



## مقاله پژوهشی

بررسی تغییرات ناشی از مدل‌های پیشرفت زمانی بیماری لکه سیاه سیب در اثر استفاده از قارچ‌کش‌ها در استان خراسان شمالی

زهره جهانی<sup>۱</sup>، سید اسماعیل رضوی<sup>۲</sup>، حمید نامورحمزانلویی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری بیماری‌شناسی گیاهی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران؛ ۲- استادیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. ۳- محقق بخش گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان شمالی، بجنورد، ایران  
(تاریخ دریافت: شهریور ۱۴۰۲؛ تاریخ پذیرش: آبان ۱۴۰۲)

## چکیده

بیماری لکه سیاه با عامل قارچی *Venturia inaequalis*، از مهمترین بیماری‌های سیب در دنیا می‌باشد که به‌ویژه در مناطق دارای آب و هوای مرطوب و سرد خسارت وارد می‌کند. جهت بررسی اثر قارچ‌کش بر منحنی پیشرفت زمانی بیماری لکه سیاه سیب در استان خراسان شمالی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و هر تیمار شامل هشت تکرار در شهرستان بجنورد اجرا شد. با ظهور علائم بیماری طی یک برنامه منظم هر هفته تا کاهش پیشرفت بیماری در شاهد یادداشت‌برداری صورت گرفت. درصد وقوع و شدت بیماری در هر درخت محاسبه و تجزیه واریانس انجام گرفت. با استفاده از رگرسیون خطی منحنی‌های پیشرفت زمانی بیماری با شش مدل رشد جمعیتی به‌عنوان مدل‌های مرسوم شامل خطی، نمایی، تک‌مولکولی، لجستیک، لاگ‌لجستیک و گومپرتز که به‌صورت خطی شده بودند، برازش داده شدند. نتایج نشان داد که با توجه به کارایی هر یک از تیمارها در اثر استفاده از قارچ‌کش‌ها، منحنی پیشرفت زمانی از مدل گومپرتز در نمونه‌های شاهد، به مدل‌های لاگ‌لجستیک و در نهایت به مدل تک‌مولکولی تغییر پیدا نمود.

واژه‌های کلیدی: شدت بیماری، کنترل شیمیایی، لکه سیاه سیب، منحنی پیشرفت زمانی

### The changes of disease progression curves of apple scab disease using of fungicides in North Khorasan province

JAHANI, Z.<sup>1</sup>, RAZAVI, S.E.<sup>2</sup>, H. NAMVAR HAMZANLUE<sup>3</sup>

1. PhD student in Plant Protection, Faculty of Agriculture, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran; 2. Assist. Prof., Dept. of Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran;
3. Department of Plant Protection, North Khorasan Agricultural and Natural Resources Research, Education and Extension Organization (AREEO), Bojnourd, Iran

#### Abstract

Scab disease caused by *Venturia inaequalis* is the most important diseases of apple in the world which causes serious damage, especially in areas with wet and moderate weather. In order to investigate the effect of fungicides on the time progression curve of apple scab disease in North Khorasan province, the experiment was conducted in the form of Randomized Complete Block Design with eight treatments and eight replications in Bojnourd city. With the appearance of disease symptoms, samples were taken in a regular schedule every week until the disease progression was reduced in the control. Disease Incidence and severity percentage of the disease in each tree were determined and statically analyzed. Using linear regression, disease progression curves were fitted with six growth models as conventional models including linear, exponential, monomolecular, logistic, log-logistic and Gompertz linearized. The results showed that the progression curves changes from the Gompertz model in the control samples by using of fungicides according to the efficiency of each treatment to the log-logistic model and finally to the monomolecular model.

**Keywords:** Apple scab, chemical control, disease severity, progression curves

✉ Z\_jahani88@yahoo.com

© 2023, 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

بیماری لکه سیاه سیب که توسط قارچ *Venturia inaequalis* (Cooke) Wint ایجاد می‌شود، از مهم‌ترین بیماری‌های سیب در مناطق معتدل است (MacHardy, 1996; Jankowski and Masny, 2020). این بیماری طغیان‌هایی را در نقاط مختلف جهان در باغات سیب ایجاد نموده است (Xu et al., 2009). این بیماری اولین بار توسط فریز (Fries) در سال ۱۸۱۹ میلادی از سوئد گزارش شد و در ایران نیز توسط اسفندیاری در سال ۱۳۲۵ گزارش شد. خسارت این بیماری در مناطق دارای آب و هوای خنک و مرطوب در فصل‌های بهار و تابستان شدید است (Ashkan, 2006). بیماری با کاهش کمیت و کیفیت میوه به‌طور مستقیم و با ریزش برگ‌ها و حساس نمودن آن‌ها به سایر عوامل بیماری‌زای زنده و غیرزنده موجب ایجاد خسارت می‌شود و می‌تواند تا ۷۰ درصد محصول را از بین ببرد (Jankowski and Masny, 2020). میوه و تمام بافت‌های سبز درخت سیب به این بیماری حساس‌اند و در تمام فصل رشد، ممکن است آلودگی رخ دهد (Alaniz et al., 2014). بر این اساس، از زمان شکفتن جوانه‌ها تا خروج کامل آسکوسپورها از پریتیس‌های دروغی قارچ (بعد از بارش باران) درختان باید با قارچ‌کش‌های مؤثر سم‌پاشی شوند. اگر این سم‌پاشی‌ها دقیق انجام شود به احتمال زیاد، دیگر آلودگی‌های ثانویه که از کنیدیوم‌ها منشاء می‌گیرند، روی نمی‌دهد (Ashkan, 2006). معمولاً در کشور ایران ۳ تا ۴ بار سم‌پاشی (در زمان شکفتن جوانه‌ها، ۱۰ تا ۱۴ روز بعد از آن، در پایان دوره گل‌دهی و ۱۴ روز بعد از آن) بیماری کنترل می‌شود (Ashkan, 2006).

مدیریت موفق بیماری لکه‌سیاه سیب متکی به استفاده از روش‌های تلفیقی شامل استفاده از ارقام مقاوم به بیماری، تهویه مناسب بین ردیف‌های کاشت، تغذیه مناسب و کاهش زادمایه اولیه عامل بیماری از طریق

رعایت بهداشت باغ و استفاده زمان‌بندی شده از قارچ‌کش‌های مؤثر در دفعات متعدد، در طی فصل رشد و پس از خزان برگ‌ها می‌باشد (Henriquez et al., Percival and Haynes, 2009; Beresford et al., 2011; Biggs, 1990; 2008).

بروز مقاومت در قارچ‌های بیمارگر به قارچ‌کش‌ها یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های مصرف قارچ‌کش‌ها است، زیرا در این صورت، علی‌رغم مصرف قارچ‌کش و متحمل شدن عوارض ناشی از آن و صرف هزینه، کنترل بیماری حاصل نمی‌شود. بروز مقاومت در *V. inaequalis* به قارچ‌کش دودین در سال ۱۹۶۹ گزارش شده است (Szkolnik and Gilpatrick, 1969). این قارچ همچنین به قارچ‌کش‌های گروه بنزیمیدازول مثل بنومیل مقاومت نشان داده است (Stevic et al., 2010). یکی از موثرترین راهکارهای کاهش احتمال بروز مقاومت در بیمارگر، شناخت دینامیک بیماری است تا بتوان براساس آن بهترین روش مدیریتی را برگزید (Bowers and Kinkel, 1997).

یکی از ابزارهای مهم مدیریت بیماری‌های گیاهی، پژوهش‌های اپیدمیولوژیکی 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 می‌شوند. با استفاده از مدل‌سازی تلاش بر این است که فرایندهای واقعی یک اپیدمی به‌صورت فرمول ساده ریاضی بیان شود. به این ترتیب عوامل اصلی بروز و گسترش بیماری بهتر درک شده و منجر به توسعه روش‌های مدیریتی جهت کنترل مؤثر و پایدار بیماری می‌شود (Van-Maanen and Xu, 2003). بیماری معمولاً به‌طور خفیف 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

بیماری زنگ هلو در آمریکا (*Tranzshelia discolor*) معرفی شده (Soto-Estrada and Adaskaveg, 2004). در ایران نیز بهترین مدل پیشرفت زمانی برای بیماری پوسیدگی اسکلروتینیایی ساقه کلزا (*Sclerotinia sclerotiorum*) در استان گلستان مدل لجستیک با نرخ  $0/28 - 0/04$  معرفی شده است (Aghajani et al., 2008). در استان خراسان شمالی نیز مدل گومپرتز با نرخ رشد متوسط  $0/26 - 0/07$  بهترین مدل برای توصیف بیماری سفیدک داخلی انگور بوده است (Namvarhamzanlue et al., 2020). در بررسی‌های صورت گرفته روی برخی از بیماری‌ها مدل گومپرتز به عنوان مدل مناسب برای زنگ قهوه‌ای گندم (*Puccinia recondita*) با نرخ پیشرفت  $0/12 - 0/07$ ، سوختگی برگ ذرت (*Cochliobolus heterostrophus*)، مرگ نارون هلندی (*Ophiostoma novo-ulmi*)، زنگ زرد گندم (*Puccinia striiformis*) با نرخ  $0/11$ ، سفیدک سطحی گندم (*Blumeria graminis*) و سپتوریوز جعفری (*Septoria apiicola*) (Berger, 1981)، ویروس خراش‌های توتون (Madden et al., 1987)، لکه زنگی هلو (*Podosphaera leucotricha*) (Furman et al., 2003)، لکه برگی خاکستری سورگوم (*Cercospora sorghi*) (Tunwari et al., 2014) و سفیدک داخلی انگور (*Plasmopara viticola*) (Yu et al., 2017) به عنوان مدل مناسب گزارش شده است.

به رغم وجود تعداد زیادی باغ سیب در استان خراسان شمالی، عدم آگاهی از وضعیت بیماری لکه سیاه در زمان سمپاشی باعث شده تا هر ساله شاهد سم پاشی‌های بی‌رویه و به دنبال آن آلودگی محیط زیست باشیم. در برخی سال‌ها نیز عدم سم پاشی به موقع و یا استفاده نادرست از قارچ‌کش‌ها باعث غافلگیری باغداران و طغیان بیماری شده است. برای شناخت بهتر پویایی بیماری، نیاز به بررسی تغییرات بیماری در طول زمان می‌باشد و پس از تعیین مدل منطبق با وقوع و همه‌گیری بیماری، امکان مبارزه به‌موقع با آن با قارچ‌کش

تغییرات در اثر تعامل گیاه، بیمارگر و محیط با گذشت زمان ایجاد می‌شود. علایم بیماری بعد از گذشت مدتی از شروع آلودگی و توسعه آن در بافت‌های میزبان ظاهر می‌شود و معمولاً 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 وقوع و شدت بیماری با گذشت زمان نشان دهنده ایجاد یک طغیان است. پژوهشگران بیماری‌های گیاهی از این تغییرات به عنوان 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 and Kinkel, 1997) مهم‌ترین مدل‌های رشد جمعیت که برای تجزیه و تحلیل زمانی بیماری‌های گیاهی مورد استفاده قرار گرفته‌اند شامل مدل‌های نمایی، لجستیک، تک‌مولکولی، لاگ-لجستیک و گومپرتز می‌باشند (Aghajani et al., 2008).

پیشرفت بیماری در طول زمان یک پدیده دینامیک بوده و مقدار بیماری با گذشت زمان تغییر می‌کند. برای پیش‌بینی و مقایسه پیشرفت بیماری، تغییرات بیماری در طول زمان باید به صورت ریاضی مدل‌سازی شود (Bowers and Kinkel, 1997). از مدل‌ها می‌توان به عنوان ابزارهایی جهت مقایسه منحنی‌های پیشرفت بیماری و تیمارهای وابسته به صورت آماری یا توصیفی استفاده نمود (Aghajani and Safaie, 2010). فرایندهای دینامیکی از جمله تغییر در مقدار بیماری در جمعیتی از گیاهان در طی زمان، براساس نرخ تغییر آن‌ها در طی زمان تعریف می‌شود (Campbell and Madden, 1990).

در مطالعات صورت گرفته در تاکستان‌های بوردوی فرانسه در دو سال ۲۰۰۶-۲۰۰۷ مدل غیرخطی لجستیک برای شدت دو بیماری سفیدک داخلی و سفیدک سطحی انگور معرفی شده است (Savary et al., 2009). مدل لجستیک به عنوان بهترین مدل رشد جمعیتی برای

سیب مشخص و طبق معادله  $PDI = (n_d/N) \times 100$  محاسبه شد (Croxall et al., 1952). در این معادله PDI درصد وقوع بیماری در برگ‌ها،  $n_d$  تعداد برگ‌های دارای علائم بیماری و  $N$  تعداد کل برگ‌های شمارش شده می‌باشد.

#### تعیین شاخص درصد شدت بیماری

به منظور اندازه‌گیری درصد شدت بیماری لکه سیاه سیب روی برگ‌ها پس از سمپاشی، علائم بر اساس درصد تخمینی پوشش لکه روی سطح برگ از صفر تا هفت بر اساس درجه بندی کروگسال و همکاران شامل درجه صفر: بدون علامت، درجه یک: صفر تا ۱ درصد، درجه دو: ۱ تا ۵ درصد، درجه سه: ۵ تا ۱۰ درصد، درجه چهار: ۱۰ تا ۲۵ درصد، درجه پنج: ۲۵ تا ۵۰ درصد، درجه شش: ۵۰ تا ۷۵ درصد، درجه هفت: ۷۵ تا ۱۰۰ درصد نمره داده شد. سپس با استفاده از معادله  $PDS = \sum(x_i n_i) / 7n \times 100$  درصد شدت بیماری تعیین گردید (Croxall et al., 1952). در این معادله PDS (شدت بیماری بر حسب درصد) براساس درجه شدت بیماری در هر برگ ( $x_i$ ) نسبت به کل نمونه‌های مورد ارزیابی ( $n_i$ ) به دست می‌آید.

#### منحنی پیشرفت بیماری و برازش داده‌ها

به منظور ترسیم منحنی پیشرفت بیماری، نمودار شدت متوسط بیماری در هر درخت در طی زمان ترسیم شد. داده‌های به دست آمده از یادداشت‌برداری به صورت هفتگی با مدل‌های رشد جمعیتی شامل خطی  $(y = \tau t)$ ، نمایی  $(\ln[1/(1-y)] = \ln[1/(1-y_0)] + \tau t)$ ، تک‌مولکولی  $(\ln(y) = \ln(y_0) + \tau t)$ ، لگ‌جستیک  $(\ln[y/(1-y)] = \ln[y_0/(1-y_0)] + \tau t)$ ، لاگ‌لجستیک  $(\ln[y/(1-y)] = \ln[y_0/(1-y_0)] + \tau LL[\ln(t)]$  و گومپرتز  $(-\ln[-\ln(y)] = -\ln[-\ln(y_0)] + \tau t)$  به عنوان مدل‌های مرسوم که به صورت خطی شده بودند برازش داده شدند. 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 ( $\tau$ ) می‌باشند.

مناسب به منظور کاهش نرخ رشد بیماری به میزان کافی وجود خواهد داشت. هدف از این پژوهش تعیین مدل‌های مناسب با استفاده از قارچ‌کش و غلظت‌های مختلف بر علیه بیماری لکه سیاه سیب 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. برای این منظور، اثر چند قارچ‌کش در کنترل بیماری لکه سیاه سیب ارزیابی شد.

#### روش بررسی

این بررسی در سال ۱۴۰۲ در باغ سیب شهرستان بجنورد در استان خراسان شمالی انجام شد. یک باغ با سابقه آلودگی به بیماری لکه سیاه سیب انتخاب شد. رقم سیب مورد بررسی گلدن دلشز بود. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و هشت تکرار انجام شد. تیمارها شامل قارچ‌کش داگونیس<sup>®</sup> SC با دوزهای ۰/۶، ۰/۸ و یک در هزار، فلینت<sup>®</sup> WG/۰.۵۰ با دوز ۰/۲ در هزار، کاپتان<sup>®</sup> ۵۰ درصد WP با دوز ۳ در هزار، استروبی<sup>®</sup> ۵۰ درصد WG با دوز ۰/۲ در هزار، شاهد با آب‌پاشی و شاهد بدون آب‌پاشی بود. سم‌پاشی در سه نوبت (تورم جوانه‌های برگی، مرحله ریزش گلبرگ‌ها و ۱۴ روز بعد از سم‌پاشی دوم) انجام شد. میزان محلول استفاده شده برای هر درخت حدود پنج لیتر بود. برای ارزیابی درصد وقوع بیماری و شاخص شدت بیماری، پس از مشاهده اولین علائم بیماری در تیمارهای شاهد، از برگ‌های آلوده نمونه برداری شد. به این منظور، ۱۰۰ برگ از درخت‌های هر کرت به طور تصادفی از چهار جهت اصلی و مرکز درختان بررسی و یادداشت‌برداری شد.

#### تعیین درصد وقوع بیماری

پس از سمپاشی درصد وقوع بیماری براساس تعداد برگ‌های دارای علائم و فاقد علائم بیماری لکه سیاه

## سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری

جهت محاسبه سطح زیر منحنی از معادله Area under the curve (AUDPC) =  $\sum [(X_{i+1} + X_i) / 2] (t_{i+1} - t_i)$  استفاده شد که در آن X مقدار شدت بیماری در واحد زمان (t) محاسبه شد.

## تجزیه و تحلیل‌های آماری

آماده‌سازی و ترسیم نمودارها توسط نرم‌افزار Microsoft Excel 2010 (شرکت Microsoft) و برازش داده‌های حاصل از شدت بیماری در هر تیمار در واحد زمان با مدل‌های مورد استفاده منحنی رشد توسط نرم‌افزار StatGraphics Centurion XVII, Version 15.2.05 (شرکت StatPoint) انجام شد.

## نتایج و بحث

تطابق رگرسیون خطی شده منحنی‌های پیشرفت بیماری با شش مدل رایج رشد جمعیتی شامل خطی، نمایی، تک مولکولی، لجستیک، لاگ لجستیک و گومپرتز، توصیف قابل قبولی از پیشرفت بیماری لکه سیاه سیب در واحد زمان در اثر استفاده از قارچ‌کش‌ها در سال مورد تحقیق را ارائه داد (شکل ۱). نتایج حاصل از آنالیز رگرسیون خطی پیشرفت بیماری لکه سیاه سیب در هر درخت در سال ۱۴۰۲ در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است. در نهایت پس از ترسیم نمودار خطی شده هر تیمار، با استفاده از آماره‌های رگرسیونی مانند ضریب تبیین، ضریب تبیین تصحیح شده و خطای استاندارد بهترین مدل ارائه شد (جدول ۴).

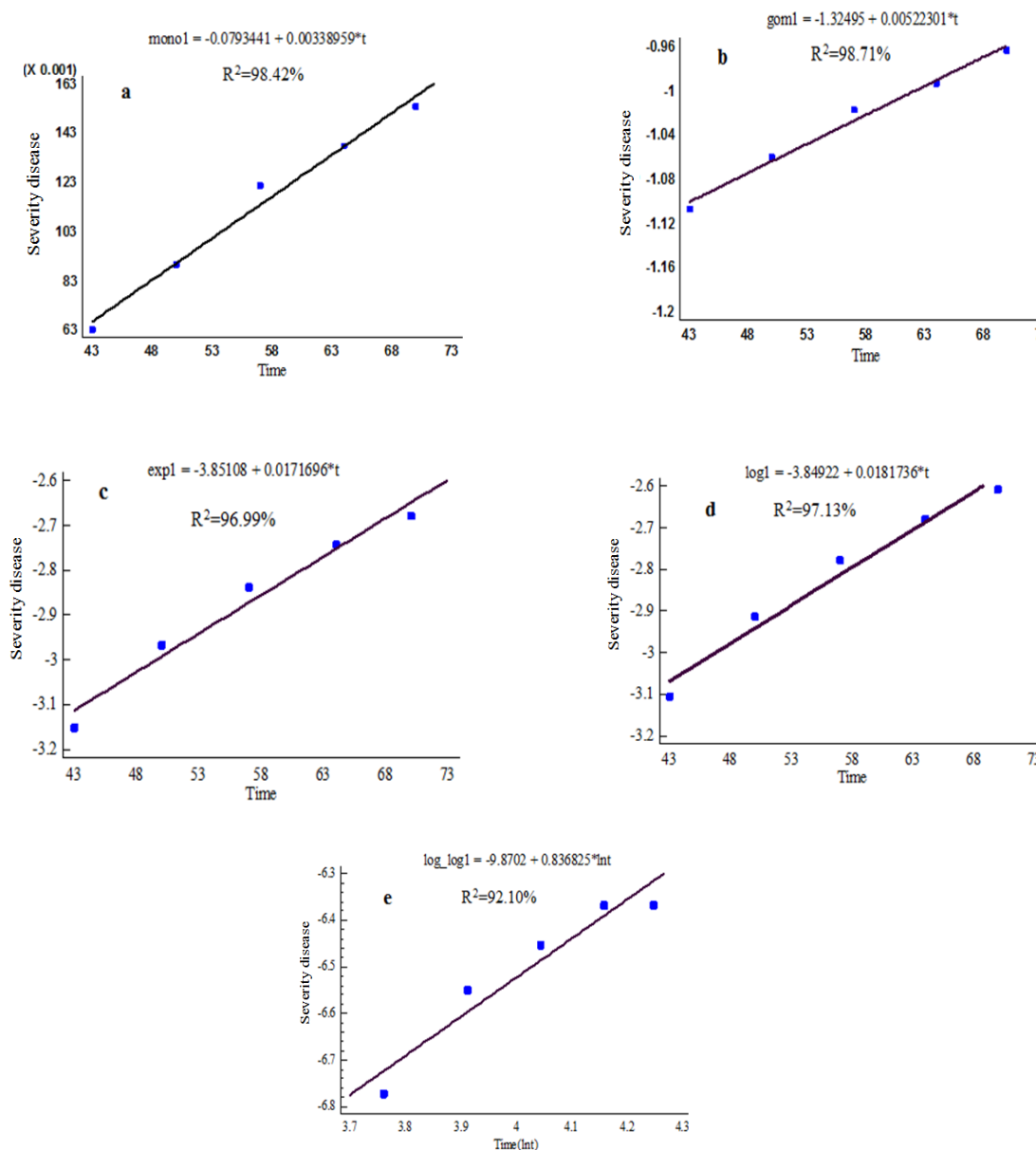
نتایج حاصل از ارزیابی منحنی پیشرفت بیماری لکه سیاه سیب با استفاده از رگرسیون غیرخطی (که به صورت خطی شده مورد استفاده قرار گرفتند) نشان داد که مدل تک مولکولی با بیشترین برازش به عنوان بهترین مدل توصیفی از روند کاهشی پیشرفت بیماری را اثر تیمار با قارچ‌کش داگونیس با غلظت یک در هزار داشته است. مدل تک مولکولی اساساً برای بیان

بیماری‌های تک‌چرخه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد که نتایج نشان می‌دهد به دلیل نامساعد شدن شرایط محیطی و کاهش نرخ رشد ناشی از کاربرد قارچ‌کش، بیماری چندچرخه‌ای لکه سیاه سیب رفتار تک‌چرخه‌ای را از خود نشان داده است. با این وجود، در تیمارهای شاهد مدل گومپرتز نشان دهنده رفتار چندچرخه‌ای بیماری بود. بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام شده، مدیریت بیماری لکه سیاه سیب در دنیا معمولاً با سم‌پاشی‌های متعدد، از مرحله نوک سبزی جوانه‌ها تا مرحله برداشت محصول انجام می‌شود (Gadoury et al., 1989; Carisse and Jobin, 2012). در سال‌های اخیر به دلیل تغییرات اقلیمی زمان اولین سم‌پاشی هنگام تورم جوانه‌ها می‌باشد. در مناطقی که به طور طبیعی رطوبت نسبی بالاست و این بیماری در سیب‌کاری‌ها سابقه دارد، لازم است در مرحله‌ی تورم جوانه‌ها و یا به محض مشاهده‌ی اولین علائم، سم‌پاشی انجام گیرد. در مناطقی که روش پیش‌آگاهی رایج است و دستگاه هشدار دهنده یا منحنی میلز و لاپلاس (روش پیش‌بینی شدت بیماری لکه سیاه سیب) در اختیار می‌باشد بهتر است سم‌پاشی بر اساس پیش‌بینی وقوع و شدت بیماری و پیش‌آگاهی صورت گیرد (Khabbaz Jolfaei, et al., 2017).

هر شش مدل مورد بررسی توانستند توصیف قابل قبولی از پیشرفت بیماری لکه سیاه سیب در واحد زمان را ارائه دهند (جدول ۱). بررسی‌ها نشان دهنده آن است که استفاده از تیمارهای مختلف قارچ‌کش‌ها باعث تغییرات در میزان AUDPC و میزان نرخ رشد مرتبط با مدل لاگ لجستیک شده است (جدول ۳). با استفاده از آماره‌هایی چون ضریب تبیین، خطای محاسباتی استاندارد، ضریب تبیین تعدیل شده و نیز نمودار باقیمانده‌ها بهترین مدل برای هر تیمار انتخاب شد (جدول ۴). در نهایت مدل گومپرتز با استفاده از آماره‌های یاد شده به عنوان بهترین مدل برای توصیف پیشرفت زمانی بیماری لکه سیاه سیب در تیمار شاهد

مقدار نرخ رشد بیماری و در نهایت نیز قارچ‌کش داگونیس با غلظت یک در هزار به مدل تک‌مولکولی تبدیل گردید (جدول‌های ۱ تا ۴).

بدون آب و شاهد با آب انتخاب شد. استفاده از تیمارهای مختلف قارچ‌کش برای کنترل بیماری لکه سیاه سیب به سمت مدل لاگ‌لجستیک رفته که با کاهش



شکل ۱- نمودار خطی شده (\*y) منحنی‌های رشدی (شدت در برابر زمان) بیماری لکه سیاه سیب در استان خراسان شمالی.

(a) مدل تک مولکولی (تیمار داگونیس با غلظت یک در هزار)، (b) مدل گومپرتز (تیمار شاهد با آب)، (c) مدل نمایی (تیمار فلینت)، (d) مدل لجستیک (تیمار استروبی) و (e) مدل لاگ لجستیک (تیمار فلینت). زمان به صورت تعداد روز از اول فروردین‌ماه در نظر گرفته شده است.

**Fig. 1.** Linear (y \*) growth curves (intensity versus time) of apple scab in North Khorasan province. a) Monomolecular model (Dagonis SC 1ml/l), b) Gompertz model (Control (water spraying)), c) Exponential model (Flint), d) Logistic model (Stroby) and e) Log-logistic model (Flint). Time has been counted as the number of days since April

جدول ۱- نتایج حاصل از ارزیابی منحنی‌های پیشرفت بیماری لکه سیاه سیب در استان خراسان شمالی در سال ۱۴۰۲

Table 1. Results of evaluation of disease progression curves of apple scab in North Khorasan province in 2023

Model	Dagonis SC 1ml/l	Dagonis SC 0.8ml/l	Dagonis SC 0.6ml/l	Flint WG 50% 0.2ml/l	Stroby WG 0.2ml/l	CaptanWP50 % 3g/l	Control (water spraying)	Control (no spraying)	Total
	Linear	0	2	0	0	0	0	0	
Monomolecular	5	2	1	0	2	0	0	0	10
Logestic	0	0	0	1	1	2	1	1	6
Log-logestic	3	4	6	7	5	6	2	1	34
Exponential	0	0	1	0	0	0	1	1	3
Gompertz	0	0	0	0	0	0	4	5	9

جدول ۲- نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون خطی شده منحنی رشد بیماری لکه سیاه سیب بعد از برازش شش مدل رشد در استان خراسان

شمالی در سال ۱۴۰۲

Table 2. Results of linear regression analysis of growth curve of apple scab after fitting six growth models in North Khorasan Province in 2023

Treatment	Model	R <sup>2</sup> (%)	S.E.E.	R*2(%)
Dagonis SC 1ml/l	Linear	95.52	0.002	95.14
	Monomolecular	97.37	0.0015	96.89
	Logestic	75.44	0.223	74.57
	Log-logestic	78.57	0.216	78.13
	Exponential	78.46	0.124	77.90
	Gompertz	80.46	0.032	79.93
Dagonis SC 0.8ml/l	Linear	95.37	0.002	94.97
	Monomolecular	96.52	0.0018	95.84
	Logestic	93.78	0.112	93.22
	Log-logestic	98.30	0.11	97.79
	Exponential	87.78	0.116	87.21
	Gompertz	88.14	0.018	87.58
Dagonis SC 0.6ml/l	Linear	78.76	0.007	77.28
	Monomolecular	80.69	0.0065	79.17
	Logestic	93.08	0.218	92.50
	Log-logestic	97.31	0.201	96.83
	Exponential	93.05	0.215	92.49
	Gompertz	94.82	0.036	94.27
Flint WG50% 0.2ml/l	Linear	90.51	0.006	90.18
	Monomolecular	90.59	0.005	90.17
	Logestic	89.87	0.058	89.42
	Log-logestic	94.38	0.051	94.11
	Exponential	89.77	0.058	89.41
	Gompertz	89.96	0.013	89.61
Stroby WG 0.2ml/l	Linear	86.53	0.0059	86.19
	Monomolecular	87.56	0.004	87.21
	Logestic	84.01	0.151	83.55
	Log-logestic	90.59	0.13	90.25
	Exponential	83.97	0.15	83.52
	Gompertz	85.43	0.026	85.02
CaptanWP50% 3g/l	Linear	88.99	0.005	88.79
	Monomolecular	89.24	0.0061	89.05
	Logestic	81.62	0.156	81.30
	Log-logestic	97.98	0.126	97.77
	Exponential	87.57	0.047	87.35
	Gompertz	88.16	0.019	87.96
Control (water spraying)	Linear	83.43	0.0031	82.65
	Monomolecular	83.65	0.0034	82.90
	Logestic	90.4	0.041	90.23
	Log-logestic	89.73	0.033	89.62
	Exponential	90.13	0.038	89.96
	Gompertz	96.19	0.015	96.03
Control (no spraying)	Linear	88.79	0.0042	88.59
	Monomolecular	88.88	0.0047	88.69
	Logestic	94.73	0.042	94.51
	Log-logestic	89.45	0.047	89.27
	Exponential	90.57	0.047	90.35
	Gompertz	98.16	0.019	97.96

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

در مورد داده‌های مشاهده‌ای این تحقیق نیز دیده شد و هر شش مدل رشد جمعیتی توانستند پیشرفت بیماری لکه سیاه سیب در تیمار با قارچ‌کش‌های مختلف در استان خراسان شمالی را تا یک حد قابل قبول توصیف نمایند (جدول ۴). براساس نتایج به‌دست آمده می‌توان بیان نمود بیماری لکه سیاه سیب در شرایط مساعد آب و هوایی در استان خراسان شمالی به‌خوبی توسط مدل گومپرتز قابل توصیف است. لذا به‌منظور مدیریت بیماری باید میزان شدت بیماری را با استفاده از برنامه‌های مدیریتی کاهش و در مدیریت کنترل مد نظر قرار داد. از سوی دیگر نتایج نشان داد که در نرخ رشد پایین نیز شدت بیماری بالا بوده و باعث کاهش عملکرد می‌شود (جدول ۳). در پایان، توصیه می‌شود به‌منظور حفظ محیط زیست و نیز استفاده درست از قارچ‌کش در برنامه مدیریتی کنترل بیماری لکه سیاه سیب، نرخ رشد منحنی پیشرفت بیماری مدنظر قرار گرفته تا بتوان با انتخاب درست قارچ‌کش میزان خسارت ناشی از بیماری را تا پایین‌تر از سطح آستانه زیان اقتصادی کاهش داد و از خسارت اقتصادی جلوگیری نمود.

پیشرفت بیماری در شرایط طبیعی در دو مرحله صورت می‌گیرد. درختان در مرحله تورم جوانه‌ها توسط آسکوسپوره‌های آزاد شده آلوده شده و باعث آلودگی سایر قسمت‌ها از جمله برگ و میوه سالم می‌شود. این مرحله حاصل آلودگی اولیه بوده و در مرحله بعدی با توسعه لکه‌ها، کنیدیوم‌های فراوانی در برگ و میوه ایجاد شده که توسط عواملی چون باد منتقل و سایر درختان سالم را آلوده می‌نمایند. چنانچه این مرحله هم‌زمان با تورم جوانه‌ها باشد، خسارت جبران‌ناپذیری را به محصول وارد می‌کند. در برآزش مدل‌های رشد جمعیتی با داده‌های یادداشت برداری شده باید از زیست‌شناسی بیمارگر نیز استفاده کرد. استفاده از شکل منحنی برای تعیین مدل به‌تنهایی، می‌تواند گمراه‌کننده باشد. داده‌های مشاهده‌ای انتهای خط مدل دارای وزن نادرستی در تعیین برآزش مدل خواهند داشت. کاملاً امکان دارد که یک سری داده بتوانند برآزش یکسانی را با مدل‌های تک‌چرخه‌ای و چندچرخه‌ای نشان دهند و ممکن است داده‌هایی از یک طغیان تک‌چرخه‌ای ناشناخته برآزش بهتری با یک مدل چندچرخه‌ای بدهد (Amesen, 2001). این وضعیت

جدول ۳- نتایج حاصل از بررسی تغییرات نرخ رشد و سطح زیر منحنی بیماری در اثر استفاده از قارچ‌کش‌ها بر بیماری لکه سیاه سیب در

استان خراسان شمالی در سال ۱۴۰۲

**Table 3.** The results of of examining the changes in the growth rate and the area under the disease curve due to the use of fungicides on apple scab in North Khorasan province in 2023

Model	Dagonis SC 1ml/l	Dagonis SC 0.8ml/l	Dagonis SC 0.6ml/l	Flint WG50% 0.2ml/l	Stroby WG 0.2ml/l	CaptanWP50 3g/l	Control (water spraying)	Control (no spraying)
Rate of Log-logestic	0.852	0.735	1.077	1.207	1.126	1.45	1.548	1.590
AUDPC	5.12	7.16	14.95	48.24	22.27	215.20	399.77	397.51

جدول ۴- بهترین معادلات رشدی برای توصیف کاهش شدت بیماری لکه سیاه سیب در اثر استفاده از قارچ‌کش‌ها

در استان خراسان شمالی

**Table 4.** Best growth equations to describe apple scab by using fungicides in North Khorasan Province

Treatment	Fitness model	R2(Percentage)	Linear equation
Dagonis SC 1ml/l	Monomolecular	97.37	$\ln[1/(1-y)]=(0.000173221)+0.0000213001*t$
Dagonis SC 0.8ml/l	Log-logestic	98.30	$\ln[y/(1-y)]=(-9.25796)+0.73546*\ln(t)$
Dagonis SC 0.6ml/l	Log-logestic	97.31	$\ln[y/(1-y)]=(-11.14067)+1.07782*\ln(t)$
Flint WG50% 0.2ml/l	Log-logestic	94.38	$\ln[y/(1-y)]=(-6.42616)+1.20742*\ln(t)$
Stroby WG 0.2ml/l	Log-logestic	90.59	$\ln[y/(1-y)]=(-9.68976)+1.12619*\ln(t)$
CaptanWP50% 3g/l	Log-logestic	97.98	$\ln[y/(1-y)]=(-8.66665)+1.45065*\ln(t)$
Control (water spraying)	Gompertz	96.19	$-\ln[-\ln(y)]=(-1.05543)+0.0040866*t$
Control (no spraying)	Gompertz	98.16	$-\ln[-\ln(y)]=(-1.0764)+0.00443776*t$



## سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و طبیعی گرگان، بخش گیاهپزشکی و مرکز تحقیقات و آموزش

کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان شمالی، بابت فراهم نمودن امکانات اجرای این تحقیق سپاس‌گزاری می‌شود.

## References

- AGHAJANI, M.A. and N. SAFAIE, 2010. Disease progress curves of *Sclerotinia* stem rot of canola epidemics in Golestan province, Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 12: 471-478.  
DOI: 20.1001.1.16807073.2010.12.4.3.5
- AGHAJANI, M.A., N. SAFAIE and A. ALIZADEH, 2008. Sclerotinia infection situation of canola in Golestan province. *Proceeding of the Iranian 18th Plant Protection Congress*, Hamedan, Iran 2: 52. (Abstract)
- AGRIOS, G.N., 2005. Plant disease caused by fungi. In G. N. Agrios (Ed.), *Plant pathology*, 5th ed. Oxford, Oxfordshire, UK: Academic Press. 383-614 pp.
- ALANIZ, S., C. LEONI, O. BENTANCUI and P. MODINO, 2014. Elimination of summer fungicide sprays for apple scab (*Venturia inaequalis*) management in Uruguay. *Scientia Horticulture* 165: 331-335.  
DOI: /10.1016/j.scienta.2013.11.016
- ARNESEN, P.A., 2001. Plant disease epidemiology. *The Plant Health Instructor*.  
DOI: 10.1094/PHI-A-2001-0524-01
- ASHKAN, S.M., 2006. Diseases of fruit trees in Iran. *AIJ Publications*. 427p.
- BERESFORD, R.M., P.N. WOOD, P.W. SHAW and T.J. TAYLOR, 2008. Application of fungicides during leaf fall to control apple scab (*Venturia inaequalis*) in the following season. *New Zealand Plant Protection* 61:59-64.
- BERGER, R.D., 1981. Comparison of the Gompertz & logistic equations to describe plant disease progress. *Phytopathology*. 71: 716-719.
- BIGGS, A.R., 1990. Apple scab. pp. 6-9 in: Jones A.L., Aldwinckle H.S. (eds.) *Compendium of apple and pear diseases*. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA. 100 pp.
- BOWERS, J.H. and L.L. KINKEL, 1997. Interactive modeling of disease progress curves. pp. 20-23 in: Frangle, L. J., & Neher, D. A. eds. 1997. *Exercises in plant disease epidemiology*. The American Phytopathological Society. 233p.
- CAMPBELL, C.L. and L.V. MADDEN, 1990. *Introduction of plant disease epidemiology*. John Wiley, New York. 532 pp.
- CARISSE, O. and T. JOBIN, 2012. Managing summer apple scab epidemics using leaf scab incidence threshold values for fungicide sprays. *Crop Protection*. 35:36-40.  
DOI: 10.1016/j.cropro.2011.12.014
- CONTRERAS- MEDINA, L.M., I. TORRES-PACHECO, R.G.GUEVARA- GONZALEZ, R.J. ROMERO- TRONCOSO, I.R. TEROL-VILLALOBOS, and R.A. OSORNIO- RIOS, 2009. Mathematical modelling tendencies in plant pathology. *African Journal of Biotechnology*. 8:7399-7408.
- CROXALL, H.E., D.C. GWYNNE and J.E.E. JENKINS, 1952. The rapid assessment of apple scab fungus on leaves. *Plant Pathology* 1: 39-41.  
DOI: 10.1111/j.1365-3059.1952.tb00022.x

- FURMAN, L.A., N. LALANCETTE, and J.F. WHITE, 2003. Peach rusty spot epidemics: Temporal analysis & relationship to fruit growth. *Plant Disease* 87: 366-374. DOI: 10.1094/PDIS.2003.87.4.366
- GADOURY, D.M., W.E. MACHARDY and D.M. ROSENBERGER, 1989. Integration of pesticide application schedules for disease and insect control in apple orchards of the northeastern United States. *Plant dis.* 73: 98-105
- HENRIQUEZ, S., V. SARMIENTO and C. ALARCON, 2011, Sensitivity of Chilean isolates *Venturia inaequalis* to difenoconazole, fenarimol, mancozeb and pyrimethanil. *Chilean Journal Agriculture Research* 71:39-44. 11. DOI: 10.4067/S0718-58392011000100005.
- JANKOWSKI, P. and S. MASNY, 2020, Influence of moisture on maturation rate of the *Venturia inaequalis* (Cooke) Wint. ascospores in central Poland. *Journal of Plant Diseases and Protection.* 127:155–163. DOI: 10.1007/s41348-019-00279-9
- KHABBAZ- JOLFAEE, H., H. AZIMI, H. RABBANI- NASAB and K. Keshavarzi, 2017. Investigation on the efficacy of Luna Sensation®500 SC fungicide against *Venturia inaequalis* the pathogen of apple scab disease. Final report by 51222 number. Iranian Research Institute of Plant Protection Press. Iran. 20 pp. (in Persian). DOI: 10.22092/JPPPS.2019.122155
- MACHARDY, W.E., 1996. *Apple Scab: Biology, Epidemiology, and Management.* American Phytopathological Society (APS Press), St. Paul, Minnesota. 545 pp.
- MADDEN, L.V., G. HUGHES. and F.V.D. BOSCH, 2007. *The study of plant disease epidemics.* American Phytopathological Society Press, USA, 421 pp.
- MADDEN, L.V., T.P. PIRONE, and B.RACCAH. 1987. Temporal analysis of two viruses increasing in the same tobacco fields. *Phytopathology.* 77: 974-980.
- NAMVARHAMZANLUE, H., M.A., AGHAJANI, S.A. MAHDIAN. and I. BAKHSHANDEH, 2020. A comparative study on disease progression curves of grapevine downy mildew in North Khorasan province. *Iranian Journal of Plant Protection Science.* 51(1): 109-119. DOI: 10.22059/IJPPS.2020.295838.1006925
- PERCIVAL, G.C. and I. HAYNES, 2009. The influence of Calcium sprays to reduce fungicide inputs against apple scab (*Venturia inaequalis* (Cooke) G. Wint.). *Arboriculture & Urban forestry* 35: 263-270. DOI:10.48044/jauf.2009.040
- SAVARY, S., L. DELBAC, A. ROCHAS, G. TAISANT and L. WILOCQUET, 2009. Analysis of nonlinear relationships in dual epidemics, and its application to the management of grapevine downy and powdery mildews. *Phytopathology.* 99:930–942. DOI: 10.1094/PHYTO-99-8-0930
- STEVIC, M., P. VUKSA and I. ELEZOVIC, 2010. Resistance of *Venturia inaequalis* to demethylating inhibiting (DMI) fungicides. *Zemdirbyste-Agriculture.* 97:65–72.
- SOTO-ESTRADA, A. and J.E. ADASKAVEG, 2004. Temporal & quantitative analyses of stem lesion development & foliar disease progression of peach rust in California. *Phytopathology* 94: 52-60. DOI: 10.1094/PHYTO.2004.94.1.52
- SZKOLINK, M. and J.D. GILPATRICK, 1969. Apparent resistance of *venturia inaequalis* to dodin in New York apple orchards. *Plant disease Report* 53:861-864.
- TUNWARI, B.A., H. NAHUMARO and A.B. ANASO, 2014. Eco-friendly management strategies for gray leaf spot disease of sorghum using cultivar selection & seed dressing fungicides in Maiduguri, Nigeria. *Journal of Agriculture & Sustainability* 5: 14-25.

VAN-MAANEN, A. and X.M. XU, 2003. Modelling plant disease epidemics. *European Journal of Plant Pathology* 109: 669-682.

DOI:10.1023/A:1026018005613

XU, X.M., T. ROBERTS, D. BARBARA, N.G. HARVEY, L.Q. GAO and D.J. SARGENT, 2009. A genetic linkage map of *Venturia inaequalis*, the causal agent of apple scab. *BMC Research Notes* 2:163-163.

DOI: 10.1186/1756-0500-2-163

YU, S., C. LIU, C. LIANG, C. ZANG, L. LIU, H. WANG and T.GUAN, 2017. Effects of Rain-shelter Cultivation on the Temporal Dynamics of Grape Downy Mildew Epidemics. *Journal of Phytopathology*. 165: 331-341.

DOI.org/10.1111/jph.12566