



انجمن ملی گیاهپزشکی ایران

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و یکم، شماره چهارم، ۱۳۹۳
<http://jopp.gau.ac.ir>

مدلی برای پیش‌آگاهی بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب‌زمینی در گرگان

*محمدعلی آقاجانی

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان
تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۲۳

چکیده

بادزدگی فیتوفترایی ناشی از *Phytophthora infestans*، یکی از بیماری‌های مهم سیب‌زمینی در دنیا و ایران، به‌ویژه در استان گلستان می‌باشد. برای پیش‌آگاهی این بیماری تاکنون ۱۶ مدل در دنیا معرفی شده است. به‌منظور ساختن یک مدل پیش‌آگاهی، از داده‌های آب و هوایی و وقوع بیماری طی ده سال اخیر استفاده شد. سپس با استفاده از داده‌های دما، رطوبت نسبی و بارش روزانه فروردین ماه، ۲۲ متغیر ساخته شد. بررسی این متغیرها با استفاده از روش‌های آماری رگرسیون لجستیک و تحلیل تشخیصی نشان داد که چهار متغیر *nTRH10*، *nTRHPR10*، *nRH10* و *nTRHP20* دارای ارتباط قوی با وقوع یا عدم وقوع بیماری بودند. بر اساس این چهار متغیر، چهار مدل پیش‌آگاهی جهت پیش‌بینی احتمال وقوع بیماری معرفی شد. متغیر *nTRH10* قوی‌ترین رابطه را با وقوع یا عدم وقوع بیماری داشته، میانگین مقدار این متغیر در سال‌های بدون بیماری و دارای بیماری به‌ترتیب ۴۵ و ۱۱۸/۷۵ و درجه صحت پیش‌بینی مدل نهایی صد در صد بود.

واژه‌های کلیدی: سیب‌زمینی، بیماری بادزدگی، *Phytophthora infestans*، پیش‌آگاهی، متغیرهای آب و هوایی

مقدمه

بیماری بادزدگی، ناشی از شبه‌قارچ *Phytophthora infestans*، مهم‌ترین بیماری سیب‌زمینی در دنیا، به‌ویژه در مناطق خنک و مرطوب است. در مورد اهمیت این بیماری، تنها کافی است که به

* مسئول مکاتبه: maaghajanina@yahoo.com

قحطی ایرلند اشاره شود. همه‌گیری‌های بیماری بادزدگی در دهه ۱۸۴۰، قحطی سیب‌زمینی در ایرلند را به وجود آورد که بر اثر آن حدود ۱/۵ میلیون نفر از مردم این کشور از بین رفتند و همین تعداد نیز کشور را (غالباً به مقصد آمریکا) ترک کردند (اگریوس، ۲۰۰۵؛ شومان و دی آرسی، ۲۰۰۵).

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 متعددی در هلند، فرانسه، آلمان، روسیه، انگلستان، اسکاتلند، ایرلند، استرالیا، آمریکا و کانادا توسعه یافته است. تحقیقات اولیه در ایالات متحده توسط محققان سرویس تحقیقات کشاورزی وزارت کشاورزی آمریکا^۱ به‌عنوان بخشی از «سرویس اخباری سفیدک داخلی» به‌دنبال همه‌گیری شدید بادزدگی گوجه‌فرنگی در سال ۱۹۴۶ انجام شد. یک فرض مقدماتی و هنوز عمومی در پیش‌آگاهی این بیماری این است که زادمایه *P. infestans* به اندازه کافی برای آغاز یک همه‌گیری وجود دارد (یکی از اجزای مثلث بیماری) و شرط اصلی تعیین‌کننده در بروز همه‌گیری، مساعد بودن شرایط محیطی است (کمبل و مدن، ۱۹۹۰).

داده‌های دما، رطوبت نسبی و ریزش باران طی هر فصل زراعی، 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 در بادزدگی عبارتند از: سامانه هایر (شومان و دی آرسی، ۲۰۰۵)، سامانه والین و بلایت کست (که دو سامانه قبلی را در هم ادغام کرده است) (کراوز و همکاران، ۱۹۷۵).

جانسون و همکاران (۱۹۹۶ و ۱۹۹۸) روابط بین عوامل آب و هوایی و همه‌گیری‌های بادزدگی سیب‌زمینی (ناشی از *Phytophthora infestans*) در جنوب و مرکز ایالت واشینگتن را 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 ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۴ بود. طی دوره مطالعه، هر سال که بادزدگی در هر مزرعه موجود در منطقه تأیید شد، به‌عنوان یک سال همه‌گیری (مورد) و در غیر این صورت به‌عنوان سال غیر همه‌گیری (شاهد) طبقه‌بندی شد.

در پایگاه مدیریت تلفیقی آفات (IPM) دانشگاه کالیفرنیا، دیویس، ۱۶ 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 (یوسی آی پی ام آن‌لاین، ۲۰۱۲).

از وضعیت بیماری در نقاط مختلف کشور، اطلاع دقیقی در دست نیست، اما بر اساس اطلاعات موجود در نزد کشاورزان با سابقه، این بیماری از سال‌های دور در منطقه گرگان وجود داشته و خسارت‌های شدیدی را به محصول سیب‌زمینی وارد کرده است تا حدی که موجب شده تا حتی بیش از سه مرتبه سمپاشی برای کنترل بیماری در یک سال انجام شود. تحقیق در رابطه با پیش‌آگاهی بیماری، از سابقه چندانی برخوردار نیست. آقاجانی (۲۰۱۲a) برای بررسی احتمال وقوع بیماری، ۲۴ متغیر آب و هوایی طی ۶ دوره زمانی (تمام فروردین ماه، دهه اول، دهه دوم، دهه سوم، بیست روز اول و بیست روز آخر آن) را مورد مطالعه قرار داد. پس از مقایسه مدل‌های آماری ساخته شده، مشخص شد که استفاده از تمام فروردین ماه نسبت به سایر دوره‌ها برای مدل‌سازی مناسب‌تر است و چهار مدل دومتغیره با استفاده از متغیرهای میزان بارندگی (P)، تعداد روزهای بارانی (R)، حداکثر نسبی دما (Tax) و رطوبت نسبی هوا (RHax) ساخته شد که از صحت کلی ۸۰-۱۰۰ درصد و ضریب تبیین ۹۹/۹۹ درصد برخوردار بودند.

به‌منظور بررسی کارایی دو مدل هایر و والین در شرایط منطقه گرگان، از داده‌های آب و هوایی ده سال اخیر و روش‌های آماری رگرسیون لجستیک و تحلیل تشخیصی استفاده شد. تجزیه و تحلیل متغیرهای این مدل‌ها طی دو دوره زمانی (از تاریخ کاشت تا ظهور بیماری و از اول فروردین تا ظهور بیماری) نشان داد که بین متغیرهای مخصوص این دو مدل و وقوع بیماری، رابطه معنی‌داری وجود ندارد، اما تغییر آستانه مقدار بارش در مدل هایر و رطوبت نسبی در مدل والین توانست ارتباط معنی‌داری با وقوع بیماری ایجاد نماید. در کنار متغیرهای این دو مدل، چهار متغیر جمع بارش، تعداد روزهای بارانی، جمع ساعت‌های آفتابی و جمع تبخیر، رابطه بسیار معنی‌داری با وقوع بیماری داشتند و توانستند وقوع بیماری را با دقت بالایی پیش‌بینی کنند (آقاجانی، ۲۰۱۲b).

هدف از انجام این تحقیق، بررسی تکمیلی متغیرهای آب و هوایی در منطقه سرخنکلاته گرگان بود، به‌طوری که بر اساس مدل‌های آماری با کمک چند متغیر ساده، و با استفاده از نتایج بررسی‌های قبلی، بتوان وقوع بیماری را قبل از وقوع پیش‌بینی کرد و آمادگی لازم جهت مقابله با بیماری را در کشاورزان ایجاد نمود. بی‌تردید، پیش‌بینی درست عدم وقوع، مانع سمپاشی‌های غیر ضروری شده، پیش‌بینی درست وقوع بیماری نیز آمادگی قبلی را در کشاورزان جهت مقابله بهتر با بیماری فراهم خواهد نمود.

مواد و روش‌ها

داده‌های موردنیاز برای این تحقیق، شامل وضعیت همه‌گیری بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب زمینی در منطقه سرخنکلاته در شرق شهرستان گرگان طی ۱۰ سال گذشته (از ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۱) بود که جزئیات آن در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- تاریخچه اپیدمی بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب‌زمینی طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۱ در منطقه سرخنکلاته گرگان.

سال	تاریخ کاشت	تاریخ ظهور بیماری	وضعیت اپیدمی*
۱۳۸۲	۸۱/۹/۱۹	۸۲/۲/۱	+
۱۳۸۳	۸۲/۹/۱۴	۸۳/۲/۵	طغیانی
۱۳۸۴	۸۳/۱۰/۲	۸۴/۲/۱۳	-
۱۳۸۵	۸۴/۹/۲۵	۸۵/۲/۸	طغیانی
۱۳۸۶	۸۵/۱۱/۵	۸۶/۲/۲۱	+
۱۳۸۷	۸۶/۹/۲۳	-	-
۱۳۸۸	۸۷/۱۰/۱	۸۸/۲/۱۸	+
۱۳۸۹	۸۸/۱۰/۸	۸۹/۲/۹	طغیانی
۱۳۹۰	۸۹/۱۰/۸	۹۰/۲/۲۸	+
۱۳۹۱	۹۰/۱۰/۲۱	-	-

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

داده‌های آب و هوایی منطقه طی ده سال اخیر از ایستگاه هواشناسی هاشم‌آباد گرگان واقع در فاصله ۲۰ کیلومتری منطقه سرخنکلاته گرگان که دارای عرض جغرافیایی و شرایط محیطی مشابه با منطقه یادشده است، دریافت گردید. برای ساختن متغیرهای موردنیاز، ابتدا میانگین‌های ۵ و ۱۰ روزه دما، رطوبت نسبی بیشینه، کمینه و متوسط روزانه و جمع بارش برای دوره زمانی ابتدای فروردین تا انتهای اردیبهشت ده سال اخیر محاسبه شد. در مرحله بعد، بر اساس طیف مساعد متغیرهای آب و هوایی برای همه‌گیری بیماری (آقاجانی، ۲۰۱۲a؛ آقاجانی، ۲۰۱۲b)، مناسب یا غیرمناسب بودن آن روز برای بیماری بر اساس هر کدام از متغیرها مشخص شد و به ترتیب با اعداد یک و صفر نشان داده

شد. در مرحله سوم، جمع امتیازات هر روز بر اساس متغیرهای مختلف دما، رطوبت نسبی، روز بارانی و جمع بارش، دما + رطوبت نسبی، دما + رطوبت نسبی + روز بارانی و جمع بارش محاسبه شد. در مجموع، ۲۲ متغیر آب و هوایی به ترتیب یادشده برای دو دوره زمانی ابتدای فروردین تا انتهای فروردین و ابتدای فروردین تا روز ظهور علائم بیماری (و در سال‌های بدون بیماری تا پایان اردیبهشت) برای این ده سال محاسبه شد (جدول ۲).

جدول ۲- فهرست متغیرهای آب و هوایی مورد استفاده در مدل‌سازی اپیدمی بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب‌زمینی.

ردیف	متغیر	مفهوم
۱	nT5	تعداد روزهای با میانگین دمای بیشینه و متوسط ۵ روزه برابر یا کم‌تر از ۲۰ و ۱۵ درجه
۲	nRH5	تعداد روزهای با میانگین رطوبت نسبی کمینه، متوسط و بیشینه ۵ روزه برابر یا بیش‌تر از ۶۰، ۷۲ و ۸۸ درصد
۳	nPR5	تعداد روزهای بارانی و با جمع بارش ۵ روزه برابر یا بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر
۴	nTRH5	تعداد روزهای دارای شرط‌های $nRH5 + nT5$
۵	nTRHPR5	تعداد روزهای دارای شرط‌های $nPR5 + nRH5 + nT5$
۶	nT10	تعداد روزهای با میانگین دمای بیشینه و متوسط ۱۰ روزه برابر یا کم‌تر از ۲۰ و ۱۵ درجه
۷	nRH10	تعداد روزهای با میانگین رطوبت نسبی کمینه، متوسط و بیشینه ۱۰ روزه برابر یا بیش‌تر از ۶۰، ۷۲ و ۸۸ درصد
۸	nPR10	تعداد روزهای بارانی و با جمع بارش ۱۰ روزه برابر یا بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر
۹	nTRH10	تعداد روزهای دارای شرط‌های $nRH10 + nT10$
۱۰	nTRHPR10	تعداد روزهای دارای شرط‌های $nPR10 + nRH10 + nT10$
۱۱	nP20	تعداد روزهای با جمع بارش ۱۰ روزه برابر یا بیش‌تر از ۲۰ میلی‌متر
۱۲	nP10	تعداد روزهای با جمع بارش ۱۰ روزه برابر یا بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر
۱۳	nR	تعداد روزهای بارانی
۱۴	nTT	تعداد روزهای با میانگین دمای متوسط ۵ روزه برابر یا بیش‌تر از ۱۰ و برابر یا کم‌تر از ۲۵/۵ درجه
۱۵	nT	تعداد روزهای با میانگین ۵ روزه دمای کمینه برابر یا بیش‌تر از ۱۰ و بیشینه برابر یا کم‌تر از ۲۵/۵ درجه
۱۶	nRHH	تعداد روزهای با میانگین رطوبت نسبی کمینه و بیشینه ۵ روزه برابر یا بیش‌تر از ۶۰ و ۹۰ درصد
۱۷	nRH	تعداد روزهای با میانگین رطوبت نسبی متوسط ۵ روزه برابر یا بیش‌تر از ۷۵ درصد
۱۸	nTRH	تعداد روزهای دارای شرط‌های $nRH + nT$
۱۹	nTTRHH	تعداد روزهای دارای شرط‌های $nRHH + nTT$
۲۰	nTRHR	تعداد روزهای دارای شرط‌های $nR + nRH + nT$
۲۱	nTRHP20	تعداد روزهای دارای شرط‌های $nP20 + nRH + nT$
۲۲	nTRHP10	تعداد روزهای دارای شرط‌های $nP10 + nRH + nT$

جهت تمایز مقدار متغیرها به تفکیک سال‌های واجد و فاقد بیماری، از روش مقایسه چند نمونه (Multiple Sample Comparison) و تجزیه واریانس و مقایسه میانگین متغیرها در نرم‌افزار آماری StatGraphics Centurion XVI استفاده شد. جهت مدل‌سازی عوامل تأثیرگذار بر وقوع همه‌گیری بیماری نیز از سه روش آماری مقایسه چند نمونه، تجزیه تابع تشخیص و رگرسیون لجستیک همان نرم‌افزار استفاده شد. ترسیم نمودارها نیز با استفاده از صفحه‌گستر اکسل انجام گردید. مدل‌های نهایی با مقایسه مدل‌های توسعه یافته معنی‌دار بر اساس آماره‌هایی نظیر ضریب تبیین، میانگین مربعات خطا، صحت کلی، میزان حساسیت و اختصاصی بودن انتخاب شدند.

نتایج و بحث

نتایج اولیه حاکی از همبستگی بالای تعدادی از متغیرهای مستقل مورد مطالعه با متغیر وابسته (وقوع یا عدم وقوع همه‌گیری) در هر سه روش آماری مقایسه چند نمونه، تحلیل‌های تشخیصی و رگرسیون لجستیک بود (جدول ۳، ۴ و ۵). بر اساس نتایج هر سه روش، تعداد متغیرهای دارای رابطه معنی‌دار و بسیار معنی‌دار با وقوع بیماری در دوره اول (تمام فروردین ماه) بیش از دوره دوم (از اول فروردین تا زمان ظهور علائم) بود. به‌عنوان مثال، بر اساس روش رگرسیون لجستیک، در دوره‌های اول و دوم، به‌ترتیب ۱۷ و ۱۴ متغیر، رابطه معنی‌داری با وقوع یا عدم وقوع همه‌گیری داشتند (جدول ۵). این سومین تحقیق برای دست‌یابی به مدل‌های پیش‌آگاهی بیماری بادزدگی سیب‌زمینی در منطقه سرخنکلاته گرگان در استان گلستان است. در دو بررسی قبلی، ضمن تعیین بهترین دوره زمانی برای در نظر گرفتن متغیرهای آب و هوایی، متغیرهای میزان بارندگی (P)، تعداد روزهای بارانی (R)، حداکثر نسبی دما (Tax) و رطوبت نسبی هوا (RHax) به‌عنوان موثرترین متغیرها بر وقوع بیماری معرفی شد (آقاجانی، ۲۰۱۲ a). در تحقیق دوم، ضمن اثبات عدم کارایی مدل‌های هایر و والین، مشخص شد که تغییر آستانه مقدار بارش در مدل هایر و رطوبت نسبی در مدل والین می‌تواند به ایجاد متغیرهایی مؤثر در پیش‌آگاهی بیماری دست یافت (آقاجانی، ۲۰۱۲ b).

جدول ۳- سطح احتمال معنی دار بودن اختلاف و مقایسه میانگین متغیرهای مختلف آب و هوایی در سال‌های دارای بیماری (۱) و بدون بیماری (۰) بادزدگی سیب‌زمینی در گرگان.

متغیر	از اول فروردین تا زمان ظهور علائم				تمام فروردین ماه			
	LSD	۰	۱	سطح احتمال	LSD	۰	۱	سطح احتمال
nT5	۲۷/۹۱۴	۲۰	۵۲/۷۵	۰/۰۲۶۸	۲۱/۷۲۰	۲۰	۴۵/۷۵	۰/۰۲۵۷
nRH5	۴۳/۷۰۵	۴۷	۹۳/۶۲۵	۰/۰۳۹۳	۲۷/۹۵۸	۳۴	۶۱/۷۵	۰/۰۳۴۹
nPR5	۱۱/۷۶۹	۲۶/۵	۳۰/۱۲۵	۰/۰۴۹۷۷	۱۴/۶۷۵	۱۰/۵	۲۱/۳۲۵	۰/۱۱۸۶
nTRH5	۶۶/۶۱۶	۶۷	۱۴۶/۳۷۵	۰/۰۲۵۱	۴۳/۷۵۴	۵۴	۱۱۰/۵	۰/۰۱۷۷
nTRHPR5	۷۲/۹۵۸	۹۳/۵	۱۷۶/۵	۰/۰۳۰۵	۵۲/۵۳۴	۶۴/۵	۱۳۲/۱۲۵	۰/۰۱۷۹
nT10	۳۰/۵۱۵	۲۰/۵	۵۵/۱۲۵	۰/۰۳۰۸	۲۱/۴۷۹	۲۰/۵	۵۰	۰/۰۱۳۳
nRH10	۵۱/۲۴۲	۳۷/۵	۹۷/۳۷۵	۰/۰۲۷۳	۲۵/۰۸۰	۲۴/۵	۶۸/۷۵	۰/۰۰۳۶
nPR10	۲۰/۱۷۸	۱۷/۵	۳۲/۲۵	۰/۱۳۰۳	۱۷/۳۰۶	۸	۲۳/۸۷۵	۰/۰۶۷۳
nTRH10	۷۳/۲۹۲	۵۸	۱۵۲/۵	۰/۰۱۷۸	۳۸/۱۲۹	۴۵	۱۱۸/۷۵	۰/۰۰۲۱
nTRHPR10	۸۴/۹۸۸	۷۵/۵	۱۸۴/۷۵	۰/۰۱۸۰	۴۷/۴۱۷	۵۳	۱۴۲/۶۲۵	۰/۰۰۲۴
P20	۱۴/۳۴۸	۰	۱۳/۷۵	۰/۰۵۸۱	۱۲/۲۱۰	۰	۱۰/۸۷۵	۰/۰۷۴۱
P10	۱۴/۱۴۹	۲۲	۲۵/۳۷۵	۰/۰۵۹۷۳	۱۵/۸۹۱	۱۰	۱۹/۶۲۵	۰/۲۰۰۰
nR	۱۰/۲۸۳	۱۷/۵	۱۸/۵	۰/۸۲۸۲	۸/۱۵۳	۸	۱۳	۰/۱۹۵۰
nTT	۳۱/۸۳۵	۸۵	۵۷/۲۵	۰/۰۷۹۳	۸/۹۸۶	۴۱/۵	۳۶/۳۷۵	۰/۲۲۴۹
nT	۱۷/۸۲۰	۶۰/۵	۴۰/۳۷۵	۰/۰۳۱۴	۵/۲۵۶	۲۹/۵	۲۷/۵	۰/۴۰۵۸
nRHH	۲۷/۲۸۵	۲۹	۶۱/۵	۰/۰۲۵۲	۱۷/۴۳۹	۲۰/۵	۴۲/۷۵	۰/۰۱۸۶
nRH	۱۵/۳۸۸	۹/۵	۲۶/۲۵	۰/۰۳۶۴	۱۰/۴۱۱	۶	۱۷/۸۷۵	۰/۰۳۰۲
nTRH	۲۹/۶۶۲	۷۰	۶۶/۶۲۵	۰/۷۹۹۷	۱۱/۱۷۱	۳۵/۵	۴۵/۳۷۵	۰/۰۷۵۹
nTTRHH	۵۵/۰۱۶	۱۱۴	۱۱۸/۷۵	۰/۸۴۷۲	۲۳/۰۵۰	۶۲	۷۹/۱۲۵	۰/۱۲۵۰
nTRHR	۷۳/۳۶۹	۸۷/۵	۸۵/۱۲۵	۰/۸۸۷۱	۱۷/۰۵۸	۴۳/۵	۵۸/۳۷۵	۰/۰۷۹۲
nTRHP20	۳۲/۰۳۳	۷۰	۸۰/۳۷۵	۰/۴۷۶۵	۱۴/۹۵۰	۳۵/۵	۵۶/۲۵	۰/۰۱۲۶
nTRHP10	۳۲/۰۰۸	۹۲	۹۲	۰/۰۰۰۰	۲۱/۶۳۳	۴۵/۵	۶۵	۰/۰۷۱۳

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی (۲۱)، شماره (۴) ۱۳۹۳

جدول ۴- نتایج مدل‌سازی اپیدمی‌های بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب‌زمینی براساس متغیرهای آب و هوایی با استفاده از روش آماری آنالیز تشخیصی.

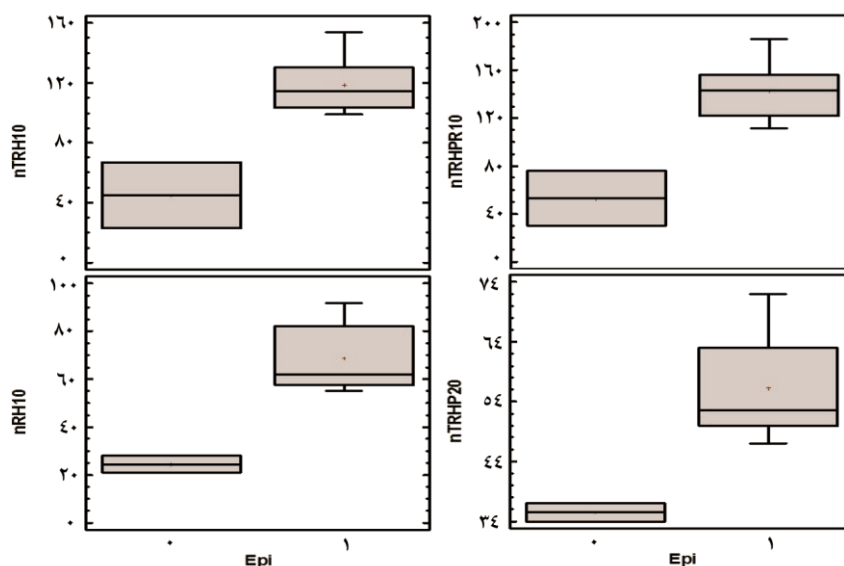
متغیر	دوره	تمام فروردین ماه				از اول فروردین تا زمان ظهور علائم				
		سطح احتمال	همبستگی کانونی	صحت کلی (درصد)	حساسیت (درصد)	اختصاصی بودن (درصد)	سطح احتمال	همبستگی کانونی	صحت کلی (درصد)	حساسیت (درصد)
nT5	۰/۰۲۶۱	۰/۶۹۵	۸۰/۰۰	۵۰/۰۰	۸۷/۵۰	۰/۰۲۷۳	۰/۶۹۱	۹۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۸۷/۵۰
nRH5	۰/۰۳۵۴	۰/۶۶۸	۸۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۷۵/۰۰	۰/۰۳۹۸	۰/۶۵۶	۸۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۷۵/۰۰
nPR5	۰/۱۱۹۳	۰/۵۲۶	۸۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۷۵/۰۰	۰/۴۹۸۲	۰/۲۴۴	۵۰/۰۰	۵۰/۰۰	۵۰/۰۰
nTRH5	۰/۰۱۸۰	۰/۷۲۵	۹۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۸۷/۵۰	۰/۰۲۵۶	۰/۶۹۷	۹۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۸۷/۵۰
nTRHPR5	۰/۰۱۸۳	۰/۷۲۴	۹۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۸۷/۵۰	۰/۰۳۱۰	۰/۶۸۰	۹۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۸۷/۵۰
nT10	۰/۰۱۳۶	۰/۷۴۶	۹۰/۰۰	۵۰/۰۰	۱۰۰/۰	۰/۰۳۱۳	۰/۶۷۹	۹۰/۰۰	۵۰/۰۰	۱۰۰/۰
nRH10	۰/۰۰۳۷	۰/۸۲۱	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰	۰/۰۲۷۷	۰/۶۹۰	۸۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۷۵/۰۰
nPR10	۰/۰۶۷۹	۰/۵۹۹	۸۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۷۵/۰۰	۰/۱۳۱۱	۰/۵۱۲	۷۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۶۲/۵۰
nTRH10	۰/۰۰۲۲	۰/۸۴۵	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰	۰/۰۱۸۱	۰/۷۲۵	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰
nTRHPR10	۰/۰۰۲۵	۰/۸۳۹	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰	۰/۰۱۸۴	۰/۷۲۴	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰
P20	۰/۰۷۴۷	۰/۵۸۸	۸۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۷۵/۰۰	۰/۰۵۸۷	۰/۶۱۶	۹۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۸۷/۵۰
P10	۰/۲۰۰۸	۰/۴۴۳	۷۰/۰۰	۵۰/۰۰	۷۵/۰۰	۰/۵۹۷۷	۰/۱۶۱	۷۰/۰۰	۵۰/۰۰	۷۵/۰۰
nR	۰/۱۹۵۸	۰/۴۴۷	۶۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۵۰/۰۰	۰/۸۲۸۴	۰/۰۷۹	۵۰/۰۰	۵۰/۰۰	۵۰/۰۰
nTT	۰/۲۲۵۷	۰/۴۲۲	۶۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۵۰/۰۰	۰/۰۷۹۹	۰/۵۷۹	۸۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۷۵/۰۰
nT	۰/۴۰۶۵	۰/۲۹۶	۶۰/۰۰	۵۰/۰۰	۶۲/۵۰	۰/۰۳۱۹	۰/۶۷۷	۹۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۸۷/۵۰
nRHH	۰/۰۱۹۰	۰/۷۲۱	۹۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۸۷/۵۰	۰/۰۲۵۶	۰/۶۹۷	۸۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۷۵/۰۰
nRH	۰/۰۳۰۶	۰/۶۸۱	۹۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۸۷/۵۰	۰/۰۳۶۹	۰/۶۶۴	۸۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۷۵/۰۰
nTRH	۰/۰۷۶۵	۰/۵۸۵	۹۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۸۷/۵۰	۰/۷۹۹۹	۰/۰۹۲	۶۰/۰۰	۵۰/۰۰	۶۲/۵۰
nTTRHH	۰/۱۲۵۸	۰/۵۱۸	۸۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۷۵/۰۰	۰/۸۴۷۳	۰/۰۷۰	۷۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۶۲/۵۰
nTRHR	۰/۰۷۹۸	۰/۵۷۹	۹۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۸۷/۵۰	۰/۸۸۷۲	۰/۰۵۲	۶۰/۰۰	۵۰/۰۰	۶۲/۵۰
nTRHP20	۰/۰۱۲۹	۰/۷۴۹	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰	۰/۴۷۷۱	۰/۲۵۵	۵۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۳۷/۵۰
nTRHP10	۰/۰۷۱۹	۰/۵۹۲	۸۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۷۵/۰۰	۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰	۲۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰

جدول ۵- نتایج مدل‌سازی اپیدمی‌های بیماری بادنزدگی فیئوفترایی سیب‌زمینی براساس متغیرهای آب و هوایی با استفاده از روش آماری رگرسیون لجستیک.

متغیر	دوره		تمام فروردین ماه		از اول فروردین تا زمان ظهور علائم	
	سطح احتمال	ضریب تبیین	سطح احتمال	ضریب تبیین	سطح احتمال	ضریب تبیین
nT5	۰/۰۲۲۹	۵۱/۷۲	۰/۰۰۱۶	۱۱/۷۶	۰/۰۰۱۶	۵۹/۸۷
nRH5	۰/۰۰۱۶	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰۱۶	۶۰/۰۳	۰/۰۰۱۶	۶۰/۰۲
nPR5	۰/۰۶۳۶	۳۴/۳۷	۰/۳۶۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۷/۳۷
nTRH5	۰/۰۰۱۶	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰۱۶	۶۰/۰۳	۰/۰۰۱۶	۹۸/۹۹
nTRHPR5	۰/۰۰۱۶	۹۹/۹۹	۰/۰۰۷۱	۶۰/۰۳	۰/۰۰۷۱	۷۲/۳۰
nT10	۰/۰۰۱۶	۹۹/۹۸	۰/۰۰۱۶	۶۰/۰۱	۰/۰۰۱۶	۹۹/۹۶
nRH10	۰/۰۰۱۶	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰۱۶	۶۰/۰۳	۰/۰۰۱۶	۱۰۰/۰۰
nPR10	۰/۰۰۱۶	۹۹/۹۹	۰/۰۲۴۲	۶۰/۰۲	۰/۰۲۴۲	۵۰/۷۷
nTRH10	۰/۰۰۱۶	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰۱۶	۶۰/۰۳	۰/۰۰۱۶	۱۰۰/۰۰
nTRHPR10	۰/۰۰۱۶	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰۱۶	۶۰/۰۳	۰/۰۰۱۶	۱۰۰/۰۰
P20	۰/۰۰۱۶	۹۹/۹۶۴۶	۰/۰۰۱۶	۶۰/۰۰	۰/۰۰۱۶	۹۹/۹۴۱۷
P10	۰/۱۶۱۹	۱۹/۵۵۰۹	۰/۵۴۵۹	۰/۰۰	۰/۵۴۵۹	۳/۶۴۴۶
nR	۰/۰۶۰۵	۳۵/۲۱۶۶	۰/۸۰۱۳	۰/۰۰	۰/۸۰۱۳	۰/۶۳۳۰
nTT	۰/۱۳۱۰	۲۲/۷۸۷۹	۰/۰۳۸۹	۰/۰۰	۰/۰۳۸۹	۴۲/۶۳۰۹
nT	۰/۳۲۴۲	۹/۷۱۲۹	۰/۰۰۷۱	۰/۰۰	۰/۰۰۷۱	۷۲/۲۹۵۴
nRHH	۰/۰۰۱۶	۹۹/۹۹۹۷	۰/۰۰۱۶	۶۰/۰۳	۰/۰۰۱۶	۹۹/۹۹۸۶
nRH	۰/۰۰۱۶	۹۹/۹۹۹۸	۰/۰۰۱۶	۶۰/۰۳	۰/۰۰۱۶	۹۹/۹۹۸۹
nTRH	۰/۰۳۱۳	۴۹/۳۰۹۶	۰/۷۷۱۵	۶/۳۴	۰/۷۷۱۵	۰/۸۴۲۵
nTTRHH	۰/۰۴۶۶	۳۹/۵۴۷۶	۰/۸۲۲۳	۰/۰۰	۰/۸۲۲۳	۰/۵۰۳۹
nTRHR	۰/۰۲۴۷	۵۰/۳۹۱۰	۰/۸۷۰۳	۱۰/۴۲	۰/۸۷۰۳	۰/۲۶۶۳
nTRHP20	۰/۰۰۱۶	۱۰۰/۰۰۰۰	۰/۳۷۳۳	۶۰/۰۳	۰/۳۷۳۳	۷/۹۲۰۶
nTRHP10	۰/۰۱۴۹	۵۹/۲۳۲۴	۱/۰۰۰۰	۱۹/۲۶	۱/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰

بر اساس روش آماری مقایسه چند نمونه، ۱۱ متغیر در فروردین ماه دارای رابطه‌ی معنی‌دار ($P < 0/05$) با وقوع بیماری بودند و از این تعداد، سه متغیر دارای رابطه‌ی بسیار معنی‌دار ($P < 0/01$) بودند (جدول ۳). نتایج حاصل از روش تجزیه تابع تشخیص کاملاً مشابه روش مقایسه چند نمونه بود (جدول ۴)، اما بر اساس روش رگرسیون لجستیک، ۱۷ متغیر در فروردین ماه دارای رابطه معنی‌دار ($P < 0/05$) با وقوع بیماری بودند و از این تعداد، ۱۲ متغیر دارای رابطه بسیار معنی‌دار ($P < 0/01$) بودند (جدول ۵).

مقایسه آماره‌های به‌دست آمده در سه روش مختلف آماری برای ۲۲ متغیر آب و هوایی مشخص نمود که چهار متغیر $nTRH10$ ، $nTRHPR10$ ، $nRH10$ و $nTRHP20$ دارای قوی‌ترین ارتباط با وقوع یا عدم وقوع بیماری بودند. به‌همین دلیل، در روش آماری مقایسه چند نمونه، نمودار جعبه‌ای این چهار متغیر بر اساس متغیر وابسته (وقوع یا عدم وقوع بیماری) ترسیم گردید (شکل ۱). در این شکل، تفاوت مقادیر این متغیرها در سال‌های دارای بیماری و بدون بیماری کاملاً مشخص شده است. جهت تعیین دقیق‌تر این اختلاف، معادله پیش‌بینی احتمال همه‌گیری‌های بیماری بر اساس دو روش تجزیه تابع تشخیص و رگرسیون لجستیک تعیین گردید (جدول ۶).



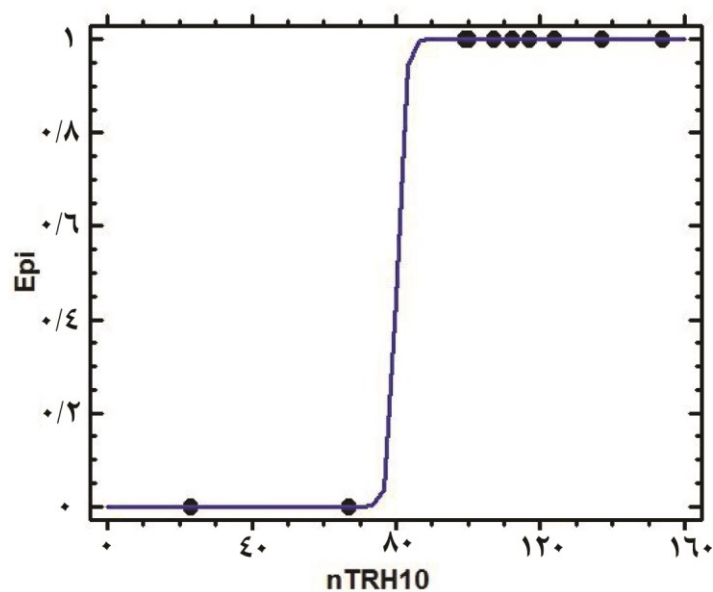
شکل ۱- نمودار توزیع دوبعدی بهترین متغیرهای مورد استفاده در مدل‌سازی اپیدمی‌های بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب‌زمینی (EPI) طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۱ در منطقه گرگان.

جدول ۶- معادله بهترین مدل‌های پیش‌بینی احتمال وقوع اپیدمی‌های بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب‌زمینی براساس متغیرهای آب و هوایی با استفاده از روش آماری رگرسیون لجستیک و آنالیز تشخیصی.

مدل	متغیر(ها)	روش	معادله ^۱
۱	nTRH10	آنالیز تشخیصی رگرسیون لجستیک	Epi = -3.00776 + 0.102872*nTRH10 eta = -76.7465 + 0.956306*nTRH10
۲	nTRHPR10	آنالیز تشخیصی رگرسیون لجستیک	Epi = -2.76932 + 0.0783462*nTRHPR10 eta = -74.6932 + 0.811593*nTRHPR10
۳	nRH10	آنالیز تشخیصی رگرسیون لجستیک	Epi = -2.27901 + 0.129458*nRH10 eta = -52.621 + 1.27899*nRH10
۴	nTRHP20	آنالیز تشخیصی رگرسیون لجستیک	Epi = -10.063 + 0.527881*nTRHP20 eta = -117.966 + 2.82077*nTRHP20

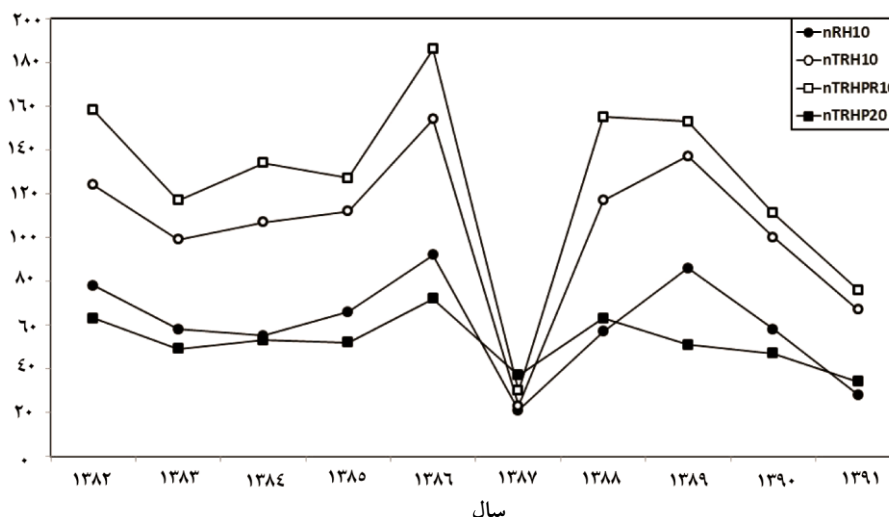
۱- فرمول محاسبه احتمال وقوع بیماری (Epi) در روش رگرسیون لجستیک عبارت است از: $EPI = \exp(\eta) / (1 + \exp(\eta))$

متغیر nTRH10 قوی‌ترین رابطه را با وقوع یا عدم وقوع بیماری داشته است و با نگاهی به نمودارهای جعبه‌ای مشخص می‌شود که میانگین مقدار این متغیر در سال‌های بدون بیماری و دارای بیماری به ترتیب ۴۵ و ۱۱۸/۷۵ بوده است. دامنه این متغیر نیز به ترتیب ۶۷-۲۳ و ۱۵۴-۹۹ بوده است. به این ترتیب می‌توان این‌طور نتیجه‌گیری کرد که در سال‌هایی که مقدار متغیر nTRH10 کم‌تر از ۷۰ بوده، بیماری در آن سال ظاهر نشده است، اما در صورت بالاتر بودن مقدار این متغیر از ۹۵، بیماری در آن سال ظاهر شده است (شکل ۱). بر اساس حدود اطمینان نمودار مدل برازش یافته در روش رگرسیون لجستیک، عدد ۸۰ برای این متغیر به‌عنوان سطح تمایز بین سال‌های دارای و بدون بیماری مشخص شد (شکل ۲).



شکل ۲- نمودار مدل برازش یافته nTRH10 با حدود اطمینان ۹۹ درصد برای پیش آگاهی بیماری بادزدگی فیتوفترایی سیب‌زمینی (EPI) طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۱ در منطقه گرگان.

چنین تفاوت آشکاری در مورد سه متغیر دیگر نیز در طول سال‌های مختلف تحقیق دیده می‌شود. بالاترین مقدار این چهار متغیر در سال ۱۳۸۶ محاسبه شده و پایین‌ترین مقدار آن‌ها در سال ۱۳۸۷ دیده می‌شود که به ترتیب جزو سال‌های دارای بیماری و بدون آن بوده‌اند (شکل ۳). بنابراین، بالاتر بودن مقدار این چهار متغیر، بیانگر مساعد بودن بیش‌تر آن سال برای وقوع بیماری می‌باشد.



شکل ۳- مقایسه چهار متغیر nTRH10، nTRHPR10، nRH10 و nTRHP20 محاسبه شده بر اساس شرایط آب و هوایی برای پیش آگاهی بیماری بادنزدگی فیتوفترایی سیب زمینی (EPI) طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۱ در منطقه گرگان.

روش مورد استفاده برای محاسبه و ساختن این متغیرها مشابه مدل هایر (۱۹۵۴ و ۱۹۵۵) و مدل والین (والین و واگونر، ۱۹۵۰؛ والین، ۱۹۵۱؛ والین، ۱۹۶۲) بوده است، به طوری که به عنوان مثال، برای ساختن متغیر nTRH10، از تعداد روزهای با میانگین دمای بیشینه و متوسط ۱۰ روزه برابر یا کمتر از ۲۰ و ۱۵ درجه و تعداد روزهای با میانگین رطوبت نسبی کمینه، متوسط و بیشینه ۱۰ روزه برابر یا بیشتر از ۶۰، ۷۲ و ۸۸ درصد استفاده شده است (جدول ۲).

استفاده از متغیر nTRH10 در قالب معادله‌های ارایه شده در جدول ۶ جهت پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع بیماری، در هر دو روش آماری، از درجه صحت تقریباً صد درصدی برخوردار بود و توانست با همبستگی کانونی ۰/۸۴۵ با متغیر وابسته، معنی‌دارترین رابطه تشخیصی را ایجاد نماید. به علاوه، محاسبه آن نیز از پیچیدگی‌های زیادی برخوردار نیست. با توجه به این معیارها، معادله‌های ارایه شده در جدول ۶، به ویژه معادله‌های مربوط به متغیر nTRH10، به عنوان مدل جدیدی برای پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع بیماری بادنزدگی سیب‌زمینی در منطقه سرخنگلاته گرگان و با عنوان

GolPhyto معرفی می‌شوند. به عبارت دیگر، معادله‌های ساخته شده برای چهار متغیر نهایی را می‌توان به عنوان چهار نسخه‌ی مختلف این مدل در نظر گرفت.

با نگاهی به ۱۶ مدل پیش‌آگاهی بیماری بادزدگی سیب‌زمینی که در وب سایت مدیریت تلفیقی آفات (IPM) دانشگاه کالیفرنیا، دیویس (یوسی آی پی ام آن‌لاین، ۲۰۱۲)، ارائه شده است مشاهده می‌شود که تنها یک مدل از متغیر تعداد روزهای بارانی استفاده کرده است (جانسون و همکاران، ۱۹۹۶). ۱۳ مدل از متغیر جمع بارش روزانه استفاده کرده‌اند. از رطوبت نسبی هوا، یک مدل به صورت ثبت روزانه و ۱۲ مدل به صورت ثبت ساعتی استفاده کرده‌اند. دما نیز در شش مدل به صورت روزانه و در ۱۲ مدل به صورت ثبت ساعتی مورد استفاده قرار گرفته است. به طور کلی، در این وب سایت، از ۱۶ مدل معرفی شده، ۴، ۸، ۲ و ۲ مدل به ترتیب دارای ۲، ۳، ۴ و ۵ متغیر مستقل می‌باشند (یوسی آی پی ام آن‌لاین، ۲۰۱۲).

در این تحقیق نیز چهار مدل (نسخه) مختلف مدل GolPhyto به ترتیب از متغیرهای nTRH10، nTRHPR10، nRH10 و nTRHP20 استفاده کرده است. متغیر nRH10 تنها بر اساس متغیر رطوبت نسبی (بیشینه و کمینه) روزانه محاسبه می‌شود و از این نظر با هیچ‌کدام از مدل‌های ارائه شده در وب سایت یادشده قابل مقایسه نیست و می‌توان آن را به عنوان ساده‌ترین مدل پیش‌آگاهی بیماری در نظر گرفت. تنها مورد مشابه، مدل هاپر (۱۹۵۴ و ۱۹۵۵) و مدل بورک و آستین (۱۹۵۵) است که از داده‌های دمای روزانه به همراه جمع ریزش روزانه برای پیش‌آگاهی بیماری استفاده کرده‌اند.

متغیر nTRH10 نیز بر اساس دو متغیر دما و رطوبت نسبی (بیشینه و کمینه) روزانه محاسبه شد که از این نظر با مدل والین (والین و واگنر، ۱۹۵۰؛ والین، ۱۹۵۱؛ والین، ۱۹۶۲) و مدل ارائه شده به وسیله سمیت (۱۹۵۶) و اصلاح شده توسط هیمز و همکاران (۱۹۹۵) مشابه می‌باشد. مدل وینستل (۱۹۹۴) نیز از این دو متغیر استفاده کرده، اما برای افزایش دقت، داده‌های ساعتی دما را نیز به مدل افزوده است.

برای ساختن متغیر nTRHP20 از سه متغیر دمای روزانه، رطوبت نسبی روزانه و جمع بارش روزانه استفاده شده است. مدل‌های BLITECAST (کراوز و همکاران، ۱۹۷۵؛ مک کنزی، ۱۹۸۱؛ مک کنزی، ۱۹۸۴)، هنسن و همکاران (۱۹۹۵)، اولریچ و شروتر (۱۹۶۶)، فورساند (۱۹۸۳)، فورر و همکاران (۱۹۹۳) و بورک (۱۹۵۳) نیز از همین سه متغیر استفاده کرده‌اند، اما با این تفاوت که از داده‌های ساعتی دما و رطوبت نسبی برای مدل‌سازی استفاده شده است. در مدل‌های

LATEBLIGHT (راپوسو و همکاران، ۱۹۹۳)، PROGEB (گانشه، ۱۹۹۳) و ستیونسن (۱۹۹۳)، علاوه بر این سه متغیر، از متغیر چهارم درجه مقاومت رقم در برابر بیماری جهت بهبود مدل استفاده شده است.

برای ساختن متغیرهای nTRHPR10 از چهار متغیر دمای روزانه، رطوبت نسبی روزانه، جمع بارش روزانه و تعداد روزهای بارانی استفاده شده است. هیچ کدام از مدل‌های پیش آگاهی بیماری بادزدگی تاکنون از این چهار متغیر در کنار هم استفاده نکرده‌اند. تنها مورد مشابه این مدل، مدل جانسون و همکاران (۱۹۹۶) است که از سه متغیر دمای روزانه، جمع بارش روزانه و تعداد روزهای بارانی استفاده کرده است.

پیچیده‌ترین مدل ارائه شده در این سایت، مدل ProPhy است که از پنج متغیر دمای ساعتی، رطوبت نسبی ساعتی، مدت بارش روزانه (بر حسب ساعت)، مقاومت رقم و میزان رطوبت سطح برگ استفاده کرده است (ریدر و همکاران، ۱۹۹۵؛ شیرز، ۱۹۹۵).

با وجود اختلاف تعداد متغیرهای آب و هوایی موردنیاز برای این مدل‌ها، کارآیی آن‌ها برای پیش‌بینی احتمال وقوع بیماری، اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهد (جدول‌های ۴ و ۵) و هر چهار شکل مدل GolPhyto را می‌توان با اطمینان بالایی برای پیش‌بینی احتمال وقوع بیماری مورد استفاده قرار داد. شاید یکی از کاستی‌های این چهار مدل، عدم استفاده از داده‌های ثبت شده به صورت ساعتی است که علت آن هم عدم دسترسی به تجهیزات پیشرفته موردنیاز بوده است. امید است ضمن استفاده کاربردی از این مدل‌ها و ترویج آن‌ها در میان کشاورزان منطقه، گامی در جهت کاهش مصرف سموم و آلودگی محیط‌زیست از طریق حذف سمپاشی‌های غیرضروری برداشته شود و با فراهم شدن تجهیزات موردنیاز برای ثبت ساعتی داده‌های دما و رطوبت نسبی، امکان ساختن مدل‌های دقیق‌تر و مطمئن‌تر برای منطقه، ایجاد گردد.

منابع

1. Aghajani, M.A. 2012a. Study of disease occurrence probability for potato late blight in Gorgan based on weather conditions. *App. Res. Plant Pathol.* 1: 67-70.
2. Aghajani, M.A. 2012b. Study of efficacy of Hyre and Wallin models for predicting potato late blight in Gorgan. *Res. Plant Pathol.* 2: 23-30.
3. Agrios, G.N. 2005. *Plant Pathology*. Elsevier Academic Press, the United States of America. 922p.

4. Bourke, P.M. 1953. Potato blight and the weather: A fresh approach. Technical Note No. 12. Irish Meteorol. Service. 11p.
5. Bourke, P., and Austin, M. 1955. The forecasting from weather data of potato blight and other plant diseases and pests. World Meteorological Organization, WMO No. 42 TP 16, Geneva, Switzerland. 10p.
6. Campbell, C.L., and Madden, L.V. 1990. Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley and Sons, New York. 532p.
7. Forrer, H.R., Gujer, H.U., and Fried, P.M. 1993. PhytoPRE- A comprehensive information and decision support system for late blight in potatoes. Pages 102-111 in: Workshop on Computer-based Decision Support System (DSS) in Crop Protection, Parma, Italy. 634p.
8. Forsund, E. 1983. Late blight forecasting in Norway 1957-1 980. EPPO Bull. 13: 255-258.
9. Gutsche, V. 1993. PROGEB- a model-aided forecasting service for pest management in cereals and potatoes. EPPO Bull. 23: 577-581.
10. Hansen, J.G., Andersson, B., and Hermansen, A. 1995. NEGFY- A system for scheduling chemical control of late blight in potatoes. Pages 201-208 in: *Phytophthora infestans* 150: European Association for Potato Research (EAPR)--Pathology Section Conference, Trinity College, Dublin, Ireland. 382p.
11. Hims, M.J., Taylor, M.C., Leach, R.F., Bradshaw, N.J., and N.V. Hardwick. 1995. Field testing of blight risk prediction models by remote data collection using cellphone analogue networks. Pages 220-225 in: *Phytophthora infestans* 150: European Association for Potato Research (EAPR)--Pathology Section Conference, e.a.L.J. Dowley, ed. Boole Press, Ltd., Trinity College, Dublin, Ireland. 382p.
12. Hyre, R.A. 1954. Progress in forecasting late blight of potato and tomato. Plant Dis. Rep. 38: 245-253.
13. Hyre, R.A. 1955. Three methods of forecasting late blight of potato and tomato in northeastern United States. Amer. Potato J. 32: 362-371.
14. Johnson, D.A., Alldredge, J.R., and Vakoeh, D.L. 1996. Potato late blight forecasting models for the semiarid environment of south-central Washington. Phytopathol. 86: 480-484.
15. Johnson, D.A., Alldredge, J.R., and Hamm, P.B. 1998. Expansion of potato late blight forecasting models for the Columbia Basin of Washington and Oregon. Plant Dis. 82: 642-645.
16. Krause, R.A., Massie, L.B., and Hyre, R.A. 1975. BLITECAST, a computerized forecast of potato late blight. Plant Dis. Rep. 59: 95-98.
17. MacKenzie, D.R. 1981. Scheduling fungicide applications for potato late blight. Plant Dis. 65: 394-399.
18. MacKenzie, D.R. 1984. Blitecast in retrospect a look at what we learned. FAO Plant Protec. Bull. 32: 45-49.

19. Raposo, R., Wilks, D.S., and Fry, W.E. 1993. Evaluation of potato late blight forecasts modified to include weather forecasts: A simulation analysis. *Phytopathol.* 83: 103-108.
20. Ridder, J.K., Bus, C.B., and Schepers, H.T.A.M. 1995. Experimenting with a decision support system against late blight in potatoes (ProPhy) in The Netherlands. Pages 191-200 in: *Phytophthora infestans* 150: European Association for Potato Research (EAPR)--Pathology Section Conference, e.a.L.J. Dowley, ed. Boole Press, Ltd., Trinity College, Dublin, Ireland. 382p.
21. Schepers, H.T.A.M. 1995. ProPhy: a computerized expert system for control of late blight in potatoes in the Netherlands. Page 948 in: *Proceedings XIII Inter. Plant Protec. Con.*
22. Schumann, G.L., and D'Arcy, C.J. 2005. Late blight of potato and tomato. in: *The Plant Health Instructor.* APS Press.
23. Smith, L.P. 1956. Potato blight forecasting by 90% humidity criteria. *Plant Pathol.* 5: 83-87.
24. Stevenson, W.R. 1993. IPM for potatoes: a multifaceted approach to disease management and information delivery. *Plant Dis.* 77: 309-311.
25. UC IPM Online, 2012. Models: Potato late blight. University of California, Davis. *URL: <http://www.ipm.ucdavis.edu/DISEASE/DATABASE/potatolateblight.html>*
26. Ullrich, J., and Schrodter, H. 1966. Das problem der vorhersage des aufretens der kartoffelkrautfaule (*Phytophthora infestans*) und die moglichkeit seiner losung durch eine negativprognose. *Nachrichtenblatt Dt. Pflanzenschutzdienst (Braunschweig)* 18: 33-40.
27. Wallin, J.R. 1951. Forecasting tomato and potato late blight in the northcentral region. *Phytopathol.* 41: 37.
28. Wallin, J.R. 1962. Summary of recent progress in predicting the late blight epidemics in United States and Canada. *Amer. Potato J.* 39: 306-312.
29. Wallin, J.R., and Waggoner, P.E. 1950. The influence of climate on the development and spread of *Phytophthora infestans* in artificially inoculated potato plots. *Plant Dis. Rep.* 190:19-33.
30. Winstel, K. 1993. Kraut-und knollenfaule der kartoffel eine eeue prognosemoglichkeit-sowie bekampfungsstrategien. *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent* 58: 3b.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources
J. Plant Prod. Res. Vol. 21 (4), 2014
<http://jopp.gau.ac.ir>

A forecasting model for potato late blight in Gorgan

***M.A. Aghajani**

Assistant Prof. of Research, Dept. Plant Protection Research, Agricultural and Natural
Resources Research Center of Golestan Province, Gorgan, Iran

Received: 10/08/2012 ; Accepted: 09/14/2014

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. 16 models have introduced for forecasting the disease in the world, so far. In order to developing a forecasting model, wether and disease occurrence data during the recent 10 years were used. then, 22 variables were built using daily temperature, relative humidity and percipitation data during March 20 to April 19. Study of these variables using logistic regression and discriminant analysis showed that four variables nTRH10, nTRHPR10, nRH10 and nTRHP20 were strongly ralated with occurrence of disease. Four forecasting models were developed for prediction of disease occurrence, based on these variables. Variable nTRH10 had the most strong relation with disease occurrence, and its mean values were 45 and 118.75 in years without and with disease, respectively. Prediction accuracy of the final model was 100%.

Keywords: Potato, Late blight, *Phytophthora infestans*, Forecasting, Wether variables

*Corresponding author; maaghajanina@yahoo.com