

## مقایسه مدل‌های پیشرفت زمانی بیماری سفیدک داخلی انگور در استان خراسان شمالی

حمید نامور حمزانلوی<sup>۱</sup>، محمد آقاجانی<sup>۲</sup>، صفرعلی مهدیان<sup>۳\*</sup> و اسماعیل بخشنده<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری بخش گیاه پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی، سازمان تحقیقات و آموزش

کشاورزی کشور، بجنورد، ایران ارشد

۲. دانشیار بخش تحقیقات گیاه پزشکی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، گرگان، ایران

۳. دانشیار گروه گیاه پزشکی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۴. استادیار پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

(تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۲۴ - تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۲۷)

## چکیده

سفیدک داخلی انگور (*Plasmopara viticola*) مهم‌ترین عامل کاهش تولید انگور در مناطق دارای آب‌وهوای معتدل و پرباران محسوب می‌شود. جهت بررسی منحنی پیشرفت زمانی بیماری در تاکستان‌های استان خراسان شمالی، طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸، از اواسط فروردین ماه هم‌زمان با تورم جوانه‌ها، با نمونه برداری هفتگی، میزان وقوع و شدت بیماری در ۸۰ تاکستان از چهار شهرستان بجنورد، مانه و سملقان، شیروان و فاروج محاسبه شدند. با استفاده از رگرسیون خطی، منحنی‌های پیشرفت زمانی بیماری با پنج مدل رشد جمعیتی به‌عنوان مدل‌های مرسوم شامل نمایی، تک‌مولکولی، لجستیک، لاگ‌لجستیک و گومپرتز که به‌صورت خطی شده بودند، برازش داده شدند. برازش مدل‌ها بر اساس آماره‌هایی چون ضریب تبیین ( $R^2$ )، انحراف معیار محاسبات (SEE) و ضریب تبیین تعدیل شده ( $R_a^2$ ) تعیین شد. نتایج نشان دادند که مدل‌های نمایی، تک‌مولکولی، لجستیک، لاگ‌لجستیک و گومپرتز به ترتیب با ۵/۲۷، ۵/۱۲، ۵/۱۷ و ۵/۳۷ درصد بیماری در باغ‌های مورد مطالعه برازش دارند. بر این اساس، مدل گومپرتز توانست با ضریب تبیین ۹۶/۷۶ درصد به‌عنوان مناسب‌ترین مدل جهت توصیف پیشرفت بیماری در استان خراسان شمالی انتخاب گردد. نسبت افزایش مقدار نرخ رشد در هر تاکستان بین ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۴۸ (با میانگین ۰/۰۲۶) بود. این اولین گزارش از بررسی منحنی پیشرفت بیماری سفیدک داخلی انگور در ایران است.

واژه‌های کلیدی: سفیدک داخلی، شدت بیماری، گومپرتز، رگرسیون خطی.

## A comparative study on disease progression curves of grapevine downy mildew in North Khorasan province

Hamid Namvar Hamzanlou<sup>1</sup>, Mohammad Aghajani<sup>2</sup>, Safar Ali Mehdian<sup>3\*</sup> and Ismail Bakhshandeh<sup>4</sup>

1. PhD student in Plant Protection, North Khorasan Agricultural Research and Training Center, Agricultural Research and Training Organization, Bojnourd, Iranarshad

2. Associate Professor, Department of Plant Protection, Agricultural and Natural Resources Research Center, Golestan Province, Gorgan, Iran

3. Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Crop Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

4. Assistant Professor, Tabarestan Agricultural Genetics and Biotechnology Research Institute, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.

(Received: January 14, 2020 - Accepted: June 16, 2020)

Grapevine downy mildew caused by *Plasmopara viticola* is the most important factor in decreasing grape production in temperate and rainy regions. To investigate the disease progression curve in vineyards of North Khorasan province during two years of 2018 and 2019, scoring of the target vineyards was carried out each week on a regular schedule from mid-April at the bud swelling time from the vineyard. The incidence rate and severity of the disease in 80 vineyards from four counties of Bojnourd, Maneh and Samolghan, Shirvan, and Farouj were calculated. Linear regression was fitted to disease time progression curves with five population growth models as exponential, monomolecular, logistic, log-logistic, and gompertz models. The model fitness was determined based on statistics as coefficient of determination ( $R^2$ ), standard error of estimates (SEE) and adjusted coefficient of determination ( $R_a^2$ ). The results showed that exponential, monomolecular, logistic, log-logistic, and Gompertz models were fitted with 5, 27.5, 12.5, 17.5, and 37.5% of the disease in the studied gardens, respectively. Accordingly, Gompertz model with 96.76% coefficient of determination was selected as the most suitable model to describe disease progression in North Khorasan province. Rates of increase ( $r_G$ ) per unit of disease in each vineyard was 0.005 to 0.048 (with an average of 0.026). This is the first report of a study of the progression curve of grapevine downy mildew in Iran.

**Keywords:** Downy mildew, disease severity, Gompertz, linear regression.

\* Corresponding author E-mail: safaralim@gmail.com

### مقدمه

سفیدک داخلی انگور (*Plasmopara viticola* (Berk. & Curt.) Berlese & de Toni. مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد انگور در مناطق دارای آب‌وهوای معتدل و مرطوب بوده و در بسیاری از کشورهای دنیا در سال‌های متمادی به صورت طغیانی درآمده و خسارت‌های جبران‌ناپذیری را در دنیا به‌ویژه فرانسه، ایتالیا، پرتغال، مجارستان، آمریکا، استرالیا، برزیل و نیوزیلند به بار آورده است (Gessler *et al.*, 2011; Delmotte *et al.*, 2010; Caffi & Rossi, 2006; Xu, 2006; Dubos, 2002; Park *et al.*, 1997). بیماری با حمله به برگ‌ها و میوه‌ها به خصوص در شرایط مناسب آب و هوایی (آب‌وهوای بارانی و رطوبت نسبی بالا)، یکی از عوامل محدودکننده تولید انگور به شمار می‌رود (Ellis, 2008; Rossi *et al.*, 2005). بیماری سفیدک داخلی انگور به‌عنوان مخرب‌ترین بیماری این محصول در دنیا یاد شده است (Yu *et al.*, 2013; Rossi *et al.*, 2017). در ایران سفیدک داخلی انگور برای اولین بار توسط اسفندیاری در سال ۱۳۲۵ گزارش شد (Behdad, 1990). این بیماری هر ساله در تاکستان‌های مناطق مرطوب ایران به خصوص در استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، خراسان، گیلان، اردبیل، خوزستان و مازندران خسارت قابل‌توجهی را به بار می‌آورد. این بیماری در سال ۱۳۴۷ در استان آذربایجان شرقی به صورت طغیانی ظاهر شد (Elahinia, 2014). در سال ۱۳۹۵ نیز بیشتر محصول تاکستان‌های خراسان شمالی را از بین برد. شدت بیماری در باغ‌هایی که دارای خوشه‌های متراکم باشند و از تهویه مناسب برخوردار نباشند بیشتر به چشم می‌خورد (Khabbaz-jolfaee, 2015).

یکی از ابزارهای مهم مدیریت بیماری‌های گیاهی، پژوهش‌های اپیدمیولوژیکی آن بیماری است (Agrios, 2005). در علم اپیدمیولوژی بیماری‌های گیاهی، به مطالعه عواملی که در گسترش بیماری در زمان و مکان نقش دارند پرداخته می‌شود (Contreras-Medina *et al.*, 2009; Madden *et al.*, 2007). مدل‌ها باعث درک بهتر و ساده‌تر فرایندهای مختلف یک بیماری می‌گردند. با استفاده از مدل‌سازی تلاش

بر این است که تا فرایندهای واقعی یک اپیدمی به صورت یک فرمول ساده ریاضی بیان و باعث درک بهتر عوامل اصلی بروز و گسترش بیماری گردد تا منجر به توسعه روش‌های مدیریتی جهت کنترل مؤثر و پایدار یک بیماری گردد (Van-Maanen & Xu, 2003; Brown *et al.*, 1997).

بیماری در گیاهان معمولاً در سطح پایین شروع می‌شود و تعداد کمی از گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ اما با گذشت زمان میزان و شدت بیماری نیز تغییر می‌کند و این تغییرات در اثر تعامل گیاه، بیمارگر و محیط با گذشت زمان ایجاد می‌شود. علائم بیماری بعد از گذشت مدتی از شروع آلودگی و توسعه آن در بافت‌های میزبان ظاهر می‌شود. معمولاً بیماری از نزدیک صفر شروع و سپس با شیب ملایم یا تند افزایش می‌یابد و در طول زمان، الگوهای مختلفی از پیشرفت را نمایان می‌کنند (Arnesen, 2001). افزایش سریع بیماری و شدت آن با گذشت زمان نشان‌دهنده ایجاد یک طغیان است. پژوهشگران بیماری‌های گیاهی از این تغییرات به‌عنوان منحنی پیشرفت بیماری (Disease Progress Curve) نام می‌برند. لذا منحنی پیشرفت بیماری با اندازه‌گیری مقدار بیماری موجود در یک جمعیت گیاهی در زمان‌های مختلف به دست می‌آید (Bowers & Kinkel, 1997).

فرایندهای دینامیکی از جمله تغییر در مقدار بیماری در جمعیتی از گیاهان در طی زمان، بر اساس نرخ تغییر آن‌ها در طی زمان تعریف می‌شود (Campbell & Madden, 1990). منحنی‌های رشد بیماری امکان تجزیه و تحلیل، مقایسه و طغیانی شدن بیماری را برای کارشناسان و پژوهشگران فراهم می‌آورد (Xu, 2006). معمول‌ترین مدل‌های پیشرفت بیماری، مدل‌های رشد جمعیتی نمایی، تک‌مولکولی، لاجستیک، لاگ‌لجستیک و گومپرتز هستند (Van-Maanen & Xu, 2003). به‌رغم اینکه نمی‌توان با استفاده از این مدل‌ها طغیان‌ها را مشخص نمود ولی پژوهشگران را قادر می‌سازد که با استفاده از نحوه رشد جمعیتی بیمارگر ارتباط مناسبی را در روند ظهور و طغیان بیماری ایجاد نمایند (Van-Maanen & Xu, 2003; Nutter, 2001).

لکه‌گرد چغندر قند در دزفول به‌عنوان مدل برتر در طی سال‌های زراعی ۸۰-۱۳۷۹ و ۸۱-۱۳۸۰ معرفی شد (Madenian- Mohammadi *et al.*, 2004). همچنین، بررسی پیشرفت رشد بیماری در شرایط کنترل‌شده بر روی بیماری بلایت فوزاریومی گندم در دمای ۳۰ درجه سلسیوس مدل‌های لجستیک و گومپرتز به‌عنوان مدل‌های مناسب معرفی شدند (Malhipour *et al.*, 2000). مدل گومپرتز در شرایط کنترل‌شده به‌عنوان مدل مناسب پیشرفت زمانی بیماری ساق سیاه توتون در شرایط آب و هوایی استان گلستان انتخاب شد (Sajjadi *et al.*, 2017). به‌رغم وجود سطوح بالایی از تاکستان‌ها در استان، عدم آگاهی از وضعیت بیماری سفیدک داخلی باعث گردیده تا هر ساله از یک‌سو شاهد سم‌پاشی‌های بی‌رویه (حداقل هفت سم‌پاشی در طی یک سال) باشیم و از سوی دیگر آلودگی محیط‌زیست را به همراه داشته باشد. در برخی سال‌ها نیز عدم سم‌پاشی به‌موقع باعث غافلگیری باغداران و طغیان بیماری گردیده است. به‌طوری‌که قسمت زیادی از محصول از بین رفته است. لذا به‌منظور شناخت بهتر پویایی بیماری، نیاز به بررسی تغییرات بیماری در طول زمان بوده و پس از تعیین مدل منطبق با وقوع و همه‌گیری بیماری، امکان مبارزه به‌موقع با آن وجود داشته باشد؛ بنابراین، هدف از این پژوهش تعیین مدل مناسب بیماری سفیدک داخلی انگور در استان خراسان شمالی جهت توصیف پیشرفت بیماری بود تا امکان تجزیه و تحلیل، مقایسه و طغیان بیماری را برای کارشناسان و پژوهشگران فراهم آورد.

### مواد و روش‌ها

این بررسی طی فصل‌های زراعی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در سطح تاکستان‌های چهار شهرستان بجنورد، مانه و سملقان، شیروان و فاروج در استان خراسان شمالی انجام شد. تعداد ده تاکستان از هر شهرستان انتخاب شدند. تمامی تاکستان‌های انتخاب‌شده در استان در محدوده جغرافیایی بین طول‌های ۵۰ درجه و ۴۷ دقیقه و ۵۲ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و

از آن جهت مهم است که پارامترهای محاسبه‌شده مدل، پایه آنالیز آماری را تشکیل داده و مقایسه منحنی‌های پیشرفت بیماری را ممکن می‌سازد (Madden, 2006; Campbell & Madden, 1990). در بررسی‌های انجام‌شده بر روی برخی از بیماری‌ها مدل گومپرتز به‌عنوان مدل مناسب معرفی شده است از آن جمله برای بیمارهای زنگ قهوه‌ای گندم (*Puccinia brecondita* Eriksoon)، سوختگی برگ ذرت (*Cochliobolus heterostrophus* Drechsler)، بیماری هلندی نارون (*Ophiostoma novo-ulmi* Brasier)، زنگ زرد (*Puccinia striiformis* Westend) با نرخ ۰/۱۱، سفیدک پودری گندم (*Blumeria graminis* Speer) و سپتوریوز جعفری (*Septoria apiicola* Spegazzini) (Berger, 1981)، ویروس خراش‌های توتون (tobacco etch virus) (Madden *et al.*, 1987)، بیماری لکه زنگی هلو (*Podosphaera leucotricha* Ellis & Everhart) (Furman *et al.*, 2003)، لکه برگ‌ی خاکستری سورگوم (*Cercospora sorghi* Ellis & Everhart) (Tunwari *et al.*, 2014) و سفیدک داخلی انگور (*Plasmopara viticola*) (Yu *et al.*, 2017) گزارش شده است. در پژوهش‌های انجام‌شده در تاکستان‌های بوردوی فرانسه در طی دو سال ۲۰۰۶-۲۰۰۷ مدل غیرخطی لجستیک برای شدت دو بیماری سفیدک داخلی و سفیدک پودری انگور معرفی شد (Savary *et al.*, 2009). مدل لجستیک به‌عنوان بهترین مدل رشد جمعیتی برای بیماری زنگ هلو در آمریکا (*Tranzchelia discolor* Fuckel) معرفی گردید (Soto-Estrada & Adaskaveg, 2004). در یک پژوهش مدل گومپرتز برای شبیه‌سازی بلوغ اووسپوری بیماری سفیدک داخلی انگور در طی فصل معرفی شد (Rossi *et al.*, 2008). در بررسی‌های انجام‌شده بر روی بیماری پوسیدگی اسکروتینیایی کلزا در شرایط آب و هوایی استان گلستان، مدل گومپرتز به‌عنوان بهترین مدل پیشرفت زمانی بیماری اعلام شد (Aghajani *et al.*, 2009). مدل لاگ لجستیک برای پیشرفت بیماری

مورد بررسی در طی دو سال پژوهش رسم شد. داده‌های به دست آمده از یادداشت برداری به صورت هفتگی با مدل‌های رشد جمعیتی شامل نمایی ( $\ln(y) = \ln(y_0) + r_{ET}t$ )، تک‌مولکولی ( $\ln[1/(1 - y)] = \ln[1/(1 - y_0)] + r_{MT}t$ )، لگ‌جستیک ( $\ln[y/(1 - y)] = \ln[y_0/(1 - y_0)] + r_{LT}t$ )، لگ‌جستیک ( $-\ln[1 - y] = \ln[y_0/(1 - y_0)] + r_{LL}[\ln(t)]$ ) و گومپرتز ( $\ln(y) = \ln[-\ln(y_0)] + r_{GT}t$ ) در این پژوهش برآزش داده شدند (Soto-Estrada & Adaskaveg, 2004; Campbell & Madden, 1990). متغیرهای مورد استفاده در این معادله‌ها شامل مقدار بیماری ( $y$ ) در زمان مشخص ( $t$ )، مقدار اولیه بیماری ( $y_0$ ) و نرخ افزایش بیماری برای هر مدل ( $r$ ) هستند.

### تجزیه و تحلیل‌های آماری

آماده‌سازی و ترسیم نمودارها توسط نرم‌افزار Microsoft Excel 2010 (شرکت Microsoft) و تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار StatGraphics Centurion XVII, Version 15.2.05 (شرکت StatPoint Technologies Inc. VA. USA) انجام و میانگین داده‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن مقایسه شد.

### نتایج و بحث

نتایج نشان دادند که میزان وقوع بیماری در طی دو سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به ترتیب بین ۱/۲-۲۶ و ۴/۶-۹۶ درصد متغیر بوده است، در حالی که میزان شدت بیماری در دو سال یادشده به ترتیب بین ۱/۲-۶/۶ و ۶/۴-۴۴/۶ درصد ثبت گردید. میانگین میزان شدت بیماری در دو سال یادشده به ترتیب ۳/۴ و ۲۵/۸۲ درصد برآورد گردید.

با استفاده از رگرسیون خطی شده منحنی‌های پیشرفت بیماری با پنج مدل رایج رشد جمعیتی شامل نمایی، تک‌مولکولی، لگ‌جستیک، لگ‌جستیک و گومپرتز تطابق داده شدند (شکل ۱). نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی جهت بررسی پیشرفت

عرض‌های ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه و ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی قرار داشتند به صورت تصادفی انتخاب شدند. ارتفاع تاکستان‌ها از سطح دریا بین ۸۳۱ تا ۱۲۱۹ متر متغیر بودند. یادداشت برداری بر اساس برنامه‌ای منظم به صورت هفتگی از اواسط فروردین ماه هم‌زمان با تورم جوانه‌ها از تاکستان انجام شد. برای تعیین شدت بیماری از درختان آلوده و دارای علائم استفاده شد. به همین منظور از هر درخت چهار شاخه در چهار جهت اصلی شمال، جنوب، شرق و غرب با توجه به طبیعت بیماری انتخاب شده و ثبت اطلاعات صورت گرفت.

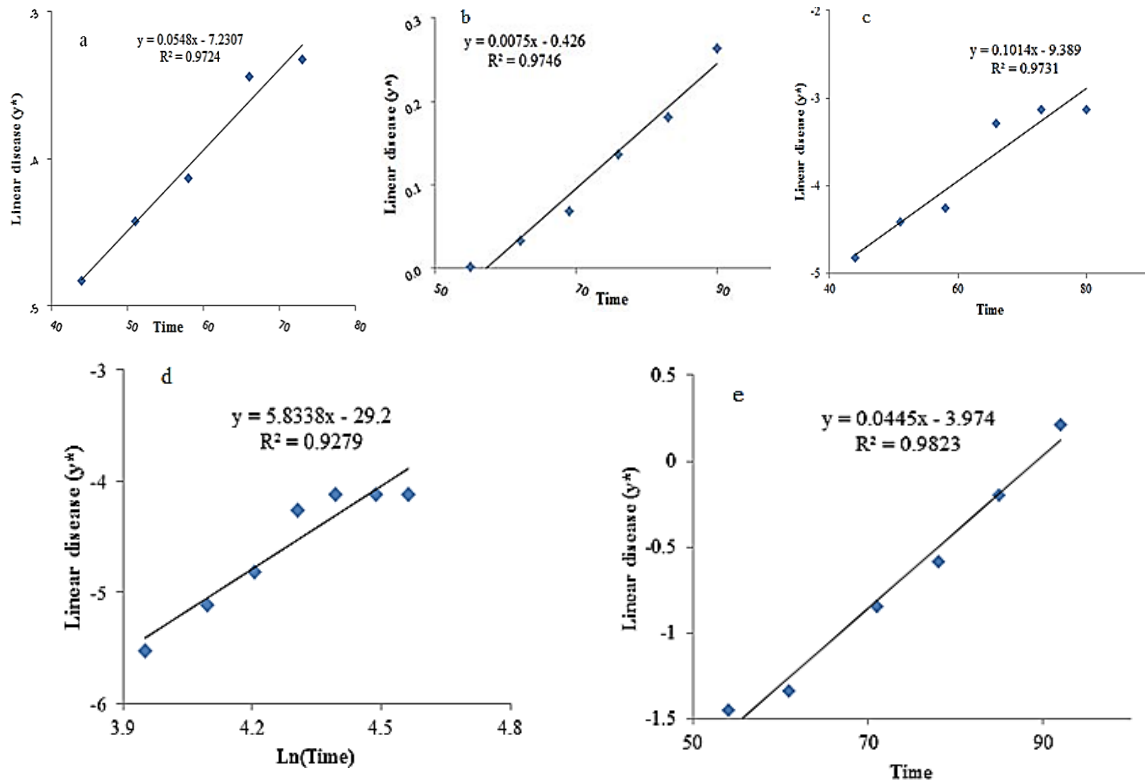
### تعیین میزان وقوع و شدت بیماری

میزان وقوع بیماری بر اساس تعداد درختان آلوده به کل درختان مورد بررسی با استفاده از معادله  $I = \sum x/N \times 100$  محاسبه شد که در آن  $I$  بیانگر میزان وقوع بیماری،  $x$  تعداد درختان دارای علائم بیماری و  $N$  تعداد کل درختان مورد بررسی هستند. جهت تعیین شدت بیماری در درختان بیمار از مقیاس شش‌گانه ارایه شده توسط سینگ و همکاران (۱۹۹۶) استفاده شد که شرح این مقیاس شش‌گانه عبارت است از:  $=0$  بدون بیماری.  $=1$  آلودگی یک تا ده درصد سطح برگ‌ها.  $=2$  آلودگی ده تا ۲۵ درصد سطح برگ‌ها.  $=3$  آلودگی ۲۵ تا ۵۰ درصد سطح برگ‌ها.  $=4$  آلودگی ۵۰ تا ۷۵ درصد سطح برگ‌ها.  $=5$  آلودگی بیش از ۷۵ درصد سطح برگ‌ها (Singh et al., 1996). شدت متوسط بیماری در هر باغ با استفاده از معادله  $S = \sum (x_i n_i) / N \times 100$  محاسبه شد که در آن  $S$  بیانگر میزان شدت بیماری،  $x_i$  بیانگر درجه شدت بیماری،  $n_i$  بیانگر تعداد درختان بیمار در درجه  $i$ ام بیماری و  $N$  بیانگر تعداد کل درختان ارزیابی شده هستند (Cardoso et al., 2004).

### منحنی پیشرفت بیماری و برآزش داده‌ها

به منظور بررسی دینامیک بیماری سفیدک داخلی انگور در استان خراسان شمالی در طی مراحل پژوهش، ابتدا منحنی پیشرفت بیماری به صورت نمودار شدت متوسط بیماری در واحد زمان برای کلیه مناطق

بیماری سفیدک داخلی انگور در هر تاکستان در طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در جدول‌های ۱ و ۲ آمده‌اند.



شکل ۱. شکل خطی شده (y\*) منحنی‌های رشدی (شدت در برابر زمان) بیماری سفیدک داخلی انگور در استان خراسان شمالی. به‌عنوان نمونه چندین مورد در این شکل ارایه شده است. (a) مدل نمایی (تاکستان 3-Bojnourd18)، (b) مدل تک‌مولکولی (تاکستان 9-18 Mane)، (c) مدل لجستیک (تاکستان 7-18 Bojnourd)، (d) مدل لاگ‌لجستیک (تاکستان 5-18 Farooj) و (e) مدل گومپرتز (تاکستان 6-19 Bojnourd). زمان به‌صورت تعداد روز از اول فروردین‌ماه در نظر گرفته شده است.

Figure 1. Linear (y \*) growth curves (intensity versus time) of grapevine downy mildew in North Khorasan province. As an example, several cases are presented in this figure. a) Exponential model (Bojnourd18-3 vineyard), b) Monomolecular model (Mane vineyard 18-9), c) Logistic model (Bojnourd18-7 vineyard), d) Log-logistic model (Farooj18-5 vineyard), and e) Gompertz model (Vineyard Bojnourd19-6). Time was regarded as the number of days since April.

جدول ۱. نتایج حاصل از ارزیابی منحنی‌های پیشرفت بیماری سفیدک داخلی انگور در چهار شهرستان بر اساس تعداد باغ‌های دارای برآزش با هر مدل در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸.

Table 1. Results of evaluation of progression curves of grapevine downy mildew in the four studied counties during 2018 and 2019.

Model	Bojnourd		Mane and Samalghan		Farooj		Shirvan		Province		Percentage		Total
	18	19	18	19	18	19	18	19	18	19	18	19	
Exponential	1	0	1	0	1	0	1	0	4	0	10	0	5
Monomolecular	5	0	5	1	3	2	3	3	16	6	40	15	27.5
Logestic	2	0	0	0	4	1	2	1	8	2	20	5	12.5
Log-logestic	2	1	2	2	1	2	2	2	7	7	17.5	17.5	17.5
Gompertz	0	9	2	7	1	5	2	4	5	25	12.5	62.5	37.5

جدول ۲. نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون خطی شده منحنی رشد بیماری سفیدک داخلی انگور بعد از برازش پنج مدل رشد در چهار شهرستان استان خراسان شمالی در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸.

Table 2. Results of linear regression analysis of growth curve of grapevine downy mildew after fitting five growth models in four studied counties of North Khorasan province in 2018 and 2019.

Region	Year	Model	R <sup>2</sup> (%)	SEE	R <sup>2</sup> (%)
Bojnourd	2018	Monomolcular	96.23	0.003	95.29
		Logestic	88.52	0.29	85.65
		Log-logestic	97.19	0.143	96.48
		Exponential	88.23	0.288	85.29
		Gompertz	91.51	0.061	89.39
	2019	Monomolcular	91.04	0.065	88.81
		Logestic	91.98	0.48	89.98
		Log-logestic	94.2	0.408	92.75
		Exponential	89.56	0.484	86.96
		Gompertz	94.7	0.154	93.39
Mane and Samalghan	2018	Monomolcular	95.7	0.001	94.84
		Logestic	87.78	0.259	85.34
		Log-logestic	97.5	0.117	97
		Exponential	87.68	0.258	85.21
		Gompertz	90.06	0.048	88.07
	2019	Monomolcular	87.97	0.053	85.56
		Logestic	87.5	0.623	85.01
		Log-logestic	93.12	0.462	91.75
		Exponential	85.2	0.628	83.24
		Gompertz	93.08	0.056	91.7
Farooj	2018	Monomolcular	91.83	0.006	90.19
		Logestic	94.96	0.079	93.96
		Log-logestic	87.77	0.248	85.33
		Exponential	87.62	0.335	85.14
		Gompertz	89.17	0.341	87.02
	2019	Monomolcular	91	0.025	88.25
		Logestic	89.96	0.483	87.45
		Log-logestic	91.8	0.409	90.01
		Exponential	89.04	0.478	88.75
		Gompertz	92.59	0.127	90.74
Shirvan	2018	Monomolcular	91.66	0.002	89.99
		Logestic	84.81	0.285	81.78
		Log-logestic	95.74	0.15	94.89
		Exponential	84.67	0.282	81.61
		Gompertz	86.69	0.06	84.03
	2019	Monomolcular	92.22	0.015	90.28
		Logestic	88.63	0.485	85.79
		Log-logestic	92.07	0.348	90.41
		Exponential	87.83	0.484	86.78
		Gompertz	92.49	0.109	90.61

آماره‌های مورداستفاده جهت دستیابی به بهترین برازش برای مدل‌ها شامل R<sup>2</sup> (ضریب تبیین)، SEE (انحراف معیار محاسبات) و R<sub>a</sub><sup>2</sup> (ضریب تبیین تعدیل شده) هستند.

The statistics used to determine the fitness of the models are: R<sup>2</sup> (coefficient of determination), SEE (standard error of the estimate) and R<sub>a</sub><sup>2</sup> (adjusted coefficient of determination).

جدول ۳. بهترین معادلات رشدی تعیین شده برای توصیف بیماری سفیدک داخلی انگور در مناطق مورد مطالعه در طی سال‌های پژوهش در استان خراسان شمالی.

Table 3. Best determined growth equations to describe the grapevine downy mildew in the studied areas during the two years of 2018 and 2019 in North Khorasan Province.

Region	Year	Fitness model	Linear equation	R <sup>2</sup> (Percentage)
Bojnourd	2018	Monomolcular	$\ln[1/(1-y)]=(0.00112907)*t-0.00733442$	96.23
	2019	Gompertz	$-\ln[-\ln(y)]=(0.0645267)*t-2.98963$	94.70
Mane and Samalghan	2018	Monomolcular	$\ln[1/(1-y)]=(0.000382804)*t-0.0012$	95.70
	2019	Gompertz	$-\ln[-\ln(y)]=(0.0542668)*t-2.83153$	91.70
Farooj	2018	Logestic	$\ln[y/(1-y)]=(0.0519661)*t-5.56825$	94.96
	2019	Gompertz	$-\ln[-\ln(y)]=(0.0445971)*t-2.6325$	92.59
Shirvan	2018	Monomolcular	$\ln[1/(1-y)]=(0.000536018)*t-0.00054119$	91.66
	2019	Gompertz	$-\ln[-\ln(y)]=(0.0379466)*t-2.48858$	92.49

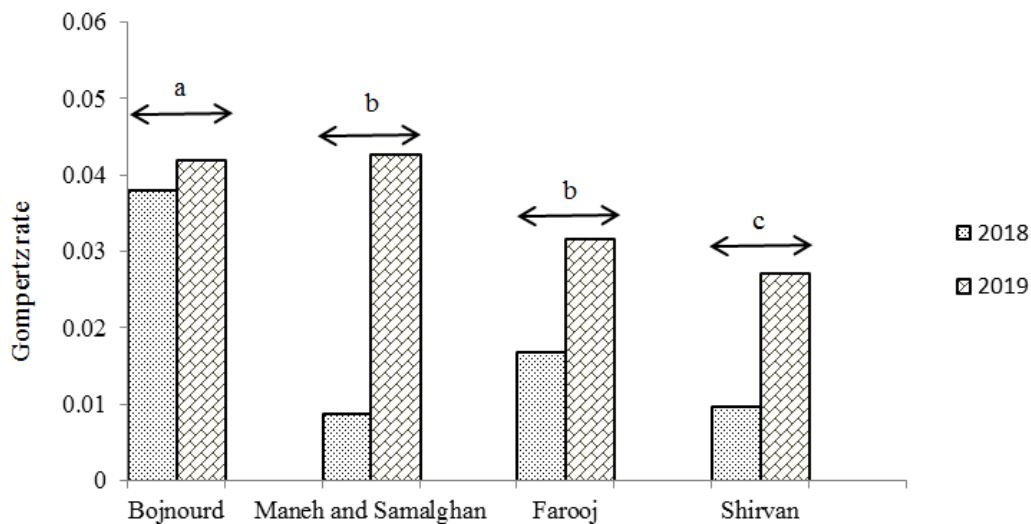
مقدار بیماری (y) در زمان مشخص (t) و R<sup>2</sup> ضریب تبیین مدل است.

The amount of disease (y) at a given time (t) and R<sup>2</sup> is the model's explanation factor

مورد مطالعه در مکان پنجم قرار گرفت. در نهایت معادلات مناسب برای هر مدل پیشرفت بیماری سفیدک داخلی انگور در هر منطقه-سال در طی دو سال پژوهش در استان خراسان شمالی ارائه گردید (جدول‌های ۲ و ۳).

با توجه به توصیف مناسب پیشرفت بیماری توسط مدل گومپرتز، بررسی‌های انجام شده اختلاف معنی‌دار بین نرخ پیشرفت بیماری بر اساس مدل گومپرتز (TG) در هر سال و در مجموع دو سال بین مناطق چهارگانه استان را نشان می‌دهد (جدول تجزیه واریانس ارائه نگردیده است). بالاترین نرخ مربوط به سال ۹۸ (متوسط ۰/۰۳۵) و کمترین نرخ مربوط به سال ۹۷ (متوسط ۰/۰۱۸) بود. متوسط نرخ گومپرتز برای دو سال مورد پژوهش ۰/۰۲۶ بود. در بین شهرستان‌ها در مجموع دو سال پژوهش، بیشترین نرخ مربوط به شهرستان بجنورد (متوسط ۰/۰۳۹۸) و کمترین نرخ مربوط به شهرستان شیروان (متوسط ۰/۰۱۸۲) بود (شکل ۲).

هر پنج مدل مورد بررسی توانستند توصیف قابل قبولی از پیشرفت بیماری سفیدک داخلی انگور در واحد زمان را ارائه دهند (جدول ۱). با استفاده از آماره‌هایی چون ضریب تبیین، خطای محاسباتی استاندارد، ضریب تبیین تعدیل‌شده و نیز نمودار باقیمانده‌ها بهترین مدل برای هر تاکستان در هر سال انتخاب گردید (جدول ۱). در نهایت مدل گومپرتز با استفاده از آماره‌های یاد شده به‌عنوان بهترین مدل در طی دو سال پژوهش برای توصیف پیشرفت زمانی بیماری سفیدک داخلی انگور در استان خراسان شمالی انتخاب شد. مدل گومپرتز توانست در طی دو سال پژوهش در ۳۷/۵ درصد از تاکستان‌های استان توصیف درستی از پیشرفت بیماری با ضریب تبیین ۹۶/۷۶ درصد را داشته باشد (جدول ۱). در این بررسی مدل تک‌مولکولی با ۲۷/۵ درصد و مدل لاگ‌لجستیک نیز با ۱۷/۵ درصد توصیف درست از پیشرفت بیماری به ترتیب در مکان‌های دوم و سوم قرار گرفتند و مدل نمایی نیز با ۵ درصد توصیف درست از پیشرفت بیماری در تاکستان‌های



شکل ۲. مقایسه نرخ مدل گومپرتز در مجموع دو سال پژوهش در بیماری سفیدک داخلی انگور در استان خراسان شمالی  
Figure 2. Comparison of the Gompertz model rate in a total of two years of research on grapevine downy mildew in North Khorasan province

مورد مطالعه به چشم می‌خورد که در فصل نتایج ارائه شده است. به‌گونه‌ای که تمامی باغ‌های مورد مطالعه در سال ۹۷ دارای آلودگی کمتر از ۱۰

با بررسی تاکستان‌های استان در طی این پژوهش مشاهده شد که مقادیر متفاوتی از میزان آلودگی تاکستان‌ها به بیماری سفیدک داخلی انگور در منطقه

که در سال ۹۷ مدل تک‌مولکولی با بیش‌ترین برازش بهترین مدل توصیفی از روند پیشرفت بیماری بوده است. مدل تک‌مولکولی اساساً برای بیان بیماری‌های تک‌چرخه‌ای استفاده می‌شود که نتایج نشان می‌دهند به دلیل مساعد نبودن شرایط محیطی بیماری چندچرخه‌ای سفیدک داخلی انگور رفتار تک‌چرخه‌ای را از خود نشان داده است. با این وجود، در سال ۹۸ مدل گومپرتز با  $62/5$  درصد، نشان‌دهنده رفتار چندچرخه‌ای بیماری بود. با بررسی شرایط محیطی دو سال مشاهده می‌گردد که شرایط محیطی در سال ۹۸ برای این بیماری مساعدتر بوده است. در مجموع دو سال پژوهش نیز مدل گومپرتز با  $37/5$  درصد به‌عنوان مدل برتر در دو سال عمل کرد (جدول ۱).

نرخ پیشرفت بیماری در مدل گومپرتز ( $I_G$ ) در اپیدمی‌های مختلف دارای مقادیر مختلفی هستند. در بیشتر گزارش‌های انجام‌شده برای بیماری‌های برگری نرخ گومپرتز مقادیر کمتر از  $0/1$  هستند. کارآیی این مدل برای بیمارهایی چون زنگ قهوه‌ای گندم، سوختگی برگ ذرت، بیماری هلندی نارون، زنگ زرد و سفیدک پودری گندم، سپتوریوز جعفری، ویروس خراشه‌ای توتون، بیماری لکه زنگی هلو و لکه برگری خاکستری سورگوم گزارش شده است. در این پژوهش نیز میزان نرخ رشد گومپرتز از  $0/005$  تا  $0/048$  متغیر بود. این نتایج نشان می‌دهند که طغیان این بیماری در طی دو سال پژوهش از روند افزایشی نسبتاً کندی برخوردار بوده است.

شبه قارچ *P. viticola* برای ایجاد آلودگی اولیه نیاز به بارش دارد. نتایج نشان دادند در زمانی که در اوایل فصل (فروردین و اردیبهشت‌ماه) تعدد بارش‌ها را داشته باشیم، آلودگی اولیه به‌سرعت رخ داده و در سال‌های با میزان بارش پایین (سال‌های کم‌باران) آلودگی اولیه به‌کندی صورت گرفته و بیماری ظاهر نمی‌شود و یا به آستانه زیان اقتصادی نمی‌رسد. آلودگی ثانویه زمانی اتفاق خواهد افتاد که حداقل رطوبت (حدود ۴۴ درصد) وجود داشته باشد. از این‌رو در سال‌های کم‌باران، نرخ رشد بیماری سفیدک داخلی انگور پایین‌تر از سال‌های پر باران است. نتایج این

درصد داشته‌اند. با انجام طبقه‌بندی تاکستان‌ها طی دو سال بررسی بر اساس میزان شدت نهایی بیماری، مشخص شد که ۵۵ درصد باغ‌ها دارای شدت آلودگی کمتر از ۱۰ درصد بوده و فقط  $11/25$  درصد از باغ‌ها (همگی در شهرستان بجنورد) دارای شدت بیماری بیش از ۴۰ درصد بودند. وضعیت شدت بیماری در چهار شهرستان مورد پژوهش بر اساس آمار سال‌های گذشته و سال‌های مورد مطالعه نشان داد که در شهرستان بجنورد در اکثر سال‌ها (از سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۸) بیماری سفیدک داخلی ظاهر گردیده و میزان شدت آن نسبت به سایر شهرستان‌ها بالاتر بوده است (شکل ۲). در توجیه علت بالاتر بودن نرخ پیشرفت بیماری در شهرستان بجنورد نسبت به سایر نقاط استان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. قرار گرفتن تاکستان‌های شهرستان بجنورد در داخل رشته‌کوه البرز باعث گردیده تا در فصل بهار شرایط مساعد یعنی رطوبت کافی، بارش‌های متعدد و دمای مناسب برای عامل این بیماری که از گروه شبه قارچ‌های اوومیسیت است، فراهم گردد. علاوه بر این، رقم کلاه‌داری که از گونه *V. vinifera* است به‌عنوان رقمی با حساسیت بالا به بیماری سفیدک داخلی انگور در شهرستان‌های بجنورد و مانه و سملقان کشت و پرورش می‌یابند. در شهرستان مانه و سملقان داشتن آب‌وهوای گرم باعث می‌شود که با وجود رقم حساس در تاکستان‌های شهرستان، اما کاهش میزان رطوبت نسبی هوا که با کاهش میزان بارش همراه است سبب شده که شرایط برای ظهور بیماری‌های هوازاد که نیاز به رطوبت بالا دارند، فراهم نگردد. در شهرستان‌های شیروان و فاروج وجود آب‌وهوای معتدل سرد باعث کاهش میزان فعالیت این بیماری می‌گردد. مرحله حساس انگور به بیماری سفیدک داخلی انگور که مرحله گلدهی است در اواسط اردیبهشت تا اواسط خردادماه در استان رخ می‌دهد.

نتایج حاصل از ارزیابی منحنی پیشرفت بیماری سفیدک داخلی انگور با استفاده از رگرسیون غیرخطی (که به‌صورت خطی شده استفاده شدند) در چهار شهرستان استان در طی دو سال پژوهش نشان دادند



خراسان شمالی به خوبی توسط مدل گومپرتز قابل توصیف است. این در حالی است که در سایر باغها هم مدل گومپرتز برازش خوبی از خود نشان داده است ولی بهترین مدل نبوده است. این نتایج نشان می‌دهند که بیمارگر از سالی به سال دیگر با توجه به شرایط آب و هوایی رفتارهای زیستی متفاوتی را نشان می‌دهد؛ بنابراین به منظور کاهش میزان خسارت بیماری بایستی میزان شدت آن را کاهش و در مدیریت کنترل مدنظر قرار داد. آنچه در مدیریت کنترل بایستی مورد توجه قرار گیرد این است که با بازدیدهای هفتگی از باغها و برازش داده‌های مدل‌های مورد استفاده، در صورتی که بهترین برازش با مدل گومپرتز را داشته باشند، قبل از رسیدن نرخ رشد بیماری به نرخ متوسط ۰/۰۲۶ باید از روش‌های کنترل برای جلوگیری از خسارت بیمارگر استفاده نمود. همچنین شرایط آب و هوایی و توپوگرافی شهرستان بجنورد نسبت به سایر شهرستان‌های مورد مطالعه جهت توسعه بیماری مناسب‌تر بوده و بیماری سفیدک داخلی از شدت بیشتری برخوردار است.

پژوهش نیز نشان دادند که بر اساس مدل گومپرتز سال ۹۷ به دلیل کم‌باران بودن دارای نرخ رشد پایین‌تر بوده است.

در برازش مدل‌های رشد جمعیتی با داده‌های یادداشت‌برداری شده باید از زیست‌شناسی بیمارگر نیز استفاده کرد. استفاده از شکل منحنی برای تعیین مدل به تنهایی می‌تواند گمراه‌کننده باشد. داده‌های مشاهده‌ای انتهای خط مدل، دارای وزن نادرستی در تعیین برازش مدل خواهند داشت. این امر کاملاً امکان‌پذیر بوده که یک سری داده بتوانند برازش یکسانی را با مدل‌های تک‌چرخه‌ای و چندچرخه‌ای نشان دهند و ممکن است داده‌هایی از یک اپیدمی تک‌چرخه‌ای ناشناخته برازش بهتری با یک مدل چندچرخه‌ای بدهد (Arnesen, 2001). این وضعیت در مورد داده‌های مشاهده‌ای این پژوهش نیز دیده شد و هر پنج مدل رشد جمعیتی توانستند پیشرفت بیماری سفیدک داخلی انگور را در استان خراسان شمالی تا حد قابل قبولی توصیف نمایند (جدول ۱). بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان بیان نمود بیماری سفیدک داخلی در شرایط مساعد آب و هوایی در استان

## REFERENCES

1. Aghajani, M. A., Safaei, N. & Alizadeh, A. (2009). Impact of *Sclerotinia* stem rot on canola yield in Golestan province. *Journal of Agricultural and Natural Resources Sciences*, 16(4), 109-124. (In Farsi).
2. Agrios, G. N. (2005). *Plant Pathology*, (5th ed.). Oxford, Oxfordshire, UK: Academic Press. Pp. 383-614.
3. Arnesen, P. A. (2001). *Plant disease epidemiology*. The Plant Health Instructor. DOI: 10.1094/PHI-A-2001-0524-01.
4. Behdad, E. (1990). *Diseases of Fruit Trees In Iran*. Esfahan Neshat Publishing Center. 293pp. (In Farsi).
5. Berger, R. D. (1981). Comparison of the Gompertz and logistic equations to describe plant disease progress. *Phytopathology*, 71, 716-719.
6. Bowers, J. H. & Kinkel, L. L. (1997). Interactive modeling of disease progress curves. pp. 20-23 in: Francl, L. J., and Neher, D. A. eds. 1997. *Exercises in plant disease epidemiology*. The American Phytopathological Society. 233pp.
7. Brown, J., Ogle, H. & Dale, M. (1997). *Disease management: general concepts*. Pp. 343-357, In: J. Brown and H. Ogle (eds), *Plant pathogens and plant diseases*, Australasia plant pathology society, Australia.
8. Caffi, T. & Rossi, V. (2006). Water availability in the leaf litter and germination of *Plasmopara viticola* oospores. In: *Proceedings of 5th International workshop on grapevine downy and powdery mildew, (San Michele all'Adige TN, 18-23 June 2006)*, Istituto Agrario San Michele all'Adige, San Michele all'Adige TN. 33-34. <http://hdl.h&le.net/10807/39013>.
9. Campbell, C.L. & Madden, L.V. (1990). *Introduction of plant disease epidemiology*. John Wiley, New York. 532 pp.
10. Cardoso, J. E., Santos, A. A., Rossetti, A. G. & Vidal, J. C. (2004). Relationship between incidence and severity of cashew gummosis in semiarid north-eastern Brazil. *Plant Pathology*, 53, 363-367.
11. Contreras- Medina, L. M., Torres- Pacheco, I., Guevara- Gonzalez, R. G., Romero- Troncoso, R. J.,

- Terol- Villalobos, I. R. & Osornio- Rios, R. A. (2009). Mathematical modelling tendencies in plant pathology. *African Journal of Biotechnology*, 8, 7399-7408.
12. Delmotte, F., Louveta, G., Richard-Cerveraa, S., Mestreb, P., Schilderc, A., Austerlitzd, F. & Fontained, M.C. (2010). Invasion history of grapevine downy mildew (*Plasmopara viticola*): a population genetic perspective. *6Th International Workshop of grapevine downy and powdery mildew: Villenave d'Ornon, France, Bordeaux*. 66p.
  13. Dubos, B. (2002). *Maladies cryptogamiques de la vigne: champignons parasites des organes herbacés et du bois de lavigne*. 2ème édition. Bordeaux: Editions Féret. 17-32.
  14. Elahinia, S. A. (2014). *Mycology and Plant Pathology* (Volume I). Gilan University Publication. Pp. 146-148. (In Farsi).
  15. Ellis, M. A. (2008). Downy mildew of Grapes. *Agricultural and Natural Resources*. Ohio State University. Department of Plant Pathology. Fact Sheet. HYG-3013-08, 5 pp.
  16. Furman, L. A., Lalancette, N. & White, J. F. (2003). Peach rusty spot epidemics: Temporal analysis and relationship to fruit growth. *Plant Disease*, 87, 366-374.
  17. Gessler, C., Pertot, I. & Perazzolli, M. (2011). *Plasmopara viticola*: a review of knowledge on downy mildew of grapevine and effective disease management. *Phytopathologia Mediterranea*, 50, 3-44.
  18. Khabbaz- jolfaee, H. (2015). *Identification and Management of Powdery Mildew and downy mildew of Grapevine*. Iranian Institute of Plant Protection Publications, 21pp. (In Farsi).
  19. Madden, L. V. (2006). Botanical epidemiology: some key advances and its continuing role in disease management. *European Journal of Plant Pathology*, 115, 3-23.
  20. Madden, L. V., Hughes, G. & Bosch, F. V. D. (2007). *The study of plant disease epidemics*. American Phytopathological Society Press, USA, 421 pp.
  21. Madden, L. V., Pirone, T. P. & Raccach, B. (1987). Temporal analysis of two viruses increasing in the same tobacco fields. *Phytopathology*, 77, 974-980.
  22. Madenian-Mohammadi, R., Minasian, V., Safaie, N., Mahmoudi, S. B. & Sharifi, H. (2004). Modeling of disease progress in *Cercospora* leaf spot of sugar beet. *Plant Protection Journal*, 40, 3-4, 327-343. (In Farsi).
  23. Malhipour, A., Okhovat, M. & Alizadeh, A. (2000). Analysis of wheat head blight disease progress in controlled conditions by epidemiological models. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 36, 1-2, 135-154. (In Farsi)
  24. Nutter, F. W. (2001). *Disease assessment terms and concepts*. Pp. 340-351, In: O.C. Maloy & T.D. Murray (eds), *Encyclopedia of Plant Pathology*, J. Wiley, New York.
  25. Park, E. W., Seem, R. C., Gadoury, D. M. & Pearson, R. C. (1997). DMCAST: a prediction model for grape downy mildew development. *Viticultural and Enological Scienc*, 52, 182-189.
  26. Rossi, V., Caffi, T., Giosue, S., Girometta, B., Bugiani, R., Spanna, F., Dellavalle, D., Brunelli, A. & Collina, M. (2005). Elaboration and validation of a dynamic model for primary infections of *Plasmopara viticola* in North Italy. *Rivista Italiana di Agrometeorologia*, 3, 7-13.
  27. Rossi, V., Caffi, T., Giosue, S. & Bugiani, R. (2008). A mechanist model simulating primary infections of downy mildew in grapevine. *Ecology Modelling*, 212, 480-491.
  28. Rossi, V., Caffi, T. & Gobbin, D. (2013). Contribution of molecular studies to botanical epidemiology & disease modelling: grapevine downy mildew as a case-study. *European Journal Plant Pathology*, 135, 641-654. doi: 10.1007/s10658-012-0114-2
  29. Sajjadi, S. A., Aghajani, M. A., Assemi, H. & Najafi, M. R. (2017). Survey of infection status & important agronomic factors in the incidence of tobacco leg disease in Golestan Province. *Plant Protection Journal*, 8, 2, 41-73. (In Farsi)
  30. Savary, S., Delbac, L., Rochas, A., Taisant, G. & Willocquet, L. (2009). Analysis of nonlinear relationships in dual epidemics, and its application to the management of grapevine downy and powdery mildews. *Phytopathology*, 99, 930-942.
  31. Singh, P. P., Thind, T. S. & Lal, T. (1996). Reaction of some muskmelon genotypes against *Pseudoperonospora cubensis* under field and artificial epiphytic conditions. *Indian Phytopathology*, 49, 188-190.
  32. Soto-Estrada, A. & Adaskaveg, J. E. (2004). Temporal and quantitative analyses of stem lesion development and foliar disease progression of peach rust in California. *Phytopathology*, 94, 52-60.
  33. Tunwari, B. A., Nahunnaro, H. & Anaso, A. B. (2014). Eco-friendly management strategies for gray leaf spot disease of sorghum using cultivar selection and seed dressing fungicides in Maiduguri, Nigeria. *Journal of Agriculture and Sustainability*, 5, 14-25.
  34. Van-Maanen, A. & Xu, X. M. (2003). Modelling plant disease epidemics. *European Journal of Plant Pathology* 109, 669-682.

35. Xu, X. (2006). *Modelling and interpreting disease progress*. P 215–238, In: B. M. Cooke, D. Gareth Jones & B. Kaye (eds). *The Epidemiology of Plant Diseases*, 2nd edition, Springer, Netherlands.
36. Yu, S., Liu, C., Liang, C., Zang, C., Liu, L., Wang, H. & Guan, T. (2017). Effects of Rain-shelter Cultivation on the Temporal Dynamics of Grape Downy Mildew Epidemics. *Journal of Phytopathology*, 165, 331-341.
37. Zadoks, J.C. (1985). On the conceptual basis of crop loss assessment: the threshold theory. *Annual Review of Phytopathology*, 23, 455-473.
38. Zherdev, A. V., Vinogradova, S. V., Byzova, N. A., Porotikova, E. V., Kamionskaya, A. K. & Dzantiev, B. B. (2018). Methods for the Diagnosis of Grapevine Viral Infections: *A Review Agriculture*, 12,1-19.