



مقاله پژوهشی

پیش‌آگاهی بیماری سفیدک داخلی توتون بر اساس اطلاعات سی سال گذشته در شمال ایران

محمد رضا نجفی تیرتاشی^۱، محمدعلی آقاجانی^۲✉، ناصر صفایی^۳، سیامک رحمان‌پور^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران؛
 ۲- دانشیار، بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، ایران؛ ۳- دانشیار، گروه بیماری‌شناسی گیاهی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران؛ ۴- استادیار، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، موسسه تحقیقات نهال و بذر، کرج، ایران
 (تاریخ دریافت: مهر ۱۴۰۰؛ تاریخ پذیرش: آبان ۱۴۰۰)

چکیده

سفیدک داخلی ناشی از *Peronospora tabacina*، مهم‌ترین بیماری توتون در دنیا و ایران است که در سال ۱۳۴۱ وارد ایران شد. مناطق شمالی کشور بیشترین سطح زیر کشت توتون را داشته و بیش از ۷۰ تا ۸۰ درصد توتون از این مناطق به دست می‌آید. در تعداد ۱۸ سال از ۳۰ سال گذشته، بیماری با شدت‌های مختلف در منطقه تیرتاش ظاهر شده است. این تحقیق با هدف بررسی ارتباط وقوع بیماری با متغیرهای آب‌وهوایی انجام شد. برای این منظور، وقوع بیماری طی سی سال منتهی به سال ۱۳۹۳ به صورت شدت بیماری یادداشت برداری (EP3) و به صورت دو متغیر رتبه‌ای بیانگر رخداد و عدم رخداد بیماری (EP1) و رتبه‌ی شدت (EP2) تبدیل گردید. دوره‌ی رشد توتون به‌عنوان مبنای مدل‌سازی در نظر گرفته شد و چهار پنجره‌ی زمانی در این بازه زمانی تعریف شد و متغیرهای پیشگو از میان ۲۱ متغیر آب‌وهوایی تعیین شدند. همبستگی متغیرها با بیماری نشان داد که بهترین پنجره‌ی زمانی برای پیش‌آگاهی بیماری، تمام طول فروردین ماه (W04) بود و متغیرهای میانگین دمای متوسط (ATA)، مجموع بارش (SP) و میانگین سرعت باد (AWS) دارای بالاترین همبستگی با متغیرهای وابسته بودند. بالاترین کارایی مدل‌های ساخته شده بر اساس متغیرهای EP1، EP2 و EP3 به ترتیب برابر با ۸۰.۷، ۶۴.۵ و ۳۳.۸ درصد بود. بهترین ترکیب دوتایی از متغیرهای پیشگو، با استفاده از متغیرهای میانگین دمای متوسط و مجموع بارش به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌آگاهی، توتون، سفیدک داخلی، مدل‌سازی، *Peronospora tabacina*

Forecasting of tobacco downy mildew based on information of the last 30 years in north of Iran

M. R. NAJAFI¹, M.A. AGHAJANI²✉, N. SAFAEI³, S. RAHMANPOUR⁴

1. PhD Student, Department of Plant Protection, College of Agriculture Sciences and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran; 2. Associate Professor, of Plant Protection Research, Agricultural and Natural Resources Research Center, Golestan Province, Iran; 3. Associate Professor, Department of Plant Pathology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran; 4. Assistant Professor, of Oil Seeds Research Department, Seed and Plant Research Institute, Karaj, Iran

Abstract

Downy mildew, caused by *Peronospora tabacina*, is the most important disease of tobacco in the world which came to Iran in 1963. The northern part of Iran has the highest levels of tobacco cultivation and more than 70 to 80% of the extracted tobacco is obtained from these areas. During the last 30 years, the disease has appeared in 18 years with varying severity in Tirtash region. This research was conducted with the aim of examining the relationship between the amount of disease and climate variables. For this purpose, the amount of disease was recorded as severity percent (EP3) and converted to outbreak occurrence (EP1) and severity levels (EP2) during the 30 years (1984-2014). The growth period of tobacco was considered as a model base and four time windows were defined in this time period and predictor variables were determined among 21 meteorological variables. Correlation of the variables with the disease indicate that the best time window for disease warning was complete length of Farvardin (March 20 to April 20) and average of mean temperature (ATA), total precipitation (SP) and average of wind speed (AWS) had the highest correlation with dependent variables. The highest efficiency of prediction of developed models were 80.7%, 64.5% and 33.8% based on EP1, EP2 and EP3, respectively. The best combination of two predictor variables for disease prediction was obtained by ATA and SP.

Keywords: Forecasting, downy mildew, modeling, *Peronospora tabacina*, tobacco

✉ E-mail: maaghanina@yahoo.com

© 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

توتون (*Nicotiana tabacum* Line) گیاهی از خانواده سیب‌زمینی (Solanaceae)، یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی مناطق گرمسیری است که از نظر اقتصادی، کشت آن در بیش از ۱۰۰ کشور جهان مانند آمریکا، برزیل، یونان، ترکیه، ایتالیا، آفریقای جنوبی، مالای، چین، آذربایجان، ایران و دیگر کشورها در بین مدار ۵۵ درجه شمالی و ۴۰ درجه جنوبی انجام می‌گیرد. سطح زیر کشت این گیاه در جهان بیش از پنج میلیون هکتار و کل تولید توتون بیش از ۷ میلیون تن در سال است (Isard et al., 2001). در ایران سطح زیر کشت توتون حدود ۵۵۰۰ هکتار، برداشت سالیانه حدود ۹ هزار تن و نیاز سالیانه کارخانه‌های کشور به توتون حدود ۴۰ تا ۵۰ هزار تن است. استان‌های گلستان و مازندران با سطح زیر کشت بیش از ۳۰۰۰ هکتار توتون و تولید ۷۵۰۰ هزار تن توتون (رقم‌های بارلی، ویرجینیا و باسما)، ۷۰ درصد از تولید کشور را به خود اختصاص داده‌اند. عملکرد متوسط توتون در کشور ۲ تن در هکتار است (Anonymous, 2018).

سفیدک داخلی، ناشی از شبه‌قارچ *Peronospora tabacina*، مهم‌ترین و شایع‌ترین بیماری قارچی توتون در ایران و از عوامل مهم محدودکننده کشت آن می‌باشد که علاوه بر خسارت کمی (عملکرد و اجزای عملکرد)، بر ترکیبات شیمیایی توتون مانند کلروفیل، قند و نیکوتین تأثیر جدی بر جای می‌گذارد (Lucas, 1980). این بیماری، به‌واسطه‌ی شدت طغیان‌ها، خسارت‌های کمی و کیفی بالا، دوره‌ی زمانی کوتاه اسپورزایی بیمارگر، انتشار زادمایه و آلودگی میزبان و وابستگی همه‌گیری آن به شرایط آب‌وهوایی، یک بیماری مناسب برای پیش‌آگاهی محسوب می‌شود. وضعیت کشت توتون در منطقه شمال ایران (مازندران و گلستان) به دلیل داشتن شرایط آب‌وهوایی مساعد برای ظهور بیماری‌هایی همچون سفیدک داخلی به شدت متأثر از رخداد و طغیانی شدن بیماری است. از این رو کشاورزان محلی همه‌ساله ناگزیر به مصرف مقادیر متناهی سموم مختلف قارچ‌کش می‌باشند که تبعات نامطلوب

زیست‌محیطی، زیان اقتصادی ناشی از سمپاشی‌های غیر ضروری و بروز پدیده مقاومت در عوامل بیماری‌زا را در پی خواهد داشت.

علائم بیماری و شدت آلودگی بسته به شرایط آب و هوایی، سن گیاه، زمان آلودگی، درجه مقاومت ارقام متفاوت است. نشاءهای داخل خزانه از ابتدای رشد به این بیماری حساس بوده و ممکن است در اثر آلودگی خشک شوند (Lucas, 1990). لکه‌های کوچک رنگ‌پریده و زردرنگ روی گیاه بالغ ممکن است به‌هم‌پیوسته و نکروز و خشک گردد. کنیدیوم‌ها و کنیدیوفور بیمارگر، به‌صورت کرک‌های خاکستری مایل به بنفش در زیر برگ‌های آلوده ظاهر می‌شوند (Main, 1990). علاوه بر اسپورزایی روی لپه‌ها و برگ‌ها، علائم دیگر بیماری کاهش رشد بوته‌ها و بدشکلی برگ‌ها می‌باشد. این بیماری از گیاهان بادمجان، گوجه‌فرنگی، فلفل و برخی علف‌های هرز نیز گزارش شده است. بیماری همه‌ساله با شروع فصل زراعی بر روی محصولات مختلف و از جمله توتون ظاهر شده و در صورت عدم مقابله با آن خسارات جبران‌ناپذیری را به محصول از حیث کمی و کیفی وارد می‌سازد (Main et al., 1989).

سرعت و شدت انتشار اسپوره‌های قارچ عامل بیماری از مزرعه آلوده به دیگر مزارع بستگی به سرعت باد، ابعاد مزارع آلوده و شدت آلودگی بوته‌های بیمار دارد و تراکم این اسپورها نیز می‌تواند بین ۱ تا ۷ اسپور در هر متر مربع به ازای هر ثانیه متفاوت باشد (Aylor et al., 1983). جریانات آب‌وهوایی به‌ویژه در نواحی کوهستانی، فشار هوا در لایه‌های مختلف اتمسفری و زمان جابه‌جایی و سرعت توده‌های هوا نیز در پراکنده ساختن اسپورها و بروز و گسترش بیماری بسیار اهمیت دارد (Davis et al., 1984).

همه‌گیری‌های شدید سفیدک داخلی از سال ۱۹۷۹ همه‌ساله رخ داده است. شدت سالانه این بیماری در قاره آمریکای شمالی به میزان زیادی به زمان رسیدن

تعریف متغیرها

متغیرهای مورد استفاده برای ساختن مدل پیش‌آگاهی، داده‌های آب‌وهوایی روزانه‌ی ثبت شده در نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تیرتاش گلوگاه واقع در فاصله‌ی ۸ کیلومتری غرب گلوگاه) شامل دما و نم (کمینه، بیشینه و میانگین) و باران (به‌صورت جمع بارش و روز بارانی) بود (جدول ۱). برای ارزیابی شدت بیماری، از مقیاس کرسا استفاده شد. شدت نهایی بیماری به‌صورت درصد به عنوان متغیر وابسته EP3 در نظر گرفته شد. برای گروه‌بندی سال‌های تحقیق بر اساس همه‌گیری بیماری، دو متغیر EP1 و EP2 تعریف شد. برای متغیر EP1 دو سطح صفر و یک در نظر گرفته شد که مرز میان آن‌ها، شدت ۲۰ درصد بیماری بود. برای متغیر EP2، علاوه بر این دو سطح، سطح دو نیز در نظر گرفته شد که به معنی شدت بیماری بالاتر از ۵۰ درصد بود (جدول ۱).

تعریف پنجره‌های زمانی مناسب برای پیش‌آگاهی

ابتدا وضعیت بیماری و تاریخ ظهور آن طی سال‌های قبل بر اساس اطلاعات ثبت شده در مرکز تحقیقات و آموزش توتون تیرتاش تهیه شد (جدول ۲). با نگاهی به این جدول، مشخص می‌شود که علایم

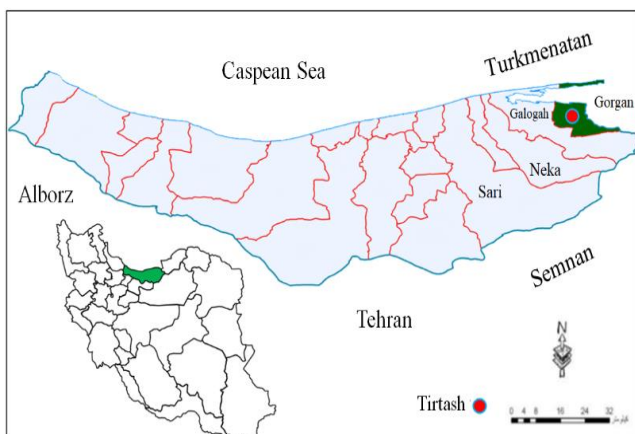
زادمایه و تداوم شرایط آب‌وهوایی مطلوب بستگی دارد (Holmes, 1999). شروع مطالعه بر روی بیماری سفیدک داخلی توتون در مرکز پیش‌آگاهی دانشگاه ایالت کارولینای شمالی در سال ۱۹۸۱ به‌دنبال همه‌گیری گسترده سال ۱۹۷۹ و ۱۹۸۰ بوده است (Davis et al., 1985). ماس و همکاران ثابت نمودند که بیوتیپ جدیدی از سفیدک داخلی توتون که مقاوم به دمای بالا است، آلودگی اولیه خزانه را در بهار که موجب مشکلات جدی محصولات تابستان می‌شود ایجاد می‌نماید (Moss et al., 1988).

انتشار بیماری از طریق باد و انتقال اسپورهای شبه‌قارچ (Davis and Monahan, 1991; Lucas, 1980) و یا از طریق نشاهای آلوده و انسان و ادوات کشاورزی اتفاق می‌افتد (Aylor, 1986). در ایران در زمینه پیش‌آگاهی سفیدک داخلی توتون مطالعه‌ای نشده، اگرچه در مورد دیگر محصولات گیاهی تحقیقات اندکی انجام گرفته است. در این تحقیق، امکان پیش‌بینی رخداد بیماری سفیدک داخلی توتون و یافتن رابطه‌ای منطقی بین متغیرهای آب‌وهوایی با همه‌گیری آن بررسی شد.

مواد و روش‌ها

محل انجام تحقیق و رقم مورد بررسی

این تحقیق، طی یک دوره سی ساله بین سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۳ در مزارع تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش توتون تیرتاش در شهرستان گلوگاه در شرق استان مازندران، واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۴ متر از سطح دریا (شکل ۱) اجرا شده است و آمار هواشناسی این دوره نیز در ایستگاه هواشناسی واقع در همان مرکز ثبت شده است. طبق آمار هواشناسی، متوسط بارندگی سی ساله منطقه اندکی بیش از ۶۰۰ میلی‌متر بود که به‌طور عمده در پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد.



شکل ۱- محل اجرای تحقیق در منطقه تیرتاش در شهرستان گلوگاه، استان مازندران.

Fig. 1. Location of the study in Tirtash region, Galogah town, Mazandaran province.

شد و ارتباط آماری (ضریب همبستگی اسپرمن) آن‌ها با رخداد و شدت بیماری (متغیرهای EP1، EP2 و EP3) بررسی شد.

روش‌های آماری مورد استفاده برای رسیدن به متغیرهای پیشگو برای تمایز مقدار متغیرها به تفکیک سال‌های واجد و فاقد بیماری، از روش آزمون همبستگی رتبه‌ای اسپرمن (Spearman Rank Correlation) در نرم‌افزار آماری StatGraphics Centurion (XVI شرکت StatPoint Technologies, Inc. 2010) استفاده شد. جهت مدل‌سازی عوامل تأثیرگذار بر رخداد بیماری بیماری نیز از دو روش آماری تجزیه‌ی تابع تشخیص (Discriminant analysis) و رگرسیون لجستیک (Logistic regression) استفاده گردید (Madden *et al.*, 2006). در آزمون همبستگی برای EP3 از ضریب همبستگی پیرسون و برای EP1 و EP2 از ضریب همبستگی اسپرمن استفاده شد. مدل‌های نهایی با مقایسه‌ی مدل‌های توسعه یافته‌ی معنی‌دار بر اساس آماره‌هایی نظیر ضریب تبیین، میانگین مربعات خطا، صحت کلی، میزان حساسیت و اختصاصی بودن انتخاب شد.

هفته‌ی آخر فروردین تا هفته‌های میانی خرداد ظاهر شده است. بنابراین، مدل پیش‌آگاهی باید بتواند مدتی قبل از این پنجره، وضعیت بیماری را روشن نماید تا فرصت کافی برای اطلاع‌رسانی و اقدام‌های مدیریتی وجود داشته باشد. در شرایط آب‌وهوایی شمال ایران، بذریابی توتون در خزانه‌ها در اوایل اسفندماه و نشاکاری در اواخر فروردین‌ماه سال بعد انجام می‌شود، بنابراین در فاصله زمانی ۲۰ اسفندماه هر سال تا ۳۰ فروردین‌ماه سال بعد (به‌خصوص دهه‌های دوم و سوم آن) که یک دوره ۴۰ روزه را در بر می‌گیرد، حساسیت گیاهچه‌های توتون به بیماری افزایش یافته و در پی آن بروز نخستین علائم بیماری از اوایل اردیبهشت تا اواخر خرداد آغاز می‌شود و گسترش بیماری می‌تواند تا پایان فصل زراعی ادامه یابد.

برای یافتن مناسب‌ترین پنجره‌های زمانی جهت مدل‌سازی، بر اساس روش زواینخویزن و زادوکس (Zwankhuizen and Zadoks, 2002)، چهار پنجره زمانی تعریف شد که مشخصات آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. هشت متغیر آب‌وهوایی برای چهار پنجره‌ی زمانی یادشده محاسبه

جدول ۱- متغیرهای مشتق از داده‌های آب و هوایی مورد استفاده در بررسی ارتباط آماری با بیماری سفیدک داخلی توتون.

Table 1. Variables from weather data used for statistical relationships with tobacco downy mildew disease epidemic.

Type	Variable	Unit	Concept
Independent (weather variables)	MTM	°C	minimum of minimum temperature
	XTM	°C	maximum of minimum temperature
	ATM	°C	average of minimum temperature
	MTX	°C	minimum of maximum temperature
	XTX	°C	maximum of maximum temperature
	ATX	°C	average of maximum temperature
	MTA	°C	minimum of mean temperature
	XTA	°C	maximum of mean temperature
	ATA	°C	average of mean temperature
	MHM	%	minimum of minimum relative humidity
	XHM	%	maximum of minimum relative humidity
	AHM	%	average of minimum relative humidity
	MHX	%	minimum of maximum relative humidity
	XHX	%	maximum of maximum relative humidity
	AHX	%	average of maximum relative humidity
	MHA	%	minimum of mean relative humidity
	XHA	%	maximum of mean relative humidity
	AHA	%	average of mean relative humidity
Dependent (disease)	SP	mm	Sum of precipitation
	SR	mm	Sum of rainy days
	AWS	m/s	average of wind speed
	EP1	score	disease epidemic (1) or not (0)
	EP2	score	disease epidemic as outbreak (2) or normal (1) or no disease (0)
	EP3	%	Disease severity

جدول ۲- تاریخچه‌ی بیماری سفیدک داخلی توتون در تیرتاش طی سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۳ در منطقه‌ی تیرتاش.

Fig. 2. History of tobacco downy mildew disease during the recent 30 years (1984-2014) in Tirtash region.

Year	Planting date	Disease occurrence date	Epidemic situation*	Final disease severity (EP3)	EP1	EP2
1984	1984/05/05	1984/06/12	+	22.4	1	1
1985	1985/05/11	-	-	13.1	0	0
1986	1986/05/01	1986/06/01	+	20.7	1	1
1987	1987/04/08	1987/06/10	++	28.6	1	2
1988	1988/04/12	1988/06/07	+	34.8	1	2
1989	1989/05/07	-	-	14.2	0	0
1990	1990/05/01	1990/05/30	+	19.8	0	0
1991	1991/04/14	1991/05/13	+	19.1	0	0
1992	1991/05/04	1991/06/17	+	32.2	1	2
1993	1993/04/25	1993/06/02	+	22.4	1	1
1994	1994/05/05	1994/06/22	+	35.6	1	2
1995	1995/04/16	1995/05/29	+	36.6	1	2
1996	1996/05/05	1996/06/05	+	29.6	1	2
1997	1997/04/05	1997/05/12	+	34.6	1	2
1998	1998/04/12	1998/05/18	+	20	0	0
1999	1999/04/25	1999/06/09	+	37.6	1	2
2000	2000/05/01	2000/05/25	+	13.8	0	0
2001	2001/04/18	2001/05/13	+	15	0	0
2002	2002/05/05	2002/06/19	+	17.2	0	0
2003	2003/04/29	2003/06/10	++	34.9	1	2
2004	2004/04/27	2004/06/01	+	47	1	2
2005	2005/05/01	2005/06/13	+	26.3	1	1
2006	2006/05/08	2006/06/07	++	16	0	0
2007	2007/04/20	2007/05/25	++	12.4	0	0
2008	2008/05/02	2008/06/02	+	11.4	0	0
2009	2009/05/11	2009/06/06	+	37.8	1	2
2010	2010/05/05	2010/06/03	+	14.7	0	0
2011	2011/04/23	2011/05/29	+	39.8	1	2
2012	2012/05/04	2012/05/26	++	18.9	0	0
2013	2013/04/29	2013/06/17	+	23.4	1	1
2014	2014/05/10	2014/06/08	+	20	1	1

* نمادهای +، - و ++ به ترتیب بیانگر سال‌های رخداد، عدم رخداد و شدت بالای بیماری به نحوی که بیش از یک مرتبه سمپاشی در هر فصل نیاز بوده است.

تعریف متغیرهای EP1 و EP2 در جدول ۱ ارائه شده است.

* Symbols +, - and ++ indicate years with occurrence, not occurrence and high severity of disease as more than one time fungicide spraying per season was needed to control the disease. Definition of EP1 and EP2 are presented in Table 1.

نتایج و بحث

وضعیت کلی داده‌ها

بررسی وضعیت کلی داده‌های آب‌وهوایی طی سی سال تحقیق نشان داد که دمای میانگین هوای این سی سال ۱۷/۳ (۱۵/۹ تا ۱۹/۲) درجه سلسیوس بود و کمینه و بیشینه دمای ثبت شده، به ترتیب ۹ تا ۳۷ درجه بود. میانگین درصد نم طی این مدت ۷۵ (از ۶۱/۷ تا ۸۳/۴) درصد و کمینه و بیشینه نم ثبت شده، به ترتیب ۱۸ تا ۹۸ در درصد بود. میانگین بارش سالیانه طی این مدت ۶۲۱ (از ۳۳۷ تا ۹۲۵) میلی‌متر بود. سال ۷۱ با میانگین دمای ۱۵/۹ درجه سلسیوس خنک‌ترین و

جدول ۳- مشخصات پنجره‌های زمانی برای محاسبه‌ی متغیرهای

آب‌وهوایی مورد نیاز در ساختن مدل پیش‌آگاهی

سفیدک داخلی توتون.

Table 3. Characteristics of time windows for calculating weather variables required for developing forecast model of tobacco downy mildew.

Window	Defenition	Time duration
W01	2 – 4 leaves	Last 10 days of March
W02	4 – 6 leaves	First 10 days of April
W03	Full planting	Middle 10 days of April
W04	-	20 March to 20 April

هیچ متغیر مستقل معنی‌داری شناسایی نشد و ارتباط آماری معنی‌دار متغیرهای وابسته به بیماری، تنها با متغیرهای مربوط به دمای هوا برقرار بود؛ بدین صورت که برای متغیرهای EP2 و EP3 به ترتیب متغیرهای MTA و ATM دارای ارتباط معنی‌دار با بیماری بودند. در پنجره‌ی W04، متغیرهای دما (ATA) و بارش، با هر سه متغیر وابسته به بیماری ارتباط آماری معنی‌داری نشان دادند (جدول‌های ۴، ۵ و ۶). در ادامه، نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری به تفکیک سه متغیر وابسته به بیماری ارائه می‌گردد.

پیش‌بینی بر اساس متغیر وابسته‌ی EP1:

برای این متغیر، بهترین پنجره‌ی زمانی W04 بود که ارتباط آماری دو متغیر میانگین دمای متوسط (ATA) و جمع بارش (SP)، به صورت مستقل و ترکیبی با رخداد یا عدم رخداد بیماری به صورت طغیانی (EP1) بر اساس رگرسیون لجستیک نشان داد که ضریب تبیین ارتباط ATA با بیماری معادل ۱۵.۵ درصد است و افزودن SP به این ارتباط موجب کاهش ضریب تبیین به ۱۴.۱ گردید (جدول ۷). بر اساس نتایج تجزیه تابع تشخیص نیز متغیر ATA دارای ۷۴ درصد کارایی در پیش‌بینی وضعیت EP1 بود و افزودن SP به این رابطه، موجب افزایش کارایی پیش‌بینی به ۸۰.۷ درصد شد (جدول ۷).

نمودار جعبه‌ای ارتباط این دو متغیر آب و هوایی با EP1 نشان داد که متغیر ATA از قدرت تفکیک بالاتری نسبت به SP برخوردار است؛ بدین صورت که میانگین دمای متوسط در سال‌های طغیانی و عادی بیماری، به طور متوسط به ترتیب ۱۳.۴ و ۱۴.۷ درجه سلسیوس بوده است، به عبارت دیگر، بهار در سال‌های طغیانی اندکی ۱.۳ درجه سلسیوس خنک‌تر بوده است (شکل ۴). همچنین این تحلیل نشان داد که جمع بارندگی در سال‌های طغیانی و عادی بیماری، به طور متوسط به ترتیب ۲۲.۲ و ۸.۵ میلی‌لیتر بوده است که تفکیک نسبتاً مناسبی را میان سال‌های مختلف ایجاد می‌نماید (شکل ۴).

سال ۹۱ با میانگین دمای ۱۹/۲ درجه سلسیوس گرم‌ترین سال بوده است. سال ۷۹ با مجموع بارش سالانه ۳۳۷ میلی‌متر خشک‌ترین سال و سال ۸۳ با مجموع ۹۲۵ میلی‌متر بارندگی، پرباران‌ترین سال بوده است (شکل ۲). بررسی وضعیت بیماری طی سی سال تحقیق (از ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۳) نشان داد که شدت نهایی بیماری از ۱۱.۴ (در سال ۱۳۸۷) تا ۴۷ درصد (در سال ۱۳۸۳) و با میانگین ۲۴.۸ درصد در تغییر بود (شکل ۳).

پنجره‌های زمانی مناسب برای پیش‌آگاهی

مقایسه‌ی چهار پنجره‌ی زمانی بر اساس معنی‌دار بودن ارتباط آماری متغیرهای آب‌وهوایی با وضعیت بیماری نشان داد که در مورد هر سه متغیر وابسته‌ی EP1، EP2 و EP3، پنجره‌ی چهارم (W04) بهترین دوره‌ی زمانی بود؛ اما با توجه به مناسب بودن نسبی آماره‌ها، در مورد متغیر EP3، پنجره‌ی زمانی W02 نیز مورد آزمون قرار گرفت. وضعیت معنی‌دار بودن آماری (P-value) و ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپرمن (برای EP1 و EP2) و ضریب همبستگی پیرسون (برای EP3) با متغیرهای آب‌وهوایی ساده در جدول‌های ۴، ۵ و ۶ ارائه شده است.

میانگین و بیشینه‌ی ضرایب همبستگی چهار پنجره‌ی زمانی مشخص کرد که در دو پنجره‌ی زمانی منتخب، متغیرهای میانگین دمای متوسط (ATA)، مجموع میزان بارش (SP) و میانگین سرعت باد (AWS) دارای بالاترین همبستگی با متغیرهای وابسته بودند (جدول ۷). بدین ترتیب که در پنجره‌ی W01، هیچ ارتباط معنی‌داری میان متغیرها یافته نشد. در پنجره‌ی W02، بر اساس متغیر وابسته‌ی EP1، تنها یک متغیر دما (MTA) دارای ارتباط معنی‌دار با بیماری بود. بر اساس متغیر وابسته‌ی EP2، علاوه بر متغیر دما (MTA)، سرعت باد (AWS) نیز دارای ارتباط معنی‌دار با بیماری بود. بر اساس متغیر وابسته‌ی EP3، سه متغیر MTA، SP و AWS ارتباط آماری معنی‌داری با شدت بیماری نشان دادند. در پنجره‌ی W03، بر اساس متغیر وابسته‌ی EP1،

جدول ۴- وضعیت معنی‌دار بودن آماری و ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپرمن متغیرهای آب‌وهوایی ساده با رخداد سفیدک داخلی توتون به تفکیک چهار پنجره‌ی زمانی در طول سال بر اساس متغیر EP1.

Table 4. Statistical significance and Spearman rank correlation coefficient of periodic variables with epidemic situation of tobacco downy mildew disease occurrence separated by four time windows based on dependent variable EP1.

Window	Statistics	MTM	XTM	ATM	MTX	XTX	ATX	MTA	XTA	ATA	MHM	XHM	AHM	MHX	XHX	AHX	MHA	XHA	AHA	SP	SR	AWS
W01	P-value	-0.24	-0.13	-0.18	-0.24	-0.22	-0.19	-0.23	-0.18	-0.23	0.07	-0.08	0.10	0.07	0.05	0.07	0.05	-0.04	0.09	0.15	-0.19	0.10
	r	0.18	0.47	0.33	0.19	0.23	0.29	0.21	0.33	0.20	0.70	0.67	0.59	0.70	0.77	0.70	0.78	0.81	0.63	0.42	0.29	0.59
W02	P-value	-0.36	-0.35	-0.39	-0.26	-0.04	-0.21	-0.38	-0.15	-0.36	0.07	-0.04	0.04	-0.24	-0.19	-0.19	-0.01	0.10	-0.04	0.25	0.02	0.19
	r	0.05	0.05	0.03	0.15	0.83	0.25	0.04	0.41	0.05	0.70	0.83	0.83	0.19	0.31	0.30	0.94	0.60	0.81	0.17	0.92	0.30
W03	P-value	-0.17	0.02	-0.30	-0.22	-0.32	-0.17	-0.34	-0.27	-0.28	0.11	-0.04	0.12	-0.01	0.16	0.04	0.03	0.01	0.11	0.22	0.09	0.00
	r	0.36	0.92	0.10	0.23	0.08	0.35	0.06	0.13	0.13	0.53	0.83	0.52	0.97	0.37	0.81	0.87	0.94	0.53	0.22	0.64	0.98
W04	P-value	-0.26	-0.09	-0.55	-0.34	-0.21	-0.44	-0.30	-0.35	-0.53	0.13	0.00	0.15	0.06	0.18	0.00	0.01	0.06	0.08	0.38	0.00	0.16
	r	0.16	0.63	0.00	0.06	0.25	0.02	0.10	0.05	0.00	0.48	1.00	0.40	0.73	0.32	1.00	0.95	0.76	0.65	0.04	0.98	0.38

جدول ۵- وضعیت معنی‌دار بودن آماری و ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپرمن متغیرهای آب‌وهوایی ساده با رخداد سفیدک داخلی توتون به تفکیک چهار پنجره‌ی زمانی در طول سال بر اساس متغیر EP2.

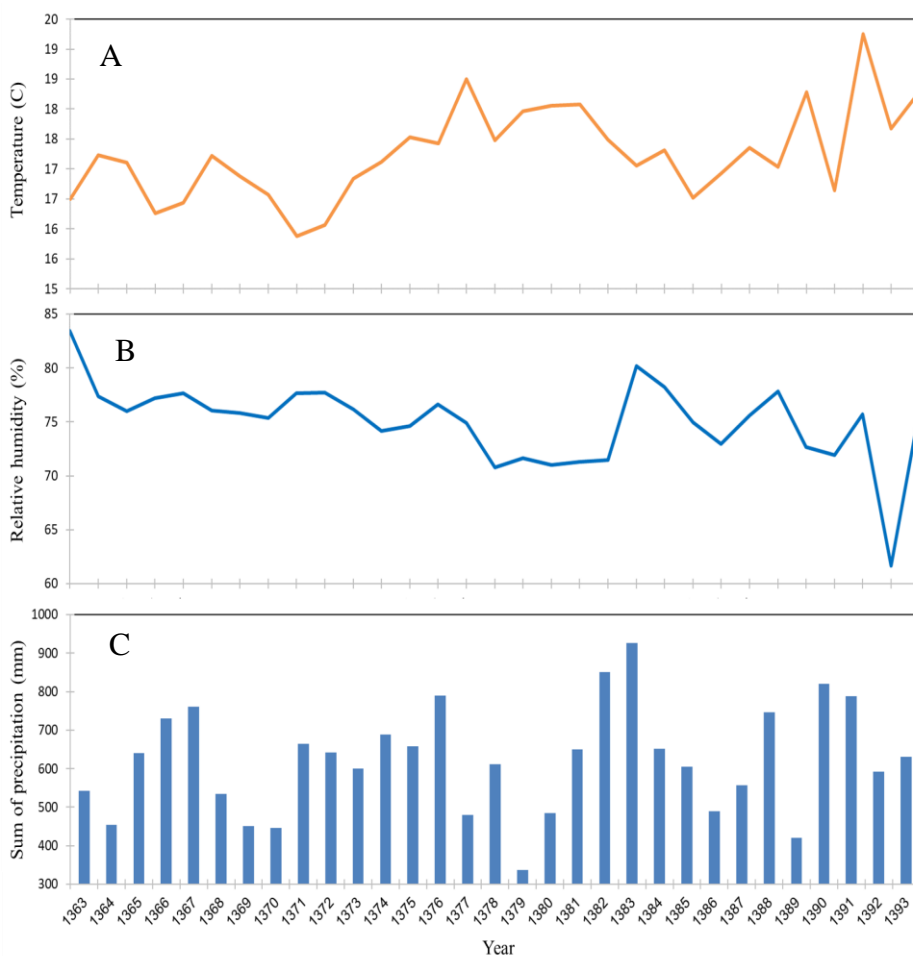
Table 5. Statistical significance and Spearman rank correlation coefficient of periodic variables with epidemic situation of tobacco downy mildew disease occurrence separated by four time windows based on dependent variable EP2.

Window	Statistics	MTM	XTM	ATM	MTX	XTX	ATX	MTA	XTA	ATA	MHM	XHM	AHM	MHX	XHX	AHX	MHA	XHA	AHA	SP	SR	AWS
W01	P-value	-0.17	-0.15	-0.11	-0.28	-0.25	-0.22	-0.18	-0.20	-0.25	0.09	-0.02	0.17	0.04	0.01	0.07	0.04	0.02	0.14	0.05	-0.08	0.26
	r	0.35	0.43	0.54	0.13	0.18	0.23	0.32	0.27	0.18	0.62	0.90	0.35	0.83	0.95	0.71	0.81	0.92	0.46	0.78	0.67	0.15
W02	P-value	-0.38	-0.25	-0.33	-0.34	-0.04	-0.25	-0.41	-0.13	-0.35	0.08	0.04	0.04	-0.23	-0.18	-0.20	0.02	0.17	-0.03	0.30	0.09	0.38
	r	0.04	0.17	0.07	0.06	0.83	0.17	0.03	0.48	0.05	0.64	0.83	0.82	0.20	0.31	0.27	0.93	0.37	0.86	0.10	0.61	0.04
W03	P-value	-0.28	-0.15	-0.39	-0.27	-0.38	-0.23	-0.39	-0.37	-0.38	0.08	0.03	0.09	0.00	0.12	0.09	0.05	0.10	0.10	0.33	0.15	0.24
	r	0.13	0.40	0.03	0.13	0.04	0.20	0.03	0.04	0.04	0.65	0.86	0.62	0.98	0.53	0.62	0.78	0.60	0.58	0.07	0.43	0.19
W04	P-value	-0.22	-0.23	-0.53	-0.37	-0.35	-0.50	-0.28	-0.48	-0.58	0.09	0.03	0.17	0.04	0.10	0.01	0.00	0.11	0.09	0.39	0.12	0.34
	r	0.22	0.21	0.00	0.04	0.05	0.01	0.12	0.01	0.00	0.61	0.86	0.35	0.84	0.57	0.95	0.99	0.56	0.63	0.03	0.50	0.07

جدول ۶- وضعیت معنی‌دار بودن آماری و ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپرمن متغیرهای آب‌وهوایی ساده با رخداد سفیدک داخلی توتون به تفکیک چهار پنجره‌ی زمانی در طول سال بر اساس متغیر EP3.

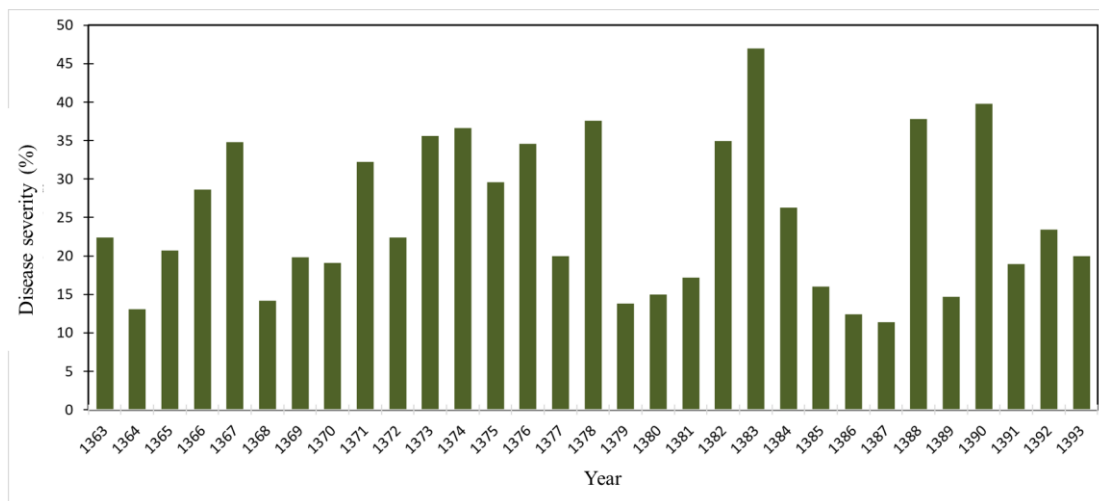
Table 6. Statistical significance and Spearman rank correlation coefficient of periodic variables with epidemic situation of tobacco downy mildew disease occurrence separated by four time windows based on dependent variable EP3.

Window	Statistics	MTM	XTM	ATM	MTX	XTX	ATX	MTA	XTA	ATA	MHM	XHM	AHM	MHX	XHX	AHX	MHA	XHA	AHA	SP	SR	AWS
W01	P-value	-0.19	-0.24	-0.17	-0.11	-0.16	-0.12	-0.11	-0.20	-0.16	-0.07	-0.01	0.01	0.05	0.11	0.19	-0.09	0.04	0.07	-0.07	-0.11	0.21
	r	0.32	0.20	0.37	0.57	0.38	0.50	0.57	0.29	0.39	0.70	0.97	0.97	0.79	0.56	0.30	0.62	0.83	0.70	0.71	0.55	0.26
W02	P-value	-0.42	-0.12	-0.30	-0.50	-0.02	-0.29	-0.51	-0.11	-0.36	-0.01	0.26	0.03	-0.22	-0.15	-0.14	-0.04	0.34	-0.02	0.47	0.20	0.39
	r	0.02	0.51	0.10	0.00	0.93	0.12	0.00	0.55	0.05	0.97	0.17	0.87	0.23	0.42	0.44	0.82	0.06	0.91	0.01	0.28	0.03
W03	P-value	-0.40	-0.30	-0.53	-0.22	-0.29	-0.31	-0.38	-0.32	-0.44	-0.07	-0.07	-0.12	0.00	-0.02	-0.01	0.00	-0.03	-0.09	0.35	0.11	0.22
	r	0.03	0.10	0.00	0.23	0.12	0.09	0.03	0.08	0.01	0.70	0.70	0.52	0.98	0.90	0.96	0.99	0.87	0.62	0.06	0.56	0.23
W04	P-value	-0.21	-0.17	-0.46	-0.43	-0.27	-0.40	-0.33	-0.32	-0.51	-0.04	0.08	-0.04	0.02	0.18	0.02	-0.05	0.17	-0.02	0.45	0.10	0.32
	r	0.25	0.37	0.01	0.02	0.14	0.03	0.07	0.08	0.00	0.82	0.66	0.83	0.92	0.34	0.91	0.80	0.36	0.89	0.01	0.58	0.08



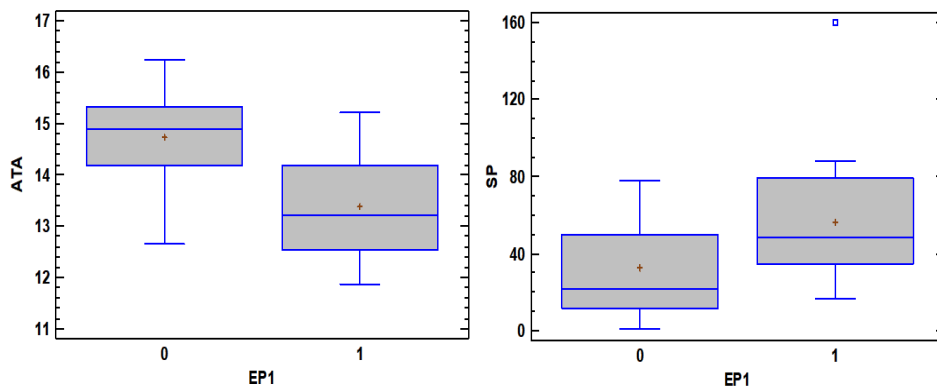
شکل ۲- روند تغییرات میانگین دما (A)، میانگین رطوبت نسبی (B) و جمع بارش سالانه (C) طی سی سال (۹۳ - ۱۳۶۳) در منطقه تیرتاش.

Fig. 2. Changes of annual average temperature, average humidity and total precipitation during the recent 30 years (1984-2014) in Tirtash region.



شکل ۳- میانگین شدت بیماری سفیدک داخلی توتون طی سی سال (۹۳ - ۱۳۶۳) در منطقه تیرتاش.

Fig. 3. Average severity of tobacco downy mildew during the 30 years (1984-2014) in Tirtash region.



شکل ۴- نمودارهای جعبه‌ای دو متغیر پیشگوی بیماری سفیدک داخلی توتون طی سی سال (۹۳ - ۱۳۶۳) در منطقه تیرتاش بر اساس متغیر وابسته‌ی EP1.

Fig. 4. Box plots of two predictor variables of tobacco downy mildew during the 30 years (1984-2014) in Tirtash region based on dependent variable EP1.

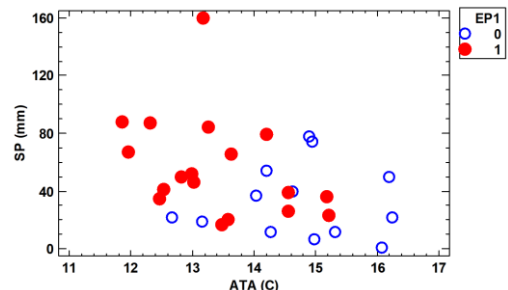
بیماری (EP2) بر اساس نتایج تجزیه تابع تشخیص نشان داد که متغیر ATA دارای ۶۱.۳ درصد کارایی در پیش‌بینی وضعیت EP2 بود و افزودن SP که از کارایی کمتری برخوردار بود (۴۸.۴ درصد) به این رابطه، موجب افزایش کارایی پیش‌بینی به ۶۴.۵ درصد شد (جدول ۷).

نمودار جعبه‌ای ارتباط این دو متغیر آب و هوایی با EP2 نشان داد که متغیرهای ATA و SP از قدرت تفکیک تقریباً برابری برخوردار هستند؛ بدین صورت که میانگین دمای متوسط فروردین ماه در حالت‌های مختلف بیماری با شدت بالا (۲)، رخداد بیماری با شدت پایین (۱) و بدون بیماری (۰) به ترتیب معادل ۱۳.۱، ۱۳.۹ و ۱۴.۷ درجه سلسیوس و جمع بارش فروردین ماه در سه حالت مختلف بیماری به ترتیب ۶۰.۷، ۴۷.۸ و ۳۲.۷ میلی‌لیتر بوده است (شکل ۶).

پیش‌بینی بر اساس متغیر وابسته‌ی P3

برای بررسی ارتباط آماری متغیر EP3، که معادل شدت بیماری به صورت درصد بود، با متغیرهای آب و هوایی، از روش رگرسیون ساده استفاده شد. بر اساس نتایج این آزمون، سه متغیر MTA، SP و AWS در پنجره‌ی زمانی W02 و دو متغیر ATA و SP در پنجره‌ی زمانی W04 به عنوان متغیرهای پیشگوی برتر انتخاب شدند. مقایسه‌ی نتایج این آزمون نشان داد که بهترین

تلفیق دو متغیر پیشگو در کنار هم برای پیش‌بینی رخداد بیماری به صورت طغیانی نشان داد که در مقادیر پایین‌تر هر دو متغیر، تفکیک مناسبی برای سال‌های طغیانی و عادی بیماری وجود ندارد؛ اما در مقادیر بالاتر، تلفیق دو متغیر برای پیش‌بینی وضعیت بیماری، مناسب بود (شکل ۵).



شکل ۵- نمودارهای دو بعدی متغیرهای پیشگوی بیماری سفیدک داخلی توتون طی سی سال (۹۳ - ۱۳۶۳) در منطقه تیرتاش بر اساس متغیر وابسته‌ی EP1.

Fig. 5. 2D scatterplots of the predictor variables of tobacco downy mildew during the 30 years (1984-2014) in Tirtash region based on dependent variable EP1.

پیش‌بینی بر اساس متغیر وابسته‌ی EP2

برای این متغیر نیز بهترین پنجره‌ی زمانی W04 بود که ارتباط آماری دو متغیر میانگین دمای متوسط (ATA) و جمع بارش (SP)، به صورت مستقل و ترکیبی با وضعیت طغیان

جدول ۷- آماره‌های مربوط به تجزیه‌ی تابع تشخیص و رگرسیون لجستیک متغیرهای پیشگو در پنجره‌ی زمانی W04 بر اساس رخداد یا عدم رخداد بیماری سفیدک داخلی توتون در منطقه تیرتاش.

Table 7. Parameters and statistics of Logistic regression and Discriminant analysis for predictor variables of tobacco downy mildew in Tirtash region based on disease occurrence in time window of W04.

Dependent variable	Independent variable	Discriminant Analysis			Logistic regression		
		p-value	Canonical correlation	Correctly classified (%)	p-value	R-squared (%)	Adjusted R-squared (%)
EP1	ATA	0.001	0.55	74.2	0.001	25.0	15.5
	SP	0.047	0.36	61.3	0.029	11.4	1.9
	ATA+SP	0.004	0.57	80.7	0.003	28.4	14.1
EP2	ATA	0.002	0.59	61.3			
	SP	0.103	0.39	48.4			
	ATA+SP	0.010		64.5			

جدول ۸- آماره‌های مربوط به تجزیه‌ی رگرسیون ساده متغیرهای پیشگو شدت بیماری سفیدک داخلی توتون (متغیر وابسته‌ی EP3) در پنجره‌های زمانی W02 و W04 در منطقه تیرتاش.

Table 8. Statistics of the simple regression of predictor variables of tobacco downy mildew (dependent variable EP3) in time windows of W02 and W04 in Tirtash region.

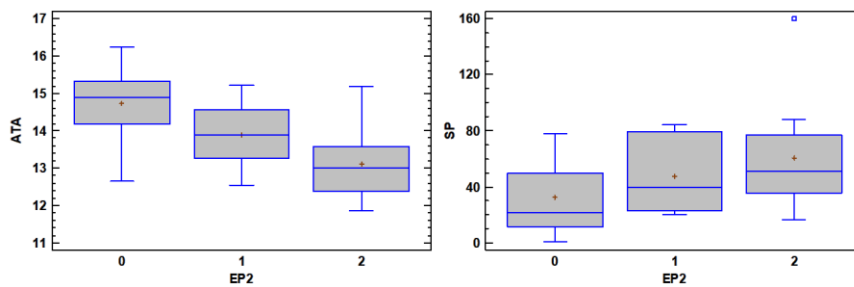
Time window	Independent variable	p-value	R-squared (%)	Adjusted R-squared (%)
W04	ATA	0.0032	26.2	23.7
	SP	0.0114	20.1	17.3
	ATA+SP	0.0031	33.8	29.1
W02	MTA	0.0035	25.9	23.3
	SP	0.0081	21.8	19.1
	AWS	0.0294	15.3	12.4
	MTA+SP	0.0126	26.8	21.6
	MTA+ AWS	0.0047	31.9	27.0
	SP+ AWS	0.0101	28.0	22.8
	MTA+SP+AWS	0.0135	32.2	24.7

با جای‌گذاری متغیرهای آب و هوایی ATA و SP در طول فروردین ماه در معادله‌های اریله شده، مقدار متغیرهای EP1، EP2 و EP3 به دست خواهد آمد. مدل‌های نهایی اریله شده باید طی کمینه سه سال در منطقه‌ی تیرتاش مورد اعتبارسنجی گیرد تا بتواند به عنوان یک مدل کاربردی و قابل اعتماد مورد استفاده‌ی کشاورزان و کارشناسان قرار گیرد.

متغیر پیشگو، ATA در پنجره‌ی W04 بود. بهترین ترکیب دو تایی از متغیرهای پیشگو شامل ATA + SP در پنجره‌ی W04 ایجاد شد و بهترین ترکیب سه تایی از متغیرهای پیشگو شامل MTA + SP + AWS در پنجره‌ی W02 به دست آمد (جدول ۸). در مجموع، برای پیش‌بینی بیماری بر اساس متغیر EP3، بهترین ترکیب متغیرهای پیشگو، شامل دو متغیر ATA و SP بود.

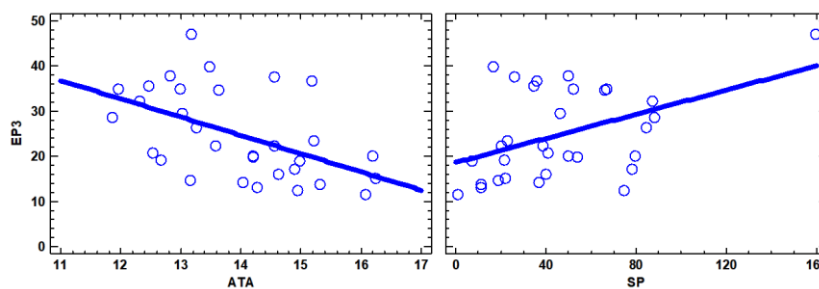
نگاه دقیق‌تر به رابطه‌ی رگرسیونی دو متغیر برتر نشان داد که به ازای افزایش یک درجه سلسیوس در متغیر ATA، چهار درصد کاهش شدت بیماری اتفاق افتاد و افزایش یک میلی‌لیتر به متغیر پیشگوی SP، موجب افزایش ۱.۳ درصدی در شدت بیماری گردید (شکل ۷).

جمع‌بندی نتایج تحلیل‌های آماری، بیانگر تأثیر سه متغیر دمای هوا، جمع بارش و میانگین سرعت باد در طول فروردین ماه بر شدت بیماری و احتمال رخداد آن می‌باشد. علاوه بر پنجره‌ی زمانی فروردین ماه، دهه‌ی دوم این ماه، برای پایش آب و هوا با هدف پیش‌آگاهی بیماری حایز اهمیت است. چهار مدل نهایی حاصل از این تحقیق برای پیش‌بینی شدت بیماری و احتمال رخداد بیماری در جدول ۹ ارائه شده است.



شکل ۶- نمودارهای جعبه‌ای دو متغیر پیشگویی بیماری سفیدک داخلی توتون طی سی سال (۹۳ - ۱۳۶۳) در منطقه تیرتاش بر اساس متغیر وابسته‌ی EP2.

Fig. 6. Box plots of two predictor variables of tobacco downy mildew during the 30 years (1984-2014) in Tirtash region based on dependent variable EP2.



شکل ۷- نمودارهای رگرسیونی ساده دو متغیر پیشگویی بیماری سفیدک داخلی توتون طی سی سال (۹۳ - ۱۳۶۳) در منطقه تیرتاش بر اساس متغیر وابسته‌ی EP3.

Fig. 7. Simple regression graphs of two predictor variables of tobacco downy mildew during the 30 years (1984-2014) in Tirtash region based on dependent variable EP3.

جدول ۹- معادله‌های مربوط به روابط آماری میان متغیرهای آب و هوایی و متغیرهای وابسته در وقوع بیماری سفیدک داخلی توتون طی سی سال (۹۳ - ۱۳۶۳) در منطقه تیرتاش.

Table 9. Equations of statistical relationships between weather and dependent variables for predicting tobacco downy mildew during the 30 years (1984-2014) in Tirtash region.

No.	Dependent variable	Output	Equation
1	EP1	0 or 1	$EP1 = \frac{\exp(\eta)}{1 + \exp(\eta)}$ $\eta = 14.3601 - 1.06054 \cdot ATA + 0.0201198 \cdot SP$
2		0 or 1	$EP1 = -107.5 + 14.172 \cdot ATA + 0.1438 \cdot SP$
3	EP2	0, 1 or 2	$EP2 = -110.217 + 14.5208 \cdot ATA + 0.127954 \cdot SP$
4	EP3	%	$EP3 = 64.831 - 3.16293 \cdot ATA + 0.0887009 \cdot SP$

معنی‌داری وجود ندارد، اما تغییر آستانه‌ی مقدار بارش در مدل هایلر مشابه متغیر مجموع بارش در تحقیق حاضر، ارتباط معنی‌داری با وقوع همه‌گیری نشان داد (Aghajani, 2015).

در مطالعه دیگری تأثیر متغیرهای هواشناسی (دما، رطوبت نسبی، بارش) بر جمعیت اسپور قارچ عامل بیماری و پیش‌آگاهی لکه موجهی سیب زمینی در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ در کرمانشاه

آقاجانی در بررسی کارایی مدل‌های هایلر و والین در پیش‌آگاهی بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب‌زمینی در گرگان به کمک متغیرهای آب و هوایی ده سال (۱۳۸۲ تا ۱۳۹۱)، با آنالیز این متغیرها طی دو دوره‌ی زمانی (از زمان کاشت و اول فروردین تا ظهور بیماری) نشان داد که بین متغیرهای دو مدل رگرسیون لجستیک و آنالیز تشخیصی و احتمال رخداد همه‌گیری، رابطه‌ی

آگاهی زارعین و کاربرد سیستم پیش‌آگاهی طی ۵ سال گذشته به وضوح افزایش یافته است. همواره قبل از برآورد عددی بیماری یا آب و هوا در سیستم پیش‌آگاهی، مقداری تجربیات شخصی و فردی نیز وجود دارد که می‌تواند در پیش‌بینی رفتار بیماری در یک منطقه بسیار مؤثر باشد. این نخستین تلاش برای دستیابی به مدل پیش‌آگاهی بیماری سفیدک داخلی توتون، در ایران می‌باشد. طی چند سال اخیر، این کار توسط مرکز تحقیقات و آموزش تیرتاش انجام شد. طی سال‌های اخیر، عدم رخداد بیماری بر اساس این مدل پیش‌بینی و به مجتمع‌های کشت توتون مازندران و گلستان اطلاع‌رسانی شد و بر همین اساس، توتون‌کاران محلی نسبت به عدم انجام سمپاشی در سال‌های بدون بیماری و انجام سمپاشی‌های کمتر و در زمان مناسب در سال‌های دارای بیماری، به مدیریت موثرتر و به صرفه‌تر بیماری اقدام نمودند. انتظار می‌رود با ایجاد اعتماد عمومی نسبت به نتایج این مدل پیش‌آگاهی، تحولی در مدیریت موثر این بیماری خسارت‌زا ایجاد شده و علاوه بر کنترل مناسب و قابل قبول بیماری، از صرف هزینه‌های اضافی بابت سمپاشی‌های غیر ضروری و افزایش هزینه‌های تولید توسط کشاورزان جلوگیری شود و آلودگی‌های زیست محیطی و آثار نامطلوب باقیمانده سموم بر روی محصول نیز کاهش یابد.

سپاسگزاری

مقاله حاضر قسمتی از نتایج به دست آمده از اجرای رساله دکتری در زمینه بررسی جنبه‌های اپیدمیولوژی بیماری سفیدک داخلی توتون در نواحی شمال ایران با تاکید بر مزارع توتون تیرتاش (گلوگاه) بوده و در تهیه آن از همکاری صمیمانه مدیریت مرکز تحقیقات و آموزش تیرتاش و همکاران محترم بخش گیاه پزشکی بهره‌مند بوده و بدین وسیله از ایشان قدردانی می‌شود.

پس از کشت سیب زمینی، پایش علائم بیماری در مزرعه، ثبت تغییرات جمعیتی اسپور قارچ عامل بیماری، از داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی منطقه (فرودگاه کرمانشاه) استفاده نمودند و همبستگی بین جمعیت اسپورهای موجود در هوا و متغیرهای هواشناسی را مورد بررسی قرار دادند. آلودگی مصنوعی از طریق اسپری اسپور قارچ در سطح مزرعه آزمایشی انجام گرفت. نتایج نشان داد که همبستگی بین جمعیت اسپور قارچ عامل بیماری لکه موجی با دمای بیشینه و کمینه هوا در سطح یک درصد و با درصد نم هوا در سطح پنج درصد معنی دار بود که تاییدی بر معنی دار بودن تأثیر متغیر میانگین کمینه دما (Tamin) در آن مطالعه می‌باشد. در این تحقیق وضعیت مشابهی در مورد متغیرهای ترکیبی دما علاوه بر نم دیده شد، بدین ترتیب که این متغیرها بر خلاف سایر منابع (جانسون و همکاران، ۱۹۹۶)، رابطه معنی‌داری با رخداد بیماری نشان ندادند. بررسی آماری چهار دوره زمانی در نظر گرفته شده در دهه پایانی اسفند و فروردین‌ماه یعنی یک ماه قبل از رخداد بیماری نشان داد که محاسبه متغیرهای آب‌وهوایی در طول دهه سوم، قوی‌ترین رابطه را با بیماری نشان داد. برتری مهم دوره ۳ بر دوره‌های دیگر این است که بعد از ۲۰ فروردین با کامل شدن متغیرهای ورودی مدل‌های ساخته شده، احتمال رخداد بیماری، چند روز قبل از زمان ظهور بیماری قابل پیش‌بینی خواهد بود و این امر فرصت کافی برای آماده شدن کشاورزان جهت مبارزه شیمیایی با بیماری را در اختیار آنان قرار می‌دهد. اطلاع‌رسانی به موقع به کشاورزان در نیمه نخستین بهار می‌تواند در جلوگیری از شیوع و طغیانی شدن بیماری در سطح خزانه‌ها و مزارع کمک نماید که این موضوع با نتایج مطالعات ماس و ماین (Moss and Main, 1988) مطابقت دارد.

بر اساس نتایج به دست آمده سال ۸۳ پر باران‌ترین سال و بر همین اساس بالاترین شدت بیماری را در بین سال‌های مورد مطالعه داشته است. در سال‌های ۷۹ و ۹۱ که به ترتیب خشک‌ترین و گرم‌ترین سال بوده‌اند، ظهور بیماری با شدت متوسط و یا ضعیف ثبت شده است.

References

- AGHAJANI, M. A. 2015. Study of efficacy of Hyre and Wallin models for predicting potato late blight in Gorgan. *Research in Plant Pathology* 3:1-17.
- AGRIOS, G. N. 2005. *Plant Pathology*. Elsevier Academic Press. USA, New York.
- ANONYMOUS, 2018. ITC research year book. Iranian tobacco company Press, Tirtash research and education center.
- AYLOR, D. E., and TAYLOR, G. S. 1983. Escape of *Peronospora tabacina* spores from a field of diseased tobacco plants. *Phytopathology* 73:525-529.
- CAMPBELL, C. L., and L. V. MADDEN, 1990. *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. John Wiley & Sons. USA, New York.
- DAVIS, J. M., and C. E. MAIN, 1989. The aerobiology of the sporangiospore of *Peronospora tabacina*. Pages 264-267 in: *Proceedings 18th Conference Agr. and Forestry Meteorology*, American Meteorological Society, March 7-10, 1989. Charleston, S.C.
- DAVIS, J. M., and J. F. MONAHAN, 1991. Climatology of air parcel trajectories related to the atmospheric transport of *Peronospora tabacina*. *Plant Disease* 75:706-711.
- DAVIS, J. M., MAIN, C., E. and W. C. NESMITH, 1985. The biometeorology of blue mold of tobacco. Part II: The evidence for long-range sporangiospore transport. PP. 473-498 in: D. R. McKenzie, *et al.*, eds. *Movement and Dispersal of Agriculturally Important Biotic Agents*. Claitor's Publishing Co., Baton Rouge, LA.
- VARSHAVIAN, V., GHAHRAMAN, N., JAVANNIKKHAH, M., LIAGHAT, A. and B. FARHADI, 2014. Modeling and prognosis of potato early blight disease using meteorological variables affecting the spore population. *Journal of Agricultural Meteorology*, Vol 2, No. 2, p. 16-23.
- LAHOSE, E. and F. PORRONE, 2002. Collaborative experiment for tobacco blue mold pathogenicity. *Results 1995 – 2002*.
- ISARD, S. A., and S. H. GAGE, 2001. A decision support system for managing the blue mold disease of tobacco: A case study. PP. 143-162 in: *Flow of Life in the Atmosphere: An Airscape Approach to Understanding Invasive Organisms*. Michigan State University Press, East Lansing, MI.
- LUCAS, G. B. 1975. *Diseases of tobacco*, 3rd ed. Harold E. Parker & Sons, Fuquay-Varina, NC
- LUCAS, G. B. 1980. The war against blue mold. *Science*, 210: 147-153.
- MAIN, C. E., and J. M. DAVIS, 1989. Epidemiology and biometeorology of tobacco blue mold. PP. 201-215 in: *Blue Mold of Tobacco*. W. E. McKean, ed. American Phyto. Society, St. Paul, MN.
- MAIN, C. E., and Z. T. KEEVER, 1999. Forecasting transport of spores and transport of tobacco blue mold. June 24, 1999. Published on-line at: <http://www.ces.ncsu.edu/depts/pp/bluemold>.
- MAIN, C. E., and H. W. SPURR, 1990. Blue Mold disease of tobacco. *Proc. Internatl. Symposium on Blue Mold of Tobacco*, Raleigh, NC, February 14-17, 1988. Delmar Publishing Co., Charlotte, NC.
- MAIN, C. E., J. M. DAVIS and M. A. MOSS, 1985. The biometeorology of blue mold of tobacco. Part I: A case study in the epidemiology of the disease. PP. 453-471 in: *Movement and Dispersal of Agriculturally Important Biotic Agents*. D. R. McKenzie, *et al.* Claitor's Pub. Co., Baton Rouge, LA.
- MOSS, M. A., and C. E. MAIN, 1988. The effect of temperature on sporulation and viability of isolates of *Peronospora tabacina* collected in the United States. *Phytopathology* 78:110-114
- NAJAFI, M. R, and S. A. Sajjadi, 2010. Study the reaction of tobacco varieties against tobacco blue mold. *Annual report of Tirtash educated and research center, Iran*. PP.155-159.

YAO, J. M., DAVIS, and C. E. MAIN, 1997. A numerical model of the transport and diffusion of *Peronospora tabacina* spores in the evolving atmospheric boundary layer. *Atmospheric Environment* 31:1709-1714.