

احتمال وقوع بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب‌زمینی در گرگان بر اساس شرایط آب‌وهوایی

محمدعلی آقاجانی

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، گرگان

مسئول مکاتبه: [Email: maaghajanina@yahoo.com](mailto:maaghajanina@yahoo.com)

تاریخ دریافت: 91/3/28 تاریخ پذیرش: 91/10/10

چکیده

بادزدگی فیتوفترایی ناشی از *Phytophthora infestans* یکی از بیماری‌های مهم سیب‌زمینی در دنیا و ایران، به ویژه در استان گلستان می‌باشد. با توجه به فراهم‌بودن شرایط آب‌وهوایی مساعد در فصل بهار، تقریباً هر سال در اردیبهشت ماه این بیماری در مزارع شهرستان گرگان شیوع زیادی داشته و انجام سمپاشی‌های گسترده برای کنترل آن ضروری می‌باشد. برای پیش‌بینی احتمال وقوع همه‌گیری بیماری، از اطلاعات ثبت‌شده همه‌گیری بیماری طی 10 سال اخیر و داده‌های آب‌وهوایی اطراف گرگان استفاده شد. برای این منظور، 24 متغیر آب‌وهوایی طی شش دوره زمانی (تمام فروردین ماه، دهه اول، دهه دوم، دهه سوم، بیست روز اول و بیست روز آخر آن) با استفاده از روش‌های آماری رگرسیون لجستیک و تجزیه تابع تشخیص مورد مطالعه قرار گرفتند. پس از مقایسه مدل‌های آماری ساخته‌شده، مشخص گردید که استفاده از اطلاعات تمام فروردین ماه نسبت به سایر دوره‌ها برای مدل‌سازی مناسب‌تر است و چهار مدل دو متغیره با استفاده از متغیرهای میزان بارندگی (P)، تعداد روزهای بارانی (R)، حداکثر نسبی درجه حرارت هوا (Tax) و حداکثر نسبی رطوبت نسبی هوا (RHax) به دست آمد که از صحت کلی 80-100 درصد و ضریب تبیین 99/99 درصد برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: بادزدگی، پیش‌آگاهی، تجزیه تابع تشخیص، رگرسیون لجستیک، سیب‌زمینی، متغیرهای آب‌وهوایی

مقدمه

بیماری بادزدگی، ناشی از شبه قارچ اوومیسست *Phytophthora infestans*، مهم‌ترین بیماری سیب‌زمینی در دنیا به‌ویژه در مناطق خنک و مرطوب است.

بیش‌ترین تلاش برای پیش‌آگاهی بیماری‌های گیاهی، در مورد بیماری بادزدگی سیب‌زمینی انجام شده است. این بیماری دارای اهمیت معاصر و تاریخی است و سامانه‌های پیش‌آگاهی در هلند، فرانسه، آلمان، روسیه، انگلستان، اسکاتلند، ایرلند، استرالیا، آمریکا و کانادا توسعه یافته است (کمیل و مدن 1990).

تا کنون داده‌های دما، رطوبت نسبی و ریزش باران طی فروردین ماه، برای پیش‌بینی طغیان بیماری مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده از قارچکش‌ها بر اساس پیش‌بینی مدل پیش‌آگاهی و اطلاع‌رسانی به کشاورزان صورت می‌پذیرد. سامانه‌های اولیه پیش‌آگاهی مورد استفاده برای بادزدگی عبارتند از: سامانه هایر، سامانه والین و بلایت کست (که دو سامانه قبلی را در هم ادغام کرده است) (شومان و دارسی 2005، کراوز و همکاران 1975).

مدل هایر (1954 و 1955) بر اساس بارش روزانه و دماهای بیشینه و کمینه بنا نهاده شده است. این مدل، طغیان بیماری بادزدگی سیب‌زمینی را 7-14 روز بعد از وقوع ده روز مساعد برای بادزدگی پیش‌بینی می‌کند. روز مساعد برای بادزدگی¹، روزی است که دمای میانگین پنج روز قبل از آن کمتر از 25/5 درجه و جمع بارش 10 روز قبل از آن حداقل 30 میلی‌متر باشد. مدل والین (والین و واگنر 1950، والین 1951 و 1962) نخستین وقوع بادزدگی سیب‌زمینی و انتشار بعدی آن را بر اساس تجمع ارزش‌های شدت پیش‌بینی می‌کند. این ارزش‌های شدت² بر اساس ترکیب‌های مختلف ساعت-های دارای رطوبت نسبی 90 درصد یا بالاتر و دمای میانگین طی آن دوره ساخته می‌شوند.

جانسون و همکاران (1994 و 1998) روابط بین عوامل آب‌وهوایی و همه‌گیری‌های بادزدگی سیب‌زمینی ناشی از *Phytophthora infestans* را در جنوب و مرکز

ایالت واشینگتن مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. هدف آن‌ها، توسعه یک مدل پیش‌آگاهی برای کمک به مدیریت بیماری در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از داده‌های این منطقه طی سال‌های 1970 تا 1994 بود. طی دوره مطالعه، هر سال که وجود بادزدگی در یک مزرعه تأیید شد، به‌عنوان یک سال همه‌گیری (مورد) و در غیر این صورت به‌عنوان سال غیر همه‌گیری (کنترل) طبقه‌بندی شد.

در وب سایت مدیریت تلفیقی آفات دانشگاه کالیفرنیا، دیویس، 16 مدل پیش‌آگاهی برای بیماری بادزدگی سیب‌زمینی شرح داده شده است که دما و رطوبت نسبی هوا و مقدار بارش، مهم‌ترین متغیرهای استفاده شده در آن‌ها بوده است (بی‌نام 2012).

در مناطقی از دنیا، در صورت کشت ارقام حساس و مساعد بودن شرایط محیطی برای بیماری، بیش از 12 بار سمپاشی برای کنترل آن انجام می‌شود، به‌عنوان نمونه در کاستاریکا، 15 بار سمپاشی گزارش شده است (هیجیمانس و همکاران 2000). در شرایط استان گلستان، تعداد دفعات سمپاشی، گاهی به بیش از سه بار می‌رسد. هدف از انجام این تحقیق، بررسی احتمال وقوع بیماری بادزدگی سیب‌زمینی بر اساس متغیرهای آب-وهوایی در منطقه سرخنکلاته گرگان است، به‌طوری‌که بر اساس مدل‌های آماری بتوان با کمک چند متغیر ساده، وقوع بیماری را قبل از ظهور علائم پیش‌بینی کرد.

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد نیاز برای این تحقیق شامل وضعیت همه‌گیری بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب‌زمینی در منطقه سرخنکلاته در شرق شهرستان گرگان طی 10 سال گذشته (از 1382 تا 1391) بود که جزئیات آن در جدول 1 ارائه شده است.

جهت پیش‌بینی احتمال وقوع همه‌گیری بیماری با توجه به ظهور نخستین علائم بیماری در اوایل اردیبهشت، شش دوره زمانی در فروردین ماه در نظر گرفته شد: 1- ده روز اول، 2- ده روز دوم، 3- ده روز

¹Blight favorable day (BFD)

²Severity value (SV)

بیماری در نظر گرفته شدند. در این روش نیز کمترین تعداد متغیر دارای رابطه معنی‌دار با وقوع بیماری، دوره 3 بود که فاقد هر گونه متغیر مناسب برای مدل‌سازی بود (جدول 4).

در مرحله بعد، جزییات دقیق رابطه بین متغیرهای دوره‌های 4 و 6 با وقوع بیماری مشخص گردید. در جدول 5، آماره‌های مربوط به تجزیه تابع تشخیص نظیر سطح احتمال معنی‌دار بودن، همبستگی کانونی بین دو متغیر و صحت کلی مدل ساخته‌شده برای 24 متغیر یادشده و همچنین سه ترکیب دو متغیری از مناسب‌ترین متغیرهای یافته‌شده ارائه گردیده است. در جدول 6 نیز آماره‌های مربوط به تجزیه رگرسیون لجستیک، نظیر سطح احتمال معنی‌دار بودن، ضریب تبیین و ضریب تبیین تعدیل‌شده برای متغیرهای مورد بررسی ارائه شده است. نتایج هر دو جدول نشان می‌دهند که علاوه بر متغیرهای مستقلی که رابطه آماری معنی‌داری با وقوع بیماری داشته‌اند، ترکیب‌های دو متغیر نیز رابطه آماری مناسب و قوی با وقوع بیماری نشان داده‌اند.

با نگاهی به جدول‌های 5 و 6 و مقایسه آماره‌های مدل‌های دو متغیره ساخته‌شده با دو روش (به خصوص صحت کلی در تجزیه تابع تشخیص و ضریب تبیین تعدیل‌شده در تجزیه رگرسیون)، اختلاف مشخصی بین دو دوره 4 و 6 دیده نمی‌شود. به علاوه، ترکیب دو متغیر مقدار بارش (P) و تعداد روزهای بارانی (R) بر اساس تجزیه رگرسیون در دوره 6 به جواب معنی‌داری ختم نشده است (جدول 6). با توجه به این نتایج و در نظر گرفتن این نکته مهم که دوره 4 از طول مدت کمتری نسبت به دوره 6 برخوردار بود و در نتیجه به جمع‌آوری حجم داده کمتری نیاز داشت، دوره 4 (20 روز اول فروردین) برای مدل‌سازی نهایی وقوع بیماری انتخاب گردید.

با توجه به نتایج این تجزیه‌ها مشخص شد که شش متغیر مقدار بارش (P)، تعداد روزهای بارانی (R)، میانگین دمای هوا (T)، میانگین حداکثر دمای هوا (Tax)، میانگین رطوبت نسبی هوا (RH) و میانگین حداکثر

سوم، 4- بیست روز اول، 5- بیست روز آخر و 6- تمام فروردین ماه.

تعداد 24 متغیر آب‌وهوایی مربوط به منطقه (ایستگاه هواشناسی هاشم آباد گرگان واقع در فاصله 20 کیلومتری) به تفکیک این شش دوره زمانی محاسبه شد (جدول 2) و با استفاده از دو روش آماری تجزیه تابع تشخیص¹ و رگرسیون لجستیک²، عوامل تأثیرگذار بر وقوع همه‌گیری بیماری تعیین گردید. برای این منظور از نرم‌افزار آماری استت گرافیکز سنتوریون 16³ (شرکت استت پوینت تکنولوژی 2010)⁴ استفاده گردید. مدل‌های نهایی با مقایسه مدل‌های توسعه‌یافته معنی‌دار بر اساس آماره‌هایی نظیر ضریب تبیین⁵، میانگین مربعات خطا⁶، صحت کلی⁷، میزان حساسیت⁸ و اختصاصی بودن⁹ انتخاب شدند.

نتایج

نتایج اولیه حاکی از همبستگی بالای تعدادی از متغیرهای مستقل مورد مطالعه با متغیر وابسته (وقوع یا عدم وقوع همه‌گیری) در هر دو روش آماری رگرسیون لجستیک و تجزیه تابع تشخیص بود (جدول‌های 3 و 4). بر اساس تجزیه تابع تشخیص، دوره‌های 4 و 6 به ترتیب با 7 و 4 متغیر دارای رابطه معنی‌دار با وقوع بیماری، مناسب‌ترین دوره‌ها برای مدل‌سازی وقوع بیماری در نظر گرفته شدند. کمترین تعداد متغیر دارای رابطه معنی‌دار با وقوع بیماری، دوره 3 بود که فاقد هر گونه متغیر مناسب برای مدل‌سازی بود (جدول 3).

بر اساس رگرسیون لجستیک نیز دوره‌های 4 و 6 به ترتیب با 9 و 10 متغیر دارای رابطه معنی‌دار با وقوع بیماری، مناسب‌ترین دوره‌ها برای مدل‌سازی وقوع

¹ Discriminant analysis

² Logistic regression

³ StatGraphics Centurion XVI

⁴ StatPoint Technologies, Inc. 2010

⁵ Coefficient of determination (=R²)

⁶ Mean square of error (=MSE)

⁷ Total accuracy

⁸ Sensitivity

⁹ Specificity

جدول 1- تاریخچه همه‌گیری بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب‌زمینی طی سال‌های 1382 تا 1391 در منطقه سرخ‌کلاته گرگان

سال	تاریخ کاشت	تاریخ ظهور بیماری	وضعیت همه‌گیری
1382	81/9/19	82/2/1	+
1383	82/9/14	83/2/5	طغیانی
1384	83/10/2	84/2/13	-
1385	84/9/25	85/2/8	طغیانی
1386	85/11/5	86/2/21	+
1387	86/9/23	-	-
1388	87/10/1	88/2/18	+
1389	88/10/8	89/2/9	طغیانی
1390	89/10/8	90/2/28	+
1391	90/10/21	-	-

* نمادهای + و - به ترتیب بیان‌گر سال‌های با و بدون بیماری بوده، کلمه طغیانی بیان‌گر شدت بالای بیماری است به طوری که بیش از یک مرتبه سمپاشی در هر فصل نیاز است

جدول 2- فهرست متغیرهای آب‌وهوایی مورد استفاده در مدل‌سازی همه‌گیری بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب‌زمینی

نوع متغیر	نام متغیر	شرح متغیر	واحد
دما	Tx	حداکثر مطلق درجه حرارت هوا	درجه سانتی‌گراد
	Ti	حداقل مطلق درجه حرارت هوا	
	Tax	حداکثر نسبی درجه حرارت هوا	
	Tai	حداقل نسبی درجه حرارت هوا	
	T	میانگین درجه حرارت هوا	
رطوبت نسبی	F	تعداد روزهای یخ‌بندان	عدد
	RHx	حداکثر مطلق رطوبت نسبی هوا	درصد
	RHi	حداقل مطلق رطوبت نسبی هوا	
	RHax	حداکثر نسبی رطوبت نسبی هوا	
	RHai	حداقل نسبی رطوبت نسبی هوا	
RH	میانگین رطوبت نسبی هوا		
بارش	P	میزان بارندگی	میلی متر
	*TPFT	کل بارش طی روزهایی با دمای کمینه بالاتر یا مساوی 10 و دمای بیشینه پایین‌تر یا مساوی 22 درجه سانتی‌گراد	میلی متر
تبخیر و تعرق	S	جمع ساعات آفتابی	ساعات
	E	جمع میزان تبخیر	میلی متر
باد	WD	سمت باد حداکثر	درجه
	WS	سرعت باد حداکثر	متر بر ثانیه
دما+رطوبت نسبی	FT	تعداد روزهای با دمای کمینه بالاتر یا مساوی 10 و دمای بیشینه پایین‌تر یا مساوی 22 درجه سانتی‌گراد	عدد
	FT70	تعداد روزهای با دمای کمینه بالاتر یا مساوی 10، دمای بیشینه پایین‌تر یا مساوی 22 درجه و رطوبت نسبی کمینه بالاتر یا مساوی 70 درصد	عدد
	FT80	تعداد روزهای با دمای کمینه بالاتر یا مساوی 10، دمای بیشینه پایین‌تر یا مساوی 22 درجه و رطوبت نسبی کمینه بالاتر یا مساوی 80 درصد	عدد
	FT90	تعداد روزهای با دمای کمینه بالاتر یا مساوی 10، دمای بیشینه پایین‌تر یا مساوی 22 درجه و رطوبت نسبی کمینه بالاتر یا مساوی 90 درصد	عدد
روزهای بارانی	R	تعداد روزهای بارندگی	عدد
	R1	تعداد روزهای با بارندگی بیشتر یا مساوی 0/1 میلی‌متر	عدد
	R25	تعداد روزهای با بارندگی بیشتر یا مساوی 0/25 میلی‌متر	عدد

* جمع بارش (بر حسب میلی‌متر) در روزهایی که دمای میانگین بالاتر یا مساوی 10 و پایین‌تر یا مساوی 22 درجه سانتی‌گراد است.

جدول 3- وضعیت معنی داری متغیرهای مختلف در شش دوره زمانی همه گیری بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب زمینی بر اساس تجزیه تابع تشخیص

نوع متغیر	نام متغیر	دوره‌ی زمانی ¹				
		6	5	4	3	2
دما	Tx	NS	NS	NS	NS	NS
	Ti	NS	*	NS	NS	*
	Tax	*	(*)	*	NS	NS
	Tai	(*)	(*)	NS	NS	NS
	T	**	(*)	*	NS	NS
	F	NS	NS	NS	NS	NS
رطوبت نسبی	RHx	NS	NS	NS	NS	NS
	RHi	NS	NS	NS	NS	NS
	RHax	**	*	**	NS	*
	RHai	NS	NS	(*)	NS	NS
	RH	(*)	NS	*	NS	NS
بارش	P	(*)	NS	NS	NS	NS
	TPFT	NS	NS	NS	NS	NS
تبخیر و تعرق	S	NS	NS	NS	NS	NS
	E	*	(*)	*	NS	NS
باد	WD	NS	NS	NS	NS	(*)
	WS	NS	NS	NS	NS	NS
دما+رطوبت نسبی	FT	NS	NS	NS	NS	NS
	FT70	NS	NS	NS	NS	NS
	FT80	NS	NS	NS	NS	NS
	FT90	NS	NS	NS	NS	NS
روزهای بارانی	R	(*)	NS	*	NS	(*)
	R1	(*)	NS	*	NS	(*)
	R25	NS	NS	(*)	NS	NS

1- دوره‌های زمانی تفکیک شده طی دوره همه‌گیری بیماری: 1- ده روز اول، 2- ده روز دوم، 3- ده روز سوم، 4- بیست روز اول، 5- بیست روز آخر و 6- تمام فروردین ماه.
2- سطح احتمال معنی داری آماری: NS (غیرمعنی دار)، (*) (10 درصد)، * (پنج درصد) و ** (یک درصد)

جدول 4- وضعیت معنی‌داری متغیرهای مختلف در شش دوره زمانی همه‌گیری بیماری بادنژگی فیتوفترایی سیب‌زمینی بر اساس رگرسیون لجستیک

نوع متغیر	نام متغیر	دوره‌ی زمانی ¹					
		6	5	4	3	2	1
دما	Tx	NS	NS	NS	NS	NS	* ²
	Ti	(*)	**	(*)	(*)	**	NS
	Tax	**	*	*	NS	NS	(*)
	Tai	*	**	NS	(*)	*	NS
	T	**	**	*	NS	(*)	NS
	F	NS	NS	NS	NS	NS	NS
رطوبت نسبی	RHx	NS	NS	NS	(*)	NS	NS
	RHi	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	RHax	**	*	**	(*)	**	**
	RHai	NS	NS	*	NS	NS	NS
	RH	*	NS	NS	NS	NS	*
بارش	P	*	*	*	NS	(*)	(*)
	TPFT	NS	NS	NS	NS	NS	NS
تبخیر و تعرق	S	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	E	**	**		(*)	NS	*
باد	WD	NS	NS	NS	NS	*	NS
	WS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
دما+رطوبت نسبی	FT	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	FT70	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	FT80	NS	NS	NS	(*)	NS	NS
	FT90	NS	NS	NS	NS	NS	NS
روزهای بارانی	R	**	(*)	*	NS	*	(*)
	R1	**	(*)	*	NS	*	NS
	R25	*	NS	*	NS	(*)	NS

1- دوره‌های زمانی تفکیک شده طی دوره همه‌گیری بیماری: 1- ده روز اول، 2- ده روز دوم، 3- ده روز سوم، 4- بیست روز اول، 5- بیست روز آخر و 6- تمام فروردین ماه
 2- سطح احتمال معنی‌داری آماری: NS (غیرمعنی‌دار)، (*) (10 درصد)، * (پنج درصد) و ** (یک درصد)

جدول 5- نتایج مدل‌سازی همه‌گیری‌های بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب‌زمینی بر اساس متغیرهای آب‌وهوایی با استفاده از روش آماری تجزیه

تابع تشخیص

دوره 4			دوره 6			نام متغیر	نوع متغیر
صحت کلی (درصد)	همبستگی کانونی	سطح احتمال	صحت کلی (درصد)	همبستگی کانونی	سطح احتمال		
80	0/489	0/1523	60	0/145	0/6902	Tx	دما
80	0/535	0/1115	80	0/546	0/1035	Ti	
90	0/701	0/0242	90	0/718	0/0197	Tax	
80	0/516	0/1274	80	0/613	0/0599	Tai	
90	0/671	0/0343	100	0/773	0/0090	T	
40	0/250	0/4866	60	0/408	0/2423	F	
70	0/396	0/2578	60	0/276	0/4411	RHx	رطوبت نسبی
70	0/392	0/2637	50	0/173	0/6337	RHi	
100	0/830	0/0031	100	0/793	0/0064	RHax	
80	0/597	0/0692	80	0/447	0/1961	RHai	
90	0/741	0/0145	90	0/602	0/0664	RH	
80	0/542	0/1059	80	0/592	0/0721	P	بارش
50	0/296	0/4070	50	0/251	0/4843	TPFT	
60	0/288	0/4211	60	0/183	0/6131	S	تبخیر و تعرق
90	0/689	0/0279	90	0/700	0/0247	E	
60	0/294	0/4109	60	0/062	0/8656	WD	باد
80	0/253	0/4808	60	0/208	0/5656	WS	
60	0/178	0/6239	40	0/064	0/8611	FT	دما+رطوبت نسبی
70	0/342	0/3339	70	0/287	0/4217	FT70	
70	0/250	0/4866	20	0/405	0/2458	FT80	
20	0/000	1/0000	20	0/000	1/0000	FT90	
80	0/682	0/0302	70	0/552	0/0986	R	روزهای بارانی
80	0/682	0/0302	70	0/552	0/0986	R1	
80	0/622	0/0553	70	0/532	0/1140	R25	
80	0/683	0/1104	80	0/610	0/1957	P+R	ترکیب
90	0/753	0/0536	100	0/773	0/0414	T+Rh	
100	0/834	0/0156	100	0/810	0/0240	Tax+Rhax	

جدول 6- نتایج مدل‌سازی همه‌گیری‌های بیماری بادیوزگی فیتوفترایی سیب‌زمینی بر اساس متغیرهای آب‌وهوایی با استفاده از روش آماری رگرسیون لجستیک

دوره 4			دوره 6			نام متغیر	نوع متغیر
ضریب تبیین تعدیل‌شده (درصد)	ضریب تبیین (درصد)	سطح احتمال	ضریب تبیین تعدیل‌شده (درصد)	ضریب تبیین (درصد)	سطح احتمال		
0/00	22/11	0/1369	0/00	2/21	0/6382	Tx	
0/00	29/31	0/0868	0/00	30/96	0/0784	Ti	
16/14	56/10	0/0178	60/02	99/98	0/0016	Tax	دما
0/00	24/33	0/1186	3/22	43/18	0/0376	Tai	
0/00	46/71	0/0306	60/02	99/98	0/0016	T	
0/00	10/10	0/3147	0/00	23/68	0/1237	F	
0/00	15/17	0/2179	0/00	7/60	0/3833	RHx	
0/00	15/67	0/2105	0/00	3/12	0/5761	RHi	
60/03	100/00	0/0016	60/03	100/00	0/0016	RHax	رطوبت نسبی
4/04	44/01	0/0358	0/00	25/01	0/1136	RHai	
-	-	1/0000	10/85	50/82	0/0241	RH	
9/16	49/12	0/0266	15/30	55/27	0/0187	P	
0/00	18/54	0/1732	0/00	7/60	0/3833	TPFT	بارش
0/00	8/75	0/3495	0/00	3/46	0/5564	S	
9/60	49/57	0/0259	60/03	100/00	0/0016	E	تبخیر و تعرق
0/00	10/50	0/3053	0/00	0/38	0/8457	WD	
0/00	6/54	0/4186	0/00	4/49	0/5026	WS	باد
0/00	3/13	0/5759	0/00	0/41	0/8388	FT	
0/00	15/99	0/2059	0/00	9/03	0/3419	FT70	دما + رطوبت
0/00	6/53	0/4189	0/00	19/68	0/1604	FT80	نسبی
-	-	-	-	-	-	FT90	
21/87	61/84	0/0129	32/33	72/30	0/0071	R	
21/87	61/84	0/0129	32/33	72/30	0/0071	R1	روزهای بارانی
0/00	39/80	0/0460	8/03	48/00	0/0284	R25	
39/95	99/90	0/0067	-	-	-	P+R	
39/93	99/88	0/0068	40/05	99/99	0/0067	T+Rh	ترکیب
40/05	99/99	0/0067	40/05	99/99	0067	Tax+Rhax	

جدول 7- معادله بهترین مدل‌های پیش‌بینی احتمال وقوع همه‌گیری‌های بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب‌زمینی بر اساس متغیرهای آب‌وهوایی با استفاده از روش آماری رگرسیون لجستیک و تجزیه تابع تشخیص

مدل	متغیر(ها)	روش	معادله
1	P + R	تجزیه تابع تشخیص رگرسیون لجستیک ²	NS ¹ eta = -719.918 - 5.20028 P + 129.376 R
2	Tax + RHax	تجزیه تابع تشخیص رگرسیون لجستیک	EPI = -1374.17 + 24.5723 Tax + 26.288 Rhax eta = -1818.68 + 10.923 Tax + 18.3553 Rhax
3	R + T	تجزیه تابع تشخیص رگرسیون لجستیک	EPI = -99.8372 + 11.355 T + 5.38753 R eta = 790.783 - 66.0573 T + 12.0807 R
4	T + RH	تجزیه تابع تشخیص رگرسیون لجستیک	EPI = -777.919 + 29.9655 T + 15.9789 RH eta = 589.191 - 110.55 T + 11.9391 RH

¹ - غیر معنی‌دار از نظر آماری

2- معادله رگرسیون لجستیک برابر است با $EPI = \exp(\eta) / (1 + \exp(\eta))$. که با قراردادن مقدار eta ارایه‌شده در جدول در این معادله، قابل محاسبه خواهد بود

یا 20 روز اول آن، قوی‌ترین رابطه را با بیماری نشان می‌دهد. برتری مهم دوره 4 بر دوره 6 این است که پس از روز بیستم فروردین با کامل‌شدن متغیرهای ورودی مدل‌های ساخته‌شده، احتمال وقوع 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.

در این پژوهش، 24 متغیر آب‌وهوایی در هفت گروه مختلف طبقه‌بندی شدند و کارایی آن‌ها جهت مدل‌سازی با یکدیگر مقایسه شد. از گروه‌های 1 (دما) و 2 (رطوبت نسبی)، دو متغیر دما و رطوبت نسبی متوسط و میانگین حداکثر، کارایی بسیار خوبی نشان دادند. در تمام 16 مدل ارایه شده در وب‌سایت مدیریت تلفیقی آفات دانشگاه کالیفرنیا (دیویس)، از دو متغیر دما و رطوبت نسبی به صورت روزانه یا ساعتی استفاده شده است (بی‌نام 2012).

مقدار بارش (P) نیز متغیری است که در اکثر مدل‌های ارایه‌شده در وب‌سایت یادشده مورد استفاده قرار گرفته، اما تعداد روزهای بارانی (R) تنها در یکی از مدل‌های توسعه‌یافته در کشور آمریکا استفاده شده است (جانسون و همکاران 1996).

رطوبت نسبی هوا (RHax)، مناسب‌ترین متغیرها برای مدل‌سازی وقوع بیماری می‌باشند. برای مشخص کردن تفاوت مقدار این متغیرها در سال‌های دارای بیماری و بدون آن، نمودار جعبه‌ای این شش متغیر در دوره 4 ترسیم گردید (شکل 1). برای نتیجه‌گیری بهتر در باره ترکیب متغیرهای مختلف و تاثیر آن بر وقوع بیماری، نمودارهای توزیع دوبعدی این متغیرها نیز ترسیم گردید و با استفاده از آن‌ها می‌توان ترکیب دو متغیر مختلف و تاثیر آن بر وقوع (یا عدم وقوع) بیماری را به روشنی دریافت (شکل 2).

در نهایت، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در تجزیه‌های یادشده، چهار مدل برای پیش‌بینی احتمال وقوع بیماری بادزدگی سیب‌زمینی در منطقه گرگان پیشنهاد گردید که هر کدام از آن‌ها، از دو متغیر آب‌وهوایی مختلف استفاده می‌کنند. متغیرهای مورد استفاده در این چهار مدل و معادله‌های ساخته‌شده آن‌ها با استفاده از تجزیه رگرسیون لجستیک و تجزیه تابع تشخیص در جدول 7 ارایه شده است.

بحث

بررسی آماری شش دوره زمانی در نظر گرفته‌شده در فروردین‌ماه یعنی ماه قبل از وقوع بیماری نشان داد که محاسبه متغیرهای آب‌وهوایی در طول ماه فروردین

قبلی استفاده می‌شود (سانوگو و یانگ 2004). تجزیه تابع تشخیص به‌طور گسترده در منابع بیماری شناسی گیاهی برای تشریح رابطه بین متغیرهای فیزیکی و زیستی با اجزای همه‌گیری بیماری استفاده شده است. جانسون و همکاران (1996) داده‌های 25 ساله همه-گیری‌های بیماری بادزدگی سیب‌زمینی را برای پیش‌بینی احتمال شیوع بیماری در ایالت واشینگتن به کار بردند. هنسی و همکاران (1990) از این روش برای تعیین چگونگی تأثیر عوامل اقلیمی (ریزش باران و درجه حرارت کمینه و بیشینه) بر شدت سوختگی برگ سورگوم در آفریقای جنوبی استفاده نموده‌اند. نو و بارکر (1985) از تجزیه تابع تشخیص برای تعیین عوامل مؤثر بر سه سطح از تراکم‌های مختلف نماتدها سود جستند. پیتراواله و همکاران (2003) در انگلستان با استفاده از این روش، به پیش‌بینی وجود یا عدم وجود بیماری سپتوریوز برگ گندم (بر اساس شدت آستانه پنج درصد در سه برگ بالایی) با استفاده از درجه حرارت هوا در زمستان و سرعت وزش باد در مرحله رشدی آشکارشدن نخستین گره اقدام نموده‌اند.

در کنار تجزیه تابع تشخیص، رگرسیون لجستیک روش آماری دیگری است که برای مدل‌سازی روابط بین یک متغیر وابسته دودویی (بله/خیر یا وجود/عدم وجود) با متغیرهای مستقل عددی یا غیرعددی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع رگرسیون لجستیک نوع خاصی از تجزیه تابع تشخیص است که متغیر وابسته دارای دو سطح و متغیرهای وابسته عددی یا غیرعددی را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. در شرایطی که فرض نرمال-بودن متغیرهای مستقل صدق نمی‌کند، رگرسیون لجستیک بر تجزیه تابع تشخیص ترجیح داده می‌شود (سانوگو و یانگ 2004). در ایران نیز آقاجانی و همکاران (1389) با استفاده از دو روش یادشده و متغیرهای زراعی و آب‌وهوایی توانستند وقوع همه‌گیری بیماری پوسیدگی اسکروتینیایی ساقه کلزا در استان گلستان را پیش‌بینی نمایند. تا کنون در باره پیش‌آگاهی بیماری بادزدگی سیب‌زمینی، تحقیقی در ایران انجام نشده و این نخستین تلاش برای دستیابی به مدلی در این زمینه است.

در برخی مدل‌ها از متغیرهای دیگری که از تغییر متغیرهای اصلی به دست آمده‌اند، استفاده شده است. از جمله در TPFT¹ که در آن P ، $R1$ و $R25$ که از تغییر R ساخته شده بودند و کارایی آن‌ها در مدل‌های دیگری به اثبات رسیده بود (جانسون و همکاران 1996)، رابطه ضعیفی با وقوع بیماری نشان دادند و از این حیث، متغیرهای اصلی از وضعیت بهتری برخوردار بودند (جدول‌های 3 و 4).

در این تحقیق، وضعیت مشابهی در باره متغیرهای ترکیبی دما علاوه بر رطوبت نسبی (یعنی FT، FT70، FT80 و FT90) دیده شد، بدین ترتیب که این متغیرها بر خلاف سایر منابع (جانسون و همکاران 1996) رابطه معنی‌داری با وقوع بیماری نشان ندادند. نکته جالب توجه این بود که متغیر FT90 که توسط جانسون و همکاران (1996) مورد استفاده قرار گرفت، حتی منجر به نتیجه‌ای نگردید (جدول‌های 3 و 4).

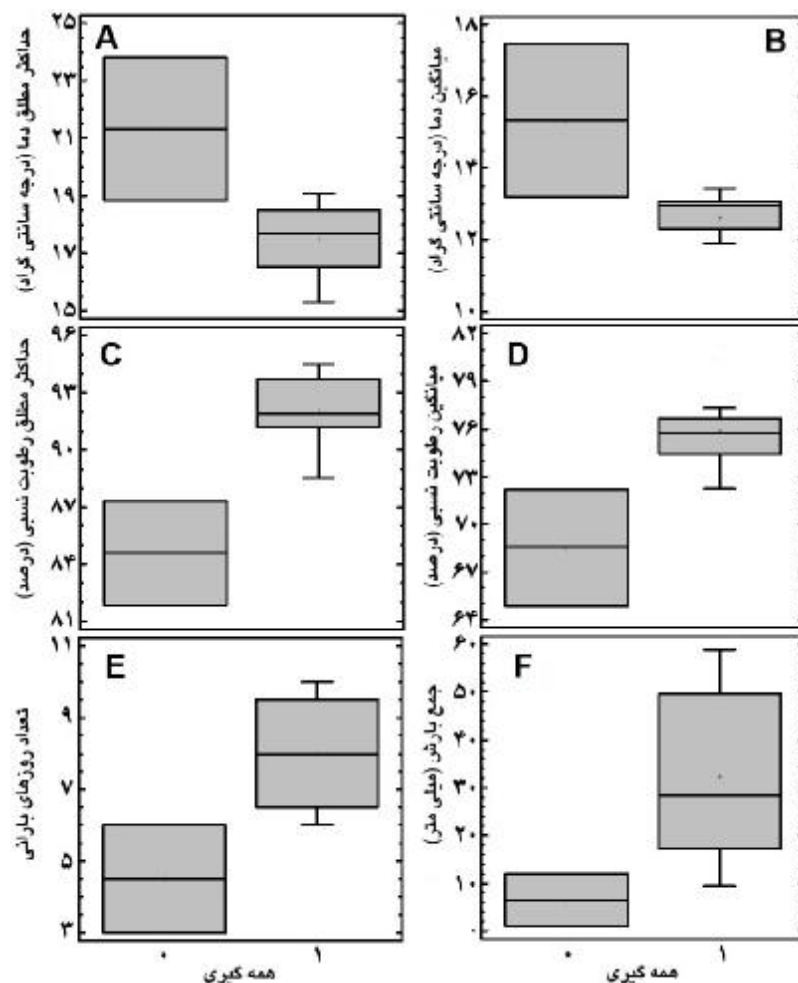
متغیرهای گروه باد نیز رابطه معنی‌داری با وقوع بیماری نشان ندادند، اما میزان تبخیر، رابطه معنی‌داری با وقوع بیماری داشت (جدول‌های 3 و 4). البته متغیرهای این دو گروه تا کنون در هیچ مدلی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند (بی‌نام 2012).

در تحقیقات مختلف، تجزیه‌های تابع تشخیص خطی برای شناسایی متغیرهای آب‌وهوایی که در پیش‌بینی همه‌گیری‌ها مفید هستند، مورد استفاده قرار گرفته است (جانسون و همکاران 1994). روش یادشده برای شناسایی ترکیب‌هایی از متغیرهای آب‌وهوایی با حساسیت (پیش‌بینی درست وقوع همه‌گیری) و اختصاصی بودن (پیش‌بینی درست عدم وقوع همه‌گیری) مناسب برای داده‌های جمع‌آوری شده به کار رفته است. هدف تجزیه تابع تشخیص، ارزیابی ارتباط بین یک متغیر وابسته غیرعددی (دارای دو یا چند سطح) با چند متغیر مستقل عددی است (جانسون و همکاران 1998). از این روش آماری برای پیش‌بینی یا طبقه‌بندی حالت‌های جدید بر مبنای یک ساختار بنانه‌شده بر اساس داده‌های

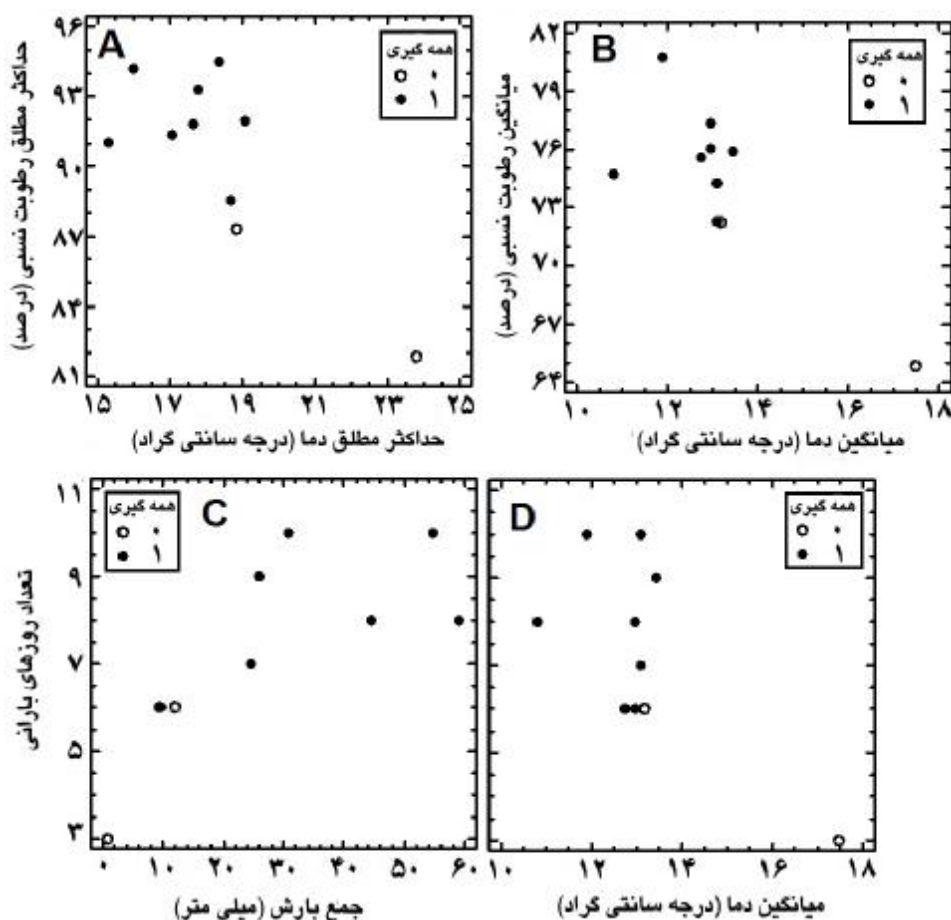
1- کل بارش طی روزهایی با دمای کمینه بالاتر یا مساوی 10 و دمای بیشینه پایین‌تر یا مساوی 22 درجه سانتی‌گراد

هر کدام از چهار مدل نهایی این تحقیق، از دو متغیر برای پیش‌بینی احتمال وقوع بیماری استفاده می‌کنند که بر اساس سهولت جمع‌آوری و فهم متغیرها، مدل شماره 1، ساده‌ترین مدل پیش‌بینی احتمال وقوع بیماری است که از متغیرهای R (جمع تعداد روزهای بارانی) و P (میزان بارندگی) استفاده کرده است (جدول 7). بر اساس این مدل‌ها، سال‌های دارای بیماری و بدون بیماری در منطقه به‌خوبی از یکدیگر تفکیک شدند (شکل 2).

با استفاده از نمودارهای جعبه‌ای می‌توان تفاوت بین سال‌های دارای بیماری و بدون بیماری را بر اساس این متغیرهای منتخب مشخص نمود (شکل 1). به عنوان مثال، در سال‌های بدون بیماری تعداد روزهای بارانی در 20 روز اول فروردین، 3 تا 6 (و به طور متوسط 4/5) روز و در سال‌های دارای بیماری، حداقل این عدد برابر با 7 (و به طور میانگین 8) روز بوده است. مقدار بارش باران طی این دوره در سال‌های دارای بیماری، حداقل 18 (با میانگین 28) میلی‌متر و در سال‌های بدون بیماری حداکثر 12 میلی‌متر بوده است (شکل 1).



شکل 1- نمودارهای جعبه‌ای متغیرهای مختلف آب‌وهوایی دوره چهارم (محور y) مورد استفاده در مدل‌سازی همه‌گیری‌های بیماری بادنزدگی فیتوفترایی سیب‌زمینی (EPI) طی سال‌های 1382 تا 1391 در منطقه گرگان (محور x که با اعداد 0 و 1 به ترتیب برای سال‌های بدون همه‌گیری و دارای همه‌گیری مشخص شده است)



شکل 2- نمودار توزیع دوبعدی بهترین متغیرهای مورد استفاده در مدل‌سازی همه‌گیری‌های بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب‌زمینی (EPI) طی سال‌های 1382 تا 1391 در منطقه گرگان

اسکلروتینیایی ساقه کلزا بر اساس عوامل زراعی و اقلیمی در استان گلستان. پژوهشنامه گیاهان روغنی ایران جلد 1. صفحه‌های 29 تا 44.

Anonymous. 2012. Statewide IPM Program, Agriculture and Natural Resources, University of California. <http://www.ipm.ucdavis.edu/MODELS/index.html>.

Agrios GN, 2005. Plant Pathology. Elsevier Academic Press, the United States of America.

FAO/CIP, 1995. Potatoes, Rome: FAO-International Potato Center.

Campbell CL and Madden LV, 1990. Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley & Sons, New York.

Hennessy GG, de Miliano WAJ and McLaren CG, 1990. Influence of primary weather variables on

منابع

- آقاجانی م، صفایی ن و علیزاده ع، 1389. بررسی احتمال وقوع همه‌گیری بیماری پوسیدگی sorghum leaf blight severity in south Africa. *Phytopathology*, 80: 943-945.
- Hijmans RJ, Forbes GA and Walker TS, 2000. Estimating the global severity of potato late blight with GIS-linked disease forecast models. *Plant Pathology* 49: 697-705.
- Hyre RA, 1954. Progress in forecasting late blight of potato and tomato. *Plant Disease Reporter* 38: 245-253.
- Hyre RA, 1955. Three methods of forecasting late blight of potato and tomato in northeastern United States. *American Potato Journal* 32:362-371.

- Johnson DA, Alldredge JR and Allen JR, 1994. Weather and downy mildew epidemics of hop in Washington state. *Phytopathology* 84: 524-527.
- Johnson DA, Alldredge JR and Hamm PB, 1998. Expansion of potato late blight forecasting models for the Columbia Basin of Washington and Oregon. *Plant Disease* 82: 642-645.
- Johnson, DA, Alldredge JR and Vakoch DL, 1996. Potato late blight forecasting models for the semiarid environment of south-central Washington. *Phytopathology* 86: 480-484.
- Krause RA, Massie LB and Hyre RA, 1975. BLITECAST, a computerized forecast of potato late blight. *Plant Disease Reporter* 59: 95-98.
- Noe JP and Barker KR, 1985. Relation of within-field spatial variation of plant-parasitic nematode population densities and edaphic factors. *Phytopathology* 75: 247-252.
- Pietravalle S, Shaw MW, Parker SR and van den Bosch F, 2003. Modeling of relationships between weather and *Septoria tritici* epidemics on winter wheat: A critical approach. *Phytopathology* 93: 1329-1339.
- Sanogo S and Yang XB, 2004. Overview of selected multivariate statistical methods and their use in phytopathological research. *Phytopathology* 94: 1004-1006.
- Schumann GL and D'Arcy CJ, 2005. Late blight of potato and tomato. in: *The Plant Health Instructor*. APS Press.
- Skelsey P, 2008. Multi-scale modeling of potato late blight epidemics. Ph.D. thesis, Wageningen University, the Netherlands.
- Wallin, J. R. 1951. Forecasting tomato and potato late blight in the northcentral region. *Phytopathology* 41: 37.
- Wallin JR, 1962. Summary of recent progress in predicting the late blight epidemics in United States and Canada. *American Potato Journal* 39: 306-312.
- Wallin JR and Waggoner PE, 1950. The influence of climate on the development and spread of *Phytophthora infestans* in artificially inoculated potato plots. *Plant Disease Reporter* 190 (Suppl.): 19-33.

Probability of Disease Occurance for Potato Late Blight in Gorgan (Golestan Province, Iran) Based on Weather Conditions

MA Aghajani

Assistant Professor of Research, Agricultural and Natural Resources Research Center of Golestan Province, Gorgan, Iran

* Corresponding author: E- mail: maaghajani@yahoo.com

Received: 17 Jun 2012

Accepted: 30 Dec 2012

Abstract

Late blight, caused by *Phytophthora infestans*, is one of the most important diseases of potato in the world and Iran, especially in Golestan province. With regard to favorable weather conditions in the spring, high prevalence of the disease and hence extensive fungicides application can be observed in potato fields of Gorgan in Ordibehesht (mid April) of nearly every year. For prediction of the probability of the disease occurrence, recorded epidemics data in recent 10 years and weather data of the region were used. In order to modeling, 24 weather variables during six different periods (all the period of Farvardin (March-April), first 10 days, second 10 days, third 10 days, first 20 days and last 20 days of the month) were studied using logistic regression and discriminant analysis methods. After developing and comparing the statistical models, it was revealed that all the periods of Farvardin (March-April) is more suitable than other durations for modeling and four bivariate models were developed using the variables: total precipitation (P), number of rainy days (R), relative maximum temperature (Tax) and relative maximum RH (RHax) which showed total correctness value of 80-100% and coefficient of determination of 99.99%.

Keywords: Discriminant analysis, Forecasting, Late blight, Logistic regression, Potato, Weather variables