University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

Investigation of Barley (*Hordeum vulgare* L.) Advanced Lines for Resistance to Powdery Mildew Disease under Field and Greenhouse Conditions

Arezoo Adel[1] | Atefeh Sabouri[2] ✉| Rahmatollah Mohammadi Gonbad[3]| Sedigheh Mousanejad[4]| Masoumeh Kheirgoo[5]

1. Department of Agronomy & Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
2. Corresponding author, Department of Agronomy & Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. Email: a.sabouri@guilan.ac.ir
3. Horticulture- Crops Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran.
4. Department of Plant Protection, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
5. Horticulture- Crops Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: November 02, 2022
Received in revised form: December 06, 2022
Accepted: December 25, 2022
Published online: April 28, 2023

Keywords:
Arunachalam ranking,
AUDPC,
cluster analysis,
fungal disease.

ABSTRACT

Barley (*Hordeum vulgare* L.) is one of the widely cultivated cereals and several pathogenic factors affect its grain yield quantity and quality. The fungal pathogen *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* (Bgh) causes powdery mildew, which is a common leaf disease, and identifying genotypes resistant to this disease is one of the goals of breeding programs to combat this disease. The present study was conducted to investigate the resistance of 104 barley genotypes (including 99 advanced lines of barley along with five control cultivars) to powdery mildew disease under field (in two planting dates) and greenhouse conditions. The assessed traits included the severity of the disease, the infection type, and the area under the disease progression curve (AUDPC). The results of analysis of variance of the data showed that the effect of genotype on all the evaluated traits was significant (P<0.01). Considering the evaluation of genotypes under the field on two planting dates for the severity of the disease, and the results of cluster analysis of genotypes based on the different traits investigated in the greenhouse, totally 15 and 19 genotypes were identified as the most resistant and sensitive genotypes to this disease, respectively. These identified genotypes can be used for introducing to the disease-prone regions and also exploited in the formation of breeding populations and as important sources of candidate resistance genes to this disease.

Cite this article: Adel, A., Sabouri, A., Mohammadi Gonbad, R., Mousanejad, S., & Kheirgoo, M. (2023). Investigation of barley (*Hordeum vulgare* L.) advanced lines for resistance to powdery mildew disease under field and greenhouse conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *54*(2), 113-127. DOI: 10.22059/ijfcs.2022.350663.654954.

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/ 10.22059/ijfcs.2022.350663.654954

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

ارزیابی لاین‌های پیشرفته جو (*Hordeum vulgare* L.) از لحاظ مقاومت به بیماری سفیدک پودری در شرایط مزرعه و گلخانه

آرزو عادل[۱]| عاطفه صبوری[۲]✉ | رحمت‌اله محمدی گنبد[۳]| صدیقه موسی نژاد[۴]| معصومه خیرگو[۵]

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران. رایانامه: a.sabouri@guilan.ac.ir

۳. بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

۴. گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۵. بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۲/۰۸

کلیدواژه‌ها:
بیماری قارچی، تجزیه خوشه‌ای، رتبه‌بندی آروناچالام، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری.

چکیده

جو (*Hordeum vulgare* L.) از جمله غلاتی است که به طور گسترده کشت می‌شود و عوامل بیماریزای متعددی بر میزان و کیفیت عملکرد دانه آن تأثیر می‌گذارند. عامل بیماریزای قارچی *Blumeria graminis* f. sp. *hordei (Bgh)* باعث ایجاد سفیدک پودری جو می‌شود که یک بیماری شایع برگی است و شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به این بیماری، یکی از اهداف برنامه‌های به‌نژادی جو است. پژوهش حاضر، به منظور بررسی مقاومت ۱۰۴ ژنوتیپ جو (شامل ۹۹ لاین پیشرفته جو به‌همراه پنج رقم شاهد) نسبت به بیماری سفیدک پودری در شرایط مزرعه در دو تاریخ کاشت و گلخانه انجام شد. صفات ارزیابی‌شده شامل صفات شدت آلودگی، تیپ آلودگی، و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) بودند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ‌های آزمایشی از لحاظ تمامی صفات اندازه‌گیری‌شده در سطح احتمال ۰/۰۱ اختلاف معنی‌دار وجود داشت. با درنظرگرفتن ارزیابی ژنوتیپ‌ها از لحاظ شدت آلودگی در مزرعه در دو تاریخ کاشت و همچنین نتایج تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات مختلف بررسی‌شده در گلخانه، در مجموع تعداد ۱۵و ۱۹ ژنوتیپ به‌ترتیب به‌عنوان مقاوم‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به این بیماری شناسایی شدند. ژنوتیپ‌های مقاوم شناسایی‌شده می‌توانند در معرفی به مناطق مستعد بیماری و همچنین در تشکیل جمعیت‌های به‌نژادی و به‌عنوان منابع مهم واجد ژن‌های کاندید مقاومت به این بیماری، مورد بهره‌برداری قرار گیرند.

استناد: عادل، آ.، صبوری، ع.، محمدی گنبد، ر.، موسی نژاد، ص.، و خیرگو، م. (۱۴۰۲). ارزیابی لاین‌های پیشرفته جو (*Hordeum vulgare L.*) از لحاظ مقاومت به بیماری سفیدک پودری در شرایط مزرعه و گلخانه. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۴(۲)، ۱۱۳-۱۲۷. DOI: 10.22059/ijfcs.2022.350663.654954.

© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

گیاهان زراعی نقش عمده‌ای در تأمین غذای مورد نیاز جمعیت جهان دارند. این موضوع به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه و از جمله ایران مشهودتر است (Emam, 2017). جو یکی از غلات مهم است (Dreiseitl, 2020) که خاستگاه آن همان منطقه هلال حاصلخیز با قدمت حدود ۱۰۰۰۰ سال می‌باشد و دارای ژنوم دیپلوئید متشکل از هفت کروموزوم (2n=2x=14) و گیاهی خودگشن است (Sato, 2020). جو (*Hordeum vulgare* L.) پس از برنج (*Oryza sativa* L.)، گندم (*Triticum aestivum* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) از نظر تولید محصول در رتبه چهارم قرار دارد (Hoseinzadeh *et al*., 2019) و یکی از سازگارترین غلات محسوب می‌شود (Tricase *et al*., 2018). ایران یکی از مراکز تنوع جو در خاورمیانه است که به‌دلیل تنوع ژنتیکی وسیع و بومی‌بودن جو در این منطقه اهمیت خاصی برای به‌نژادگران دارد. بسیاری از ارقام زراعی جو مورد کشت و کار در ایران، هنوز از ژنوتیپ‌های بومی هستند (Shahmoradi & Zahrawi, 2014). نزدیک به نیمی از سطح زیر کشت جو در پنج استان خراسان، فارس، لرستان، گلستان و خوزستان قرار دارد و استان‌های خراسان، فارس و گلستان مهمترین استان‌های تولیدکننده جو در کشور به حساب می‌آیند.

بنابر آمار سازمان خواربار جهانی، تولید جهانی جو در سال ۲۰۲۰ معادل ۱۵۷۰۳۰۷۶۴ میلیون تن بوده است (FAO, 2022). بر اساس آمار این سازمان، امروزه حدود ۷۰ درصد از محصول جو برای خوراک استفاده می شود. ۲۱ درصد برای صنایع مالت‌سازی و تقطیر در نظر گرفته شده است. شش درصد به‌عنوان غذای انسان مصرف شده است. علاوه‌براین، علاقه فزاینده به انرژی‌های تجدیدپذیر منجر به استفاده اندک از دانه جو برای تولید سوخت‌های زیستی شده است. مزیت جو به عنوان غذا عمدتاً به‌دلیل پتانسیل آن در تولید غذای سالم، به‌عنوان یک منبع عالی از فیبر رژیمی و یک ماده غذایی کاربردی مانند β-گلوکان است (Tricase *et al*., 2018).

عوامل بیماری‌زای متعددی میزان و کیفیت عملکرد غلات را مختل می‌کنند (Piechota *et al*., 2020). جدایه‌های مختلف *B. graminis* که توانایی آلوده‌سازی گیاهان مختلف از جمله گندم و جو را دارند، به چند فرم‌تخصص‌یافته طبقه‌بندی می‌شوند که بیماری سفیدک سطحی در گیاه جو توسط قارچ *B. graminis* f. sp. *hordei* به وجود می‌آید (Hardinson, 1944). توسعه این بیماری در دمای ۱۲ تا ۲۰ درجه سلسیوس و در هوای مرطوب سریع است (Tratwal & Bocianowski, 2014). این بیماری بیشتر در نواحی مرطوب شیوع دارد. علاوه‌بر گندم و جو بیش از ۵۰ گونه از گیاهان خانواده گندمیان به این بیماری مبتلا می‌شوند و در بسیاری از گندم‌کاری‌های ایران از جمله شمال کشور وجود دارد (Elahinia, 2010). این بیماری در ایران در صورت مساعدبودن شرایط آب و هوایی، از جمله بیماری‌های مهم و مؤثر در کاهش تولید این محصول به شمار می‌رود (Ahmadi *et al*., 2017).

بیماری سفیدک پودری جو یک محدودیت مهم زیست‌شناختی در بسیاری از مناطق تولیدی جهان است (Ames *et al*., 2015). در سال‌های اخیر، این بیماری به‌دلیل تغییر سریع الگوهای پاتوتیپ و شیوه‌های کشاورزی اهمیت بیشتری یافته است (Arabi *et al*., 2020). سفیدک‌های پودری با به‌وجودآوردن پوشش سفیدرنگ روی قسمت‌های هوایی گیاهان که شامل اندام‌های رویشی و زایشی قارچ می‌باشد باعث زردی، خشکی و کاهش کمی و کیفی محصول گیاهان زراعی، درختان میوه، جالیز و زینتی می‌شوند (Bakhtiari Bastaki *et al*., 2019). این پاتوژن در جو عمدتاً برگ‌ها، غلاف برگ و ساقه را در طول فصل رشد تحت تأثیر قرار می‌دهد. در گیاهان آلوده، فعالیت فتوسنتزی برگ‌ها کاهش می‌یابد و ازدست‌دادن آب و شدت تنفس افزایش می‌یابد که منجر به تاخیر در رشد، کاهش توانایی پنجه‌زنی و کاهش وزن دانه و تعداد دانه در سنبله می‌شود (Abdullaev, 2021). اهمیت اقتصادی سفیدک پودری در مناطق با سطح وسیع کشت جو به‌ویژه در آمریکای شمالی، شمال و مرکز اروپا بسیار زیاد است. خسارت ناشی از این بیماری به ۳۰ درصد هم می‌رسد و نهایتاً کیفیت محصول کاهش خواهد داشت.

مبارزه با عوامل بیماری‌زا به روش‌های مختلفی نظیر شیمیایی، زراعی و ژنتیکی صورت می‌گیرد (Rashidi, 2005). اتخاذ هر روش باید بر اساس دانش مربوط به هر بیماری، عامل بیماری، چرخه زندگی، اقتصادی‌بودن، زمان و نوع گیاه استوار باشد (Elahinia, 2010). دو استراتژی مهم برای کنترل سفیدک پودری در دسترس است: استفاده از قارچ کش‌ها و تولید ارقام مقاوم. در طی سی سال گذشته، قارچ‌کش‌ها برای کنترل *E. graminis* f. sp. *hordei* مورد استفاده قرار می‌گرفتند تا شدت بیماری سفیدک پودری کاهش یابد؛ امّا بسیاری از پاتوتایپ‌های این قارچ که به قارچ‌کش‌های مورد استفاده مقاوم هستند، شناسایی شده‌اند. همچنین

هزینه قارچ‌کش و نگرانی‌های زیست‌محیطی در مورد استفاده از سموم دفع آفات منجر به کاهش تدریجی استفاده از آنها برای کنترل سفیدک پودری شد (Czembor, 2001). در مقابل، تولید ارقام مقاوم بسیار موفق، مقرون‌به‌صرفه و از نظر محیط زیست بی‌خطر بوده است، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه که اکثر کشاورزان کوچک تا حاشیه‌ای هستند و قادر به تهیه قارچ‌کش‌های گران‌قیمت و سایر فناوری‌ها نیستند (Arabi *et al*., 2020). رشد ارقام مقاوم می‌تواند اثرات مضر پاتوژن را به میزان قابل توجهی به حداقل برساند (Abdullaev, 2021). شناسایی و استفاده از ارقام مقاوم، عدم مصرف بی‌رویه کودهای ازته، استفاده از کودهای فسفره و پتاسه و عدم کاشت متراکم، شدت بیماری را کاهش می‌دهند (Elahinia, 2010). تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به این بیماری در داخل و خارج کشور انجام شده است (Mohammadi *et al*., 2014; Ahmadi *et al*., 2017; Czembor & Czembor, 2021). در جو، ژن‌های متعدد مرتبط با مقاومت به سفیدک پودری شناسایی شده‌اند که بیشتر آنها آلل‌هایی در جایگاه‌های *Mla* و *Mlo* هستند. ۳۹ آلل در *Mla* (کروموزوم H_1) و ۴۴ آلل در مکان *Mlo* (محل کروموزوم H_4) شناخته شده است (Abdullaev, 2021). در حال حاضر علاوه‌بر تولید ارقام پایدار با عملکرد قابل قبول، ارقام جدید بایستی دارای مقاومت چندجانبه به بیماری‌ها باشند تا بدین‌وسیله حفاظت در برابر مجموعه بیماری‌هایی که ممکن است در ناحیه کشت رقم جدید وجود داشته باشد مهیا شود (Abd Mishani *et al*., 2015). تحقیقات نشان داده است که وقوع بیماری سفیدک پودری روی ارقام جو بهاره به شدت بیماری‌زایی پاتوژن و همچنین شرایط آب و هوایی بستگی دارد (Withe & Jenkyn, 1995; Tratwal & Bocianowski, 2014; Czembor &Czembor, 2021). بنابراین انتظار می‌رود واکنش ژنوتیپ‌های مختلف به تغییر شرایط نیز متفاوت باشد. براین‌اساس باتوجه‌به مطالب ذکرشده، یافتن منابع جدید مقاومت و افزایش دانش در مورد واکنش ژنوتیپ‌های جو در مقابل با بیماری سفیدک پودری برای به‌نژادگران به منظور بهبود مقاومت جو نسبت به سفیدک پودری بسیار ارزشمند است. لذا پژوهش حاضر با هدف شناسایی منابع ژنتیکی مقاوم به این بیماری در دو تاریخ کاشت و همچنین شرایط گلخانه‌ای طراحی شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

مواد گیاهی این پژوهش، ۱۰۵ ژنوتیپ جو شامل ۱۰۰ لاین پیشرفته به‌همراه پنج رقم شاهد (بهدان، صحرا، فردان، ماهور و خرم) بود که از مرکز تحقیقات، آموزش و منابع طبیعی استان گلستان جهت ارزیابی مقاومت گیاهچه‌ای نسبت به بیماری سفیدک پودری در شرایط آلودگی طبیعی و مصنوعی به‌ترتیب در مزرعه و گلخانه تهیه شد. مشخصات ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. این پژوهش در دو بخش مزرعه‌ای در دو تاریخ کاشت و همچنین بخش گلخانه‌ای اجرا شد. لازم به توضیح است که ژنوتیپ شماره ۸۵ به‌دلیل عدم جوانه‌زنی بذور در هر سه تکرار در آزمایش گلخانه‌ای، از پژوهش حذف شد.

در آزمایش مزرعه‌ای، لاین‌ها به‌همراه ۵ رقم شاهد بر اساس طرح آماری حجیم‌شده (Augmented) با چهار بلوک در مزرعه پژوهشی ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان گنبد کاووس (استان گلستان) به‌صورت دیم در دو تاریخ کاشت بیستم آذرماه و بیستم بهمن‌ماه سال ۱۳۹۸ کشت شدند. ارتفاع از سطح دریای محل اجرای آزمایش ۴۵ متر و مختصات جغرافیایی به‌ترتیب ´55°12 N و ´37°16 E است و بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مستقر در ۵۰ متری محل آزمایش، متوسط بارش بلندمدت حدود ۴۵۰ میلی‌متر می‌باشد. آمار هواشناسی سال زراعی ۹۹–۹۸ ایستگاه تحقیقات گنبد کاووس در جدول ۲ ارائه شده است. در هر بلوک ۲۵ لاین جو به‌همراه ارقام شاهد، کشت شدند. هر ژنوتیپ در شش ردیف به فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر در کرتی به طول چهار متر و عرض ۱/۲ متر در هر دو تاریخ کاشت، با تراکم ۲۷۰ دانه در متر مربع کشت شد. مساحت هر کرت پس از حذف ابتدا و انتهای ردیف‌ها سه متر مربع بود. قبل از کاشت، نمونه خاک تهیه شد و تمام کودهای مورد نیاز فسفاته و پتاسه و یک سوم از کود ازته قبل از آخرین دیسک در زمان آماده‌کردن بستر بذر به خاک اضافه شدند و مابقی کود ازته در دو مرحله اواسط پنجه‌زنی و ساقه‌روی به صورت اوره به کرت‌ها اضافه شد. همچنین بذرها قبل از کاشت با سم Rovral-TS به نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند و پس از آن در مزرعه علیه بیماری‌ها سمپاشی انجام نشد. عملیات داشت شامل مبارزه با علف‌های هرز نازک‌برگ و پهن‌برگ با سموم Axial به نسبت ۱ لیتر در هکتار و Granstar به نسبت ۲۵ گرم در هکتار در یکم اسفندماه برای تاریخ اول و

۲۲ اسفندماه برای تاریخ دوم کاشت صورت پذیرفت. ضمن اینکه وجین دستی بعد از این تاریخ به هنگام مشاهده علف هرز انجام شد. پس از آلوده‌شدن مزرعه به صورت طبیعی توسط سفیدک پودری جو، یادداشت‌برداری از واکنش ژنوتیپ‌ها با روش ساری و پرسکات (Saari & Prescott, 1975) تغییریافته توسط ایال و همکاران (Eyal *et al*. 1987) در مقیاس ۹۹–۰۰ انجام شد.

آزمایش بخش گلخانه‌ای در دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان به صورت گلدانی و در مرحله گیاهچه‌ای انجام شد. الگوی آماری اجرای آزمایش، به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. ابتدا از هر ژنوتیپ، ۲۰ بذر در گلدان‌های پلاستیکی با دهانه ۱۰ الی ۱۵ سانتیمتر با خاک سبک به همراه کود آلی با نسبت برابر (۵۰:۵۰) کاشته شد. نمونه‌های آلوده به قارچ عامل بیماری در اسفند ۱۴۰۰ از مزارع آلوده شهرستان گنبد کاووس جمع‌آوری شدند. پس از کاشت بذور در گلدان، به منظور مایه‌زنی قارچ عامل بیماری سفیدک پودری، سوسپانسیونی شامل آب مقطر و اسپورهای قارچ با غلظت 10^5 اسپور در میلی‌لیتر از نمونه برگ‌های آلوده تهیه شد. مایه‌زنی قارچ عامل بیماری در مرحله ۲–۳ برگی، به‌صورت مصنوعی صورت پذیرفت. گیاهچه‌ها در شرایط مرطوب و دمای ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند. برای گسترش بیماری از رقم حساس افضل که توسط سوسپانسیون قارچ عامل بیماری، مایه‌زنی شده بود، در حاشیه و مابین گلدان‌ها استفاده شد. از زمان ظهور علایم بیماری روی برگ‌های گیاهچه-های جو، نمونه‌برداری و اندازه‌گیری بیماری با فواصل زمانی مشخص (هر ۳ روز یک بار) و در هر مرحله به‌طور تصادفی روی هشت گیاهچه در هر واحد آزمایشی صورت پذیرفت. برای بررسی میزان مقاومت ژنوتیپ‌های مختلف به بیماری سفیدک پودری، ۱۵ روز بعد از تلقیح، صفاتی مانند تیپ آلودگی بر اساس روش Mains & Dietz (1930) در مقیاس صفر تا چهار یادداشت شد. تیپ آلودگی ۰ تا ۲ به عنوان مقاوم و تیپ ۳ و ۴ به‌عنوان حساس در نظر گرفته شدند و شدت آلودگی نیز بر اساس درصد آلودگی برگ‌ها در پنج مرحله مورد ارزیابی قرار گرفتند. لازم به توضیح است که یک ژنوتیپ به‌دلیل عدم جوانه‌زنی بذور در هر سه تکرار طرح آزمایشی، از پژوهش حذف شد و ارزیابی متغیرهای مورد مطالعه روی ۱۰۴ ژنوتیپ جو صورت پذیرفت.

با ثبت شدت آلودگی با فواصل سه روز تا پنج مرحله، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) از رابطه (۱) محاسبه شد (Mukherjee *et al*., 2018).

رابطه (۱) $\text{AUDPC}= \sum_{i=1}^{k} \frac{X_{i+1}+X_i}{2} (t_{i+1} - t_i)$

پس از ثبت داده‌ها، ابتدا مفروضات تجزیه واریانس از جمله نرمال‌بودن خطاهای آزمایشی با استفاده از PROC UNIVARIATE در نرم‌افزار SAS بررسی شد و پس از اطمینان از برقراری مفروضات، باتوجه‌به اینکه طرح به‌صورت حجیم‌شده (Augmented) اجرا شد، برای داده‌های مزرعه‌ای تجزیه واریانس ارقام شاهد انجام شد و تجزیه واریانس داده‌های گلخانه‌ای به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار صورت پذیرفت. به منظور جمع‌بندی میزان مقاومت نسبی ژنوتیپ‌ها از لحاظ کلیه متغیرهای اندازه‌گیری‌شده، پس از انجام مقایسه میانگین با استفاده از آزمون توکی در سطح ۰/۰۵، از رتبه‌بندی آروناچالام و باندیوپادیای (Arunachalam & Bandyopadhyay, 1984) استفاده شد. بدین‌صورت که ابتدا رتبه‌بندی در هر صفت بر اساس تعداد حروف در مقایسهٔ میانگین مربوط به آن صفت انجام گرفت. برای مثال اگر رتبه‌بندی بر اساس مقایسه میانگین A تا C بود. به‌ترتیب مقادیر ۱، ۲ و ۳ به ژنوتیپ‌های واجد رتبه‌های A تا C منتسب شد و اگر ژنوتیپی رتبه ترکیبی مثل BC داشت، از میانگین مقادیر B و C برای آن استفاده شد. سپس رتبهٔ نهایی (رتبه آروناچالام) هر ژنوتیپ باتوجه‌به مجموع رتبه‌های آن ژنوتیپ برای صفات مختلف محاسبه شد. لازم به توضیح است که ژنوتیپ‌هایی که از لحاظ صفات شدت بیماری، تیپ آلودگی و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری کم‌ترین مقدار را داشتند، پایین‌ترین رتبه‌ها را به خود اختصاص دادند و ازآنجایی‌که برای این صفات کمترین مقدار، مطلوب است در نتیجه این ژنوتیپ‌ها به عنوان مقاوم شناخته شدند و بالاترین رتبه‌ها نیز به ژنوتیپ‌هایی اختصاص یافت که بیشترین مقدار را از لحاظ کلیه صفات اندازه‌گیری‌شده دارا بودند، در نتیجه به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس شناخته شدند.

برای محاسبه ضریب تغییرات فنوتیپی، ژنوتیپی (Singh & Chaudhary, 1985) و وراثت‌پذیری (Falconer, 1989) به‌ترتیب از روابط زیر استفاده شد:

رابطه (۲) $\text{PCV}(\%) = \frac{\sqrt{\sigma^2 ph}}{\bar{X}} \times 100$

$$GCV(\%) = \frac{\sqrt{\sigma^2 g}}{\bar{X}} \times 100$$ رابطه (۳)

$$h_b^2 = \frac{\sigma^2 g}{\sigma^2 ph}$$ رابطه (۴)

در روابط بالا PCV و GCV به‌ترتیب ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی هستند. σ^2_{ph} و σ^2_g برآوردی از واریانس فنوتیپی و ژنوتیپی هستند که با استفاده از امیدهای ریاضی محاسبه شدند. مقدار $\bar{X}$، میانگین کل صفت و h_b^2 وراثت‌پذیری عمومی می‌باشد. این محاسبات با استفاده از اکسل انجام شد. به‌منظور گروه‌بندی لاین‌ها از روش تجزیه خوشه‌ای توسط نرم‌افزار SPSS با الگوریتم-های مختلف، CL، UPGMA و Ward و براساس معیار فاصله اقلیدسی استفاده شد. در نهایت روش Ward با استفاده از ماتریس فاصله اقلیدسی با داشتن بهترین دندروگرام از لحاظ گرافیکی برای تحلیل و تفسیر انتخاب شد و برترین لاین‌ها از لحاظ مقاومت به سفیدک پودری تعیین شدند. برای صحت محل برش دندروگرام نیز از تجزیه تابع تشخیص استفاده شد.

جدول ۱. مشخصات ژنوتیپ‌های مورد مطالعه جو

Number	Pedeegre	Cross
1	M00053001 08/1G0035	CPOLO 9109/PETUNIA 2
2	CBSS07Y00486S-14T-05CJ-05CH-04CJ-0CH	P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1/6/BGCLM 157.MBV
3	CBSS05M00363S-3M-0Y-0M-05T-05CJ-10T-0CJ	PETUNIA 1/RITA PELADA
4	CBSS07Y00384S-9T-05T-05CJ -05CH-1CJ-0CH	CANELA//E.QUEBRACHO/W9338
5	ICB02-1135-0AP-10TR-0AP	Hml-02/ArabiAbiad//ER/Apm/3/BelfortBarley/Carben//Ms2375/5/Roho/4/Zanbaka/3/ER/Apm//Lignee131
6	H99075001 09/4H0018-0MR	S95031002008N/H87010008N
7	As46//Avt/Aths (Sel,02L-1AP-3AP-0AP)	Check 2 - RIHANE-03
8	CBSS07Y00242S-7T-05T-05CJ -05CH-3CJ-0CH	WABAR2242//LIMON/BICHY2000
9	ICB03-0079-0AP-5AP-0AP	IPA7/4/AwBlack/Aths//Arar/3/9Cr279-07/Roho/5/Rhn-03//Lignee527/As45
10	CBSS05Y00036S-6Y-0M-0Y-0M-4AP	LIMON/BICHY2000//DEFRA/DESCONOCIDA-BAR
11	ICB98-0794-0AP-7AP-0AP-9AP-0AP-10AP-0AP	Avt/Attiki//M-Att-73-337-1/3/Aths/Lignee686/4/M-Att-73-337-1/3/Mari/Aths*2//Avt/Attiki
12	CBSS04Y00048S-23Y-2M-0Y-0M-0Y-0AP	PENCO/CHEVRON-BAR/3/LEGACY//PENCO/CHEVRON-BAR
13		Furat-3
14	CITV10B048S- 0100T-0100CJ-2CH-04CJ-0CH	STANDER-BAR//CALI92/ROBUST/3/DOÑA JOSEFA
15	CBSS07Y00382S-4T-05T-05CJ -05CH-5CJ-0CH	CANELA//LIMON/BICHY2000
16	CBSS07Y00654S-18T-05CJ-05CH-04CJ-0CH	BREA/DL70//CABUYA/3/TOCTE
17	CBSS07Y00350S-2T-05T-05CJ -05CH-4CJ-0CH	BLLU/6/P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1
18	CBSS07Y00322S-14T-05T-05CJ -05CH-2CJ-0CH	CIRU/ZIGZIG
19	ICB09-1437-0AP-0TR-0AP-0TR-0AP-0TR	LEGACY/CHAMICO//ATAH92/GOB
20	CBSS07Y00497S-4T-05CJ-05CH-04CJ-0CH	P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1/6/P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1
21	CBSS07Y00321S-16T-05CJ-05T-05CJ - 010CH-CH3-0CH	CIRU/TOCTE
22	CBSS05Y00056S-10Y-0M-0Y-0M-3AP	SVANHALS-BAR/MSEL//AZAF/GOB24DH/3/NE167/CLE176
23	CBSS06Y00274S-11Y-0M-0AP-0TR	VMorales/6/ORGE618
24	CBSS03B00016S-0M-0Y-0M-0Y-1M-0Y	MSEL/LOGAN-BAR
25	CBSS07Y00382S-4T-05T-05CJ -05CH-5CJ-0CH	CANELA//LIMON/BICHY2000
26	CBSS07Y00497S-10T-05CJ-05CH-04CJ-0CH	P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1/6/P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1
27	CBSS07Y01027T-A-0AP-0AP	CIRU//BREA/DL70/3/SUMBARD400
28	CBSS04B00032S-0M-0Y-0M-0Y-1M-0AP	GLORIABAR/COPAL//PM5/BEN/3/SEN/4/PETUNIA1/5/PETUNIA2//PENCO/CHEVRONBAR/4/PETUNIA2/3/CHAMICO/TOCTE//CONGONA
29	P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA_1 (CBSS97M00850T-G-2M-1Y-2M-0Y)	Check 1 - VMORALES
30	CBSS06Y00313S-13Y-1M-05T-05CJ-05T-3CJ-0CH	BERMEJO//CAPUL/TOCTE
31	CBSS03B00016S-0M-0Y-0M-0Y-1M-0Y	MSEL/LOGAN-BAR
32	CBSS07Y00322S-14T-05T-05CJ -05CH-2CJ-0CH	CIRU/ZIGZIG
33	H96034009/H93174006-0MR	J09049 F3 10/030552
34	H99075001 09/4H0018-0MR	S95031002008N/H87010008N
35	CBSS07Y00322S-14T-05T-05CJ -05CH-3CJ-0CH	CIRU/ZIGZIG
36	CBSS06Y00316S-17Y-1M-05T-05CJ-05T-7CJ-0CH	JACARANDA//ENCINO/TOCTE
37	CBSS05Y00126S-20Y-0M-0Y-0M-2AP	BBSC/CONGONA//FRESA
38	CBSS07Y00242S-7T-05T-05CJ -05CH-3CJ-0CH	WABAR2242//LIMON/BICHY2000
39	ICB09-1494-0AP-0TR-0AP-0TR	AJO 61/6/Vmorales
40	CBSS05M00148S-2M-0Y-0M-0AP-0TR	ALELI/SCARLETT
41	CBSS07Y00382S-27T-05T-05CJ -05CH-3CJ-0CH	CANELA//LIMON/BICHY2000
42	ICB03-0534-0AP-11AP-0AP	Nadawa/Rhn-03/3/Lignee527/Rihane//Arar
43	G08114/TR06676-0MR	G09111 F3 10/030605

44	CBSS07Y00060S-44T-05CJ-05T-05CJ - 010CH-CH3-0CH	LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/6/P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1
45	CBSS05Y00158S-25Y-0M-0Y-0M-4AP	LA MOLINA 96/6/Vmorales
46	ICB03-0339-9AP-0AP	BF891M-617/4/Hma-02//11012-2/CM67/3/Arar/5/BlackTaridaN
47	F10199-0MR	LA MOLINA 94/FOSTER
48	CBSS07Y00375S-43T-05T-05CJ -05CH-1CJ-0CH	CANELA//ATAH92/GOB
49	CBSS07Y00014S-36T-05CJ-05T-05CJ - 010CH-CH3-0CH	GLORIA-BAR/COPAL/6/P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1
50	CBSS07Y00817S-16T-05T-05CJ -05CH-1CJ-0CH	BISON 218.1/6/P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1
51	F10191-0MR	CLE150/W89.11369//CHERI/3/CANELA
52	CBSS07Y00807S-37T-05T-05CJ -05CH-2CJ-0CH	BISON 136/CANELA
53	CBSS04B00030S-17M-0Y-0M-3Y-0M-0AP	CABUYA/MJA//PETUNIA 1/5/PENCO/CHEVRONBAR/3/ATACO/BERMEJO//HIGO/4/PETUNIA 1
54	CITV10B060S- 0100T-0100CJ-4CH-04CJ-0CH	M104/PFC 88210//DOÑA JOSEFA
55	M00053001 08/1G0035	CPOLO 9109/PETUNIA 2
56	F09808 09/D30759-0MR	DEFRA/E.QUEBRACHO//DEFRA/E.QUEBRACHO/3/LEO-B
57	CITV10B071S- 0100T-0100CJ-11CH-04CJ-0CH	E.QUEBRACHO/DEFRA//LIMON/7/6B89.2027/5/ATACO/BERMEJO//HIGO/3/CLN-B/80.5138//GLORIA-BAR/COPAL/4/CHEVRON-BAR/6/LEGACY
58	CBSS07Y00014S-4T-05CJ-05T-05CJ - 010CH-CH1-0CH	GLORIA-BAR/COPAL/6/P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1
59	CBSS07Y00350S-2T-05T-05CJ -05CH-1CJ-0CH	BLLU/6/P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1
60	CBSS07Y00382S-9T-05T-05CJ -05CH-2CJ-0CH	CANELA//LIMON/BICHY2000
61	M06445 F6 08/030381-0MR	BARONESE/5/ESCOBA/3/MOLA/SHYRI//ARUPO*2/JET/4/ALELI/6/MSEL/7/LIMON/AZAF
62	CBSS05M00363S-3M-0Y-0M-0AP-0TR	PETUNIA 1/RITA PELADA
63	CBSS04Y00017S-5Y-2M-0Y-0M-0Y	TRADITION//PENCO/CHEVRON-BAR
64	CBSS04B00030S-17M-0Y-0M-3Y-0M-0AP	CABUYA/MJA//PETUNIA 1/5/PENCO/CHEVRONBAR/3/ATACO/BERMEJO//HIGO/4/PETUNIA 1
65	CBSS04Y00047S-30Y-3M-0Y-0M-0Y	PENCO/CHEVRON-BAR/3/LEGACY//PENCO/CHEVRON-BAR
66	CBSS04B00042S-0M-0Y-0M-0Y-1M-0AP	VMorales/6/ZIGZIG/4/EGYPT4/TERAN78//P.STO/3/QUINA
67	F10192-0MR	CEV 96060//BUCK M8.88/E.ACACIA/3/CANELA
68	CITV10B060S- 0100T-0100CJ-5CH-04CJ-0CH	M104/PFC 88210//DOÑA JOSEFA
69	CBSS05M00392S-12M-0Y-0M-05T-05CJ-7T-0CJ	CHAMICO/TOCTE//CONGONA/3/LEGACY//PENCO/CHEVRON-BAR
70	CITV10B095S- 0100T-0100CJ-9CH-04CJ-0CH	AZAF/MSEL/4/PFC8562//ATAH92/GOB/3/CANELA
71	CBSS07Y00242S-33T-05T-05CJ -05CH-4CJ-0CH	WABAR2242//LIMON/BICHY2000
72	CBSS04Y00048S-23Y-2M-0Y-0M-0Y-0AP	PENCO/CHEVRON-BAR/3/LEGACY//PENCO/CHEVRON-BAR
73	CBSS07Y00384S-25T-05T-05CJ -05CH-4CJ-0CH	CANELA//E.QUEBRACHO/W9338
74	CBSS05M00406S-8M-0Y-0M-05T-05CJ-16T-0CJ	PENCO/CHEVRON-BAR//BICHY2000
75	CBSS07Y00052S-31T-05CJ-05T-05CJ - 010CH-CH3-0CH	LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/3/PUNGSANCHAPSSALBORI
76	ICB04-0160-0AP-6AP-0AP	Ghinneri(smooth_awns)/Osiris
77	ICB97-0748-0AP-6AP-20TR-9TR-48AP-0AP	Malouh//Aths/Lignee686
78	CBSS07Y00242S-21T-05T-05CJ -05CH-4CJ-0CH	WABAR2242//LIMON/BICHY2000
79	H97042002/H97075001-0MR	J09062 F3 10/030565
80	CBSS07Y00242S-21T-05T-05CJ -05CH-5CJ-0CH	WABAR2242//LIMON/BICHY2000
81	CBSS07Y00382S-47T-05T-05CJ -05CH-3CJ-0CH	CANELA//LIMON/BICHY2000
82	ICB03-0302-12AP-0AP	Alanda-0112/Petunia1
83	CBSS07Y00382S-13T-05T-05CJ -05CH-1CJ-0CH	CANELA//LIMON/BICHY2000
84	ICB09-1435-0AP-0TR-0AP-0TR-0AP-0TR	BREA/DL70//3*CABUYA/3/PENCO/CHEVRON-BAR
85	F09446 09/D30363-0MR	BR2/MERIT,B//MSEL
86	M06021 F6 08/030348-0MR	BUCK M8.88/E.ACACIA//NE167/CLE176
87	CBSS05Y00056S-10Y-0M-0Y-0M-3AP	SVANHALS-BAR/MSEL//AZAF/GOB24DH/3/NE167/CLE176
88	ICB98-1230-22APV-0APV-0APV-1AP-0AP-0MC	Alanda//Ssn/Lignee640/3/QB813-2
89	CBSS07Y00805S-38T-05T-05CJ -05CH-5CJ-0CH	BISON 128/CANELA
90	CITV10B060S- 0100T-0100CJ-11CH-04CJ-0CH	M104/PFC 88210//DOÑA JOSEFA
91	CBSS07Y00821S-27T-05T-05CJ -05CH-2CJ-0CH	BISON 243.4/CANELA
92	CBSS07Y00423S-8T-05T-05CJ -05CH-1CJ-0CH	CHAMICO/TOCTE//CONGONA/6/P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1
93	ICB00-1745-19AP-0AP-1AP-0AP-0MC	Sadik-05//Sls/Bda
94	ICB05-0364-9AP-0AP-0MC	Soufara-02/3/RM1508/Por//WI2269/4/Hml-02/ArabiAbiad//ER/Apm/5/((GalleonxRichard)/5)xTilga
95	CITV10B087S- 0100T-0100CJ-2CH-04CJ-0CH	MSEL//BUCK M8.88/E.ACACIA/3/MSEL//PERLE/BOWMAN
96	CBSS07Y00326S-24T-05CJ-05T-05CJ - 010CH-CH1-0CH	CIRU/3/LEGACY//PENCO/CHEVRON-BAR
97	ICB97-0837-0AP-6AP-0AP	Marar/4/CompCr229//As46/Pro/3/Srs
98	F09517 09/D30451-0MR	CONDOR-BAR/3/PATTY.B/RUDA//ALELI/4/ALELI/5/DIAMALT
99	CBSS03B00016S-0M-0Y-0M-0Y-1M-0Y	MSEL/LOGAN-BAR
100	CBSS07Y00242S-33T-05T-05CJ -05CH-1CJ-0CH	WABAR2242//LIMON/BICHY2000
Mahoor	-	-
Khorram	-	-
Behdan	-	-
Fardan	-	-
Sahra	-	-

جدول ۲. آمار هواشناسی سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد کاووس

Month	Rainfall (mm)	Absolute Temperature (°C)		Mean temperature (°C)	Number of days below zero	Relative Humidity (%)	Evaporation (mm)	Mean temperature (°C)	
		Minimum	Maximum					Minimum	Maximum
October	22.9	7.7	36	22.3	-	61	113.2	14.4	30.3
November	54.6	1.7	30.9	15.1	-	72	48.3	8.6	21.6
December	11.9	-0.5	16.8	11.8	1	74	38	5.4	18.1
January	16.4	-0.5	28.8	10.4	1	66	43	3.8	17.1
February	68.4	-2.1	31.7	9.9	6	64	51.9	2.8	17
March	65.9	0.4	26.9	12.4	-	77	46.1	5.8	19
April	93.2	0	30.3	13.7	1	81	51.4	8.2	19.3
May	40.6	8.4	36.1	19.6	0	73	99.5	12.9	26.3
June	2.4	12.8	46.9	27.6	0	48	225.4	18.7	36.4
July	21.7	18.7	44.3	29.4	0	49	249.2	22.2	32.6
Total	398	-2.1	46.9	17.2	9	66.5	966	10.28	237.7

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

۱-۳. تجزیه واریانس

نتایج تجزیه واریانس ارزیابی شدت آلودگی روی ژنوتیپ‌های جو به‌صورت طرح اگمنت با پنج شاهد در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد در هر دو تاریخ کاشت، بین بلوک‌ها از نظر شدت آلودگی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد؛ لذا نیاز به تصحیح تیمارها بر حسب اثر بلوک نیست. بر اساس نتایج، بین ژنوتیپ‌های شاهد برای صفت شدت بیماری در دو تاریخ اول و دوم به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت.

نتایج تجزیه واریانس ارزیابی ژنوتیپ‌ها در شرایط گلخانه‌ای در جدول ۴ ارائه شده است، بر اساس نتایج تفاوت بین ژنوتیپ‌ها برای هر هفت صفت مورد بررسی در گلخانه، در سطح یک درصد معنی‌دار بود. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت بین ژنوتیپ‌ها از نظر واکنش به بیماری، تنوع ژنتیکی قابل توجهی وجود دارد که می‌توان از این تنوع ژنتیکی برای برنامه‌های به‌نژادی بعدی به‌منظور بالابردن کیفیت و کمیت عملکرد که هدف نهایی در بهبود گیاهان است، استفاده کرد. مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین، اجزای واریانس (فنوتیپی، ژنتیکی و محیطی)، ضریب تنوع و وراثت‌پذیری عمومی برای هفت صفت در جدول ۵، نشان داده شده است.

جدول ۳. تجزیه واریانس صفت شدت آلودگی سفیدک پودری جو بین ارقام شاهد در مزرعه

Source of Variation	Degree of Freedom	Mean Square	
		Infection severity in the field in first planting date	Infection severity in the field in second planting date
Block	3	0.0003^{ns}	0.0003^{ns}
Barley genotype	4	0.0120**	0.0660*
Error	12	0.0002	0.0019
Coefficient of Variation (%)		4.50	12.90

^{ns}، * و ** به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.

جدول ٤. تجزیه واریانس شدت بیماری در مرحله اول تا پنجم، تیپ بیماری و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری برای ارزیابی مقاومت ژنوتیپ‌های جو به بیماری سفیدک پودری در گلخانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی

Source of Variation	Degree of Freedom	Mean Square						
		Disease Severity in the first sampling	Disease Severity in the second sampling	Disease Severity in the third sampling	Disease Severity in the fourth sampling	Disease Severity in the fifth sampling	Infection Type	Area Under the Disease Progress Curve
Block	2	0.175**	0.029**	0.023**	0.001^{ns}	0.013**	0.475**	30931.072**
Barley genotype	103	0.030**	0.026**	0.027**	0.030**	0.037**	0.401**	39513.041**
Error	206	0.006	0.002	0.002	0.002	0.002	0.033	1804.614
Coefficient of Variation (%)		13.14	7.06	5.77	5.41	6.03	6.81	5.01

^{ns}، * و ** به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.

برآورد ضرایب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی صفات برای تعیین وجود یا عدم وجود تنوع حائز اهمیت می‌باشد. مقایسه این ضرایب تأثیر عوامل محیطی را روی صفت مورد بررسی نشان می‌دهد. ضریب تنوع ژنوتیپی بخشی از ضریب تنوع فنوتیپی می‌باشد و از

این رو مقدار آن همواره کمتر از ضریب تنوع فنوتیپی است. اختلاف ناچیز موجود بین ضریب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی برای صفات مورد مطالعه نشان می‌دهد که بخش عمده تنوع موجود ناشی از تفاوت ژنوتیپی می‌باشد و محیط تأثیر اندکی دارد. هرچه نسبت تنوع ژنوتیپی به فنوتیپی زیاد باشد، بازدهی انتخاب بیشتر بوده و بهتر می‌توان ژنوتیپ‌های مطلوب را از نامطلوب تشخیص داد. بر اساس نتایج، بالاترین ضریب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی به صفت شدت بیماری در نمونه‌گیری اول اختصاص یافت که نشان می‌دهد شدت بیماری به‌عنوان یکی از اجزای مقاومت، تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است و گزینش برای این صفت می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی جو در مقابله با بیماری سفیدک پودری مؤثر باشد.

جدول ۵. آماره‌های توصیفی شامل دامنه تغییرات، کمینه، بیشینه، میانگین±خطای استاندارد، اجزای واریانس (ژنوتیپی، فنوتیپی و خطا)، ضریب تنوع (فنوتیپی و ژنوتیپی) و توارث‌پذیری شدت بیماری در مرحله اول تا پنجم، تیپ بیماری و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری برای ارزیابی ژنوتیپ‌های جو به بیماری سفیدک پودری

Traits	Range(%)		Means± standard error (%)	Variance components			Coefficient of variation		Heritability (%)
	Max	Min		Phenotypic variance	Genotypic variance	Environmental variance	Phenotypic coefficient of variation	Genotypic coefficient of variation	
Disease Severity in the first(%) sampling	72.92	30.21	60.22±5.74	140.57	77.99	62.57	19.69	14.66	55.48
Disease Severity in the second sampling(%)	75	34.38	66.33±5.33	99.79	77.84	21.95	15.06	13.30	78.00
Disease Severity in the third sampling(%)	82.81	34.9	70.79±5.46	100.51	83.82	16.69	14.16	12.93	83.39
Disease Severity in the fourth sampling(%)	86.46	34.9	74.98±5.81	112.34	95.91	16.43	14.14	13.06	85.37
Disease Severity in the fifth sampling(%)	94.79	39.58	80.69±6.43	139.90	116.25	23.65	14.66	13.36	83.10
Infection Type	3.0208	1.375	2.65±0.21	0.16	0.13	0.03	14.97	13.33	79.33
Area Under the Disease Progress Curve	969.53	417.19	847.49±66.26	14374.09	12569.48	1804.61	14.15	13.23	87.45

توارث‌پذیری معیاری است که نوع روش اصلاحی و قدرت توارث هر صفت را برای گیاه مشخص می‌کند و در واقع بیان‌کننده سهم تغییرات ژنتیکی از کل تغییرات موجود است. گزینش هر صفت به میزان تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی در بروز آن صفت بستگی دارد. هرگاه سهم عوامل ژنتیکی بیشتر از عوامل محیطی باشد، نقش آن در نمود فنوتیپ بیشتر است و اگر سهم عوامل محیطی بیشتر باشد، آنگاه گزینش بر اساس آن صفت نتیجه بخش نخواهد بود (Arab Tajandarreh *et al*., 2015). در مطالعه حاضر توارث‌پذیری عمومی صفات نیز برآورد شد. چنانچه توارث‌پذیری یک صفت بیشتر از ۰/۵ باشد، صفت دارای توارث‌پذیری بالا، چنانچه بین ۰/۲ و ۰/۵ باشد، صفت دارای توارث‌پذیری متوسط و چنانچه توارث‌پذیری کمتر از ۰/۲ باشد، صفت دارای توارث‌پذیری پایین می‌باشد (Arab Tajandarreh *et al*., 2015). طبق این نظریه تمامی صفات ارزیابی‌شده در گلخانه دارای توارث‌پذیری بالا بودند و متوسط توارث‌پذیری عمومی برای صفات بین ۹۵–۸۰ درصد بود که نشان می‌دهد سهم عوامل محیطی در مقایسه با عوامل ژنتیکی کمرنگ‌تر بوده است.

۳–۲. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های جو از لحاظ شدت بیماری در مرحله ۱ تا ۵ ارزیابی

بر اساس نتایج مقایسه میانگین از لحاظ شدت آلودگی در مرحله ۱، لاین‌های ۴۶، ۴۰، ۳۴، ۴۲، ۱۱، ۷۸، ۱۰۰، ۸۲، ۸۸ و ۹۷ کمترین و لاین‌های ۱، ۶، ۵۵، ۶۶، ۲، ۹۸، ۵۸، ۲۰، ۴۴ و ۵۴ بیشترین آلودگی را نشان دادند. از لحاظ شدت آلودگی در مرحله ۲، لاین‌های ۴۶، ۳۴، ۴۰، ۱۱، ۴۲، ۱۰۰، ۷۸، ۸۲، ۸۸ و رقم بهدان کمترین و لاین‌های ۷۰، ۲۰، ۵۵، ۱۷، ۶۳، ۷۲، ۲، ۴۴، ۵۴ و ۶۶ بیشترین آلودگی را نشان دادند. از لحاظ شدت آلودگی در مرحله ۳، کمترین میزان آلودگی مربوط به لاین‌های ۴۶، ۴۰، ۳۴، ۴۲، ۱۱، ۱۰۰، ۷۸، ۸۲، ۸۸ و ۹۷ و بیشترین میزان آلودگی مربوط به لاین‌های ۵۹، ۱۷، ۵۵، ۵۷، ۳، ۲۸، ۶۲، ۶۹، ۶۵ و ۶۶ بود. از لحاظ شدت آلودگی در مرحله ۴، لاین‌های ۴۶، ۴۰، ۱۱، ۳۴، ۱۰۰، ۴۲، ۷۸، ۸۸، ۸۲ و ۷۹ کمترین آلودگی و لاین‌های ۶۹، ۱۲، ۵۵، ۶۵، ۹، ۵۴، ۵۷، ۶۶، ۷۶ و ۳ بیشترین آلودگی را به خود اختصاص دادند. از لحاظ شدت آلودگی در مرحله ۵، لاین‌های ۴۶، ۳۴، ۴۰، ۱۱، ۱۰۰، ۷۸، ۴۲، ۸۸، ۷۹ و ۸۲ کمترین و لاین‌های ۱۲، ۵۴، ۶۶، ۲۸، ۶۵، ۳۰، ۷، ۳، ۵۷ و ۷۲ بیشترین آلودگی را نشان دادند.

۳-۳. رتبه‌بندی کلی ژنوتیپ‌ها و ارزیابی شدت آلودگی آنها در دو تاریخ کاشت در مزرعه

جدول ۶ رتبه‌بندی آروناچالام ژنوتیپ‌ها (مجموع رتبه ژنوتیپ‌ها از لحاظ ۵ مرحله ارزیابی شدت آلودگی، تیپ آلودگی و AUDPC در گلخانه) به‌همراه شدت آلودگی آنها در مزرعه در دو تاریخ کاشت را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۶، ۷، ۹ و ۱۲ به‌ترتیب بالاترین رتبه‌ها را از لحاظ مجموع صفات به خود اختصاص داده و به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس، و ژنوتیپ‌های ۴۶، ۴۰، ۳۴، ۱۱، ۴۲، ۱۰۰ و ۷۸ به‌ترتیب با اخذ پایین‌ترین رتبه‌ها به عنوان مقاوم‌ترین ارقام شناسایی شدند.

تعداد ۴۹ ژنوتیپ در تاریخ کاشت اول و تعداد ۴۶ ژنوتیپ در تاریخ کاشت دوم، آلودگی صفر درصد نشان دادند. در بررسی مقاومت ژنوتیپ‌ها به این بیماری در مزرعه در مقایسه دو تاریخ کاشت، نتایج نشان می‌دهد تعداد ژنوتیپ‌هایی که در تاریخ دوم صفر درصد آلودگی را نشان دادند نسبت به تاریخ اول کمتر بود و همچنین بررسی‌ها نشان داد میانگین شدت آلودگی بیماری در تاریخ دوم در مقایسه با تاریخ اول بیشتر بود که این موضوع را احتمالاً می‌توان با تغییر تاریخ کاشت و مناسب‌بودن شرایط آب و هوایی برای بروز بیماری مرتبط دانست. در پژوهشی تأثیر تاریخ کاشت در بروز سفیدک پودری در غلات بهاره مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تأخیر در تاریخ کاشت جو بهاره، شیوع سفیدک پودری را افزایش می‌دهد و قبل از آن شرایط برای گسترش بیماری مناسب نیست. کاشت‌های اولیه کمترین آلودگی را داشتند، به‌طوری‌که کاشت دیررس سبب کاهش عملکرد و افزایش تلفات محصولات شد (Last, 1957). در مطالعه‌ای دیگر تأثیر تاریخ کاشت و بهاره‌شدن بر رشد جو زمستانه و مقاومت آن به سفیدک پودری در تاریخ‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در گیاهچه‌هایی که زودتر کشت می‌شوند نسبت به گیاهچه‌هایی که دیرتر در پاییز و زمستان کشت می‌شوند شدت بیماری بیشتر است و دلیل آن مناسب‌بودن شرایط آب و هوا برای ایجاد آلودگی است. نتایج حاصل از آزمایش‌های گلخانه‌ای نشان داد که این تفاوت‌ها ممکن است با اثرات مستقیم بهاره‌سازی بر حساسیت گیاهچه‌ها به بیماری تقویت شود. اثرات متضاد تاریخ کاشت بر شدت سفیدک در طول تابستان نیز احتمالاً به‌دلیل مقاومت تدریجی بیشتر برگ‌های تازه تشکیل‌شده است. به‌عبارتی‌دیگر کاشت زودهنگام می‌تواند تعداد کل برگ‌های تولیدشده در هر ساقه را افزایش دهد. بنابراین، ازآنجایی‌که مقاومت برگ‌ها به تدریج افزایش می‌یابد، حداکثر درجه مقاومت ایجادشده توسط برگ‌های دیرتر (مثلاً پرچم) در گیاهان زودرس بیشتر از گیاهانی است که دیرتر کاشته می‌شوند (Withe & Jenkyn, 1995). Tratwal & Bocianowski (2014) در یک مطالعه طی دو سال به بررسی میزان شدت بیماری سفیدک پودری در پنج رقم جو بهاره پرداختند. نتایج نشان داد شدت بیماری‌زایی پاتوژن به مکان و مدت ظهور بستگی دارد. وقوع بیماری سفیدک پودری روی ارقام جو بهاره به شدت بیماری‌زایی پاتوژن و شرایط آب و هوایی بستگی دارد.

۳-۴. گروه‌بندی ژنوتیپ‌های جو با استفاده از تجزیه خوشه‌ای

شکل ۱ نتایج تجزیه خوشه‌ای را به صورت درخت دندروگرام نشان می‌دهد. از بین روش‌ها و الگوریتم‌های مختلف موجود برای انجام تجزیه خوشه‌ای، روش Ward با استفاده از ماتریس فاصله اقلیدسی با داشتن بهترین دندروگرام از لحاظ گرافیکی برای تحلیل و تفسیر انتخاب شد. باتوجه‌به فاصله ادغام مناسب و تفکیک بهتر ژنوتیپ‌ها، برش دندروگرام در ناحیه‌ای انجام شد که کلیه ژنوتیپ‌ها به چهار گروه منتسب شدند. برای صحت محل برش دندروگرام از تجزیه تابع تشخیص استفاده شد. تجزیه تابع تشخیص نشان داد که اختلاف بین چهار گروه و میزان آماره لاندای ویلک ۰/۷۲۳ در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار است. درصد جایگزینی صحیح با استفاده از توابع در این تجزیه ۹۵/۲ درصد برآورد شد. بر اساس این گروه‌بندی تعداد هفت ژنوتیپ در گروه ژنوتیپ‌های مقاوم، ۱۰ ژنوتیپ در گروه ژنوتیپ‌های نیمه‌مقاوم، ۵۳ ژنوتیپ در گروه ژنوتیپ‌های نیمه‌حساس و ۳۴ ژنوتیپ در گروه حساس قرار گرفتند (شکل ۱).

به‌منظور بررسی وضعیت ژنوتیپ‌های هر گروه از لحاظ صفات اندازه‌گیری‌شده، میانگین صفات برای هر گروه محاسبه شد و نمره استاندارد (Z-score) آنها مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۷). تعداد هفت ژنوتیپ در گروه مقاوم عبارت بودند از ژنوتیپ‌های ۱۱، ۳۴، ۴۰، ۴۲، ۴۶، ۷۸ و ۱۰۰. به‌عبارتی ژنوتیپ‌های این گروه از لحاظ شدت آلودگی در هر پنج مرحله، تیپ آلودگی و همچنین AUDPC، پایین‌ترین میانگین و در نتیجه منفی‌ترین نمرات استاندارد را در بین گروه‌ها به خود اختصاص دادند. بنابراین اعضای این گروه در مجموع مقاوم‌ترین ژنوتیپ‌ها به بیماری سفیدک پودری شناخته شدند. گروه دیگری که از لحاظ کسب کمترین میانگین

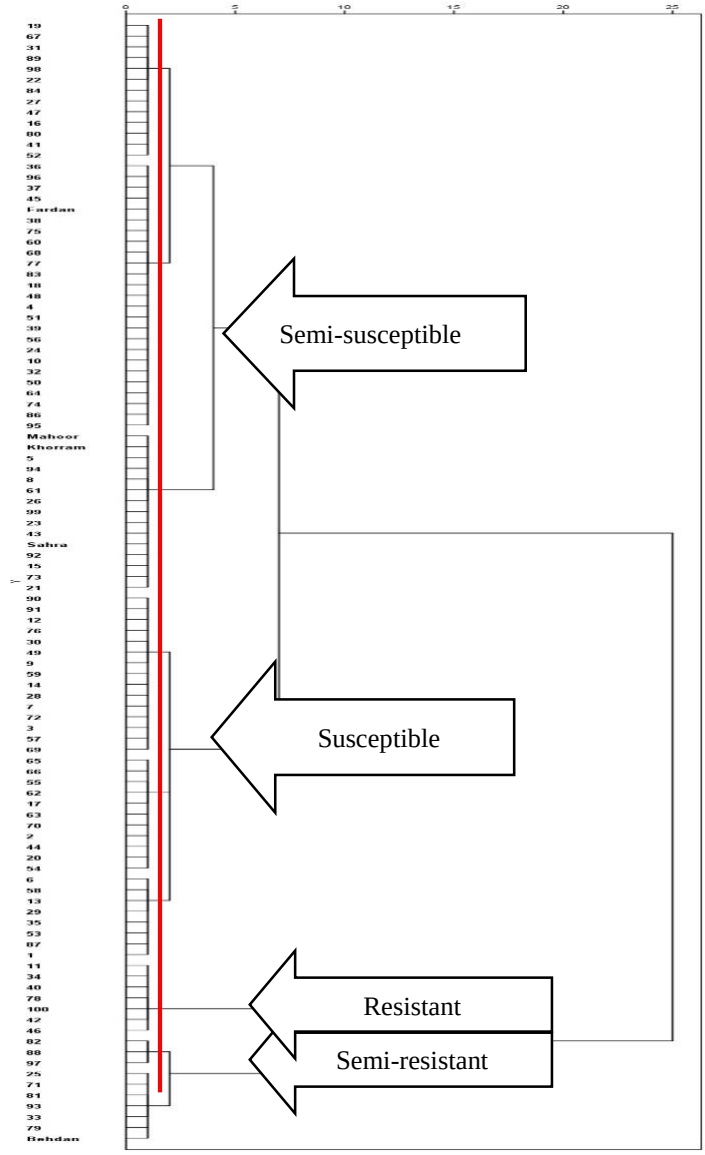
صفات مرتبط با مقاومت به بیماری سفیدک پودری و نمره استاندارد منفی، در مرتبه بعدی قرار گرفت، گروه نیمه‌مقاوم نامگذاری شد. تعداد ۱۰ ژنوتیپ شامل لاین‌های ۲۵، ۳۳، ۷۱، ۷۹، ۸۱، ۸۲، ۸۸، ۹۳، ۹۷، و رقم بهدان به این گروه اختصاص یافتند که در مجموع مقاومت نسبی به بیماری سفیدک پودری نشان دادند. گروه موسوم به نیمه‌حساس شامل ۵۳ ژنوتیپ بود. این گروه با داشتن مقادیر میانگین نسبتاً بالا برای شدت آلودگی در هر پنج مرحله، تیپ آلودگی و همچنین AUDPC و نمره استاندارد مثبت، نشان دادند که نسبت به این بیماری حساس هستند. اما حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شامل ۳۴ ژنوتیپ بودند که برای شدت آلودگی در هر پنج مرحله، تیپ آلودگی و همچنین AUDPC، بالاترین میانگین و مثبت‌ترین نمرات استاندارد را به خود اختصاص دادند. شایان ذکر است که اعضای این گروه‌بندی با نتایج آروناچالام مطابقت داشت: بر اساس نتایج رتبه‌بندی آروناچالام، رتبه ژنوتیپ‌ها در گروه ارقام مقاوم، کمترین رتبه بین ۷ تا ۱۴، در گروه ارقام نیمه‌مقاوم، رتبه بین ۲۲ تا ۵۲/۵، و در گروه نیمه‌حساس و حساس به‌ترتیب بین ۵۳/۵ تا ۶۷/۵ و ۶۸/۵ تا ۷۶/۵ بود.

جدول ٦. رتبه مستخرج از نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها برای مقاومت به بیماری سفیدک پودری به روش آروناچالام و شدت آلودگی ارقام در مزرعه در تاریخ کاشت اول و دوم

Genotype	Rank	FSI1 (%)	FSI2 (%)	Genotype	Rank	FSI1 (%)	FSI2 (%)	Genotype	Rank	FSI1 (%)	FSI2 (%)
1	68.5	58.00	0.00	38	63.5	0.00	0.00	75	63.5	0.00	0.00
2	71.5	59.00	74.00	39	65.5	54.00	52.00	76	68.0	71.00	73.00
3	72.5	74.00	73.00	40	9.5	0.00	0.00	77	66.5	71.00	71.00
4	65.5	51.00	74.00	41	60.5	0.00	0.00	78	14.0	54.00	71.00
5	56.0	0.00	0.00	42	13.5	0.00	0.00	79	39.5	0.00	0.00
6	66.0	0.00	71.00	43	56.0	0.00	53.00	80	61.5	0.00	73.00
7	72.0	51.00	0.00	44	73.5	54.00	71.00	81	45.5	0.00	0.00
8	55.5	0.00	0.00	45	64.0	54.00	0.00	82	22.5	0.00	0.00
9	68.5	54.00	52.00	46	7.0	0.00	0.00	83	67.5	51.00	72.00
10	60.5	0.00	0.00	47	63.5	0.00	72.00	84	64.0	53.00	0.00
11	12.0	0.00	0.00	48	65.0	72.00	0.00	86	62.0	0.00	71.00
12	69.0	54.00	74.00	49	68.0	74.00	71.00	87	67.0	58.00	0.00
13	65.0	0.00	0.00	50	61.5	54.00	74.00	88	23.0	0.00	0.00
14	68.5	0.00	0.00	51	66.0	0.00	72.00	89	58.0	0.00	71.00
15	59.5	51.00	74.00	52	59.5	0.00	0.00	90	67.5	0.00	0.00
16	60.5	0.00	73.00	53	68.0	71.00	0.00	91	67.5	0.00	0.00
17	72.5	53.00	0.00	54	74.5	73.00	73.00	92	56.0	54.00	72.00
18	63.5	73.00	74.00	55	73.0	54.00	72.00	93	48.5	0.00	0.00
19	58.0	0.00	0.00	56	63.5	71.00	0.00	94	55.0	0.00	0.00
20	72.0	0.00	0.00	57	71.5	54.00	72.00	95	64.0	51.00	0.00
21	57.5	52.00	72.00	58	65.5	58.00	74.00	96	64.5	58.00	73.00
22	62.5	0.00	72.00	59	68.0	0.00	73.00	97	32.0	0.00	0.00
23	57.5	51.00	54.00	60	62.5	71.00	71.00	98	59.5	0.00	0.00
24	61.0	54.00	71.00	61	57.5	52.00	0.00	99	59.0	0.00	0.00
25	47.5	72.00	71.00	62	73.0	71.00	0.00	100	13.5	0.00	0.00
26	59.5	0.00	76.00	63	72.5	0.00	72.00	Mahoor	54.5	0.00	17.75
27	62.0	58.00	76.00	64	63.5	0.00	75.00	Khorram	53.5	7.75	0.00
28	68.0	0.00	58.00	65	74.5	52.00	73.00	Behdan	40	0.00	0.00
29	68.0	54.00	72.00	66	76.5	71.00	73.00	Fardan	65.5	67.00	17.75
30	67.0	71.00	73.00	67	58.0	0.00	0.00	Sahra	57.0	0.00	53.75
31	60.5	0.00	73.00	68	61.0	51.00	72.00				
32	61.0	51.00	71.00	69	72.0	72.00	73.00				
33	37.5	0.00	0.00	70	71.5	58.00	73.00				
34	10.5	0.00	0.00	71	52.5	0.00	0.00				
35	67.0	71.00	74.00	72	72.0	58.00	74.00				
36	63.5	71.00	72.00	73	59.5	71.00	0.00				
37	63.5	51.00	71.00	74	62.5	59.00	76.00				

در پژوهشی مشابه، مقاومت۷۰ ژنوتیپ جو نسبت به بیماری سفیدک پودری در گلخانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها به روش آروناچالام نشان داد که ژنوتیپ‌های Afzal، Rihane، Goharjow، EB-88-8، 45-Motadel، EC-83-17 و Fajre30 به‌ترتیب بیشترین رتبه‌ها را از لحاظ تیپ آلودگی و شدت بیماری کسب کردند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس و نیمه‌حساس و ژنوتیپ‌های EB-86-6، EB-87-20، Arass، EB-88-2، EBYT-W-89-4، EB-88-13، Dasht، MB-83-14، EBYT-W-89 ، NB17، 24Garm، EB-88-19، EBYT-W-89-15 و W-79-10 با اخذ پایین‌ترین رتبه‌ها، به عنوان مقاوم‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی

شدند. بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای تعداد ۲۹ ژنوتیپ در گروه ژنوتیپ‌های مقاوم، ۱۹ ژنوتیپ در گروه ژنوتیپ‌های نیمه‌مقاوم، ۲۱ ژنوتیپ در گروه ژنوتیپ‌های نیمه‌حساس و یک ژنوتیپ در گروه حساس قرار گرفتند (Mohammadi *et al*., 2015). با بررسی ژن‌های مقاوم به سفیدک پودری در ۸۶ گونه جو استرالیایی و ۹ لاین پیشرفته جو با استفاده از ۴۰ جدایه پاتوژن، تعداد ۲۲ ژن مقاوم شناسایی شدند. بیشترین فراوانی ژن مقاوم *Mla8* و *Mlg* به‌ترتیب در ۴۳ و ۳۴ گونه و ژن *MlGa* در ۱۲ گونه یافت شد. همچنین گونه‌های Maritime و Stirling فاقد ژن مقاوم خاصی بودند (Dreiseit & Platz , 2012). در مطالعه‌ای دیگر مقاومت ۳۱۶ گونه از جو وحشی بررسی شد. سه گونه جو وحشی (۰۵۳، ۰۸۵ و ۰۸۹) به ۳۸ جدایه از قارچ Bgh مقاومت نشان دادند (Ames *et al*., 2015).



شکل ۱. دندروگرام تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های جو از لحاظ صفات مختلف مرتبط با مقاومت به سفیدک پودری به روش وارد در ارزیابی گلخانه

در بررسی ۳۳ رقم بومی جو با منشا کشور یمن که از مرکز ایکاردا تهیه شده بود، محققان توانستند دو رقم بومی مقاوم که به‌دلیل وجود ژن *mlo* بود، را شناسایی کنند (Czembor & Czembor, 2021). در بررسی مقاومت ۲۴ لاین نوترکیب جو نسبت به ۱۴ جدایه قارچ سفیدک پودری، مقاومت به سفیدک پودری در ۲۲ لاین یافت شد. همچنین وجود ژن مقاوم ناشناخته در ۱۳

لاین محرز شد. در شش لاین از ۱۳ لاین، ژن‌های ناشناخته همراه با آلل *Mla12* که از والد *H. vulgare* .cv (Emir) سرچشمه می‌گیرد، وجود داشت. تنها لاین P94/1/3/1/1/1-2181، لاین مقاوم در برابر تمام جدایه‌ها بود (Czembor *et al*., 2019).

جدول ۷. اعضای گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های جو برای مقاومت به سفیدک پودری همراه با میانگین و نمره استاندارد

Cluster	Members of the cluster	Traits	Mean	Z-score
Susceptible	1,2,3,6,7,9,12,13,14,17,20,28,29,30, 35,44,49,53,54,55,57,58,59,62,63,6 5,66,69,70,72,76,87,90,91	severity of the disease of the first sampling	67.521	0.734
		severity of the disease of the second sampling	72.240	0.640
		severity of the third sampling disease	76.894	0.646
		severity of the disease of the fourth sampling	82.084	0.706
		severity of the fifth sampling disease	88.592	0.710
		Infection Type	2.888	0.635
		Area Under the Disease Progress Curve	92.833	0.700
Semi susceptible	4,5,8,10,15,16,18,19,21,22,23,24,26 ,27,31,32,36,37,38,39,41,43,45,47,4 8,50,51,52,56,60,61,64,6,68,73,74,7 5,77,80,83,84,86,89,92,94,95,96,98, 99,Fardan,Khoram,Mahoor,Sahra	severity of the disease of the first sampling	61.233	0.102
		severity of the disease of the second sampling	67.980	0.179
		severity of the third sampling disease	72.546	0.186
		severity of the disease of the fourth sampling	76.420	0.143
		severity of the fifth sampling disease	82.344	0.149
		Infection Type	2.271	0.182
		Area Under the Disease Progress Curve	865.874	0.160
Resistant	11,34,40,42,46,78,100	severity of the disease of the first sampling	34.524	-2.585
		severity of the disease of the second sampling	38.616	-3.003
		severity of the third sampling disease	41.369	-3.112
		severity of the disease of the fourth sampling	43.229	-3.153
		severity of the fifth sampling disease	46.949	-3.028
		Infection Type	1.545	-3.007
		Area Under the Disease Progress Curve	491.853	-3.099
Semi resistant	25,33,71,79,81,82,88,93,97,Behdan	severity of the disease of the first sampling	48.021	-1.227
		severity of the disease of the second sampling	56.914	-1.021
		severity of the third sampling disease	61.315	-1.002
		severity of the disease of the fourth sampling	65.404	-0.951
		severity of the fifth sampling disease	68.620	-1.083
		Infection Type	2.277	-1.022
		Area Under the Disease Progress Curve	725.859	-1.060

۳-۵. جمع‌بندی با مقایسه نتایج ارزیابی ژنوتیپ‌های جو از لحاظ مقاومت به سفیدک پودری در گلخانه و مزرعه در دو تاریخ کاشت

به‌منظور شناسایی مقاوم‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها، از مقایسه و جمع‌بندی نتایج ارزیابی ژنوتیپ‌ها در گلخانه و همچنین ارزیابی در شرایط مزرعه در هر دو تاریخ کاشت استفاده شد. بدین صورت که ژنوتیپ‌هایی که در همه شرایط در گروه مقاوم و حساس قرار گرفته بودند، شناسایی شدند. برای شناسایی حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها در این پژوهش، ژنوتیپ‌های مشترک بین حساس‌ترین گروه حاصل از تجزیه کلاستر (گروه ۱ شامل ۳۴ ژنوتیپ) و ژنوتیپ‌های حساس مشترک بین دو تاریخ کاشت در مزرعه (ژنوتیپ‌هایی که در هر دو تاریخ کاشت شدت بالای ۶۰ درصد داشتند) و همچنین ژنوتیپ‌هایی که رتبه بالاتر از ۶۰ آروناچالام داشتند شناسایی شدند. بر این اساس، تعداد ۱۹ لاین شامل ۷۶، ۷۲، ۷۰، ۶۹، ۶۶، ۶۵، ۵۸، ۵۷، ۵۵، ۵۴، ۴۹، ۴۴، ۳۵، ۳۰، ۲۹، ۱۹، ۹، ۳ و ۲ به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها در این پژوهش در گلخانه و مزرعه شناسایی شدند.

از سوی دیگر برای شناسایی مقاوم‌ترین ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ‌هایی که در گلخانه بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای در گروه مقاوم‌ترین ژنوتیپ‌ها (گروه سوم و چهارم به‌ترتیب با ۷ و ۱۰ ژنوتیپ) قرار داشتند و همچنین بر اساس ارزیابی مزرعه‌ای در تاریخ کاشت اول و دوم آلودگی صفر درصد (به‌ترتیب با ۱۷ و ۱۵ ژنوتیپ) نشان دادند، در نظر گرفته شدند. تعداد ۱۵ ژنوتیپ شامل لاین‌های ۱۱، ۳۳، ۳۴، ۴۰، ۴۲، ۴۶، ۷۱، ۷۹، ۸۱، ۸۲، ۸۸، ۹۳، ۹۷، ۱۰۰ و رقم بهدان علاوه‌براینکه بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای صفات گلخانه‌ای در گروه مقاوم شناسایی شده بودند، در هر دو ارزیابی مزرعه‌ای (تاریخ کاشت اول و دوم) نیز آلودگی صفر درصد نشان دادند. لذا این ژنوتیپ‌ها با اطمینان و اعتبار بالا به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم شناسایی شده در این پژوهش معرفی

می‌شوند که می‌توانند به‌عنوان منابع ژنتیکی مقاومت به سفیدک پودری جو، در برنامه‌های اصلاحی قابل استفاده و بهره‌برداری باشند.

۴. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر با بررسی تنوع لاین‌های پیشرفته جو از لحاظ مقاومت به بیماری سفیدک پودری در شرایط مزرعه و گلخانه مشخص شد ژنوتیپ‌ها دارای تنوع ژنتیکی قابل توجهی از نظر واکنش به بیماری سفیدک پودری هستند. بررسی ژنوتیپ‌ها در دو تاریخ کاشت مختلف نشان داد تغییر شرایط آب و هوایی در شدت ایجاد بیماری‌زایی مؤثر است و واکنش ژنوتیپ‌ها می‌تواند در مقابل بیماری متفاوت باشد. مطابق نتایج گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها، چهار گروه مقاوم، نیمه‌مقاوم، نیمه‌حساس و حساس شناسایی شدند. بر اساس جمع‌بندی نتایج ارزیابی در گلخانه و مزرعه در دو تاریخ کاشت، تعداد ۱۵ ژنوتیپ شامل لاین‌های ۱۱، ۳۳، ۳۴، ۴۰، ۴۲، ۴۶، ۷۱، ۷۹، ۸۱، ۸۲، ۸۸، ۹۳، ۹۷، ۱۰۰ و رقم بهدان به‌عنوان مقاوم‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند، به‌گونه‌ای که از لحاظ صفات شدت بیماری، تیپ آلودگی و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند و در مزرعه در هر دو تاریخ کاشت، آلودگی به این قارچ نشان ندادند. همچنین ۱۹ ژنوتیپ شامل لاین‌های ۷۶، ۷۲، ۷۰، ۶۹، ۶۶، ۶۵، ۵۸، ۵۷، ۵۵، ۵۴، ۴۹، ۴۴، ۳۵، ۳۰، ۲۹، ۱۹، ۹، ۳ و ۲ به عنوان حساس‌ترین لاین‌ها معرفی شدند. با درنظرگرفتن نتایج این پژوهش، معرفی لاین‌های امیدبخش با عملکرد بالا و در عین حال مقاوم به بیماری، می‌تواند به‌ویژه برای مناطق مستعد به بیماری بسیار ارزشمند و اقتصادی باشد.

۵. منابع

Abdemishani, S., & Shah Nejat Bushehri, A.A. (2015). *Complementary plant breeding* (3th ed.). Tehran University Publications. (In Persian)

Abdullaev, R.A., Lebedeva, T.V., Alpatieva, N.V., Batasheva, B.A., Anisimova, I.N., & Radchenko, E.E. (2021). Powdery mildew resistance of barley accessions from Dagestan. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, *25*(5), 528-533.

Ahmadi, M., Fazeli, A., & Arminian, A. (2017). Identification of informative ISSR marker linked to aghnresistance to powdery mildew in barley (*Hordeum vulgare*) at adult growth stage. *Journal of Crop Breeding*, *9*(22), 31-40. (In Persian)

Ames, N., Dreiseitl, A., Steffenson, B.J., & Muehlbauer, G.J. (2015). Mining wild barley for powdery mildew resistance. *Plant Pathology*, *64*(1), 1396–1406.

Arab Tajandarreh, E., Ismaili, A., Rezai-Nejad, A., & Wormy, F. (2016). Evaluation of genetic diversity and heritability of physiological and phenological characteristics of some strawberry genotypes in the climatic conditions of Kurdistan. *Plant Genetic Research*, *3*(2), 43-58.

Arabi, M.I.E., Jawhar, M., & Al-Shehadh, E. (2020). Identification of barley lines with resistanceto powdery mildew based on seedling and adult plant responses. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, *55* (1), 3–10.

Arunachalam, V., & Bandyopadhyay, A. (1984). A method to make decisions jointly on a number of dependent characters. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, *44*, 419-424.

Bakhtiari Bastaki, S., Sabouri, H., Molashahi, M., & Hosseini Moghadam, H. (2019). Identification of QTLs for powdery mildew resistance in barley using F3 families resulting from the crossing of Badia and Kavir barley cultivars. *Journal of Plant Diseases*, *55*(1), 19-32. (In Persian)

Czembor, J.H., & Czembor, E. (2021). Mlo resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) in barley landraces collected in Yemen. *Agronomy*, *11*(8), 1582.

Czembor, J.H. (2001). Resistance to powdery mildew in selections from barley landraces collected in greece. *Agricultural and Food Science in Finland*, *10*, 133–142.

Czembor, J.H., Pietrusińska, A., Piechota, U., & Mañkowski, D. (2019). Resistance to powdery mildew in barley recombinant lines derived from crosses between *Hordeum vulgare* and *Hordeum bulbosum*. *Cereal Research Communications*, *47*(3), 463–472.

Dreiseitl, A., & Platz, G. (2012). Powdery mildew resistance genes in barley varieties grown in Australia. *Crop & Pasture Science*, *63*, 997–1006.

Dreiseitl, A. (2020) Specific resistance of barley to powdery mildew, its use and beyond: A concise critical review. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, *55*(1), 3–10.

Elahinia, A. (2010). *Crop plant diseases and methods of combating them*, second edition. Tehran University Press, pp. 545. (In Persian)

Eyal, Z., Scharen, A.L., Prescott, J.M., & Van Ginkel, M. (1987). *The septoria disease of wheat: Concepts and methods of disease management.* Cimmyt Mexico, pp. 52.

Falconer, D.S. (1989). *Introduction to Quantitative Genetics*. Longman Scientific & Technical, pp. 448.

Food and Agriculture Organization. (2022). https://www.fao.org/statistics/en/.

Fox, R.T.V. (1993). *Principles of Diagnostic Techniques in Plant Pathology*, CAB International, Wallingford, Oxford, pp. 213.

Hardinson, J.R. (1944). Specialization of pathogencity in *Erisiphe graminis* on wild and cultivated grasses. *Phytopathology*, *83*, 250-256.

Hoseinzadeh, P., Zhou, R., Mascher, M., Himmelbach, A., Niks, R.E., Schweizer, P., & Stein, N. (2019). High resolution genetic and physical mapping of a major powdery mildew resistance locus in barley. *Frontiers in Plant Science*, *10* (146).

Imam, Y. (2016). *Cereal cultivation*. Shiraz University Publishing Center, pp. 190.

Last, F.T. (1957). The effect of date of sowing on the incidence of powdery mildew on spring-sown cereals. *Annals of Applied Biology*, *45*(1), 1-10.

Mains, E.S., & Dietz, S.M. (1930). Physiological forms of barley mildew *Erysiphe graminis* f.sp. *hordei* Marchal. *Phytopathology*, *20*, 229-239.

Mohammadi, Z., Sabouri, A., & Musa Nejad, P. (2014). Investigating the genetic diversity and grouping of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes in terms of resistance to powdery mildew in the seedling stage. *Iranian Journal of Plant Sciences*, *46*(1), 71-81. (In Persian)

Mohammadi, Z., Sabouri, A., & Musa Nejad, P. (2015). Investigating the genetic diversity and grouping of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes in terms of resistance to powdery mildew in the seedling stage. *Iranian Journal of Plant Sciences*, *46*(1), 71-81. (In Persian)

Mukherjee, A.K., Mohapatra, N.K., & Nayak, P. (2018). Assessment of partial resistance to rice blast disease. *Oryza*, *3*, 363-382.

Piechota, U., Czembor, P.C., & Czembor, J.H. (2020). Evaluating barley landraces collected in North Africa and the Middle East for powdery mildew infection at seedling and adult plant stages. *Cereal Research Communications*, *48*, 179–185.

Rashidi, F. (2005). *Evaluation of phenotypic and genotypic diversity of some cultivated and wild barley in seedling stage with respect to powdery mildew disease using RAPD marker*. Master's thesis, Faculty of Agriculture, Ilam University. (In Persian)

Saari, E.E., & Prescott, J.M. (1975). Scale for apprasing the foliar intensity of wheat disease. *Plant Disease Reporter*, *59*, 377-380.

Sato, K. (2020). History and future perspectives of barley genomics. *DNA Research*, *27*(4), 1–8.

Shahmoradi, S., & Zahrawi, M. (2014). Identification of traits related to drought tolerance in genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) native to hot and dry regions of Iran. *Journal of Agricultural Agriculture*, *16*(1), 23-41. (In Persian)

Singh, R.K., & Chaudhary, B.D. (1985). *Biometrical methods in quantitative analysis*. Kalayani Publishers, New Delhi.

Tratwal, A., & Bocianowski, J. (2014). *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* virulence frequency and the powdery mildew incidence on spring barley in the Wielkopolska province. *Journal of Plant Protection Research*, *54*(1), 28-35.

Tricase, C., Amicarelli, V., Lamonaca, E., & Ran, R.L. (2018). *Economic Analysis of the Barley Market and Related Uses*, Grasses as Food and Feed. pp. 25-46.

White, N., & Jenkyn, J.F. (1995). Effects of of winter sowing date and verbalization on the growth barley and its resistance to powdery mildew (*Erysiphe graminis* f.sp. *hordei*). *Annals of Applied Biology*, *181*(2), 269-283.