌ها با بیماری مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). داده‌های زراعی نیز شامل مشخصات مزرعه، سابقه کشت گندم و بیماری مزرعه، مقاومت رقم و مراحل رشد گیاه (به‌ویژه شروع و پایان گلدهی) بودند و وضعیت بیماری در مزارع نیز در مرحله شیری تا خمیری بر اساس یکی از دو مقیاس پنج طبقه‌ای (مقیاس ژاپنی و مقیاس سیمیت) تعیین شد که بر اساس درصد آلودگی سنبله و تعداد سنبله‌های بیمار در هر سنبله، شدت بیماری را تعیین می‌کنند (Ireta and Gilchrist, 1994).

برای تعیین مناسب‌ترین طول دوره زمانی دارای بالاترین ارتباط متغیرهای محیطی با اپیدمی بیماری، از روش «قاب‌های پنجره» استفاده شد و ارتباط متغیرهای مختلف آب و هوایی با اپیدمی بیماری بررسی شد (Kriss et al., 2010). برای تجزیه آماری داده‌ها، از روش‌های تجزیه واریانس و مقایسه میانگین (با روش LSD)، جهت تعیین اختلاف میان مناطق و مزارع و از روش‌های ضریب همبستگی، ضریب رتبه‌ای اسپرمن و رگرسیون ساده و چندگانه برای تعیین ارتباط میان متغیرهای مورد مطالعه استفاده شد. برای تعیین رابطه آماری میان متغیرهای زراعی و آب و هوایی با احتمال وقوع اپیدمی، مزارع بر اساس میزان وقوع و شدت بیماری به دو (یا چند) گروه طبقه‌بندی شده و سپس با استفاده از روش‌های آماری رگرسیون لجستیک و تابع تشخیص، روابط میان متغیرهای مستقل و وابسته بررسی شد (De Wolf et al., 2003). به‌منظور انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری یادشده از نرم‌افزار آماری StatGraphics Centurion ver. 16.1.11 (شرکت StatPoint Technologies) استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شده در این تحقیق

Table 1. Specifications of meteorological stations used in this study

No.	Station name	Province	Longitude	Latitude	Altitude (m)
1	Pars Abad	Ardabil	47.782	39.6055	71
2	Gharakheil	Mazandaran	52.7763	36.4894	15
3	Dashte Naz	Mazandaran	53.1964	36.6502	4
4	Hashem Abad	Golestan	54.3528	36.8757	12
5	Gorgan airport	Golestan	54.4126	36.9068	-12
6	Aliabad	Golestan	54.9033	36.9011	200
7	Gonbad	Golestan	55.2175	37.2671	46
8	Kalaleh	Golestan	55.4597	37.3851	127

جدول ۲- متغیرهای مشتق شده از داده‌های آب و هوایی مورد استفاده برای مدل‌سازی اپیدمی بیماری

Table 2. Variables derived from weather data and used for disease epidemic modeling

Level	Variable	Unit	Concept
Daily	TM	°C	Average minimum temperature
	TX	°C	Average maximum temperature
	AT	°C	Average temperature
	HM	%	Average minimum relative humidity
	HX	%	Average maximum relative humidity
	AH	%	Average relative humidity
	P	mm	Precipitation
	Ev	mm	Evaporation
	Sun	hr	Sunny hours
Periodic	ATM	°C	Average minimum temperature
	MTM	°C	Minimum temperature
	ATX	°C	Average maximum temperature
	XTX	°C	Maximum temperature
	AT	°C	Average temperature
	AHM	%	Average minimum relative humidity
	MHM	%	Minimum relative humidity
	AHX	%	Average maximum relative humidity
	XHX	%	Maximum relative humidity
	AH	%	Average relative humidity
	SP	mm	Sum of precipitation
	XP	mm	Daily maximum precipitation
	FD	day	Frosty day (minimum temperature < 0°C)
	RD	day	Rainy day (day with P > 0.2mm)
	WD	day	Wet day (day with P > 1mm)
	HPD	day	Heavy precipitation day (day with P > 10 mm)
	VHPD	day	Very heavy precipitation day (day with P > 20 mm)
	WDP	mm	Wet day precipitation (P (mm) in wet days)
	DD	day	Dry day (day with P < 0.2 mm)
	SEV	mm	Sum of evaporation
	ASUN	hr	Average of sunny hours
	AGDD	°C day	Growing degree day
	AHTR	%/°C day	Average humid thermal ratio (AH/AT)
	ASHTR	%/°C day	Average special humid thermal ratio (HX/TX)
	AME	%/°C day	Average threshold humid thermal ratio
	AHTU	°C hr	Average humid thermal unit
	NP80	day	Number of rainy days with AH > 80%
	NP70	day	Number of rainy days with AH > 70%
	NP65	day	Number of rainy days with AH > 65%
	NP60	day	Number of rainy days with AH > 60%
Dependent	EPI	score	Disease epidemic (1) or not (0)
	EP2	score	Disease epidemic as outbreak (2) or normal (1) or no disease (0)

**نتایج و بحث**

در مزارع گندم موجود در اطراف ایستگاه‌های هواشناسی، اطلاعات زراعی مزارع و شدت بیماری یادداشت‌برداری شد و داده‌های آب و هوایی نیز از ایستگاه‌های هواشناسی دریافت شد. متغیرهای آب و هوایی به‌صورت روزانه مورد استفاده قرار گرفتند. از متغیرهای روزانه، با محاسبه میانگین، مجموع، کمینه یا بیشینه، متغیرهای دوره‌ای به‌دست آمد و با محاسبه روزانه برخی از متغیرها، تقویم زمانی و آب و هوایی محاسبه شد (جدول ۲). از آنجایی که تفاوت در واکنش ارقام گندم و روش و دقت ارزیابی شدت بیماری منجر به عدم یکنواختی در اندازه‌گیری بیماری می‌شود، وضعیت بیماری مزارعی که به‌صورت شدت متوسط ثبت شدند، با در نظر گرفتن آستانه زیان اقتصادی بیماری (شدت متوسط ۱۰ درصد) (De Wolf *et al.*, 2003) به‌صورت دو متغیر رتبه‌ای

EP1 و EP2 بیان شد که به‌ترتیب دارای دو و سه سطح بودند (جدول ۲).

**وضعیت کلی متغیرهای طی دوره تحقیق**

بر اساس داده‌های روزانه هشت ایستگاه هواشناسی سینوپتیک، متغیرهای آب و هوایی برای ماه‌های آبان، آذر، دی، بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت، پاییز (آبان و آذر)، زمستان (دی، بهمن و اسفند)، بهار (فروردین و اردیبهشت) و تمام فصل (ابتدای آبان تا پایان اردیبهشت) برای این پنج منطقه و سه سال اجرای آزمایش محاسبه و با استفاده از آزمون تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها مورد ارزیابی آماری قرار گرفت. خلاصه آماره‌های داده‌های آب و هوایی دوره نه ماهه فصل رشد (آبان تا اردیبهشت) این هشت ایستگاه هواشناسی طی سه سال اجرای پروژه در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- میانگین و دامنه تغییرات متغیرهای آب و هوایی هشت ایستگاه هواشناسی در استان‌های گلستان، مازندران و اردبیل طی ماه‌های آبان تا اردیبهشت سه سال زراعی ۹۵-۹۶، ۹۶-۹۷ و ۹۷-۹۸

Table 3. Average and range of weather variables of eight meteorological stations in Golestan, Mazandaran and Ardabil provinces during November to May of three cropping years, 2015-16, 2016-17 and 2017-18

Variable <sup>†</sup>	Mean	Standard error	Minimum	Maximum
ATM	6.9	0.28	2.8	8.4
MTM	-5.0	0.78	-13.2	-0.8
ATX	17.6	0.33	13.3	19.8
XTX	37.4	0.60	31.6	43.4
AT	12.1	0.33	7.3	13.9
AHM	58.9	0.70	51.6	63.4
MHM	13.6	1.42	0	26
AHX	93.5	0.40	89.9	97.4
XHX	100.0	0.00	100	100
AH	76.6	0.51	72.3	81.1
SP	361.1	25.02	132.48	593.6
XP	38.6	3.38	14.3	72.7
FD	19.0	3.47	2	77
RD	60.3	2.19	35	80
WD	46.0	2.19	24	64
HPD	12.5	1.28	3	26
VHPD	4.9	1.04	0	21
WDP	351.5	25.16	120.55	582.5
DD	147.3	2.22	125	171
SEV	479.5	38.65	326.2	1043.6
ASUN	4.9	0.08	4.4	5.5
AGDD	2592.0	53.77	1835.9	2904.8
AHTR	1532.2	26.41	1305.1	1795.5
ASHTR	1374.6	58.01	1061	2312.6
AME	932.9	50.65	631.6	1783.7
AHTU	12999.7	744.79	3310.2	16764.5
NP80	55.7	1.61	42	67
NP70	81.1	2.17	51	96
NP65	86.3	2.44	55	105
NP60	88.3	2.61	56	112

<sup>†</sup>: The abbreviation of variables are presented in Table 2.

معنی‌داری میان داده‌های ایستگاه پارس‌آباد با هفت ایستگاه دیگر وجود داشت، به‌طوری که این منطقه هوای سردتری در طول فصل رشد گندم، نسبت به سایر مناطق داشت. در نتیجه مقدار درجه روز رشد تجمعی تجمعی دریافتی این ایستگاه کم‌تر از سایر مناطق بود. مقایسه تعداد روزهای یخبندان این منطقه با سایر مناطق نیز موید این نتیجه است. با وجود حجم بارش و تعداد روزهای بارانی کم‌تر در این ایستگاه، از نظر درصد رطوبت نسبی هوا اختلاف معنی‌داری بین مناطق مشاهده نشد. در عین حال تعداد روزهای خشک این منطقه بیش‌تر از سایر ایستگاه‌ها بود (جدول ۵ و شکل ۱). بر اساس این نتیجه، ایستگاه‌های بررسی شده در این مطالعه به دو گروه تقسیم شدند که ایستگاه پارس‌آباد مغان در یک گروه و هفت ایستگاه دیگر در گروه دوم قرار گرفتند.

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌های آب و هوایی فصل رشد (آبان تا اردیبهشت)، اختلاف آماری معنی‌داری را در بین سال‌ها، پنجره‌های زمانی و مناطق (ایستگاه‌های هواشناسی) در مورد بسیاری از متغیرها نشان داد (جدول‌های ۴ و ۵). نتایج نشان داد که سال زراعی ۹۶-۹۷ گرم‌تر از دو سال دیگر بود (بر اساس میانگین دمای کمینه، بیشینه و متوسط روزانه)، اما سال زراعی ۹۴-۹۵ نسبت به دو سال دیگر، از رطوبت نسبی بالاتری برخوردار بود و تعداد روزهای یخبندان در سال ۹۴-۹۵ بیش از دو سال دیگر بود. میزان بارش نزولات و تعداد روزهای بارانی در سال ۹۴-۹۵ بیش‌تر از دو سال دیگر بود، اما تعداد روزهای خشک در سال ۹۵-۹۶ بیش از دو سال دیگر بود (جدول ۴). نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌های آب و هوایی فصل رشد (آبان تا اردیبهشت) نشان داد که از نظر متغیرهای دمایی، اختلاف

جدول ۴- مقایسه میانگین متغیرهای آب و هوایی استان‌های گلستان، مازندران و اردبیل طی ماه‌های آبان تا اردیبهشت بین سه سال زراعی ۹۴-۹۵، ۹۵-۹۶ و ۹۶-۹۷

Table 4. Comparison of means of the weather variables of Golestan, Mazandaran and Ardabil provinces between November to May between three cropping years, 2015-16, 2016-17 and 2017-18

Variable <sup>†</sup>	ATM	MTM	ATX	XTX	AT	AHM	MHM	AHX	XHX	AH
2015-16	7.2	-3.2	17.7	38.5	12.4	59.7	16.4	94.4	100	77.4
2016-17	5.8	-8.2	16.7	37.2	11.2	57.9	10.8	93.1	100	75.9
2017-18	7.6	-3.6	18.3	36.4	12.9	59.1	13.8	93.2	100	76.5
P-value	0.0114	0.0079	0.1382	0.3525	0.0819	0.5751	0.2785	0.3820	-	0.4691

Table 4. continued

جدول ۴- ادامه

Variable	SP	XP	FD	RD	WD	HPD	VHPD	WDP	DD	SEV
2015-16	464.7	44.8	13.8	67.5	54.1	15.8	7.5	455.9	140.0	477.6
2016-17	301.2	40.5	33.3	56.0	40.6	10.0	3.4	290.5	152.4	483.6
2017-18	317.5	30.5	9.9	57.5	43.1	11.8	3.9	308.1	149.6	477.3
P-value	0.0071	0.2126	0.0068	0.0596	0.0201	0.1754	0.2153	0.0069	0.0497	0.9974

Table 4. continued

جدول ۴- ادامه

Variable	ASUN	AGDD	AHTR	ASHTR	AME	AHTU	NP80	NP70	NP65	NP60
2015-16	5.1	2634.7	1570.4	1360.4	917.4	13291.0	57.9	86.6	93.0	95.8
2016-17	5.0	2415.7	1495.7	1488.3	1010.6	12439.8	54.0	79.4	82.6	83.5
2017-18	4.8	2725.6	1525.9	1289.2	880.3	13268.1	55.3	77.4	83.4	85.8
P-value	0.3024	0.0459	0.5361	0.3968	0.5917	0.8782	0.6265	0.1910	0.1543	0.1235

<sup>†</sup>: The abbreviation of variables are presented in Table 2.

جدول ۵- مقایسه میانگین متغیرهای آب و هوایی بین هشت ایستگاه هواشناسی در استان‌های گلستان، مازندران و اردبیل طی ماه‌های

آبان تا اردیبهشت سال‌های زراعی ۹۵-۹۴، ۹۶-۹۵ و ۹۷-۹۶

Table 5. Comparison of means of the weather variables between eight meteorological stations in Golestan, Mazandaran and Ardabil provinces during November to May of cropping years 2015-16, 2016-17 and 2017-18

Variable <sup>†</sup>	ATM	MTM	ATX	XTX	AT	AHM	MHM	AHX	XHX	AH
Aliabad	7.7	-4.8	17.7	36.9	12.7	58.9	9.7	92.5	100	75.7
Gonbad	7.2	-6.1	19.3	40.6	13.3	53.6	12.7	93.6	100	73.6
Gorgan airport	6.6	-4.1	17.9	37.5	12.3	60.0	16.0	96.2	100	78.1
Hashem Abad	7.2	-3.2	17.9	38.0	12.6	61.8	20.3	90.5	100	76.2
Kalaleh	7.0	-6.4	18.9	40.4	13.0	54.0	10.3	91.9	100	72.9
Dashte Naz	7.4	-3.0	17.3	37.0	12.4	59.8	14.0	95.5	100	77.7
Pars Abad	4.2	-9.3	14.3	32.2	8.6	60.4	11.3	92.9	100	79.8
Gharakheil	7.5	-2.9	17.1	36.1	12.3	62.8	14.7	95.1	100	78.9
P-value	0.0093	0.4741	0.0001	0.0014	0.0003	0.0000	0.6868	0.0000	-	0.0000

Table 5. Continued

جدول ۵- ادامه

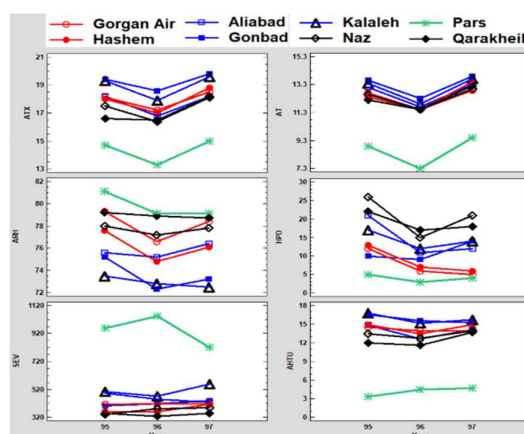
Variable	SP	XP	FD	RD	WD	HPD	VHPD	WDP	DD	SEV
Aliabad	459.7	35.8	6.3	75.0	56.7	14.7	3.7	448.2	132.7	457.5
Gonbad	335.9	31.5	16.0	58.0	43.3	11.0	1.3	326.4	151.7	421.0
Gorgan airport	327.6	41.0	24.7	61.0	44.3	7.7	3.3	316.4	145.7	416.0
Hashem Abad	335.5	48.4	15.0	60.3	44.3	8.7	2.7	325.6	147.3	377.5
Kalaleh	444.9	44.0	12.0	61.0	49.7	14.3	5.0	436.4	145.0	511.5
Dashte Naz	403.1	47.8	16.0	65.0	52.0	20.7	13.7	393.6	142.3	370.6
Pars Abad	160.9	16.4	49.0	40.7	27.0	4.0	0.0	151.3	166.3	940.8
Gharakheil	421.3	43.6	12.7	61.7	50.3	19.0	9.7	414.2	147.7	341.2
P-value	0.0358	0.2819	0.0425	0.0019	0.0121	0.0006	0.0012	0.0381	0.0031	0.0000

Table 5. Continued

جدول ۵- ادامه

Variable	ASUN	AGDD	AHTR	ASHTR	AME	AHTU	NP80	NP70	NP65	NP60
Aliabad	4.6	2684.6	1518.6	1647.0	1202.3	13834.9	63.3	94.3	101.7	105.7
Gonbad	5.3	2785.6	1420.1	1232.7	761.4	15770.5	45.3	77.7	85.3	88.0
Gorgan airport	5.1	2603.6	1502.5	1296.4	858.8	14124.9	62.0	90.0	93.0	93.7
Hashem Abad	5.0	2660.2	1434.7	1317.1	945.0	14424.9	54.0	82.3	90.0	91.7
Kalaleh	5.4	2730.6	1497.1	1135.7	710.3	15891.1	51.7	80.0	87.0	91.0
Dashte Naz	4.8	2625.7	1584.7	1304.7	864.4	13355.9	59.0	80.0	84.0	86.0
Pars Abad	4.0	2027.4	1673.0	1801.1	1265.8	4168.0	47.7	61.7	63.3	64.0
Gharakheil	4.5	2618.4	1673.5	1404.1	966.2	12427.1	62.7	83.0	86.3	86.7
P-value	0.0005	0.0011	0.0884	0.0941	0.0577	0.0000	0.0013	0.0007	0.0006	0.0006

<sup>†</sup>: The abbreviation of variables are presented in Table 2.



شکل ۱- تفاوت متغیرهای آب و هوایی بین هشت ایستگاه هواشناسی در استان‌های گلستان، مازندران و اردبیل طی ماه‌های آبان تا اردیبهشت سه سال زراعی ۹۵-۹۴، ۹۶-۹۵ و ۹۷-۹۶

Figure 1. Difference of weather variables between eight meteorological stations in Golestan, Mazandaran and Ardabil provinces during November to May of three cropping years 2015-16, 2016-17 and 2017-18

## ارتباط بیماری با متغیرهای آب و هوایی

مناطق اجرای تحقیق محاسبه و ارتباط این متغیرها با دو متغیر وابسته (EP1 و EP2) بر اساس ضریب همبستگی رتبه‌ای (اسپیرمن) محاسبه شد. موارد دارای ارتباط معنی‌دار آماری ( $P < 0.05$ ) برای مرحله بعدی انتخاب شدند (جدول‌های ۸ و ۹).

جمع‌بندی نتایج این آزمون مقدماتی نشان داد که بهترین ارتباط آماری معنی‌دار بر اساس متغیر EP1 در ماه آذر (با پنج متغیر دارای همبستگی معنی‌دار) و فروردین (با چهار متغیر دارای همبستگی معنی‌دار) وجود داشت. این نتایج بر اساس متغیر وابسته EP2 نیز نشان داد که قوی‌ترین همبستگی‌ها در ماه آبان (با پنج متغیر دارای همبستگی معنی‌دار) و فصل پاییز (با سه متغیر دارای همبستگی معنی‌دار) وجود داشت (جدول ۱۰).

برای رسیدن به مدل پیش‌آگاهی بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله گندم، در نخستین گام، وضعیت کلی بیماری طی سه سال پژوهش به تفکیک منطقه و رقم مشخص و بر اساس آن، سطح مقاومت ارقام مورد مطالعه تعیین شد (جدول ۶). با جمع‌بندی وضعیت بیماری در مزارع یادداشت‌برداری شده طی سه سال اجرای تحقیق، برای مدل‌سازی وضعیت بیماری، دو متغیر وابسته برای بیماری تعریف شد که بر اساس آن‌ها، بیماری به‌صورت دو سطح (صفر و یک به ترتیب عدم وجود و وجود بیماری) و سه سطح (صفر، یک و دو به ترتیب عدم وجود، شدت کم و شدت زیاد بیماری) بیان شد (جدول ۷). در مجموع، ۲۶ متغیر دوره‌ای برای ماه‌های آبان تا اردیبهشت سال‌ها و

جدول ۶- ویژگی‌های فنولوژیک و واکنش ارقام گندم به بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله طی سه سال ۹۴-۹۵، ۹۵-۹۶ و ۹۶-۹۷

Table 6. Phenological characteristics and reactions of wheat cultivars to Fusarium head blight (FHB) disease during three cropping years, 2015-16, 2016-17 and 2017-18

Province	Cultivar	Anthesis start day (days after Iranian year)	Anthesis duration (days)	EP2 <sup>†</sup>	Cultivar reaction <sup>‡</sup>
Golestan	Aftab	17	8.8	2	S
	Ehsan	26	7.7	1	VS
	Gonbad	21	6.6	1	MS
	Karim	18	9.3	2	S
	Kohdasht	20	8.3	0	R
	Line-17	17	8.5	2	S
	Morvarid	24	7.9	1	VS
	Qabos	18	8.3	0	R
	Tirgan	24	7.2	1	MS
Mazandaran	Ehsan	18	?	2	MS
	Gonbad	18	?	2	MS
	Morvarid	18	?	1	MS
Ardabil	Shiroodi	43	?	1	R
	Chamran	41	?	1	R
	Morvarid	45	?	0	MS
	Gonbad	46	?	0	MS

<sup>†</sup>: The numbers 0, 1, and 2 indicate no disease, normal disease and severe disease as epidemic outbreak, respectively.

<sup>‡</sup>: Cultivar reaction against pathogen: R, resistant; MS, moderately susceptible; S, susceptible; VS, very susceptible.

جدول ۷- اپیدمی بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله بر اساس دو متغیر EP1 و EP2 طی سه سال زراعی ۹۴-۹۵، ۹۵-۹۶ و ۹۶-۹۷

Table 7. Epidemic situation of Fusarium head blight (FHB) disease based on variables EP1 and EP2 during three cropping years 2015-16, 2016-17 and 2017-18

Variable	Year	Region							
		Aliabad	Gorgan airport	Gonbad	Hashem Abad	Kalaleh	Gharakheil	Dashte Naz	Pars Abad
EP1	2016	1	1	1	0	0	1	1	0
	2017	1	1	0	1	0	1	0	-
	2018	1	1	0	1	0	0	0	-
EP2	2016	2	2	1	0	0	2	1	0
	2017	2	2	0	1	0	1	0	-
	2018	1	1	0	1	0	0	0	-



جدول ۸- همبستگی اسپیرمن بین متغیرهای دوره‌ای با اپیدمی بیماری بادزدگی فوزاریومی (EP1) سنبله طی سه سال زراعی مورد مطالعه

Table 8. Spearman rank correlation between periodic variables and epidemic situation of Fusarium head blight disease (EP2) during three studied years (2015-16, 2016-17 and 2017-18)

Variable	Total	Fall	Winter	Spring	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May
ATM	0.16	0.09	0.06	0.47*	0.13	0.06	0.02	0.00	0.00	0.35	0.25
MTM	0.22	0.00	0.22	-0.05	0.00	0.00	-0.13	0.03	0.11	-0.05	0.38
ATX	-0.47*	-0.25	-0.44*	-0.54*	-0.28	-0.41	-0.32	-0.41	-0.44*	-0.60*	-0.25
XTX	-0.16	-0.16	-0.36	-0.16	-0.19	-0.35	-0.35	-0.25	-0.32	-0.28	-0.16
AT	-0.22	-0.16	-0.28	-0.38	-0.16	-0.19	-0.28	-0.25	-0.19	-0.22	-0.09
ARHM	0.54*	0.57*	0.35	0.44*	0.47*	0.60*	0.35	0.28	0.24	0.47*	0.32
MRHM	0.25	0.57*	0.16	0.38	0.44*	0.60*	0.54*	0.06	-0.03	0.19	0.44*
ARHX	0.22	0.50*	0.22	0.00	0.43	0.41	0.25	0.20	0.22	0.19	-0.03
XRHX	-	0.34	-	0.44*	0.45*	0.03	-0.52*	0.27	0.48*	0.44*	0.09
ARH	0.60*	0.66*	0.35	0.35	0.50*	0.63*	0.32	0.35	0.28	0.54*	0.25
SP	-0.25	0.13	-0.38	-0.28	0.09	0.16	-0.22	-0.36	-0.13	-0.16	-0.46*
XP	0.17	-0.09	-0.03	-0.28	-0.09	0.14	0.06	-0.38	-0.32	-0.38	-0.47*
FD	0.11	0.06	0.05	-	-	0.06	0.13	0.05	0.02	-	-
RD	0.06	0.35	-0.06	0.24	0.21	0.13	-0.19	0.21	-0.05	0.11	0.39
WD	0.08	0.35	-0.08	-0.02	0.16	0.36	-0.23	-0.03	0.10	-0.03	0.05
HPD	-0.52*	0.08	-0.53*	-0.58*	0.24	-0.12	-0.28	-0.52*	-0.21	-0.44	-0.44*
VHPD	-0.11	0.32	-0.21	-0.12	0.03	0.41	0.04	-0.50*	0.00	-0.17	-0.12
WDP	-0.22	0.13	-0.38	-0.28	0.09	0.16	-0.22	-0.38	-0.09	-0.16	-0.54*
DD	-0.14	-0.36	-0.03	-0.35	-0.22	-0.18	0.08	-0.14	0.05	-0.08	-0.40
SEV	-0.35	-0.28	-0.35	0.06	-0.13	-0.47*	-0.47*	-0.41	0.03	0.16	0.00
ASUN	-0.44*	-0.32	-0.35	-0.35	-0.28	-0.57*	-0.32	-0.22	-0.16	-0.47*	-0.19
AGDD	-0.28	-0.25	-0.25	-0.16	-0.16	-0.22	-0.25	-0.22	-0.38	-0.28	-0.03
AHTR	0.06	0.03	0.22	0.35	0.32	0.06	0.32	0.06	0.41	0.38	0.28
ASHTR	0.60*	0.41	0.54*	0.41	0.35	0.44*	0.32	0.41	0.35	0.54	0.35
AME	0.63*	0.38	0.57*	0.41	0.28	0.38	0.35	0.47*	0.22	0.54*	0.35
AHTU	-0.44*	-0.38	-0.41	-0.32	-0.25	-0.63*	-0.41	-0.32	-0.25	-0.47*	-0.16

\*: Significant correlation. The abbreviation of variables are presented in Table 2.

جدول ۹- همبستگی اسپیرمن بین متغیرهای دوره‌ای با اپیدمی بیماری بادزدگی فوزاریومی (EP2) سنبله طی سه سال زراعی مورد مطالعه

Table 9. Spearman rank correlation between periodic variables and epidemic situation of Fusarium head blight disease (EP2) during three studied years (2015-16, 2016-17 and 2017-18)

Variable	Total	Fall	Winter	Spring	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May
ATM	0.02	-0.09	-0.06	0.43	-0.12	-0.08	-0.08	-0.15	-0.07	0.20	0.37
MTM	0.15	-0.12	0.28	-0.13	-0.19	-0.12	-0.14	0.18	0.00	-0.13	0.15
ATX	-0.48*	-0.44*	-0.41	-0.59*	-0.50*	-0.56*	-0.29	-0.43	-0.51*	-0.69*	-0.17
XTX	-0.17	-0.33	-0.48*	-0.17	-0.40	-0.37	-0.24	-0.17	-0.44*	-0.39	-0.17
AT	-0.30	-0.33	-0.36	-0.34	-0.40	-0.31	-0.31	-0.37	-0.33	-0.37	0.04
ARHM	0.42	0.51*	0.16	0.53*	0.60*	0.45*	0.18	0.09	0.13	0.45*	0.47*
MRHM	0.05	0.51*	-0.03	0.56*	0.50*	0.55*	0.43	-0.16	0.16	0.28	0.60*
ARHX	0.28	0.62*	0.25	0.17	0.58*	0.45*	0.25	0.26	0.27	0.21	0.20
XRHX	-	0.42	-	0.54*	0.51*	0.15	-0.53*	0.33	0.43	0.54*	0.31
ARH	0.53*	0.71*	0.23	0.57*	0.71*	0.50*	0.19	0.21	0.24	0.54*	0.53*
SP	-0.12	0.22	-0.23	-0.05	0.23	-0.02	-0.30	-0.15	0.04	0.07	-0.37
XP	0.10	-0.01	-0.09	-0.10	0.01	-0.06	-0.08	-0.11	-0.11	-0.17	-0.45*
FD	0.16	0.18	0.05	-	-	0.18	0.12	0.09	0.19	-	-
RD	0.18	0.51*	-0.09	0.43	0.36	0.10	-0.27	0.24	-0.05	0.34	0.54*
WD	0.14	0.50*	-0.13	0.15	0.31	0.33	-0.30	-0.05	0.05	0.20	0.09
HPD	-0.37	0.17	-0.32	-0.39	0.39	-0.16	-0.31	-0.26	0.05	-0.26	-0.37
VHPD	-0.04	0.44*	-0.17	0.11	0.28	0.12	-0.07	-0.31	0.10	0.05	-0.09
WDP	-0.11	0.22	-0.23	-0.05	0.23	0.00	-0.30	-0.17	0.06	0.05	-0.44*
DD	-0.18	-0.53*	0.01	-0.52*	-0.38	-0.20	0.15	-0.19	0.07	-0.28	-0.52*
SEV	-0.09	-0.22	-0.14	0.25	-0.15	-0.33	-0.37	-0.34	0.16	0.14	0.26
ASUN	-0.33	-0.52*	-0.20	-0.26	-0.46*	-0.70*	-0.21	-0.10	-0.02	-0.38	-0.07
AGDD	-0.43	-0.44*	-0.30	-0.14	-0.40	-0.39	-0.25	-0.35	-0.44*	-0.41	0.08
AHTR	0.04	0.04	0.20	0.47*	0.57*	0.01	0.28	0.06	0.48*	0.49*	0.41
ASHTR	0.65*	0.55*	0.54*	0.56*	0.61*	0.57*	0.24	0.41	0.45*	0.66*	0.45*
AME	0.59*	0.51*	0.41	0.48*	0.48*	0.46*	0.18	0.40	0.15	0.61*	0.45*
AHTU	-0.34	-0.59*	-0.27	-0.24	-0.44*	-0.74*	-0.25	-0.26	-0.12	-0.43	-0.05

\*: Significant correlation. The abbreviation of variables are presented in Table 2.

جدول ۱۰- همبستگی اسپیرمن بین متغیرهای دوره‌ای با وضعیت اپیدمی بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله طی ماه‌های سه سال زراعی ۹۵-۹۶، ۹۶-۹۷ و ۹۶-۹۷

Table 10. Spearman rank correlation between periodic variables and epidemic situation of Fusarium head blight (FHB) disease during the months of three cropping years, 2015-16, 2016-17 and 2017-18

Time period	Total	Fall	Winter	Spring	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May
EP1	0.28	0.28	0.26	0.28	0.23	0.30	0.27	0.26	0.19	0.30	0.25
EP2	0.32	0.30	0.24	0.32	0.22	0.38	0.29	0.24	0.20	0.37	0.22

گلهی هفت تا ده روز در نظر گرفته شد. سپس دو تا سه پنجره هفت یا ده روزه، قبل و بعد از گلهی مشخص شدند و پس از محاسبه متغیرهای آب و هوایی در این پنجره‌ها، همبستگی این متغیرها با دو متغیر EP1 و EP2 مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس، چهارده پنجره زمانی تعریف شد که در جدول ۱۱ ارائه شده است.

با توجه به همبستگی نسبتاً ضعیف متغیرهای آب و هوایی به تفکیک ماه‌ها و فصل‌های دوره رشد گندم با متغیرهای مربوط به اپیدمی بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله گندم (EP1 و EP2)، بر اساس نتایج سایر پژوهش‌ها، دوره گلهی گندم به‌عنوان مبنای مدل‌سازی در نظر گرفته شد. بدین ترتیب که بر اساس نتایج به‌دست آمده از همین تحقیق (نتایج ارائه نشده است)، طول دوره

جدول ۱۱- پنجره‌های زمانی تعریف‌شده برای مطالعه روابط میان متغیرهای آب و هوایی و وضعیت اپیدمی بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله در استان گلستان

Table 11. Time windows defined for studying the relationships between weather variables and epidemic situation of Fusarium head blight (FHB) disease in Golestan province

No.	Name	Length (days)	Start	Time
1	AW7	7	0	Anthesis
2	A7	7	+1	After the anthesis
3	A14	7	+8	After the anthesis
4	A21	7	+15	After the anthesis
5	B7	7	-1	Before the anthesis
6	B14	7	-8	Before the anthesis
7	B21	7	-15	Before the anthesis
8	AW10	10	0	Anthesis
9	A10	10	+1	After the anthesis
10	A20	10	+11	After the anthesis
11	A020	20	+1	After the anthesis
12	B10	10	-1	Before the anthesis
13	B20	10	-11	Before the anthesis
14	B020	20	-1	Before the anthesis

متغیر EP2 در پنجره‌های زمانی B020، A020، B10، A20 و B7 مشاهده شد (جدول ۱۴). میانگین و بیشینه ضرایب همبستگی ۱۴ پنجره زمانی مشخص کرد که متغیرهای آب و هوایی، همبستگی قوی‌تری با EP2 نسبت به EP1 دارند. با توجه به این نکته که پنجره‌هایی که با حرف A شروع می‌شوند، مربوط به بعد از گلهی هستند و برای ساختن مدل پیش‌آگاهی قابل استفاده نیستند، بنابراین پنجره‌های مربوط به قبل از دوره گلهی برای یافتن متغیرهای پیشگو مورد بررسی قرار گرفتند.

در ادامه، ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن ۳۰ متغیر آب و هوایی، شامل ۲۶ متغیر قبلی و چهار متغیر جدید تعریف‌شده بر اساس نمرات دو روزه بارش و رطوبت نسبی مشتق‌شده از موشینی و همکاران (Moschini *et al.*, 2001) با دو متغیر وابسته EP1 و EP2 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تجزیه و تحلیل آماری در جدول‌های ۱۲ و ۱۳ ارائه شده است. جمع‌بندی نتایج این آزمون نشان داد که بالاترین همبستگی‌های معنی‌دار بر اساس متغیر EP1 در پنجره‌های زمانی B020، B7، B10، A20 و بر اساس

جدول ۱۲- همبستگی اسپیرمن بین متغیرهای دوره‌ای با وضعیت اپیدمی بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله (EP1) طی سه سال زراعی

۹۴-۹۵، ۹۵-۹۶ و ۹۶-۹۷ برای پنجره‌های زمانی مختلف

Table 12. Spearman rank correlation between periodic variables and epidemic situation of Fusarium head blight disease (EP1) during three cropping years, 2015-16, 2016-17 and 2017-18 for different time windows

Variable	AW10	B10	B20	A10	A20	B020	A020	AW7	A7	A14	A21	B7	B14	B21
ATM	0.28	-0.41	0.03	-0.33	0.16	-0.44*	-0.03	0.06	0.13	-0.30	0.06	-0.47*	0.25	-0.25
MTM	0.09	-0.36	-0.32	-0.02	0.22	-0.35	0.03	0.03	0.03	-0.22	0.08	-0.44*	0.06	-0.35
ATX	-0.16	-0.55*	-0.19	-0.19	-0.50*	-0.76*	-0.28	0.19	-0.16	-0.19	-0.47*	-0.38	-0.57*	-0.17
XTX	-0.03	-0.60*	-0.43	0.02	-0.77*	-0.63*	-0.76*	-0.36	0.09	-0.19	-0.19	-0.16	-0.60*	-0.38
AT	0.03	-0.60*	-0.06	-0.13	-0.25	-0.72*	-0.19	0.20	-0.09	-0.13	-0.25	-0.58*	-0.54*	-0.09
ARHM	0.17	0.13	0.25	0.00	0.43	0.35	0.54*	-0.03	-0.05	0.24	0.28	-0.13	0.38	0.06
MRHM	0.13	-0.25	0.46*	0.30	0.66*	0.28	0.46*	0.30	-0.05	0.05	0.35	-0.38	0.28	0.47*
ARHX	0.16	0.65*	0.16	0.22	0.63*	0.25	0.44*	0.33	-0.05	0.28	0.50*	0.40	0.22	0.16
XRHX	0.07	0.53*	0.07	0.36	0.36	0.44*	0.44*	-0.02	0.02	0.36	0.37	0.57*	0.36	0.27
ARH	0.25	0.32	0.28	0.05	0.57*	0.44*	0.79*	0.02	0.06	0.22	0.44*	-0.02	0.41	0.06
SP	-0.22	0.16	0.28	0.09	0.52*	0.36	0.33	-0.76*	0.66*	0.09	0.59*	0.44*	0.19	0.19
XP	-0.22	-0.16	0.35	0.03	0.27	0.13	0.11	-0.76*	0.57*	0.06	0.52*	0.33	-0.08	0.32
RD	-0.02	0.71	0.23	0.27	0.59*	0.61*	0.82*	-0.53*	0.52*	0.20	0.50*	0.73*	0.49*	0.11
WD	0.12	0.29	0.06	0.17	0.60*	0.24	0.84*	-0.65*	0.41	0.10	0.54*	0.40	0.20	0.11
HPD	-0.26	-0.27	0.25	-0.48*	0.22	0.03	-0.27	-0.60*	0.41	-0.48*	0.22	-	-0.12	0.22
VHPD	-0.14	-	0.07	-	-	0.07	-	-0.58*	0.41	-	-	-	-	0.07
WDP	-0.25	0.06	0.27	0.00	0.52*	0.33	0.28	-0.76*	0.63*	0.05	0.55*	0.37	0.16	0.19
DD	0.05	-0.52*	-0.27	-0.03	-0.65*	-0.56*	-0.74*	0.59*	-0.56*	-0.10	-0.55*	-0.54*	-0.42	-0.08
SEV	0.08	-0.50*	-0.46*	-0.09	-0.35	-0.43	-0.25	0.44*	0.22	-0.06	-0.28	-0.25	-0.38	-0.28
ASUN	-0.19	0.00	-0.57*	0.25	-0.38	-0.16	0.09	0.32	0.30	-0.19	-0.16	0.20	-0.44*	-0.05
AGDD	-0.03	-0.60*	-0.06	-0.19	-0.06	-0.66*	-0.14	0.28	-0.09	-0.13	-0.22	-0.58*	-0.32	-0.09
AHTR	0.09	0.60*	0.09	0.22	0.55*	0.66*	0.41	-0.32	0.09	0.16	0.47*	0.60*	0.50*	0.03
ASHTR	0.03	0.60*	0.13	0.19	0.60*	0.80*	0.38	-0.28	0.09	0.13	0.44*	0.60*	0.50*	0.16
AME	0.16	0.54*	0.09	0.19	0.44*	0.60*	0.41	-0.28	0.00	0.19	0.32	0.47*	0.44*	0.03
AHTU	-0.35	-0.19	-0.50*	-0.16	-0.47*	-0.44*	-0.13	0.32	0.22	-0.16	-0.22	-0.19	-0.41	-0.19
NP80	-0.25	0.59*	0.36	0.27	0.27	0.71*	0.74*	-0.44*	0.21	0.52*	0.44*	0.46*	0.57*	0.00
NP70	-0.10	0.74*	0.33	0.24	0.24	0.60*	0.83*	-0.59*	0.45*	0.20	0.53*	0.73*	0.22	0.21
NP65	-0.43	0.72*	0.47*	0.30	0.30	0.61*	0.83*	-0.59*	0.30	0.20	0.50*	0.72*	0.16	0.36
NP60	-0.43	0.73*	0.17	0.39	0.39	0.54*	0.82*	-0.59*	0.45*	0.20	0.50*	0.73*	0.16	0.07

\*: Significant correlation. The abbreviation of variables are presented in Table 2.

جدول ۱۳- همبستگی اسپیرمن بین متغیرهای دوره‌ای با وضعیت اپیدمی بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله (EP2) طی سه سال زراعی

۹۴-۹۵، ۹۵-۹۶ و ۹۶-۹۷ برای پنجره‌های زمانی مختلف

Table 13. Spearman rank correlation between periodic variables and epidemic situation of Fusarium head blight disease (EP2) during three cropping years, 2015-16, 2016-17 and 2017-18 for different time windows

Variable	AW10	B10	B20	A10	A20	B020	A020	AW7	A7	A14	A21	B7	B14	B21
ATM	0.46*	-0.63*	-0.06	-0.49*	0.12	-0.65*	-0.11	0.14	0.07	-0.26	0.01	-0.67*	0.29	-0.51*
MTM	0.22	-0.57*	-0.43	-0.04	0.23	-0.45*	-0.01	0.12	-0.01	-0.25	0.07	-0.62*	0.13	-0.42
ATX	0.03	-0.62*	-0.21	-0.07	-0.68*	-0.88*	-0.29	0.25	-0.12	-0.09	-0.59*	-0.47*	-0.65*	-0.15
XTX	0.06	-0.69*	-0.52*	0.24	-0.89*	-0.76*	-0.73*	-0.45*	0.18	-0.03	-0.23	-0.17	-0.61*	-0.36
AT	0.21	-0.77*	-0.09	-0.12	-0.37	-0.86*	-0.18	0.24	-0.08	-0.08	-0.36	-0.75*	-0.54*	-0.11
ARHM	0.15	0.08	0.29	-0.18	0.66*	0.38	0.57*	0.05	-0.16	0.15	0.46*	-0.19	0.40	0.08
MRHM	0.15	-0.35	0.51*	0.28	0.75*	0.29	0.57*	0.39	-0.06	-0.08	0.46*	-0.55*	0.30	0.49*
ARHX	0.23	0.62*	0.00	0.13	0.67*	0.08	0.45*	0.21	-0.19	0.29	0.57*	0.31	0.10	0.04
XRHX	0.21	0.54*	0.11	0.37	0.52*	0.54*	0.55*	0.17	-0.04	0.38	0.53*	0.66*	0.35	0.37
ARH	0.27	0.29	0.21	-0.11	0.75*	0.37	0.85*	0.10	-0.15	0.11	0.60*	0.00	0.38	0.04
SP	-0.11	0.38	0.41	0.03	0.69*	0.59*	0.47*	-0.88*	0.81*	0.03	0.74*	0.65*	0.33	0.28
XP	-0.06	-0.04	0.52*	-0.01	0.50*	0.34	0.18	-0.88*	0.74*	0.01	0.69*	0.53*	0.03	0.51*
RD	-0.06	0.83*	0.35	0.07	0.70*	0.78*	0.76*	-0.68*	0.42	0.02	0.65*	0.90*	0.60*	0.15
WD	-0.10	0.56*	0.18	0.04	0.73*	0.50*	0.85*	-0.80*	0.40	-0.01	0.68*	0.64*	0.43	0.16
HPD	-0.17	-0.14	0.37	-0.43	0.36	0.22	-0.14	-0.67*	0.67*	-0.43	0.36	-	0.07	0.31
VHPD	0.08	-	0.27	-	-	0.27	-	-0.59*	0.67*	-	-	-	-	0.27

جدول ۱۳- ادامه

Table 13. Continued

WDP	-0.17	0.33	0.38	-0.03	0.69*	0.56*	0.39	-0.88*	0.80*	0.00	0.71*	0.62*	0.31	0.28
DD	0.12	-0.69*	-0.42	0.16	-0.71*	-0.74*	-0.66*	0.71*	-0.53*	0.08	-0.64*	-0.76*	-0.54*	-0.14
SEV	0.33	-0.61*	-0.57*	0.02	-0.45*	-0.66*	-0.30	0.34	0.03	0.11	-0.48*	-0.32	-0.54*	-0.38
ASUN	-0.21	0.10	-0.70*	0.47*	-0.52*	-0.07	0.30	0.47*	0.54*	-0.06	-0.24	0.41	-0.65*	0.11
AGDD	0.15	-0.77*	-0.08	-0.18	-0.11	-0.81*	-0.14	0.36	-0.08	-0.08	-0.33	-0.75*	-0.38	-0.10
AHTR	-0.11	0.72*	0.10	0.15	0.74*	0.81*	0.46*	-0.41	0.01	0.09	0.64*	0.74*	0.52*	0.06
ASHTR	-0.17	0.65*	0.12	0.07	0.76*	0.86*	0.36	-0.41	-0.04	0.05	0.62*	0.64*	0.54*	0.14
AME	-0.02	0.59*	0.10	0.04	0.62*	0.70*	0.48*	-0.36	-0.22	0.11	0.47*	0.57*	0.46*	0.06
AHTU	-0.21	-0.13	-0.69*	0.00	-0.64*	-0.50*	-0.05	0.43	0.40	-0.07	-0.32	-0.13	-0.63*	-0.14
NP80	-0.38	0.64*	0.41	0.19	0.19	0.79*	0.79*	-0.61*	0.04	0.48*	0.67*	0.50*	0.63*	0.00
NP70	-0.25	0.86*	0.49*	0.05	0.05	0.76*	0.79*	-0.75*	0.18	0.06	0.70*	0.87*	0.26	0.34
NP65	-0.54*	0.87*	0.58*	0.09	0.09	0.77*	0.76*	-0.75*	0.04	0.06	0.66*	0.87*	0.21	0.44*
NP60	-0.54*	0.89*	0.29	0.26	0.26	0.74*	0.79*	-0.75*	0.29	0.06	0.66*	0.89*	0.21	0.15

\*: Significant correlation. The abbreviation of variables are presented in Table 2.

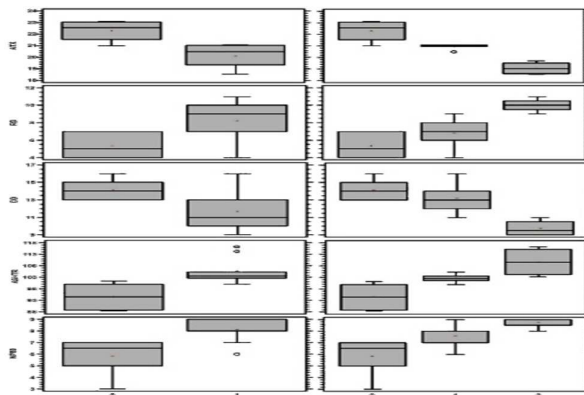
جدول ۱۴- همبستگی اسپیرمن ۳۰ متغیر دوره‌ای با وضعیت اپیدمی بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله طی سه سال زراعی ۹۵-۹۴، ۹۵-۹۶ و ۹۶-۹۷ برای پنجره‌های زمانی مختلف

Table 14. Spearman rank correlation of 30 periodic variables with epidemic situation of Fusarium head blight (FHB) disease during three cropping years, 2015-16, 2016-17 and 2017-18 for different time windows

Time window	AW7	A7	A14	A21	B7	B14	B21	AW10	A10	A20	A020	B10	B20	B020
EP1	0.39	0.25	0.19	0.36	0.41	0.33	0.17	0.17	0.18	0.41	0.43	0.43	0.25	0.46
EP2	0.48	0.28	0.12	0.49	0.52	0.38	0.23	0.20	0.15	0.50	0.45	0.52	0.33	0.58

جعبه‌ای آنها ترسیم شد. بررسی این نمودارها نشان داد که هر پنج متغیر پیشگوی منتخب توانستند سطوح مختلف متغیرهای وابسته (EP1 و EP2) را بر اساس داده‌های آب و هوایی پنجره زمانی B020 به‌خوبی از یکدیگر تفکیک کنند (شکل ۲). برای تعیین دقیق‌تر قدرت تفکیک این پنج متغیر و تعیین کارایی آنها در پیش‌بینی بیماری، تجزیه رگرسیون لجستیک و تابع تشخیص برای متغیرها به‌صورت مستقل، دوتایی و سه‌تایی انجام و نتایج به‌دست آمده در جدول ۱۵ ارائه شد.

با بررسی متغیرهای دارای قوی‌ترین ارتباط آماری با متغیرهای EP1 و EP2 در پنجره‌های زمانی منتخب، در هر پنجره تا شش متغیر انتخاب شد. بر این اساس، بهترین پنجره زمانی برای پیش‌آگاهی بیماری، B020 (۲۰ روز قبل از گلدهی) بود و متغیرهای ATX، RD، DD، ASHTR و NP80 نیز بالاترین همبستگی را با بیماری داشتند. برای تعیین ارزش‌های این پنج متغیر در سطوح مختلف متغیرهای وابسته و مشخص کردن قدرت تفکیک سطوح متغیرهای وابسته (وقوع یا عدم وقوع بیماری)، نمودارهای



شکل ۲- نمودارهای جعبه‌ای متغیرهای پیشگوی اپیدمی بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله گندم (NP80 و ASHTR, DD, RD, ATX) بر اساس پنجره زمانی B020 (۲۰ روز قبل از گلدهی) برای متغیرهای وابسته EP1 و EP2 طی سه سال ۹۵-۹۴ و ۹۶-۹۷

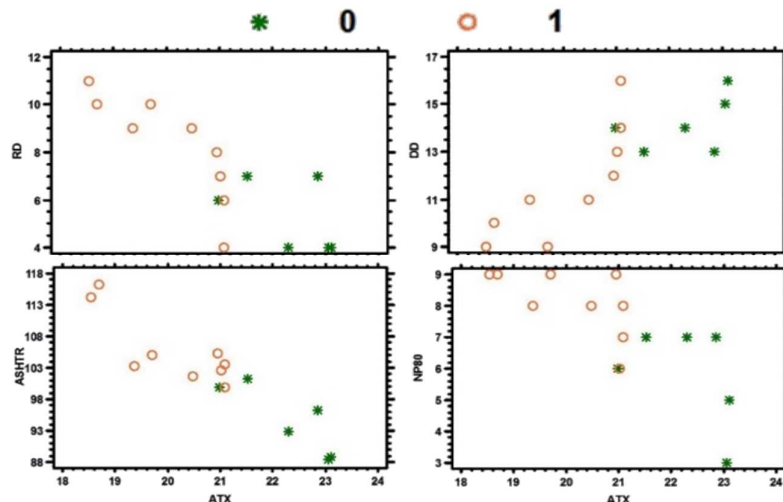
Figure 2. Box plots for predictor variables of Fusarium head blight (FHB) epidemic (ATX, RD, DD, ASHTR and NP80) based on time window B020 (20 days before anthesis) for dependent variables EP1 and EP2 during three cropping years, 2015-16, 2016-17 and 2017-18

جدول ۱۵- پارامترها و آماره‌های رگرسیون لجستیک و تابع تشخیص برای پنج متغیر پیشگوی اپیدمی بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله بر اساس پنجره زمانی B020 (۲۰ روز قبل از گلدهی) برای متغیرهای وابسته EP1 و EP2 طی سال‌های زراعی ۹۴-۹۵، ۹۵-۹۶ و ۹۶-۹۷  
Table 15. Parameters and statistics of logistic regression and discriminant analysis for five predictor variables of Fusarium head blight (FHB) epidemic based on time window B020 (20 days before anthesis) for dependent variables EP1 and EP2 during three cropping years, 2015-16, 2016-17 and 2017-18

	Logistic regression			Discriminant analysis					
	EP1			EP1			EP2		
	P-value	Correct (%)	Adjusted	P-value	Can. Cor.	Correct (%)	P-value	Can. Cor.	Correct (%)
ATX	0.0001	71.2	51.4	0.0010	0.76	93.3	0.0000	0.91	86.7
RD	0.0109	32.1	12.3	0.0160	0.61	73.3	0.0018	0.81	66.7
DD	0.0203	26.7	6.9	0.0323	0.55	80.0	0.0014	0.82	66.7
ASHTR	0.0002	69.3	49.5	0.0022	0.73	86.7	0.0016	0.81	73.3
NP80	0.0023	45.9	26.1	0.0054	0.68	73.3	0.0101	0.73	60.0
ATX+RD	0.0007	71.3	41.6	0.0050	0.77	93.3	0.0003	0.91	86.7
ATX+DD	0.0007	71.3	41.6	0.0044	0.77	93.3	0.0002	0.92	86.7
ATX+ASTHR	0.0003	80.8	51.1	0.0051	0.76	93.3	0.0002	0.92	86.7
ATX+NP80	0.0002	83.2	53.5	0.0039	0.78	93.3	0.0003	0.91	86.7
RD+DD	0.0317	34.2	4.5	0.0499	0.63	73.3	0.0063	0.82	66.7
RD+ASTHR	0.0006	73.7	44.0	0.0111	0.73	86.7	0.0038	0.84	80.0
RD+NP80	0.0084	47.4	17.7	0.0195	0.69	73.3	0.0061	0.82	66.7
DD+ASTHR	0.0006	73.7	44.0	0.0110	0.73	93.3	0.0018	0.85	80.0
DD+NP80	0.0097	46.0	16.2	0.0231	0.68	73.3	0.0032	0.82	66.7
NP80+ASTHR	0.0006	72.8	43.1	0.0084	0.74	86.7	0.0118	0.82	80.0
ATX+ASTHR+NP80	0.0002	100.0	60.4	0.0138	0.78	93.3	0.0013	0.92	86.7

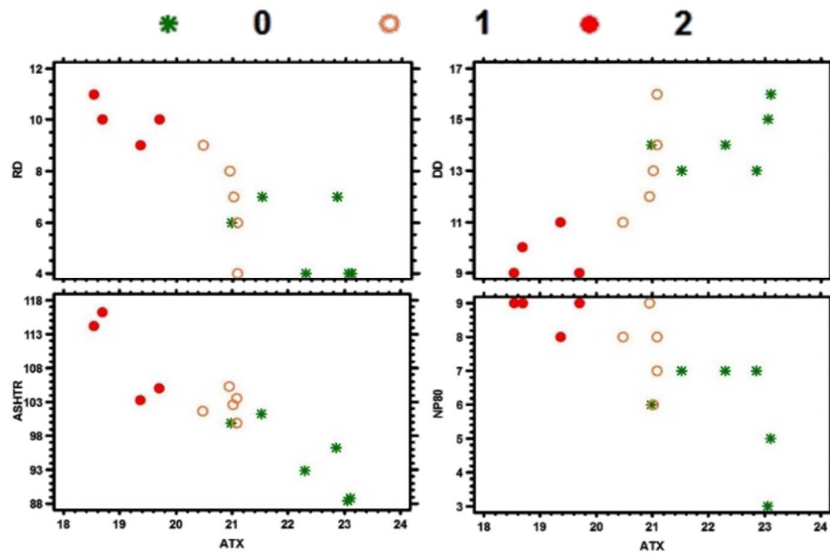
نمودارهای توزیع دوبعدی این پنج متغیر به صورت ترکیب‌های دوتایی در پیش‌بینی سطح متغیرهای وابسته (EP1 و EP2) در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. با نگاهی به این نمودارها، قدرت تفکیک سطوح مختلف بیماری (بر اساس EP1 و EP2) با استفاده از ترکیب‌های دوتایی متغیرهای پیشگو کاملاً آشکار است.

نتایج این دو آزمون آماری نشان داد که از میان پنج متغیر پیشگوی منتخب، بالاترین قدرت پیش‌بینی به ترتیب به ATX و ASHTR تعلق داشت و سه متغیر پیشگوی دیگر از قدرت تفکیک کم‌تری برخوردار بودند. قرار گرفتن متغیرها در کنار متغیر ATX اندکی کارایی پیش‌بینی مدل را افزایش داد، ولی ترکیب سه‌تایی متغیرهای برتر نتوانست بهبود چشمگیری در قدرت پیش‌بینی مدل ایجاد کند.



شکل ۳- توزیع دوبعدی متغیرهای پیشگوی اپیدمی بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله گندم بر اساس پنجره زمانی B020 (۲۰ روز قبل از گلدهی) برای متغیر وابسته EP1 طی سال‌های زراعی ۹۴-۹۵، ۹۵-۹۶ و ۹۶-۹۷

Figure 3. Two dimensional scatterplots of the best predictor variables for modeling Fusarium head blight (FHB) epidemics based on time window B020 (20 days before anthesis) for dependent variable EP1 during three cropping years, 2015-16, 2016-17 and 2017-18



شکل ۴- توزیع دوبعدی برای متغیرهای پیشگوی اپیدمی بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله گندم بر اساس پنجره زمانی B020 (۲۰ روز قبل از گلدهی) برای متغیر وابسته EP2 طی سال‌های زراعی ۹۵-۹۶، ۹۴-۹۵ و ۹۵-۹۶

Figure 4. Two dimensional scatterplots of the best predictor variables for modeling Fusarium head blight (FHB) epidemics based on time window B020 (20 days before anthesis) for dependent variable EP2 during three cropping years, 2015-16, 2016-17 and 2017-18

به این ترتیب، بر اساس آماره‌ها می‌توان مدل سوم (با سه متغیر) را به‌عنوان مدل برتر انتخاب کرد، اما با توجه به اینکه در مدل‌سازی باید به معیارهای دیگری نظیر سادگی مدل نیز توجه داشت، بنابراین مدل‌های یک و دو قابل پیشنهاد هستند که با در نظر گرفتن نقش باران و رطوبت نسبی در رشد و نمو قارچ بیمارگر و مراحل مختلف بیماری‌زایی (De Wolf *et al.*, 2003)، مدل دوم را می‌توان به‌عنوان مدل نهایی معرفی کرد.

معادله توابع ساخته‌شده با استفاده از این دو روش آماری برای متغیرهای پیشگو بر اساس داده‌های پنجره زمانی B020 در جدول ۱۶ ارائه شده است. با استفاده از این معادله‌ها و جای‌گذاری اعداد مربوط به متغیرهای سال‌های مختلف، می‌توان کارایی پیش‌بینی مدل‌های ساخته‌شده را مورد آزمون قرار داد. برای این منظور، بعد از جای‌گذاری متغیرها، عدد مربوط به EP1 (که بین صفر و یک می‌باشد) درصد وقوع بیماری را نشان می‌دهد و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر احتمال قوی‌تر بروز بیماری خواهد بود. برای EP2 نیز اعداد نزدیک به یک، بیانگر وقوع بیماری به‌صورت غیر طغیانی و اعداد بزرگ‌تر از یک و نزدیک به دو، بیانگر احتمال وقوع بیماری به صورت طغیانی خواهند بود.

در مجموع نتایج مقایسه آماری این پنج متغیر پیشگو به‌صورت مستقل و نیز ترکیبی نشان داد که بهترین متغیر پیشگو به‌صورت مستقل، ATX (میانگین دمای بیشینه) بود که بر اساس نتایج رگرسیون لجستیک، ضریب تبیین مدل‌های ساخته‌شده با این متغیر ۵۱/۴ درصد و بر اساس نتایج تابع تشخیص، کارایی پیش‌بینی بر اساس EP1 و EP2 به ترتیب ۹۳/۳ و ۸۶/۷ درصد بود. همچنین، بهترین ترکیب دوتایی از متغیرهای پیشگو، با استفاده از متغیرهای ATX و NP80 (تعداد روزهای بارانی با رطوبت نسبی بالاتر از ۸۰ درصد) به‌دست آمد، به‌طوری که ضریب تبیین مدل‌های ساخته‌شده با این متغیرها در تجزیه رگرسیون لجستیک ۵۳/۵ درصد و کارایی پیش‌بینی مدل برای EP1 و EP2 بر اساس تجزیه تابع تشخیص به ترتیب ۹۳/۳ و ۸۶/۷ درصد بود. در انتها با ترکیب سه متغیر دارای بالاترین کارایی پیش‌بینی (ATX، NP80 و ASHTR) یعنی میانگین نسبت ویژه دمایی مرطوب، مدلی به‌دست آمد که کارایی پیش‌بینی آن اندکی بهتر شد، به‌طوری که ضریب تبیین مدل رگرسیون لجستیک بر اساس این سه متغیر ۶۰/۴ درصد شد، اما بر اساس نتایج تابع تشخیص، کارایی پیش‌بینی مدل همان مقادیر قبلی یعنی ۹۳/۳ و ۸۶/۷ درصد به ترتیب برای EP1 و EP2 به‌دست آمد.

جدول ۱۶- معادله‌های رگرسیون لجستیک و تابع تشخیص سه متغیر پیشگوی اپیدمی بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله گندم بر اساس پنجره زمانی B020 (۲۰ روز قبل از گلدهی) برای متغیرهای وابسته EP1 و EP2 طی سال‌های زراعی ۹۵-۹۶، ۹۴-۹۵، ۹۶-۹۷ و ۹۵-۹۶

Table 16. Equations of the logistic regression and discriminant analysis of three predictor variables of *Fusarium head blight* (FHB) disease based on time window B020 (20 days before anthesis) for dependent variables EP1 and EP2 during three cropping years, 2015-16, 2016-17 and 2017-18

Model	Disease variable	Method	Equation
1	EP1	Logistic regression†	$\eta = 150.914 - 7.11535 * ATX$
	EP1	Discriminant analysis	$-256.437 + 22.9306 * ATX$
	EP2	Discriminant analysis	$-596.799 + 53.4121 * ATX$
2	EP1	Logistic regression	$\eta = 282.31 - 14.7161 * ATX + 4.46664 * NP80$
	EP1	Discriminant analysis	$-440.137 + 34.8524 * ATX + 17.3959 * NP80$
	EP2	Discriminant analysis	$-2364.91 + 120.005 * ATX - 11.211 * NP80 + 22.3867 * ASHTR$
3	EP1	Logistic regression	$\eta = 363.384 - 52.7417 * ATX + 19.9715 * NP80 + 6.17046 * ASHTR$
	EP1	Discriminant analysis	$-804.68 + 67.3896 * ATX + 17.8253 * NP80$
	EP2	Discriminant analysis	$-3526.13 + 204.619 * ATX - 15.2806 * NP80 + 27.2294 * ASHTR$

†:  $EP1 = \exp(\eta) / (1 + \exp(\eta))$

### نتیجه‌گیری کلی

بیماری بادزدگی فوزاریومی سنبله یکی از مهم‌ترین بیماری‌های گندم است که خسارت کمی و کیفی به محصول وارد می‌کند. با توجه به چرخه بیماری، علایم بیماری در زمانی ظاهر می‌شود (بعد از گلدهی) که فرصت کنترل بیماری به پایان رسیده و سمپاشی در این مرحله، تاثیری در کاهش خسارت بیماری نخواهد داشت. بنابراین بهترین زمان سم‌پاشی مزرعه در اوایل مرحله گلدهی و قبل از شروع آلودگی سنبله است.

چالش اصلی این سم‌پاشی، عدم اطلاع از وضعیت بیماری در روزهای آتی است و تنها راهکار معرفی مدل پیش‌آگاهی می‌باشد. برای ساختن مدل پیش‌آگاهی بیماری، گام نخست، تعیین رابطه آماری میان متغیرهای آب و هوایی با بیماری است که در این تحقیق، طی سه سال زراعی ۹۵-۹۶، ۹۴-۹۵، ۹۶-۹۷ و ۹۵-۹۶ در استان‌های گلستان، مازندران و اردبیل و با استفاده از داده‌های آب و هوایی هشت ایستگاه هواشناسی صورت پذیرفت. نتایج تحقیق نشان داد که بهترین متغیر پیشگو برای بیماری، میانگین دمای بیشینه و بهترین ترکیب دوتایی از متغیرهای پیشگو، میانگین دمای بیشینه و تعداد روزهای

بارانی با رطوبت نسبی بالاتر از ۸۰ درصد بود که طی یک پنجره ۲۰ روزه قبل از گلدهی گندم به‌دست آمد.

### تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

### رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

### اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

### References

- Abedi-Tizaki, M. 2016.** Study on population structure, genetic diversity and spatial distribution of mycotoxin contamination of *Fusarium graminearum* isolated from wheat in the north and west of Iran. Ph. D. Dissertation. BU-Ali Sina University, Hamadan, Iran. (In Persian).
- Aghajani, M.A. 2008.** Spraying the wheat field after the anthesis. **Extension of Plant Protection** 3: 68-69. (In Persian).

- Aghajani, M. A., Forotan, A. and Kazemi, H. 2016.** Management of Fusarium head blight of wheat. Applied Instruction. Iranian Research Institute of Plant Protection. (In Persian).
- De Wolf, E. D., Madden, L. V. and Lipps, P. E. 2003.** Risk assessment models for wheat Fusarium head blight epidemics based on within-season weather data. *Phytopathology* 93: 428-435.
- De Wolf, E., Lipps, P., Miller, D., Knight, P., Molineros, J., Francl, L., and Madden, L. V. 2004.** Evaluation of prediction models for wheat Fusarium head blight in the US. In: Canty, S. M., Boring, T., Versdahl, K., Wardwell, J. and Ward, R. W. (Eds.). Second International Symposium on Fusarium Head Blight Incorporating the 8<sup>th</sup> European Fusarium Seminar. Michigan State University, Orlando, FL, USA.
- Ireta, M. J. and Gilchrist, S. 1994.** Fusarium head scab of wheat (*Fusarium graminearum* Schwabe). CIMMYT, Mexico, D.F.
- Kokcheli, H., Aghajani, M. A. and Dehghan, M. A. 2013.** The effect of different fungicides and spraying times on Fusarium head blight of wheat. M. Sc. Dissertation. Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran. (In Persian).
- Kriss, A. B., Paul, P. A. and Madden, L. V. 2010.** Relationship between yearly fluctuations in Fusarium head blight intensity and environmental variables: A window-pane analysis. *Phytopathology* 100: 784-797.
- Kriss, A. B., Paul, P. A., Xu, X., Nicholson, P., Doohan, F. M., Hornok, L., Rietini, A., Edwards, S. G. and Madden, L. V. 2012.** Quantification of the relationship between the environment and Fusarium head blight, Fusarium pathogen density, and mycotoxins in winter wheat in Europe. *European Journal of Plant Pathology* 133: 975-993.
- Madden, L. V., Lipps, P. E. and Wolf, E. D. 2004.** Developing forecasting systems for Fusarium head blight. In: Canty, S. M., Boring, T., Versdahl, K., Wardwell, J. and Ward, R. W. (Eds.). Second International Symposium on Fusarium Head Blight Incorporating the 8<sup>th</sup> European Fusarium Seminar. Michigan State University, Orlando, FL, USA.
- Mazhari, M. 2016.** Study of temperature on mycelial growth of wheat scab agent (*Fusarium graminearum*) by statistical models. M. Sc. Dissertation. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. (In Persian).
- Moschini, R. C., Pioli, R., Carmona, M. and Sacchi, O. 2001.** Empirical prediction of wheat head blight in the northern Argentinean pampas region. *Crop Science* 41: 1541-1545.
- Rossi, V., Giosuè, S., Patteri, E., Spanna, F. and Vecchio, A. D. 2003.** A model estimating the risk of Fusarium head blight on wheat. *EPPPO Bulletin* 33: 421-425.
- Safaei, N. and Alizadeh, A. 2006.** Evaluation of temporal progress models of Fusarium head blight diseases of wheat and presenting a forecasting model in Golestan province. *Iranian Journal of Plant Diseases* 42: 597-617. (In Persian with English Abstract).
- Shah, D. A., De Wolf, E. D., Paul, P. A. and Madden, L. V. 2014.** Predicting Fusarium head blight epidemics with boosted regression trees. *Phytopathology* 104: 702-714.
- Shah, D. A., Molineros, J. E., Paul, P. A., Willyerd, K. T., Madden, L. V. and De Wolf, E. D. 2013.** Predicting Fusarium head blight epidemics with weather-driven pre- and post-anthesis logistic regression models. *Phytopathology* 103: 906-919.
- van Maanen, A. and Xu, X. M. 2003.** Modelling plant disease epidemics. *European Journal of Plant Pathology* 109: 669-682.
- Xu, X. 2003.** Effects of environmental conditions on the development of Fusarium ear blight. *European Journal of Plant Pathology* 109: 683-689.





## Study on the possibility of wheat Fusarium head blight predicting based on weather and cultural conditions

Mohammad Ali Aghajani<sup>1\*</sup>, Hossein Barari<sup>2</sup> and Hosein Karbalaee Khiavi<sup>3</sup>

Received: November 3, 2021

Accepted: February 20, 2022

### Abstract

Fusarium head blight (FHB) is one of the most important diseases of wheat that is a suitable disease for forecasting. In order to determine the statistical relationship among disease occurrence and weather and crop variables, this study was conducted in Golestan, Mazandaran and Ardabil provinces during 3 years (crop years 2016-17, 2017-18 and 2018-19). Crop characteristics and disease severity were recorded in wheat fields around meteorological stations. Nine weather data was received from the stations as daily data and converted to 30 periodic variables. Integrating flowering start date and anthesis length in different years and regions calculated as 11 time and meteorological calendar variables and used in statistical analyses. Results of correlation tests of these variables with disease showed that the best window for disease prediction was B020 (20 days before anthesis) and ATX (average of maximum temperature), RD (number of rainy days), DD (number of dry days), ASHTR (average of special hydrothermal ratio) and NP80 (number of days with rain and relative humidity > 80%) showed the highest correlation with disease. Results of logistic regression and discriminant analysis for the selected variables as one, two and three showed that ATX was the best individual variable, and the best combination of two variables was ATX + NP80 and adding ASHTR to them did not cause significant increase in prediction efficacy. Therefore, logistic regression and discriminant analysis model of ATX and NP80 in 20 days before anthesis, introduced as the best model for forecasting wheat FHB.

**Keywords:** Disease occurrence, *Fusarium graminearum*, Modeling

1. Associate Professor of Plant Protection Research, Agricultural and Natural Resources Research Center, Golestan Province, Gorgan, Iran
2. Assistant Professor of Plant Protection Research, Agricultural and Natural Resources Research Center, Mazandaran Province, Sari, Iran
3. Assistant Professor of Plant Protection Research, Agricultural and Natural Resources Research Center, Ardabil Province, Ardabil, Iran

\* Corresponding author: [maaghajanina@yahoo.com](mailto:maaghajanina@yahoo.com)