

ارزیابی کارایی مدل‌های اپیدمیولوژیکی مختلف در پیش‌بینی روند پیشرفت بیماری لکه نواری جو ناشی از *Pyrenophora graminea* در استان خوزستان، ایران

محمد رضا اصلاحی[✉]، شیده موجرلو^۲

^۱بخش گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران. گروه باغبانی و گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. [✉]meslahi1259@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۸ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۰۹ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴

چکیده

به منظور ارائه مدل‌های مناسب برای پیش‌بینی روند پیشرفت زمانی بیماری لکه نواری جو ناشی از *Pyrenophora graminea* بررسی‌های اپیدمیولوژیکی در قالب آزمایش مزرعه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام شد. پیشرفت زمانی بیماری در پنج رقم (زهک، نیمروز، اکسین، نوروز و ایزه) جو و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار در ایستگاه تحقیقاتی گلستان در استان خوزستان اجرا و از مدل‌های شناخته شده اپیدمیولوژیکی مانند مونومولکولار، لوجستیک، لوگ-لوجستیک، گمپرتز و ویبل برای ارزیابی روند پیشرفت بیماری استفاده شد. نتایج نشان داد در تمامی ارقام مدل لوگ-لوجستیک به عنوان مناسب‌ترین مدل در توصیف پیشرفت زمانی می‌باشد. به منظور تعیین میزان خسارت ناشی از بیماری لکه نواری جو، وزن هزار دانه، عملکرد محصول و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) در طول فصل رشد، اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مدل انتگرالی با استفاده از AUDPC به عنوان متغیر مستقل و درصد خسارت به عنوان متغیر وابسته در رقم نوروز ($L = 33.241 + 0.0002 \text{AUDPC}$) می‌تواند ۵۰ درصد تغییرات AUDPC در برابر خسارت را توجیه نماید. در مدل چند متغیره، شدت بیماری در زمان‌های مختلف به عنوان متغیر مستقل و میزان عملکرد به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و این مدل کارایی بالایی در تخمین میزان عملکرد داشت. همچنین شدت بیماری در مراحل ابتدای ظهور علائم بیماری و بعد از خوشه دهی در تخمین عملکرد نسبت به سایر مراحل فنولوژیکی، از اهمیت بالاتری برخوردار می‌باشد و مدل چند متغیره ($Y = 4836.17 - 38.51X_1 - 33.78X_7 + 16.83X_{28} - 26.56X_{35}$) می‌توانست بیش از ۹۰ درصد تغییرات شدت بیماری در برابر عملکرد را توجیه نماید.

واژه‌های کلیدی: اپیدمیولوژی، خسارت، لکه نواری جو، پیشرفت زمانی، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری

Assessment of the efficiency of different epidemiological models in predicting the temporal progress of barley leaf stripe disease caused by *Pyrenophora graminea* in Khuzestan province, Iran

Mohammad Reza Eslahi^{✉1}, Shideh Mojerlou²

¹Plant protection Department, Khuzestan Agriculture and Natural resources research and Education center, AREEO, Ahvaz, Iran. ²Department of Horticulture and Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. [✉]meslahi1259@gmail.com

Received: 30 October 2022

Revised: 03 November 2022

Accepted: 4 January 2023

Abstract

To provide suitable models for predicting the temporal progress of barley leaf stripe disease caused by *Pyrenophora graminea*, epidemiological studies were conducted in 2019-2021. The temporal progress of disease was examined in five cultivars (Zehak, Nimroz, Auxin, Nowruz and Izeh) of barley in a randomized complete block design with four replications at Golestan Research Station in Khuzestan Province. Well-known epidemiological models such as Monomolecular, Logistics, Log-logistics, Gompertz and Weibel were used to assess the disease progress. The results showed that, in all cultivars, the log-logistic model is the most proper model in describing disease progress. In order to determine crop loss caused by barley stripe disease, 1000-kernel weight, yield and area under disease progress curve (AUDPC) during the growing season were measured. The results showed that the integral model using AUDPC as an independent variable and the loss percentage as a dependent variable in the Nowruz cultivar ($L=33.241+0.0002\text{AUDPC}$) can justify 50% of AUDPC changes against crop loss. In the multivariate model, disease severity at different stages was considered as an independent variable and yield was considered as a dependent variable. This model had high efficiency in estimating the amount of yield. The results also showed that disease severity in the early stages of disease symptoms and after heading is more important than other phenological stages in yield estimation. This multivariate model ($Y = 4836.17 - 38.51X_1 - 33.78X_7 + 16.83X_{28} - 26.56X_{35}$) could explain more than 90% of changes in disease severity versus crop yield.

Keywords: Epidemiology, Crop loss, Barley leaf strip, Temporal disease progress, Area under Disease Progress Curve

How to cite:

Eslahi MR, Mojerlou S, 2023. Assessment of the efficiency of different epidemiological models in predicting the temporal progress of barley leaf stripe disease caused by *Pyrenophora graminea* in Khuzestan province, Iran. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 12 (3): 287-300.

مقدمه

استان خوزستان با سطح زیر کشت ۱۰۲۶۹۰ هکتار بعد از استان‌های خراسان رضوی، فارس، همدان و لرستان در جایگاه پنجم از نظر سطح زیر کشت جو قرار دارد (Ahmadi et al. 2020). در اکثر مناطق کشور، بیماری‌های متعددی با پتانسیل خسارت بالا در مزارع جو گزارش شده است و از آنجایی که عمدتاً کشاورزان قبل از کشت جو مبادرت به ضدعفونی بذر نمی‌کنند، توسعه بیماری‌های بذرزاد جو بسیار شدید می‌باشد. یکی از بیماری‌هایی که در چند سال اخیر در مزارع جو استان خوزستان مشاهده و در حال توسعه می‌باشد، بیماری لکه نواری جو بوده که در روی ارقام جو منجر به خسارت‌های قابل توجهی می‌شود. لکه نواری جو بیماری بذرزاد و تک چرخه‌ای می‌باشد که توسط قارچ *Pyrenophora graminea* (S.Ito & Kurib) با فرم غیر جنسی *Drechslera graminea* (Rabenh. Ex Schlecht.) Shoemaker (= *Helminthosporium gramineum* Rabh.) ایجاد می‌شود. بیمارگر بصورت میسلیوم در پریکارپ بذر بقا می‌یابد و طی جوانه زنی بذر به آن نفوذ می‌کند و به صورت سیستمیک درون گیاه توسعه می‌یابد (Platenkamp 1976; Mathre 1997; Dokhanchi et al. 2020; Faccini et al. 2021). این بیماری در بسیاری از مناطق کشت جو در دنیا و ایران گزارش شده و موجب کاهش عملکرد می‌شود (Arabi et al. 2004; Chogan et al. 2015; Dokhanchi et al. 2022a,b). علائم بیماری با ظهور نوارهای زرد رنگ روی برگ‌های گیاهچه شروع می‌شود و در طول زمان به نوارهای سبزرز و سپس نکروتیک تبدیل می‌شوند. گیاهان حساس به بیماری دچار کوتولگی شدید، مرگ قبل از بلوغ گیاه و از بین رفتن کامل بذر می‌شود (Tekauz & Chiko 1980; Zad et al. 2002). بذرها فقط در مزرعه آلوده می‌شوند و طی مراحل اولیه توسعه سنبله بیش‌ترین حساسیت را دارند. رطوبت بالا موجب تحریک اسپورزایی روی برگ گیاهان آلوده می‌شود. آلودگی گیاهچه‌ها زمانی که دمای خاک کمتر از ۱۲ درجه سلسیوس بماند، بیش‌تر است. در این بیماری فرم جنسی بیمارگر در اپیدمی‌ها حائز اهمیت نمی‌باشد (Skou et al., 1994; Zare & Hashemi-fesharaki, 2013).

عامل بیماری همی‌بیوتروف می‌باشد. بدین صورت که در ابتدا به‌عنوان بیوتروف رفتار می‌کند و دیواره سلولی میزبان را با استفاده از آنزیم‌های هیدرولیتیک بدون ایجاد نکروز، تجزیه می‌کند (Hammouda, 1988; Haegi et al. 2008) و به محض گسترش آلودگی در برگ‌های جوان رشد بیمارگر وارد مرحله نکروتروفیک می‌شود و توکسین اختصاصی میزبان به نام

گلایکوزیل تولید می‌شود (Haegi & Porta-Puglia 1995) که منجر به ایجاد نواحی کشیده به رنگ قهوه‌ای تیره در برگ می‌گردد (Adam et al. 2017). در گیاه جو نرخ بالایی از فرار بیماری در مقابل لکه نواری جو مشاهده می‌شود که ناشی از تنوع در نرخ جوانه‌زنی ریشه‌چه‌های آن می‌باشد. به‌طوری‌که ریشه‌چه‌های دارای رشد سریع ممکن است از بیمارگر فرار کنند. همچنین میزان فرار از بیماری به دمای خاک طی جوانه‌زنی نیز بستگی دارد (Arabi et al. 2004). به‌علاوه در شرایط مزرعه، پاتوتیپ قارچ و زمان آلودگی نیز در میزان فرار از بیماری نقش دارند (Skou & Haahr 1987). به همین دلایل، ارزیابی مقاومت لکه نواری از طریق وقوع بیماری در جمعیت گیاهان دقیق‌تر از ارزیابی شدت بیماری در گیاهان منفرد می‌باشد (Pecchioni et al. 1996).

روش‌های مختلفی برای مدیریت بیماری به کارگرفته شده است از جمله استفاده از قارچکش، آب داغ، هوای داغ، پرتوهای بذر، ترکیبات شبه ارگانیک مانند اسیداستیک، فرآورده‌های خردل و شیر (Johnstone et al. 1982; Borgen & Kristensen 2001; Borgen & Nielsen 2001). با این وجود اقتصادی‌ترین و مناسب‌ترین روش از نظر زیست محیطی استفاده از ارقام مقاوم است (Mathre 1997; Arabi & Jawhar 2005). اگرچه توسعه ارقام مقاوم موثرترین و امن‌ترین روش برای کنترل بیماری است، اما در اصلاح به منظور ایجاد مقاومت در مقابل بیماری دانش پایه مربوط به تنوع بیماریزایی بیمارگر ضروری است (Arabi & Jawhar 2012; Benkorteby-Lyazidi et al. 2019). هر دو نوع مقاومت اختصاصی نژاد (Thomsen et al. 2001; Tacconi et al. 1997) و مقاومت نسبی (Pecchioni et al. 2003; Arru et al. 2002; Arru et al. 1996) در برابر لکه نواری جو گزارش شده است (Faccini et al. 2021).

ارزیابی مقاومت به بیماری لکه نواری از طریق اندازه‌گیری وقوع بیماری در جمعیت گیاهان در مقایسه با اندازه‌گیری شدت بیماری در گیاهان منفرد دقیق‌تر است (Pecchioni et al. 1996). واکنش ارقام مختلف جو به بیمارگر *P. graminea* اغلب در مرحله سنبله دهی براساس شمارش تعداد گیاهان سالم و بیمار در مزرعه ارزیابی می‌شود (Skou & Haahr 1987; Thomsen et al. 1997). اگرچه اندازه‌گیری شدت بیماری در مزرعه وقت‌گیر و خسته‌کننده است، شدت بیماری اغلب بیماری مهم‌تر و کاربردی‌تر از disease intensity و وقوع بیماری برای ارزیابی کاهش عملکرد و تعیین کارایی روش‌های مدیریتی است (Campbell & Madden 1990). محققان نشان

مایه‌زنی بذور

قبل از مایه‌زنی بذور، بطور تصادفی ۵۰ بذر از هر رقم انتخاب و پس از ضدعفونی سطحی به محیط PDA منتقل شد و بمدت ۷۲ ساعت در دمای 1 ± 23 درجه سلسیوس در تاریکی نگهداری شدند و سپس زیر میکروسکوپ به منظور مشاهده آلودگی‌های قارچی بررسی گردید (Arabi et al. 2004) و عدم وجود هر گونه آلودگی قارچی اثبات گردید. به منظور مایه‌زنی بذور بطور متوسط ۷۵۰ عدد بذر از هر رقم انتخاب و پس از ضدعفونی سطحی روی کشت هشت روزه قارچ قرار گرفت و به مدت ۱۴ روز در تاریکی و دمای شش درجه سلسیوس نگهداری شدند. در تشتک پتری شاهد بذرها روی محیط کشت PDA قرار گرفتند (Hammouda 1986; Arabi et al. 2004). پیش از انجام آزمایش مزرعه‌ای، بذرها طبق روش (Arabi et al. 2004) برای اطمینان از آلودگی به *P. graminea* مورد بررسی قرار گرفتند و وجود آلودگی بذور به بیمارگر با مشاهده‌ی میکروسکوپی اثبات گردید.

آزمایش مزرعه‌ای

در این بررسی از پنج رقم تجاری و توصیه شده جو استفاده شد. این آزمایش در دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در ایستگاه تحقیقاتی گلستان در استان خوزستان با استفاده از پنج رقم تجاری و توصیه شده جو شامل ارقام زهک، نیمروز، اکسین، نوروز و ایذه، در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و با چهار تکرار انجام شد. یک بلوک که شامل همه ارقام و لاین‌ها می‌باشد، به عنوان شاهد بدون مایه‌زنی مصنوعی (استفاده از بذرها ی تیمار نشده) در نظر گرفته شد. از هر رقم و لاین پنج خط به طول پنج متر و در هر ردیف ۵۰ بذر کشت گردید.

بررسی پیشرفت زمانی بیماری لکه نواری جو در شرایط مزرعه پس از بروز علائم، بیماری طبق برنامه زمانی منظم، یکبار در هفته و در شش نوبت اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری شدت بیماری طبق شاخص توصیف شده توسط (Delogu et al. 1989) انجام شد. در این روش، صفر تا ۵ درصد آلودگی، خیلی مقاوم؛ ۸ تا ۱۱ درصد آلودگی، مقاوم؛ ۱۲ تا ۲۶ درصد آلودگی، نسبتاً مقاوم؛ ۲۷ تا ۷۸ درصد آلودگی، حساس و ۷۹ تا ۱۰۰ درصد آلودگی خیلی حساس در نظر گرفته می‌شود (Arabi et al. 2019).

تجزیه و تحلیل پیشرفت زمانی بیماری لکه نواری جو در شرایط مزرعه

دادند که شدت بیماری لکه نواری جو بصورت خطی با افزایش وقوع بیماری افزایش می‌یابد (Arabi & Jawhar 2010).

لکه نواری یکی از مهم‌ترین بیماری‌های جو در ایران بویژه در گرگان، مازندران و اطراف تهران (ورامین) گزارش شده است (Zad et al., 2002). بررسی آلودگی منابع بذری جو به بیماری لکه نواری را در استان‌های مختلف ایران نشان داد، بیش‌ترین درصد آلودگی مزارع جو مربوط به استان‌های گلستان، قم و همدان و کمترین درصد آلودگی در استان‌های سمنان، یزد، زنجان، اردبیل، مازندران و اصفهان می‌باشد (Zare & Hashemi-Fesharaki 2013).

بررسی خسارت وارد بر ارقام مختلف جو در اثر بیماری‌های مختلف در استان گلستان به کمک رگرسیون ساده نشان داد که رابطه معنی‌داری بین عملکرد نهایی کرت و مقدار بیماری‌های لکه توری، زنگ قهوه‌ای، لکه قهوه‌ای و لکه نواری (شاخص های شدت نهایی بیماری، AUDPC و SAUDPC) وجود دارد (Chogan et al. 2015). با توجه به کشت ارقام مختلف در استان خوزستان و عدم اطلاع کافی از اپیدمیولوژی بیماری در منطقه، این مطالعه به منظور تعیین دامنه خسارت این بیماری روی ارقام مختلف و ارایه بهترین مدل ارزیابی بیماری انجام شد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری، جداسازی و کشت بیمارگر

برگ‌های جو با علائم لکه نواری از مناطق آلوده استان خوزستان جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند. قطعات برگ‌ی دارای علائم پس از ضدعفونی سطحی به محیط سیب زمینی، دکستروز، آگار (PDA) منتقل شدند. تشتک‌های پتری در دمای ۱۸ تا ۲۰ درجه سلسیوس و تاریکی به مدت ۱۲ روز نگهداری شدند و سپس خالص‌سازی جدایه‌ها به روش تک‌کنیدی روی محیط کشت آب گار یک و نیم درصد انجام گردید (Jawhar et al. 2000).

تهیه زادمایه بیمارگر

جدایه‌ای که در بررسی‌ها بیش‌ترین شدت بیماریزایی را داشت برای تهیه زادمایه استفاده گردید. جدایه قارچی روی محیط کشت PDA کشت و در انکوباتور در دمای 1 ± 21 درجه سلسیوس و تاریکی نگهداری گردید تا توده میسیلیومی تولید شود (Arabi et al. 2004).

$$CD = \frac{\sum_{i=0}^n (y_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=0}^n (y_p - \bar{y})^2}$$

yp مقادیر پیش بینی شده، yi مقادیر مشاهده شده، n تعداد نمونه‌های به کار رفته می‌باشد. حداقل مقدار ME، RMSE، CD صفر است و حداکثر مقدار EF برابر یک می‌باشد. CRM، EF می‌تواند منفی باشد. مقدار زیاد ME بدترین حالت کارکرد مدل را نشان می‌دهد و مقدار زیاد RMSE نشان می‌دهد که برآورد بیش از حد یا کمتر از حد مدل در مقایسه با مقادیر مشاهده شده چقدر است. CD نسبت پراکندگی را بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده نشان می‌دهد. EF مقادیر پیش‌بینی شده را با مقادیر میانگین مشاهدات مقایسه می‌کند و مقدار منفی آن، نشان می‌دهد که میانگین مشاهدات برآوردی بهتر از مقادیر پیش‌بینی شده دارد. CRM نشان دهنده تمایل مدل برای برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد در مقایسه با مشاهدات می‌باشد. CRM منفی نشان می‌دهد که مدل برآوردی بیش از حد واقعیت دارد. چنانچه تمام مقادیر پیش‌بینی و مشاهده شده با هم برابر شوند، در این صورت CRM، EF، RMSE و ME برابر صفر و CD برابر یک خواهد شد. در نهایت در صورتی که این داده‌ها روند مشابهی داشته باشند، ساده‌ترین مدل از نظر تعداد ورودی‌ها و سهولت تبدیلات به-کاررفته در آن انتخاب خواهد شد. در معادله ضریب تبیین تصحیح شده نیز n تعداد نقاط در معادله و k تعداد متغیر مستقل در معادله می‌باشد.

بررسی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC)

با استفاده از داده‌های شدت بیماری به دست آمده در زمان‌های مختلف، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری در ارقام مختلف با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Campbell & Madden 1990).

$$AUDPC = \sum_i^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به کمک نرم افزار Statistix انجام شد.

بررسی خسارت بیماری لکه نواری جو در شرایط مزرعه در پایان فصل و پس از رسیدن، محصول جو برداشت شد. به طوری که محصول هر رقم در هر تکرار، جداگانه برداشت شد. عملکرد هر رقم (کیلوگرم/هکتار) در هر تکرار و در کل تکرارها

با استفاده از شدت بیماری به دست آمده، مدل‌های شناخته شده در اپیدمیولوژی بیماری‌های گیاهی (شامل مدل مونومولکولار، لوجستیک، لوگ لوجستیک، گومپرتز و ویبل) مورد بررسی قرار گرفتند. از مدل تصاعدی به دلیل محدودیت بافت و زمان در بررسی پیشرفت بیماری استفاده نشد. به منظور بررسی مدل‌ها، شدت بیماری در تاریخ‌های مختلف یادداشت-برداری، به عنوان میزان بیماری (y) در نظر گرفته شد. داده-های مذکور با روش رگرسیون ساده و در قالب شکل خطی معادله مربوط به هر مدل (جدول ۱) و به وسیله نرم افزار Statgraphics XVI تجزیه و تحلیل شد و معادله بیماری برای هر مدل به دست آمد. با استفاده از نرخ پیشرفت بیماری (r) به دست آمده از این طریق، مقادیر dy/dt برای مدل‌ها در ارقام مختلف محاسبه شد. سپس نمودارهای پیشرفت بیماری (y در مقابل t) و نرخ مطلق (dy/dt در مقابل t) با استفاده از Excel رسم گردید. علاوه بر محاسبه ضریب تبیین مدل (R²) و ضریب تبیین تصحیح شده (R²_{adj}) (Steel et al. 1987; Ali et al. 2022) پارامترهای مربوط به خطای باقیمانده‌ها نیز برای هر مدل محاسبه شد.

به منظور بررسی نکویی برازش مدل‌های مختلف پارامترهای دیگری شامل حداکثر خطا (Maximum Error, ME)، میانگین ریشه دوم خطا (Root Mean Square Error, RMSE)، ضریب تبیین (Coefficient of Determination, CD)، کارایی مدل‌سازی (Modeling Efficiency, EF) و ضریب باقیمانده (Coefficient of Residual Mass, CRM) نیز مورد بررسی قرار گرفت. این داده‌ها به صورت زیر تعریف می‌شوند: (Homaee et al. 2002; Mojerlou et al. 2010)

$$R^2 = \frac{\sum (y_p - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

$$ME = \max |y_p - y_i|$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=0}^n y_i - \sum_{i=0}^n y_p}{\sum_{i=0}^n y_i}$$

$$\text{Adjusted R squared} = 1 - \left[\frac{(1 - R^2) * (n - 1)}{n - k - 1} \right]$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=0}^n (y_p - y_i)^2}{n} \right]^{1/2}$$

$$EF = \frac{\sum_{i=0}^n (y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=0}^n (y_p - y_i)^2}{\sum_{i=0}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

بررسی رابطه بین شدت بیماری و عملکرد

به منظور بررسی رابطه شدت بیماری و میزان عملکرد ارقام مختلف جو در زمان‌های مختلف یادداشت‌برداری و مراحل مختلف رشدی گیاه جو، مدل رگرسیون ساده و چندمتغیره با استفاده از نرم افزار Statgraphics XVI مورد بررسی قرار گرفت. در این مدل‌ها شدت بیماری در زمان‌های مختلف یادداشت‌برداری به عنوان متغیر(های) مستقل و میزان عملکرد ارقام به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد.

و همچنین وزن هزاردانه هر رقم محاسبه گردید و با شاهد مقایسه شد. کاهش عملکرد هر رقم به صورت درصد و از فرمول زیر به دست آمد (Milus, 1994):

$$\text{درصد کاهش عملکرد} = \{1 - (Y_d / Y_h)\} \times 100$$

که در آن Y_h ، میانگین عملکرد تیمار شاهد و Y_d عملکرد هر تیمار در هر تکرار بود. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به کمک نرم افزار Statistix محاسبه شد. همچنین با استفاده از نرم‌افزار Statgraphics XVI مدل انتگرالی و مدل چند متغیره خسارت مدل سازی شد.

جدول ۱. خلاصه معادلات مدل‌های مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به پیشرفت بیماری.

Table 1. Summary of the models used for disease progress data analysis.

Model	Linearized form	dy/dt
Monomolecular	$\text{Ln}[1/(1 - y)] = \text{Ln}[1/(1 - y_0)] + r_M t$	$r_M(1 - y)$
Logistic	$\text{Ln}[y/(1 - y)] = \text{Ln}[y_0/(1 - y_0)] + r_L t$	$r_L y(1 - y)$
Gompertz	$-\text{Ln}[-\text{Ln}(y)] = -\text{Ln}[-\text{Ln}(y_0)] + r_G t$	$r_G y[-\text{Ln}(y)]$
Log-logistic	$\text{Ln}[y/(1 - y)] = \text{Ln}[y_1/(1 - y_1)] + r_{LL} \text{Ln}(t)$	$r_{LL} y(1 - y)/t$
weibull	$(\text{Ln}[1/(1 - y)])^{1/c} = -a/b + t/b$ or $\text{Ln}(\text{Ln}[1/(1 - y)]) = -c \text{Ln}(b) + c \text{Ln}(t - a)$	$c/b[(t - a)/b]^{c-1} \exp - [(t - a)/b]^c$

نتایج و بحث

تعداد ۲۶ جدایه از قسمت‌های مختلف استان خوزستان جمع‌آوری شد. جدایه‌ها در آزمایشگاه خالص‌سازی، شناسایی و برای آزمایش‌های مزرعه‌ای آماده شدند. در آزمایشگاه تأثیر جدایه‌ها روی بذور جو مورد آزمایش قرار گرفتند و جدایه‌هایی که بیش‌ترین بیماری‌زایی را داشتند، انتخاب گردیدند.

تجزیه و تحلیل پیشرفت زمانی بیماری لکه نواری جو در شرایط مزرعه

در این آزمایش پس از ظهور علائم، یادداشت برداری آغاز و با فاصله هر هفت روز ادامه یافت. نتایج مربوط به پارامترهای محاسبه‌شده مدل‌های مختلف پیشرفت بیماری در ارقام مختلف در هر دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در جدول ۲ آورده شده‌است.

نتایج نشان داد که در ارقام زهک، نیمروز و اکسین، مدل لوگ لوجستیک با داشتن ضریب تبیین (R^2) و ضریب تبیین تصحیح شده ($Radj2$) بالاتر نسبت به سایر مدل‌ها برتری دارد. همچنین با در نظر گرفتن ME، RMSE، CD، EF و CRM نیز مدل لوگ لوجستیک نسبت به سایر مدل‌ها کارایی بیش‌تری نشان می‌دهد. در رقم نوروز، مدل‌های بررسی شده از نظر

میزان ضریب تبیین ($Radj2$ و R^2) مشابه می‌باشند. مقایسه مقادیر ME، RMSE، CD، EF و CRM نشان می‌دهد که مدل لوگ لوجستیک نسبت به سایر مدل‌ها برتری دارد. در رقم ایذه، مدل‌های بررسی شده از نظر میزان ضریب تبیین ($Radj2$) و R^2 مشابه می‌باشند. مقایسه مقادیر ME، RMSE، CD، EF و CRM نشان می‌دهد که مدل مونومولکولار و لوگ لوجستیک نسبت به سایر مدل‌ها کارایی بیش‌تری نشان می‌دهد. در تمامی ارقام به جز رقم ایذه، مدل مونومولکولار علیرغم ماهیت یک چرخه‌ای بودن بیماری، در مقایسه با سایر مدل‌ها کارایی خوبی در توصیف روند پیشرفت زمانی بیماری نشان نداد.

منحنی‌های پیشرفت بیماری و نرخ افزایش بیماری در مقابل زمان در مورد مدل لوگ لوجستیک در تمامی ارقام مورد بررسی در شکل یک نشان داده شده است. به طور کلی بر اساس بررسی‌های انجام شده در تحقیق حاضر، مدل لوگ-لوجستیک به عنوان مناسب‌ترین مدل در توصیف پیشرفت زمانی بیماری لکه نواری جو معرفی می‌شود.

بررسی برازش مدل‌های اپیدمیولوژیکی مختلف به منظور انتخاب بهترین مدل توسط محققین مختلف صورت گرفته‌است. Zadoks (1961) معادله لوجستیک را برای زنگ زرد به کار برد (Campbell & Madden 1990). در بیماری ویروسی پیچیدگی

تجزیه و تحلیل زنگ سفید کاج (Campbell 1986)، بلایت شکوفه کیوی (Everrett & Henshall 1994)، لکه برگگی سپتوریایی گوجه فرنگی (Parker *et al.* 1997)، لکه برگگی سرکوسپورایی ذرت (Ward *et al.* 1997) استفاده شده است.

برگ انگور مدل گمپرتز و لوجستیک بیشترین کارایی را در توصیف پیشرفت بیماری نشان دادند که به دلیل ساده تر بودن مدل لوجستیک، از این مدل برای مطالعه این اپیدمی استفاده شد (Habibi & Nutter 1997). همچنین از مدل لوجستیک در

جدول ۲. مقادیر آماره‌های محاسبه شده مربوط به مدل‌های بررسی شده در توصیف پیشرفت بیماری در ارقام زهک، نیمروز، اکسین، نوروز و ایزه در دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه.

Table 2. Statistics values of disease progress evaluated models in the cultivars Zehak, Nimroz, Auxin, Nowruz and Izeh in two cropping years 2019-2020 and 2020-2021 in the field.

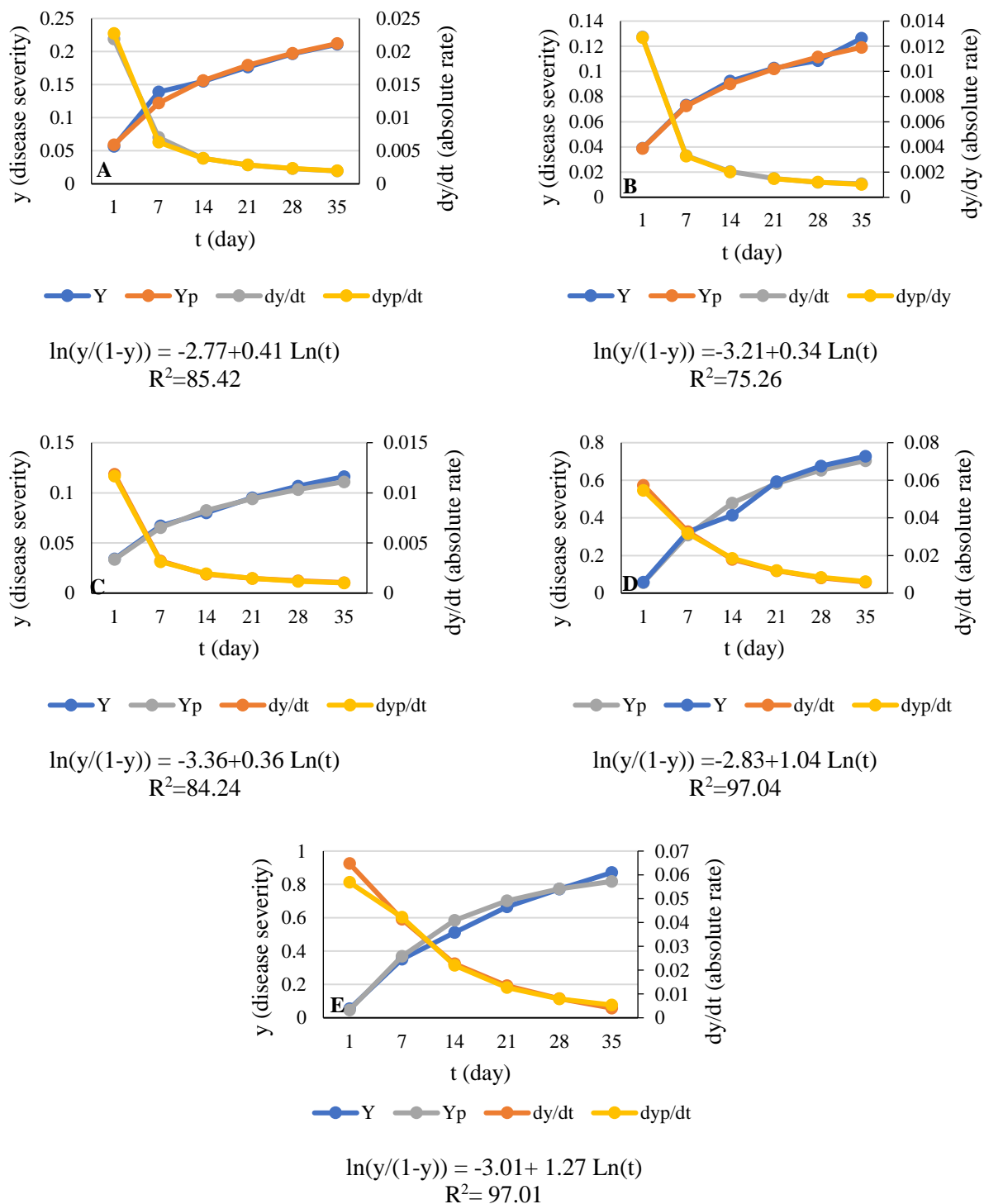
Cultivar	model*	R ²	R _{adj} ²	ME	RMSE	CD	EF	CRM
Zehak	L	64.04	65.41	0.03	0.02	0.888	0.747	0.027
	LL	85.42	87.25	0.00	0.01	0.956	0.981	0.009
	G	65.43	66.83	0.03	0.02	1.027	0.808	0.020
	W2	65.75	67.15	0.03	0.02	1.101	0.820	0.028
	W3	65.34	66.73	0.03	0.02	1.249	0.724	0.096
	M	65.12	66.51	0.03	0.02	1.180	0.870	-0.002
Nimroz	L	60.88	62.18	0.01	0.01	1.021	0.831	0.044
	LL	75.26	76.87	0.00	0.00	1.077	0.986	0.015
	G	58.89	60.15	0.01	0.01	1.053	0.866	0.030
	W2	57.49	58.72	0.01	0.01	1.176	0.869	0.043
	W3	59.10	60.36	0.01	0.01	1.167	0.846	0.05
	M	50.74	51.82	0.01	0.01	1.109	0.920	-0.001
Auxin	L	69.40	70.89	0.01	0.01	0.921	0.848	0.032
	LL	84.24	86.05	0.00	0.00	1.093	0.989	0.019
	G	69.41	70.89	0.01	0.01	1.102	0.889	0.030
	W2	68.97	70.44	0.01	0.01	1.188	0.862	0.069
	W3	69.57	71.06	0.01	0.01	1.224	0.873	0.050
	M	64.59	65.97	0.01	0.01	1.118	0.941	0.010
Nowruz	L	82.74	84.52	0.08	0.07	0.881	0.882	0.047
	LL	97.04	99.13	0.06	0.03	1.061	0.982	0.005
	G	90.51	92.45	0.07	0.05	1.011	0.945	0.020
	W2	90.27	92.21	0.08	0.05	1.022	0.941	0.015
	W3	86.76	88.62	0.07	0.07	1.034	0.896	0.067
	M	94.36	96.38	0.05	0.03	1.076	0.981	-0.011
Izeh	L	88.54	90.44	0.06	0.07	0.907	0.918	0.054
	LL	97.01	99.10	0.07	0.04	1.043	0.978	-0.021
	G	96.04	98.11	0.06	0.04	0.99	0.971	0.015
	W2	95.32	97.37	0.07	0.05	1.004	0.967	0.011
	W3	91.64	93.61	0.07	0.06	0.958	0.943	0.030
	M	97.51	99.61	0.03	0.03	0.912	0.992	-0.004

* L: Logistic, LL: Log- logistic, G: Gompertz, W2: Weibull (c=2), W3: Weibull (c=3), M: Monomolecular

به علاوه Madanian *et al.* (2004) مدل لوجستیک را برای پیشرفت لکه گرد چغندر قند مناسب تشخیص دادند. Mojerlou *et al.* (2010) مدل لوجستیک و لوگ- لوجستیک را به عنوان بهترین مدل‌ها در توصیف پیشرفت زمانی بیماری سپتوریوز گندم در گلخانه و مزرعه معرفی کردند. همچنین Aghajani *et al.* (2010) در بررسی بیماری پوسیدگی اسکروتینیایی ساقه کلزا، مدل گمپرتز را به عنوان مناسبترین مدل جهت توصیف روند پیشرفت بیماری در استان گلستان معرفی کردند. در تحقیق حاضر نیز مدل لوگ لوجستیک به عنوان بهترین مدل در توصیف پیشرفت زمانی بیماری لکه نواری جو در مزرعه

در ایران، مطالعات اپیدمیولوژیکی روی بیماری بلایت فوزاریومی سنبله گندم صورت گرفته است و مدل گمپرتز بهترین مدل برای توصیف پیشرفت بیماری بلایت فوزاریومی گندم معرفی شد (Malhipour & Alizadeh 2000). در تحقیقی دیگر مدل تک مولکولی و ویبل (c=2) در توصیف پیشرفت بیماری بلایت فوزاریومی گندم نسبت به سایر مدل‌ها کاراتر معرفی شد (Mirzaei *et al.* 2003). در بررسی‌های Taliei *et al.* (2006) مشخص شد که مدل‌های لوجستیک و لوگ- لوجستیک روند پیشرفت بیماری را بهتر توجیه می‌کنند.

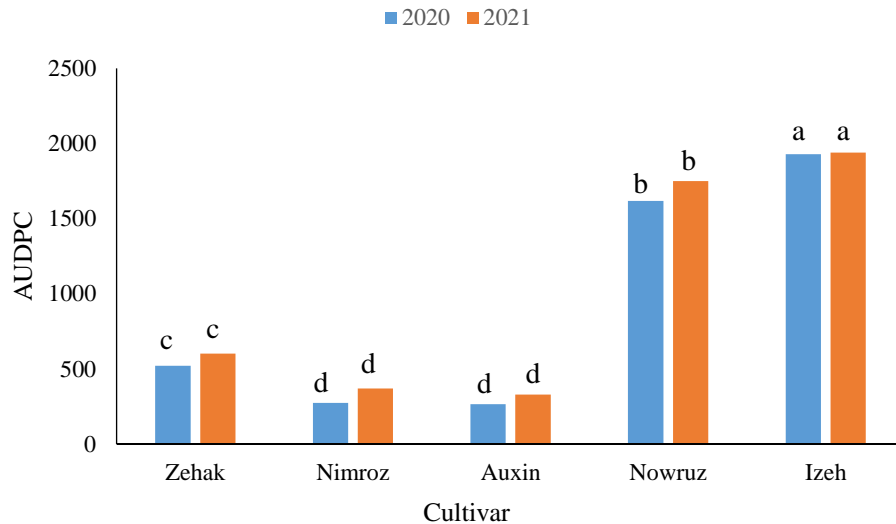
معرفی می‌شود.



شکل ۱. روند تغییرات زمانی مقدار بیماری مشاهده شده (y)، مقدار شدت بیماری پیش بینی شده (yp)، سرعت لحظه‌ای مشاهده شده (dy/dt) و پیش بینی شده (dyp/dt) در بیماری لکه نواری جو با استفاده از مدل لوگ‌جستیک در رقم زهک (A)، نیمروز (B)، اکسین (C)، نوروز (D) و ایزه (E) و بررسی برازش آنها با داده‌های واقعی مربوط به پیشرفت بیماری در شرایط مزرعه.

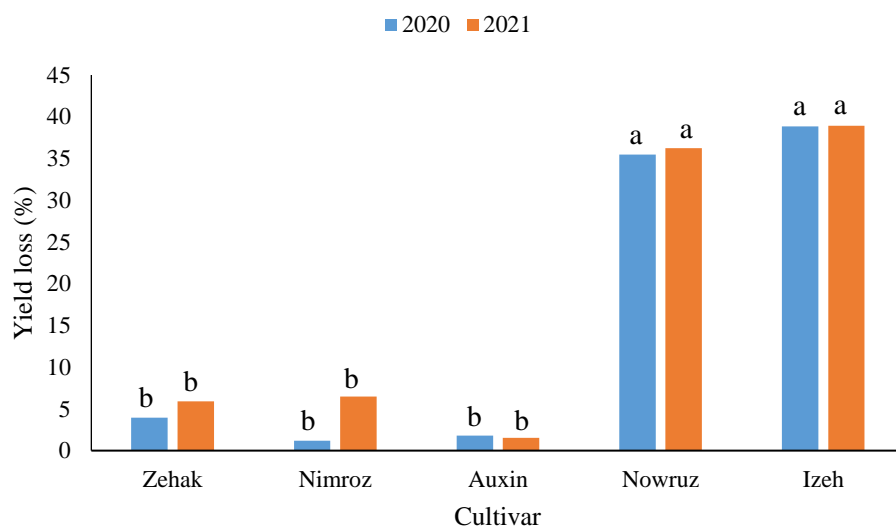
Figure 1. Temporal progress of observed disease (y), predicted disease (yp), observed dy/dt (dy/dt), predicted dy/dt (dyp/dt) of barley leaf stripe disease using log-logistic model in Zehak (A), Nimroz (B), Auxin (C), Nowruz (D) and Izeh (E) cultivars and compared them with actual data in field conditions.

بررسی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری تجزیه واریانس داده‌های مربوط به سطح زیر منحنی پیشرفت شدت بیماری در ارقام مختلف جو نشان داد که ارقام مختلف جو از نظر میزان AUDPC در سطح یک درصد با هم در هر دو سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹ ($F = 2130.73, df_{t,e} = 4, 12$) و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ ($F = 762.28, df_{t,e} = 4, 12$) ($cv = 3.73$) تفاوت معنی‌دار نداشتند. همانطور که در شکل یک مشاهده می‌شود، رقم ایذه در هر دو سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ بیشترین مقدار AUDPC و رقم اکسین کمترین مقدار AUDPC را دارا بود. همچنین ارقام اکسین و نیمروز از نظر مقدار AUDPC در هر دو سال با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند.



شکل ۲. مقایسه میانگین سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) ارقام (زهک، نیمروز، اکسین، نوروز و ایذه) جو در تعامل با *Pyrenophora graminea* در دو سال زراعی با استفاده از آزمون LSD.

Figure 2. Comparison of the average area under disease progress curve (AUDPC) of barley cultivars (Zehak, Nimroz, Auxin, Nowruz and Izeh) in interaction with *Pyrenophora graminea* in two crop years using LSD test.



شکل ۳. مقایسه کاهش عملکرد در ارقام جو در اثر آلودگی به بیماری لکه نواری جو در دو سال زراعی.

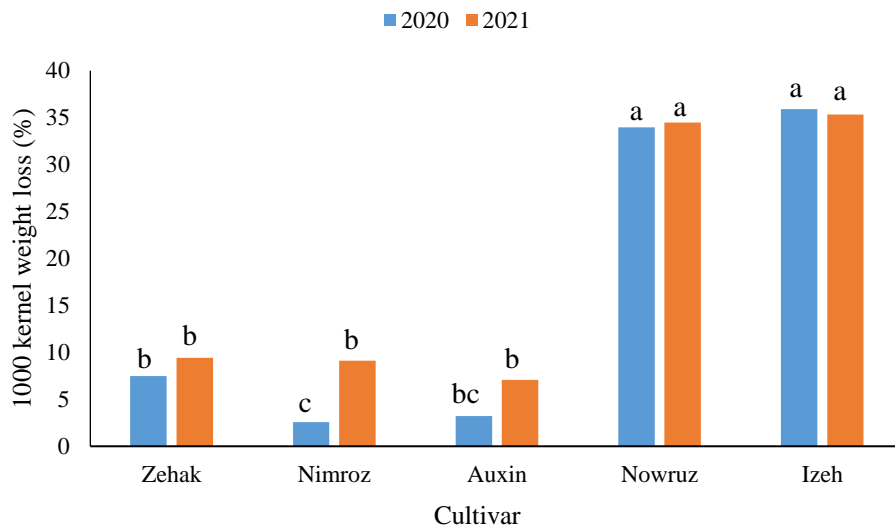
Figure 3. Comparison of yield loss in barley cultivars due to barley stripe disease in two crop years.

بررسی میزان خسارت بیماری در مزرعه

بر اساس نتایج به دست آمده، کاهش عملکرد ناشی از بیماری در دو سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در ارقام مختلف بین یک تا ۳۸ درصد متغیر بود (شکل ۲). تجزیه واریانس مقادیر کاهش عملکرد ناشی از بیماری در دو سال زراعی نشان داد که ارقام مختلف جو از نظر میزان کاهش عملکرد در سطح یک درصد با هم اختلاف معنی‌دار داشتند ($F = 160.87, df_{t,e} = 4, 12, cv = 18.58$; $F = 101.34, df_{t,e} = 4, 12, cv = 20.25$). همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، رقم ایذه و نوروز بیش‌ترین کاهش عملکرد را نشان داد. مقایسه میانگین مقادیر کاهش عملکرد نشان داد، ارقام ایذه و نوروز از نظر کاهش عملکرد با هم اختلاف معنی‌دار ندارند. همچنین سایر ارقام مورد بررسی نیز از نظر میانگین کاهش عملکرد با

هم اختلاف معنی‌دار نداشتند (شکل ۳).

همچنین نتایج حاصل از بررسی کاهش وزن هزار دانه نشان داد که، در سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹ درصد کاهش وزن هزار دانه در ارقام مختلف بین ۲ تا ۳۵ درصد و در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ بین ۷ تا ۳۵ درصد متغیر می‌باشد (شکل ۴). بیش‌ترین درصد کاهش وزن هزار دانه مربوط به ارقام ایذه و نوروز و کمترین درصد کاهش وزن هزار دانه مربوط به رقم نیمروز در سال ۱۳۹۸-۹۹ و اکسین در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ می‌باشد. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که، ارقام و لاین‌های مختلف از نظر کاهش وزن هزار دانه در سطح یک درصد با هم اختلاف معنی‌دار دارند ($F = 124.33, df_{t,e} = 4, 12, cv = 18.16$; $F = 38.80, df_{t,e} = 4, 12, cv = 24.34$).



شکل ۴. مقایسه کاهش وزن هزار دانه در ارقام جو در اثر آلودگی به بیماری لکه نواری در دو سال زراعی.

Figure 4. Comparison of 1000 kernel weight loss in barley cultivars due to barley leaf stripe disease in two crop years.

بررسی رابطه شدت بیماری لکه نواری و عملکرد جو

با در نظر گرفتن شدت بیماری در زمان‌های مختلف یادداشت‌برداری (X_1 تا X_{35}) به عنوان متغیر مستقل و عملکرد جو (Y) به عنوان متغیر وابسته، مدل رگرسیون چندمتغیره مربوط به تمامی ارقام مورد بررسی در دو سال زراعی بصورت زیر به دست آمد؛

$$Y = 4831.4 - 35.85X_1 - 31.8X_7 + 2.52X_{14} - 23.49X_{21} + 28.8X_{28} - 21.4X_{35}$$

در این مدل X شدت بیماری در تاریخ‌های مختلف یادداشت برداری است که شامل؛ X_1 و X_7 مرحله طویل شدن ساقه (مرحله رشدی ۳۰ و ۳۴ از کلید زادوکس)، X_{14} مرحله ظهور برگ پرچم (مرحله رشدی ۳۷ از کلید زادوکس) و X_{21}

نتایج حاصل از بررسی مدل انتگرالی با استفاده از AUDPC

به عنوان متغیر مستقل و درصد خسارت (L) به عنوان متغیر وابسته در همه ارقام مورد مطالعه در دو سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفت. مدل به دست آمده برای رقم نوروز در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار و به صورت زیر می‌باشد:

$$L = 33.241 + 0.0002 \text{ AUDPC}$$

این مدل دارای ضریب تبیین ۵۰/۰۵ درصد می‌باشد. با توجه به ضریب تبیین مدل می‌توان گفت که این مدل می‌تواند ۵۰ درصد از تغییرات خسارت ناشی از تغییرات AUDPC را توجیه نماید.

روی درصد بیماری در مراحل مختلف رشد انجام شد. مدل‌های یک متغیره و چندمتغیره به دست آمده به همراه ضریب تبیین مدل‌ها در جدول ۳ آورده شده است. نتایج نشان داد که شدت بیماری در ابتدای ظهور علائم (مرحله طویل شدن ساقه) (X_1) و (X_7) و مرحله بعد از خوشه‌دهی (X_{28} و X_{35}) در تعیین میزان عملکرد و تخمین خسارت موثرتر از سایر مراحل رشدی می‌باشند و تعیین شدت بیماری در این مراحل رشدی به تخمین میزان عملکرد و خسارت ناشی از بیماری کمک می‌نماید.

مرحله پنجه‌زنی (مرحله رشدی ۴۵ از کلید زادوکس)، X_{28} مرحله خوشه‌دهی (مرحله رشدی ۵۱ از کلید زادوکس) و X_{35} مرحله شیری شدن (مرحله رشدی ۷۳ از کلید زادوکس) می‌باشد. این مدل در سطح یک درصد معنی‌دار و دارای ضریب تبیین ۹۴/۳۸٪ می‌باشد که کارایی بالای آن در تخمین عملکرد را نشان می‌دهد. همچنین آنالیز باقیمانده‌ها نشان داد که پراکنش باقیمانده‌ها بین ۲+ و ۲- می‌باشد. به منظور تعیین مهمترین مرحله فنولوژیکی در تعیین میزان عملکرد، تجزیه و تحلیل یک متغیره و چند متغیره بر

جدول ۳. مدل‌های رگرسیون ساده و چند متغیره شدت بیماری لکه نواری جو و عملکرد در ارقام زهک، نیمروز، اکسین، نوروز و ایذه در دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹.

Table 3. simple and multivariate regression models of barley stripe disease severity and yield in Zehak, Nimroz, Auxin, Nowruz and Izeh cultivars in two crop years 2018-2019 and 2019-2020.

Model	coefficient of determination (R ²)
$Y=4836.17 - 38.51X_1 - 33.78X_7 + 16.83X_{28} - 26.56X_{35}$	94.19
$Y=4567.39 - 3.85X_{28} - 21.58X_{35}$	92.90
$Y=4887.28 - 29.94X_1 - 62.86X_7$	92.72
$Y=4775.93 - 64.62X_7$	92.60
$Y=4595.4 - 32.36X_{21}$	93.12
$Y=4569.31 - 27.71X_{28}$	92.49
$Y=4566.22 - 25.04X_{35}$	92.89
$Y=4638.7 - 43.89X_{14}$	89.57
$Y=5535.6 - 412.22X_1$	36.46

که از بقیه متداول تر می‌باشد (Madden 1983). مدل تک نقطه‌ای برای بسیاری از بیماری‌ها از جمله سوختگی جنوبی برگ ذرت (Gregory et al. 1978)، بادزدگی سیب زمینی (Olofsson 1968) و مدل انتگرالی اولین بار در ارزیابی خسارت زنگ ساقه گندم به کارگرفته شد (Teng 1987). مدل‌های یک متغیره (تک نقطه‌ای) در مورد بیماری‌هایی با دوره زمانی کوتاه که فقط یکی از اجزای عملکرد مثل وزن دانه را تحت تاثیر قرار می‌دهند، بسیار توسعه یافته‌اند. در این مدل‌ها فرض بر این است که خسارت تنها با دانستن مقدار بیماری در یک مرحله از مراحل رشدی گیاه قابل ارزیابی است (Teng 1987). از آنجایی که این بیماری نیز عملکرد دانه را تحت تاثیر قرار می‌دهد، استفاده از مدل یک متغیره برای آن مناسب می‌باشد و همانطور که مشاهده شد مدل به دست آمده در رقم نوروز می‌تواند بیش از ۵۰ درصد تغییرات AUDPC در برابر خسارت را توجیه نماید. نتایج این تحقیق با نتایج Chogan et al. (2015) مطابقت دارد. یکی دیگر از انواع مدل‌های ارزیابی خسارت، مدل چند نقطه‌ای می‌باشد. در این مدل

بر اساس نتایج به دست آمده، معنی‌دار بودن اختلاف مربوط به کاهش عملکرد محصول، کاهش وزن هزاردانه و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری در ارقام مختلف به دلیل تفاوت‌های ژنتیکی ارقام مختلف می‌باشد. این تفاوت‌ها موجب واکنش متفاوت ارقام نسبت به بیمارگر می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده، ارقام ایذه و نوروز بیشترین AUDPC، بیشترین کاهش عملکرد و بیشترین کاهش وزن هزار دانه دارا می‌باشند. همچنین می‌توان گفت که ارقام ایذه و نوروز حساسیت بیشتری به بیماری نسبت به سایر ارقام مورد بررسی دارند.

بحث

مدل‌های زیادی برای ارتباط وقوع بیماری یا شدت بیماری با عملکرد محصول نوشته شده است. بر اساس این مدل‌ها تاخیر در زمان آلودگی تاثیر زیادی در کاهش بیماری خواهد داشت (Madden et al. 2000). روش‌های مختلفی برای نشان دادن این مطلب که خسارت تابعی از اپیدمی بیماری است، وجود دارد از جمله این روش‌ها می‌توان به روش رگرسیون خطی اشاره کرد

ارقام مختلف جو در خوزستان معرفی می‌شود. با توجه به اینکه بیماری‌گر *P. graminea* یک بیماری‌گر تک‌چرخه‌ای است که سنبله‌ها در اثر کنیدی‌های تولید شده روی لکه‌های برگ آلوده می‌شوند (Platenkamp 1976)، بنابراین می‌توان گفت که چرخه این بیماری ترکیبی از تک چرخه و چند چرخه‌ای می‌باشد. در بررسی سایر محققین نیز مدل‌های لوجستیک، لوگ لوجستیک و گمپرتز کارایی خوبی در توصیف بیماری‌هایی که در شروع، ماهیت تک چرخه‌ای داشتند، نشان داد (Malihipour & Alizadeh, 2000; Mirzaei et al. 2003; Taliei et al. 2006). همچنین براساس مدل‌های چند نقطه‌ای و یک متغیره، شدت بیماری در ابتدای ظهور علائم (مرحله طویل شدن ساقه) و مرحله بعد از خوشه‌دهی در تعیین میزان عملکرد و تخمین خسارت موثرتر از سایر مراحل رشدی می‌باشند. با توجه به ماهیت چرخه بیماری می‌توان انتظار داشت که فقط مراحل اولیه رشدی گیاه در تخمین خسارت موثر نباشد و میزان شدت بیماری در مراحل پیشرفته‌تر از شد گیاه نیز تعیین کننده باشد. در پایان، ارقام ایده و نوروز بیش‌ترین AUDPC، بیش‌ترین کاهش عملکرد و بیش‌ترین کاهش وزن هزار دانه را دارا بودند و بر این اساس حساسیت بیش‌تری به بیماری نسبت به سایر ارقام مورد بررسی دارند. شناسایی ارقام مقاوم و حساس می‌تواند گامی موثر در توسعه برنامه‌های اصلاحی باشد.

References

- Adam A, Arabi MIE, Idris I, Al-Shehadah E, 2017. Effect of several rhizobacteria strains on barley resistance against *Pyrenophora graminea* under field conditions. *Hellenic Plant Protection Journal* 10: 35-45.
- Aghajani MA, Safaie N, Alizadeh A, 2010. Disease progress curves of sclerotinia stem root of *canola* epidemics in goletan province, Iran. *Journal Agriculture Science Technology* 12: 471-478.
- Ahmadi H, Ebadzadeh HR, Hatami F, Abdeshah H, 2020. Agricultural Statistics 2018-2019. The horticultural products (3rd volume). Ministry of Gihad- Agriculture, Deputy Minister of Planning and Budget, General Directorate of Statistics and Information. 163 pages.
- Ali Y, Raza A, Aatif HM, Ijaz M, Ul-Allah S, Rehman

از دو یا چند ارزیابی بیماری برای تخمین خسارت استفاده می‌شود (Teng 1987). مدل کاهش عملکرد گندم در اثر زنگ ساقه توسط (Burleigh et al. (2017 ارائه شده‌است که در این مدل از درجات مختلف شدت زنگ در سه مرحله رشدی گندم استفاده شده است. همچنین محققین برای ارزیابی خسارت ناشی از زنگ برگ‌ها از شدت بیماری در شش مرحله رشدی استفاده کرده‌اند (Teng 1987). در مدل‌های چند نقطه‌ای افزایش تعداد ارزیابی‌های بیماری معمولاً منجر به بهبود برازش مدل می‌شود (Teng 1987). از مدل‌های یک متغیره و چند نقطه‌ای برای ارزیابی خسارت ناشی از بیماری سپتوریوز برگ‌گندم در ارقام مختلف گندم استفاده شده است (Mojerlou et al. 2009). همچنین مدل‌های یک متغیره و چند متغیره برای ارزیابی میزان خسارت ناشی از زنگ زرد در ارقام مختلف گندم ارائه شده است (Eslahi & Mojerlou 2016). در تحقیق حاضر نیز مدل‌های یک و چند متغیره با استفاده از شدت بیماری به عنوان متغیر مستقل و میزان عملکرد به عنوان متغیر وابسته مورد ارزیابی قرار گرفتند که در تمام ارقام شدت بیماری در زمان‌های مختلف یادداشت برداری قادر به توجیه بیش از ۹۰ درصد میزان عملکرد محصول می‌باشد.

بطور کلی بر اساس نتایج تحقیق حاضر، مدل مونومولکولار نتوانست در مقایسه با سایر مدل‌ها روند پیشرفت بیماری را بخوبی توصیف نماید و مدل لوگ لوجستیک به عنوان مناسب‌ترین مدل در توصیف پیشرفت زمانی بیماری لکه نواری جو در

SU, Mahmoud SYM, Farrag ESH, Amer MA, Moustafa M, 2022. Regression modeling strategies to predict and manage potato leaf roll virus disease incidence and its vector. *Agriculture* 12: 550.

Arabi MIE, Jawhar M, 2005. Barley reaction to *Pyrenophora graminea* based on the fungus movement. *Australasian Plant Pathology* 34: 405-407.

Arabi MIE, Jawhar M, 2010. Interrelationship between incidence and severity of leaf stripe on barley. *Journal of Plant Pathology* 92 (2): 503-505.

Arabi MIE, Jawhar M, 2012. Pathogenic groups identified among isolates of *Pyrenophora graminea*. *Journal of Plant Biology Research* 1(2): 93-100

Arabi MIE, Jawhar M, Al-Safadi B, Mirali N, 2004. Yield responses of barley to leaf stripe (*Pyrenophora graminea*) under experimental

- conditions in southern syria. *Journal of Phytopathology* 152: 519–523.
- Arabi MIE, Jawhar M, Al-Shehadah E, 2019. Characterization of barley germplasm for leaf stripe (*Pyrenophora graminea*) resistance based on incidence and severity parameters. *Acta Biologica Szegediensis* 63(2): 113–118.
- Arru L, Francia E, Pecchioni N, 2003. Isolate-specific QTLs of resistance to leaf stripe (*Pyrenophora graminea*) in the Steptoe - Morex spring barley cross. *Theoretical and Applied Genetics* 106: 668–675.
- Arru L, Nicks RE, Lindhout P, Valè, G, Francia E, Pecchioni N, 2002. Genomic regions determining resistance to leaf stripe (*Pyrenophora graminea*) in barley. *Genome* 45: 460–466.
- Benkorteb-Lyazidi H, Zeghar I, Hanifi-Mekliche L, Bouznad Z, 2019. Barley Leaf Stripe disease in Algeria: evaluation of virulent *pyrenophora graminea* isolates and identification of resistant algerian barley genotypes. *Journal of Agricultural Sciences* 25: 367–372
- Borgen A, Kristensen L, 2001. Use of mustard flour and milk powder to control common bunt (*Tilletia tritici*) in wheat and stem smut (*Urocystis occulta*) in rye in organic agriculture. In: Biddle AJ. (ed.) Seed Treatment: Challenges and Opportunities, *British Crop Protection Council Symposium*, No.76. Farnham, UK. pp. 141–150.
- Borgen A, Nielsen BJ, 2001. Effect of seed treatment with acetic acid for control of seed borne diseases. In: Biddle AJ. (ed.), Farnham, BCPC, pp. 135–140.
- Burleigh JR, Roelfs AP, Eversmeyer MG, 1972. Estimating damage to wheat caused by *Puccinia recondita tritici*. *Phytopathology* 62: 944–946
- Campbell CL, 1986. Interpretation and uses of disease progress curves for root diseases. In: Plant Disease Epidemiology. Vol. 1: Population dynamics and management. Leonard, K. J. and Fry, W. E. (Eds.). McMillan Publishing Company. New York. Pp: 38–54.
- Campbell CL, Madden LV, 1990. Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley & Sons, New York, NY, USA.
- Chogan A, Aghajani MA, Fallahi HA, 2015. Crop loss assessment of diseases for various barley cultivars in Golestan Province, Iran. *International journal of Biosciences* 6: 136–146.
- Delogu G, Porta-Puglia A, Vannacci, G, 1989. Resistance of winter barley varieties subjected to natural inoculum of *Pyrenophora graminea*. *Journal of Genetics & Breeding* 43: 61–65.
- Dokhanchi H, Babai-Ahari A, Arzanlou M 2020. Distribution of mating type alleles in Iranian populations of *Pyrenophora graminea*, the causal agent of barley leaf stripe disease, using a multiplex PCR approach. *European Journal of Plant Pathology* 156: 343–54.
- Dokhanchi H, Arzanlou M, Abed-Ashtiani F, 2022a. Genetic diversity of Iranian populations of *Pyrenophora graminea*, the causal agent of leaf stripe disease on barley. *Journal of Phytopathology* 170(7-8): 517–34.
- Dokhanchi H, Babai-Ahari A, Arzanlou M, Abed-Ashtiani F, 2022b. Characterization of *Pyrenophora*, *Bipolaris*, *Curvularia* and *Exserohilum* species associated with leaf spot diseases on barley in East Azerbaijan province, using morphological and molecular data. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 21: 11(1): 1–8 (in Persian with English abstract)..
- Eslahi MR, Mojerlou Sh, 2016. Modeling of crop loss caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in three common wheat cultivars in southern Iran. *Journal of Crop Protection* 5 (3): 389–395.
- Everett KR, Henshall WR, 1994. Epidemiology and population ecology of kiwifruit blossom blight. *Plant Pathology* 43: 824–830.
- Faccini N, Delbono S, Çelik Oğuz A, Cattivelli L, Valè G, Tondelli A, 2021. Resistance of european spring 2-row barley cultivars to *Pyrenophora graminea* and detection of associated loci. *Agronomy* 11: 374.
- Gregory LV, Ayers JE, Nelson RR, 1978. Predicting yield losses in corn from southern corn leaf blight. *Phytopathology* 68: 517–521.
- Habili N, Nutter FW, 1997. Temporal and spatial analysis of grapevine leaf roll- associated virus 3 in point noir grapevines in Australia. *Plant Disease* 81: 625–628.
- Haegi A, Bonardi V, Dall-Aglo E, Glissant D, Tumino G, Collins NC, et al., 2008. Histological and molecular analysis of Rdg2a barley resistance to leaf

- stripe. *Molecular Plant Pathology* 9: 463–478.
- Haegi A, Porta-Puglia A, 1995. Purification and partial characterization of a toxic compound produced by *Pyrenophora graminea*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 46: 429–444.
- Hammouda AM, 1986. Modified technique for inoculation in leaf stripe of barley. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 21: 255–259.
- Hammouda AM, 1988. Variability of *Drechslera graminea* the cause fungus of leaf stripe of ley. *Acta Phytopathologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 23: 73–80.
- Homae M, Feddes RA, Direksen C, 2002. A macroscopic water extraction model for non-uniform transient salinity and water stress. *Soil Science Society of America Journal* 66: 1764–1772.
- Jawhar M, Sangwan RS, Arabi MIE, 2000. Identification of *Drechslera graminea* isolates by cultural characters and RAPD analysis. *Cereal Research Communications* 28: 87–93.
- Johnstone RH, Metz SG, Riesselman J, 1982. Seed treatment for control of *Pyrenophora* leaf stripe of barley. *Plant Disease* 66: 1122–1124.
- Madanian R, Minasian V, Safaie N, Mahmodi SB, Sharifi H, 2004. Investigating the progression of sugar beet leaf spot disease using epidemiological models. *Iranian Journal of Plant Pathology* 40: 327–343 (in Persian with English abstract).
- Madden LV, 1983. Measuring and modeling crop losses at the field level. *Phytopathology* 73: 1591–1596.
- Madden LV, Hughes G, Irwin ME, 2000. Coupling disease– progress– curve and time– of– infection for predicting yield loss of crop. *Phytopathology* 90: 788–800.
- Malihipour A, Alizadeh A, 2000. Analysis of Fusarium head blight disease progress under controlled conditions using epidemiological models. *Iranian Journal of Plant Pathology* 36: 135–153 (in Persian with English abstract).
- Mathre DE, 1997. Compendium of Barley Diseases. 2nd ed. St Paul, Minnesota, *American Phytopathological Society Press* 90 pp.
- Milus EA, 1994. Effect of leaf rust and Septoria leaf blotch on yield and test weight of wheat in Arkansas. *Plant Disease* 78: 55–56.
- Mirzaei S, Alizadeh A, Safaie N, 2003. Investigating the temporal progress of Fusarium head blight in the greenhouse using epidemiological models. *Seed and Plant Improvement* 19: 333–351 (in Persian with English abstract).
- Mojerlou Sh, Safaie N, Alizadeh A, Khelghatibana F, 2009. Measuring and modeling crop loss of wheat septoria leaf blotch in seven cultivars and lines in Iran. *Journal of Plant Protection Research* 49(3): 284–288.
- Mojerlou Sh, Safaie N, Alizadeh A, Khelghatibana F, 2010. Temporal Analysis of Wheat Leaf Septoriososis Epidemics. *Agricultura Tropica et Subtropica* 43 (4): 266–276.
- Olofsson B, 1968. Determination of the critical injury threshold for potato late blight (*Phytophthora infestans*). *Waxtskyddsanst Stokholm* 14: 85–93.
- Parker SK, Nutter FW, Gleason M L, 1997. Directional spread of septoria leaf spot in tomato rows. *Plant Disease* 81: 272– 276.
- Pecchioni N, Faccioli P, Toubia-Rahme H, Valè G, Terzi, V, 1996. Quantitative resistance to barley leaf stripe (*Pyrenophora graminea*) is dominated by one major locus. *Theoretical & Applied Genetics* 93: 97–101.
- Pecchioni N, Faccioli P, Toubia-Rahme H, Vale, G, Terzi V, 1996. Quantitative resistance to leaf stripe (*Pyrenophora graminea*) is dominated by one major locus. *Theoretical Applied Genetic* 93: 97–101.
- Platenkamp R, 1976. Investigations on the infection pathway of *Drechslera graminea* in germinating barley. *R. Vet. Agric. Univ. Yearb.* 49–64.
- Skou JP, Haahr V, 1987. Screening for and inheritance of resistance to barley leaf stripe (*Drechslera graminea*). Riso Report 554. Roskilde, Denmark, Riso National laboratory.
- Skou JP, Nielsen BJ, Haahr V, 1994. Evaluation and importance of genetic resistance to leaf stripe in Western European barleys. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B- Soil & Plant Science* 44:98–106.
- Steel RGO, Torrie JH, Dickey D, 1987. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach; McGraw-Hill: New York, NY, USA.

- Taconi G, Cattivelli L, Faccini N, Pecchioni N, Stanca AM, Valé G, 2001. Identification and mapping of a new leaf stripe resistance gene in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 102: 1286–1291.
- Taliei F, Alizadeh A, Safaei N, Dehghan MA, 2006. Quantitative Temporal Analysis of Wheat Fusarium Head Blight. *Agricultural Sciences of Iran Journal* 37(5): 811–820 (in Persian with English abstract).
- Tekauz A, Chiko AW, 1980. Leaf stripe of barley caused by *Pyrenophora graminea*: occurrence in Canada and comparisons with barley stripe mosaic. *Canadian Journal of Plant Pathology* 2: 152–158.
- Teng PS, 1987. Quantifying the relationship between disease intensity and yield loss. In: Crop Loss Assessment and Pest Management. Teng, P. S. (Ed.). APS PRESS. P: 105–113.
- Thomsen SB, Jensen HP, Jensen J, Skou JP, Jørgensen JH, 1997. Localization of a resistance gene and identification of sources of resistance to barley leaf stripe. *Plant Breeding* 116: 455–459.
- Ward JM J, Lating MD, Rijkenberg FHJ, 1997. Frequency and timing of fungicide applications for the control of gray leaf spot in maize. *Plant Disease* 81: 41–48.
- Zad J, Aghakhani M, Etebarian R, Okhovat, M, 2002. Barley leaf stripe disease. *Meded Rijksuniv Gent Fak Landbouwkde Toegep Biol Wet* 67(2): 279–281.
- Zadoks JC, 1961. Yellow rust on wheat. Studies in epidemiology and physiologic specialization. *Tijdschr. PlZiekt.* 67: 69–256.
- Zare L, Hashemi-fesharaki S, 2013. Leaf stripe of barley caused by *Pyrenophora graminea*, occurrence in barley seeds in Iran. *International Journal of Farming and Allied Sciences* 2 (6): 129–132.



This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)