پژوهش‌های کاربردی در گیاه‌پزشکی ۱۳ (۳): ۳۱۷-۳۰۳ (۱۴۰۳)- مقاله پژوهشی
Journal of Applied Research in Plant Protection 13 (3): 303–317 (2024)-*Research Article*

https://dx.doi.org/10.22034/arpp.2024.18078

تجزیه بیومتریک صفات مرتبط با عملکرد در واکنش به بیماری زنگ سیاه (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) در ژنوتیپ‌های گندم زمستانه

آرمین واحدرضائی[۱]، علی اصغری[۱]✉، مجید نوروزی[۲]، سعید اهری زاد[۲]، رامین روح پرور[۳و۴]، اشکبوس امینی[۳]

[۱] گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. [۲]گروه بهنژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. [۳]موسسه تحقیقات اصلاح تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. [۴]بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران. ✉ali_asgharii@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۹ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۲۷ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸

چکیده

به منظور بررسی تاثیر بیماری زنگ سیاه (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) بر روی صفات عملکردی و اجزاء آن و شناسایی منابع ژنتیکی مقاوم به این بیماری، ۲۴ ژنوتیپ گندم در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی استان آذربایجان شرقی تحت شرایط آلودگی و عدم آلودگی به نژاد بومی زنگ سیاه به نام TKTTF و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. برای مایه‌زنی از پودر تالک استفاده شد و پس از محلول‌پاشی آب مقطر و روغن سالترول بر روی گیاهان مایه‌زنی با استفاده از گردپاش مکانیکی صورت گرفت. براساس نتایج آزمایش تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر ارتفاع بوته، طول سنبله، قطر سنبله، وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، عملکرد دانه، زیست توده و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. نتایج نشان داد که آلودگی به پاتوژن باعث کاهش قطر ساقه، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، عملکرد دانه، زیست توده و شاخص برداشت می‌گردد. براساس تمامی صفات مورد مطالعه، ارقام زارع و حیران و لاین‌های C-98-14، C-98-13، C-98-12 و CD-94-5 به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم شناسایی شدند. براساس تجزیه خوشه‌ای و تجزیه تابع تشخیص، کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط آلودگی و عدم آلودگی به چهار گروه و در متوسط شرایط آلودگی به سه گروه طبقه‌بندی شدند. نتایج این پژوهش نشان داد آلودگی به زنگ سیاه عملکرد و اجزای آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد و می‌توان از تنوع بین ژنوتیپ‌ها برای اصلاح ژنوتیپ‌های گندم استفاده کرد.

کلمات کلیدی: تجزیه تابع تشخیص، تنوع، زنگ ساقه، گروه‌بندی، مقاومت

Biometric analysis of yield-related traits in response to black rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) in wheat genotypes

Armin Vahed Rezaei[1], Ali Asghari✉[1], Majid Norouzi[2], Saied Aharizad[2], Ramin Roohparvar[3,4], Ashkboos Amini[3]

[1]Deportment of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.[2]Deportment of Biotechnology and Plant Breeding, University of Tabriz, Tabriz, Iran.[3]Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.[4]Crop and Horticultural Science Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran. ✉ali_asgharii@yahoo.com

Received: 20 December 23 Revised: 17 March 24 Accepted: 18 March 24

Abstract

To investigate the effect of black rust disease (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) on wheat yield and its components and to identify genetic resources resistant to this disease, 24 wheat genotypes were evaluated in 2020-2021 at the East Azarbaijan Research Center for Agriculture and Natural Resources. The evaluation was conducted under both infected and non-infected conditions with the native race TKTTF of the black rust, using a randomized complete block design with three replications. Talcum powder was used for inoculation, and after sprinkling distilled water and saltrol oil on the plants, inoculation was done using a mechanical sprinkler. The test results indicated a significant difference between the genotypes in terms of plant height, spike length, spike diameter, spike weight, number of seeds per spike, hundred seed weight, seed yield, biomass and harvest index was observed at the probability level of 1%. Additionally, the results demonstrate that pathogen infection causes a decrease in stem diameter, number of seeds per spike, hundred seed weight, seed yield, biomass and harvest index. Based on the studied traits, the Zareh and Heyran cultivars, as well as the C-98-14, C-98-13, C-98-12 and CD-94-5 lines, were identified as resistant genotypes. The genotypes were classified into four groups under infection and non-infection conditions and into three groups under medium infection conditions, based on cluster analysis and detection function analysis. The research results indicate that black rust infection has a negative impact on both the yield and its components. Additionally, the diversity between genotypes can be utilized to enhance wheat genotypes.

Key words: Discriminate analysis, Diversity, Grouping, Resistance, Stem Rust

How to cite:

Vahed Rezaei A, Asghari A, Norouzi M, Aharizad S, Roohparvar R, *et al.*, 2024. Biometric analysis of yield-related traits in response to black rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) disease in wheat genotypes. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 13 (3): 303–317.

مقدمه

زنگ سیاه یا ساقه (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*)، یکی از انواع مهم زنگ‌های گندم می‌باشد که به‌طور گسترده در سراسر جهان توزیع یافته است (Figueroa *et al*. 2018) و در مناطقی یافت می‌شوند که در آن شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب حاکم است (Kolmer 2005). شیوع زنگ ساقه بین سال‌های ۱۹۱۹ تا ۱۹۵۵ یکی از خطرناک‌ترین همه‌گیری‌های زنگ ساقه در قاره آمریکا شمالی بود که باعث نابودی ۴۰ درصد از گندم-های بهاره و ۸۰ درصد از گندم‌های تولید شده گردید و در ایران نیز عامل بیماری زنگ ساقه خسارات فراوانی به محصول گندم در سال‌های ۱۳۴۳، ۱۳۴۵، ۱۳۵۵، ۱۳۷۲، ۱۳۷۳ و ۱۳۷۴ به‌ویژه مناطق شمالی و جنوبی کشور وارد کرده است (Bamdadyan & Torabi 1999; Malihipour & Najafian 2023). این پاتوژن یک قارچ دی‌کاریوتیک است که شامل دو هسته مجزا هاپلوئید می‌باشد و علائم آلودگی آن اغلب به‌صورت توده‌هایی بر روی غلاف‌های برگ، ساقه، گلوم و ریشک گیاهان حساس ظاهر می‌شوند (Kolmer 2005). خسارت‌های ایجاد شده توسط عامل بیماری زنگ سیاه می‌تواند بیش از سایر عوامل بیماری‌زا در غلات باشد و اهمیت آن به‌نحوی است که میلیون‌ها هکتار از مزارع سالم با پتانسل بالای تولید محصول را می‌تواند در کمتر از یک ماه به‌طور کامل تخریب نماید (Singh *et al*. 2015). خسارت به گیاهان توسط زنگ سیاه به‌وسیله از دست رفتن بخش‌های فتوسنتز کننده، بازداری انتقال آب و عناصر غذایی، کاهش رشد ریشه، ورس و شکستن ساقه وارد می‌شود. زنگ سیاه، بسته به زمان شروع حمله و شدت حمله می‌تواند شدت‌های مختلفی از چروکیدگی دانه‌ها و کاهش عملکرد را ایجاد کند. ورس گیاه در نتیجه زنگ سیاه مشکلاتی را در برداشت محصول به بار می‌آورد و آلودگی شدید در مرحله اولیه رشد گیاه می‌تواند کاهش کل محصول را در بر داشته باشد (Knott 2012). بر اساس نتایج آزمایشات Singh (2011) *et al*. زنگ سیاه با ایجاد جوش‌های تاول مانند بر روی ساقه، غلاف برگ، برگ، سنبله و ریشک‌ها ظاهر می‌شود و این جوش‌ها زمانی اهمیت پیدا می‌کنند که محصول به‌ظاهر سالم چند هفته قبل از برداشت در اثر سیاه شدن و شکستگی ساقه و چروکیدگی دانه از بین می‌رود. در پژوهشی Roelfs *et al*. (1992) با انجام آزمایشی گزارش کردند که زنگ سیاه گندم باعث ایجاد سنبله‌های عقیم، پوک و فاقد دانه می‌شود و علت گسترش بیماری زنگ ساقه در سال‌های شیوع آن مربوط به باران‌های بهاره و مساعد بودن شرایط جوی است. اصلاح برای مقاومت ژنتیکی ارقام گندم به‌عنوان راهبردی پیشگیرانه، بیشترین تاثیر را در کاهش خسارت زنگ‌ها دارد. به‌گونه‌ای که، این کار منجر به شناسایی بیش از ۱۵۰ ژن مقاومت به زنگ‌ها در گندم شده است (Lagudah 2011; Safavi & Afshari 2021). این ژن‌های شناسایی شده در دو گروه قرار می‌گیرند که عمده آن‌ها ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای (race-specific resistance) هستند. این ژن‌ها در دو مرحله گیاهچه‌ای و مرحله گیاه کامل بروز و نمود دارند و قابل تشخیص هستند و در تمام مراحل، فنوتیپ مقاومت را بروز می‌دهند که اغلب ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای منجر به واکنش فوق حساسیت و یا لیگنینه شدن دیواره‌های سلولی می‌شوند (Bolton *et al*. 2008). گروه دوم ژن‌های مقاومت در مرحله گیاه کامل (race non-specific resistance) هستند. زیرا، رابطه‌ای بین ژن‌های میزبان و ژن‌های پاتوژن وجود ندارد و نسبت به کلیه نژادهای پاتوژن مقاومت ایجاد می‌کنند. این ژن‌ها بیشتر پس از مرحله گیاهچه‌ای قابل تشخیص هستند و اغلب مقاومت مزرعه‌ای دارند و ارقام حامل این ژن‌ها در مرحله گیاهچه‌ای حساس و در مرحله گیاه کامل دارای مقاومت نسبی با سطوح متفاوتی از شدت بیماری هستند (Lagudah 2011). اصلاح مقاومت در برابر زنگ سیاه به‌عنوان یکی از عوامل کاهش عملکرد، برای ارقام گندم در سرتاسر جهان ضروری است. چراکه، پاتوژن‌های این نوع از زنگ به سرعت در حال تغییر نژاد هستند و بر منابع مقاومت موجود غلبه می‌کنند (Sweeney *et al*. 2019). استفاده از مقاومت ژنتیکی یک روش موثر و کاربردی در جهت کاهش خسارت زنگ سیاه به‌شمار می‌آید (Nazari, 2008) که نیل به این مهم تنها با داشتن دانش کافی در زمینه ژنتیک جمعیت عامل بیماری و شناسایی ژن‌های مقاومت موثر موجود در ارقام و لاین‌های گندم امکان‌پذیر است (Roelfs *et al*. 1992). بیش از ۵۰ ژن مقاومت به زنگ سیاه (Sr) در گندم شناسایی شده است که در مقابل نژادهای مختلف این قارچ موثرند. برخی از این ژن‌های مقاومت از خویشاوندان دور گندم به این گیاه زراعی منتقل شده‌اند (Singh *et al*. 2008). از این ۵۰ ژن، همه ژن‌ها به‌جز ژن *Sr2* اختصاصی نژاد هستند و در مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل بیان می‌شوند اما ژن *Sr2* در گیاهان کامل مقاومت تدریجی به زنگ ایجاد می‌کند. در مورد سایر ژن‌های موجود در این کمپلکس، ژن‌های *Sr5*، *Sr17*، *Sr27*، *Sr36* و *Sr6* در دمای پائین، فقط امکان توسعه واکنش فوق حساسیت را می‌دهند و در مورد سایر ژن‌ها اطلاعاتی در دسترس نمی‌باشد (Singh *et al*. 2008, 2011). نتایج تحقیقات

گسترده اخیر در زمینه شناسایی منابع جدید مقاومت برای پاسخ به نژادهای جدید و مشتق شده از نژادهای قبلی نشان داده است که در بین ژن‌های موجود در خزانه ژنی مقاومت به زنگ سیاه، تنها ژن‌های *Sr2*، *Sr13*، *Sr14*، *Sr22*، *Sr26*، *Sr28*، *Sr33*، *Sr35*، *Sr42* و *Sr45* مقاومت موثری در برابر نژادهای زنگ داشته‌اند. هم‌چنین حاصل این مطالعات منجر به نامگذاری ۱۲ ژن جدید (*Sr46* تا *Sr57*) و نیز کشف و شناسایی چندین ژن دیگر که احتمالاً این ژن‌ها نیز منابع جدیدی از مقاومت هستند، گردیده است (Jin *et al.* 2007, Hiebert *et al.* 2010, Singh *et al.* 2011, Ghazvini 2012, Ghazvini *et al.* 2012a, b). بر همین اساس، با توجه به عدم اطلاعات کافی در رابطه با مقاومت ارقام گندم کشور نسبت به زنگ سیاه براساس صفات عملکردی و زراعی، این پژوهش با هدف دستیابی به اطلاعاتی درباره تاثیر بیماری زنگ سیاه بر روی صفات عملکردی گندم، تعیین روابط بین صفات مورد مطالعه، ارزیابی تنوع ژنتیکی و گروه‌بندی ارقام و شناسایی منابع ژنتیکی مقاوم در شرایط آلودگی و عدم آلودگی به زنگ سیاه انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی به مختصات ۳۷ درجه و ۵۶ دقیقه و ۵۹/۵۷ ثانیه طول جغرافیایی و ۴۶ درجه و ۳ درجه و ۴۹/۱۰ ثانیه عرض جغرافیایی و ارتفاع ۱۳۸۵ متر از سطح دریا اجرا گردید. این منطقه دارای اقلیم استپی محلی بوده و مطابق BSk در سیستم طبقه‌بندی کوپن و جیجر دارای دو فصل متمایز گرم (از فروردین تا مهر) و سرد (از آبان تا اسفند) می‌باشد. براساس آمار هواشناسی میانگین سالانه دمای هوا ۱۱/۵ سانتی‌گراد و حداقل و حداکثر آن به ترتیب ۱/۳- و ۲۴/۲ درجه سانتی‌گراد در ماه‌های آذر و تیر و متوسط بارندگی سالیانه برابر با ۳۲۹ میلی‌متر گزارش شده است. دما در زمستان کم و بیش تا زیر صفر تنزل نموده و فعالیت‌های گیاهان را تا حدودی متوقف می‌کند (Schwarz 2020). مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک زراعی مزرعه تحقیقاتی فوق در جدول ۲ ارائه شده است. براساس مشاهدات انجام شده، منطقه آزمایشی فوق به‌عنوان نقطه داغ شیوع بیماری زنگ سیاه گندم شناخته شده است که اهمیت ویژه‌ای جهت اجرای بهتر آزمایش داشت. در این پژوهش ۲۴ ژنوتیپ گندم نان پائیزه شامل هشت رقم و ۱۶ لاین امیدبخش به‌دست آمده از بخش تحقیقات غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در طی سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۷ مورد استفاده قرار گرفت. خصوصیات، خاستگاه، سال معرفی و شجره این ژنوتیپ‌ها در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. شایان ذکر است که دو رقم MV-17 (رقم مقاوم به بیماری) و Morocco (رقم حساس به بیماری) به دلیل رفتار متفاوت در مقاومت به زنگ سیاه گندم انتخاب شده است. برای اجرای این پژوهش ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در دو شرایط آلودگی و عدم آلودگی و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای این منظور، کرت‌هایی به مساحت ۷/۵ مترمربع به طول پنج متر و عرض ۱/۵ متر ایجاد شد و داخل هر کرت بذور مربوط به یک ژنوتیپ با فاصله روی ردیف ۵ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر مورد کشت قرار گرفت. آبیاری بعد از کاشت و در هر دو شرایط آلودگی و عدم‌آلودگی به‌منظور تسریع سبز شدن و رشد صورت گرفت و تا مرحله رسیدگی ادامه یافت و از اواخر مرحله رسیدگی فیزیولوژیک آبیاری قطع شد. در طی مراحل ارزیابی عملیات داشت شامل وجین علف هرز، تنک و کوددهی به‌صورت مرتب صورت گرفت. در مرحله پایان ساقه‌دهی و اوایل مرحله گلدهی به‌منظور ایجاد بیماری زنگ سیاه در شرایط آلودگی مزرعه و مایه‌زنی گیاهان بالغ کشت شده، از اسپورهای جدایه جمع‌آوری و تعیین نژاد شده TKTTF که در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگه‌داری می‌شد، استفاده گردید. برای فعال نمودن این اسپورها قبل از انجام عمل مایه‌زنی، اوردیوسپورها تحت تأثیر یک شوک حرارتی ۴۲ درجه سانتی‌گراد به مدت دو دقیقه قرار گرفتند. مایه‌زنی به روش گردپاشی (با استفاده از پودر تالک) و مه پاشی سوسپانسیون (با استفاده از روغن سالترول) صورت گرفت. بدین منظور در سپیده دم بامداد و ساعت ۰۵:۰۰ صبح (به‌دلیل فعالیت اسپورها در تاریکی) اسپورهای زنگ سیاه بر روی کاغذ آلومینیومی با پودر تالک و با نسبت ۱ به ۷ مخلوط شد و پس از محلول‌پاشی آب مقطر و روغن سالترول با نسبت ۱۰ قطره به ازای ۲۰ لیتر بر روی گیاهان مایه‌زنی با استفاده از گردپاش مکانیکی صورت گرفت. به‌دلیل این که اسپورها برای جوانه‌زنی نیاز به آب آزاد دارند، لذا سطح مزرعه پس از اسپورپاشی به وسیله آب مقطر دوباره مه پاشی گردید. با رسیدن به مرحله رسیدگی و برداشت در پایان دوره رشد، پس از اندازه‌گیری صفات پاتولوژیک، بوته‌های مربوط به هر شرایط، تکرار و ژنوتیپ کف بر شده و بعد از بسته‌بندی و اتیکت‌گذاری جهت ارزیابی به آزمایشگاه اصلاح برای مقاومت به تنش‌های زیستی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز منتقل شد. پس از انتقال

نمونه‌ها به آزمایشگاه صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، قطر سنبله، وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، عملکرد، زیست توده و شاخص برداشت مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه طبق قوانین ایستا از یک نمونه بذری به تصادف نمونه‌های بذری تهیه شده و اقدام به شمارش ده تکرار صد تایی شد. سپس، میانگین آن‌ها به عنوان وزن هزاردانه ثبت شد. هم‌چنین، صفات متریک شامل طول‌ها و قطرها با استفاده از خط کش و کولیس مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

جدول ۱. مشخصات و شجره ۲۴ ژنوتیپ گندم مورد استفاده در این مطالعه.

Table 1. Characteristics and pedigree of 24 wheat genotypes that used in this study.

No.	Name	Cultivars	Released year	Pedigree
1	C-98-1	Mihan	2010	*Bkt/90-Zhong 87*
2	C-98-2	Haydari	2015	*Ghk"s"//Bow"s"//90Zhong87/3/Shiroodi*
3	C-98-3	Zarrineh	2017	*Omid/4/Bb/Kal//Ald/3/Y50E/Kal*3//Emu"s"/5/Zrn/6/Zrn/Shiroodi*
4	C-98-4	Zareh	2010	*130L1,11//F35,70/Mo73/4/Ymh/Tob//Mcd/3/Lira*
5	C-98-5	-	-	*Alvd/4/Ghk"s"/Bow"s"//90Zhong87/3/Shiroodi*
6	C-98-6	-	-	*Alvd/4/Ghk"s"/Bow"s"//90Zhong87/3/Shiroodi*
7	C-98-7	-	-	*Charger//CMH80A.768/3*Cno79/3/Zrn*
8	C-98-8	-	-	*Charger//CMH80A.768/3*Cno79/3/Zrn*
9	C-98-9	-	-	*Spb"s"//K1349/Go/3/Vee"s"/4/Bkt/90-Zhong 87*
10	C-98-10	-	-	*Shahpasand/Norman*
11	C-98-11	-	-	*Alvd/4/Ghk"s"/Bow"s"//90Zhong87/3/Shiroodi*
12	C-98-12	-	-	*Alvd/4/Ghk"s"/Bow"s"//90Zhong87/3/Shiroodi*
13	C-98-13	-	-	*Alvd/4/Ghk"s"/Bow"s"//90Zhong87/3/Shiroodi*
14	C-98-14	-	-	*Spb"s"//K1349/Go/3/Vee"s"/4/Pishgam*
15	C-98-15	-	-	*AU/3/MINN//HK/38MA/4/YMH/ERA/5/PMF//CNO/GLL/6/KAUZ//ALTAR84/AOS/7/TAM105/3/NE70654/BBY//BOW"S"/4/Century*3/TA2450*
16	C-98-16	-	-	*GRK79/TUKURU*
17	C-98-17	-	-	*MV NEMERE*
18	C-98-18	-	-	*ARS97135-9/O3A-B4//KS06O3A~49*
19	CD-94-9	-	-	*Zarrin/Shiroodi/6/Zarrin/5/Omid/4/Bb/Kal//Ald/3/Y50E/Kal*3//Emu*
20	CD-94-5	-	-	*Ga961565-27-6/La95283Ca-78-1-2*
21	MV-17	MV-17	1993	*SLAVIA/MV-FT//BARANJK*
22	CD-92-6	Heyran	2019	*Lufer-1/Kinaci97*
23	Morocco	Morocco	-	Susceptible check
24	Bolany	Bolany	-	Susceptible check

جدول ۲. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک زراعی مزرعه تحقیقاتی.

Table 2. Physio-chemical properties of the soil of the experimental field.

Index	Unit	Value	Index	Unit	Value
Sand (> 0.02 mm)	%	60	PH	-	7.7
Silt (0.02-0.002 mm)	%	20	Total nitrogen	%	0.079
Clay (<0.002 mm)	%	20	Available phosphorous	$mg.kg^{-1}$	19
Depth	cm	0-30	Available potassium	$mg.kg^{-1}$	310
T.N.V	%	11	Fe	$mg.kg^{-1}$	8.6
Soil texture	-	Loamy Sand	Zn	$mg.kg^{-1}$	0.86
Organic matter	$g\ kg^{-1}$	0.86	Cu	$mg.kg^{-1}$	1.1

نتایج

تجزیه واریانس مرکب

با توجه به نتایج تجزیه واریانس مرکب برای صفات عملکردی اندازه‌گیری شده (جدول ۳) مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر تمام صفات مورد نظر در سطح احتمال یک درصد وجود دارد که گویای تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه است. هم‌چنین، برای تمام صفات اندازه‌گیری شده بین دو سطح مختلف آلودگی به بیماری اختلاف معنی‌دار وجود داشت که نشان از تاثیر پاتوژن زنگ سیاه بر صفات اندازه‌گیری شده دارد. اثر متقابل ژنوتیپ × شرایط بیماری برای کلیه صفات مذبور به جز ارتفاع بوته، وزن سنبله و طول سنبله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد که نشان دهنده عدم همسانی اختلاف ژنوتیپ‌ها برای صفات مورد مطالعه در دو شرایط آلودگی و عدم آلودگی به بیماری می‌باشد. بالاترین ضریب تغییرات مربوط به شاخص برداشت (۲۶/۶۶ درصد) بود که نشان می‌دهد این صفت بیشتر

تحت‌تأثیر آلودگی به بیماری بوده است و کمترین ضریب تغییرات متعلق به ارتفاع بوته (۷/۴۰ درصد) بود. در پژوهشی Vahed Rezaei *et al*. (2023) با استفاده از شاخص‌های پاتولوژیک مرتبط با زنگ سیاه، تفاوت معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌ها در شرایط گلخانه‌ای (گیاهچه) و مزرعه‌ای (گیاه بالغ) گزارش کردند. براساس نتایج مقایسه میانگین برای صفات قطر سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، عملکرد دانه، زیست توده، شاخص برداشت در دو شرایط آلودگی و عدم آلودگی به بیماری در جدول شماره ۵ و برای صفات ارتفاع بوته، وزن سنبله و طول سنبله در متوسط شرایط آلودگی به بیماری در جدول شماره ۴ ارائه شده است. از نظر صفت قطر سنبله ژنوتیپ‌های MV-17، C-98-17 و C-98-6 به ترتیب بیشترین و ژنوتیپ‌های موروکو، بولانی و حیران کمترین مقدار را در شرایط آلودگی به خود اختصاص دادند. بیشترین مقدار صفت قطر سنبله، تحت شرایط عدم آلودگی به بیماری به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های MV-17، C-98-17، حیدری، میهن، C-98-7 و C-98-18 و کمترین مقدار مربوط به ژنوتیپ‌های موروکو، بولانی، CD-94-9 و C-98-15 بود.

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه حاصل از واکنش ژنوتیپ‌های مختلف گندم نسبت به زنگ سیاه.

Table 3. Analysis of variance studied traits obtained from reaction to stem rust in the different wheat genotype.

S.O.V	df	Mean of square				
		Plant height(cm)	Spike length (cm)	Spike diameter(cm)	Spike weigth (g)	Number of grain per spike (No)
Disease	1	4060.063**	0.34**	0.284**	1**	0.34**
Repeat / Disease	4	28.08	3.35	0.34	2.40	1.34
Genotype	23	525.2**	9.229**	0.234**	2.946**	1.703**
Disease × Genotype	23	45.845^{ns}	0.819^{ns}	0.059**	0.42^{ns}	0.282**
Error	92	31.51	0.21	0.04	0.39	0.19
CV (%)		7.40	8.76	13.16	21.07	22.23

**,* and ^{ns} Significant at 1% , 5% probability level, and non-significant

ادامه جدول ۳.

Table 3 continue.

S.O.V	df	Mean of square			
		100 grain Weigth (g)	Yield (g)	Biomass (g)	Harvest index (%)
Disease	1	12.25**	3033.623*	64491.662**	38399.364**
Repeat / Disease	4	0.06	402.86	1592.13	569.79
Genotype	23	1.738**	2243.833**	9954.81**	1373.191**
Disease × Genotype	23	0.337**	657.919**	3054.547**	1224.666**
Error	92	0.19	240.23	488.80	304.07
CV (%)		11.77	18.81	15.69	26.66

**,* and ^{ns} Significant at 1% , 5% probability level, and non-significant

مقایسات میانگین

ژنوتیپ‌های MV-17 و C-98-16 در شرایط آلودگی به ترتیب بیشترین و ژنوتیپ‌های موروکو، بولانی، C-98-15 و حیدری کمترین مقدار صفت تعداد دانه در سنبله را نشان دادند. این در حالی است که، در شرایط عدم آلودگی برای صفت فوق، ژنوتیپ‌هایی که دارای بیشترین مقدار بودند، شامل MV-17، C-98-11 و C-98-13 و کمترین مقادیر نیز متعلق به ژنوتیپ‌های موروکو، بولانی، CD-94-9 و C-98-15 بود. بیشترین وزن صد دانه در شرایط آلودگی به بیماری به ترتیب برای ژنوتیپ‌های CD-94-5، C-98-5، MV-17، C-98-9 و بولانی و کمترین آن تحت همین شرایط، مربوط به C-98-2، C-98-3 و C-98-8 بود. در شرایط عدم آلودگی نیز MV-17 و C-98-17 به ترتیب بیشترین وزن صد دانه و ژنوتیپ‌های موروکو، C-98-15 و بولانی دارای کمترین وزن صد دانه بودند. از لحاظ عملکرد دانه در شرایط آلودگی به بیماری، ژنوتیپ‌های زارع و CD-94-5 برتر بودند و کمترین مقدار عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های حیدری، میهن و مورکو مشاهده شد. این در حالی است که، ژنوتیپ‌های برتر از نظر این صفت در شرایط عدم آلودگی به ترتیب زارع و MV-17 بودند و حیدری و میهن کمترین میانگین را داشتند. در شرایط آلودگی به بیماری ژنوتیپ‌هایی که دارای بیشترین زیست توده بودند، عبارت بودند از: زارع، CD-94-5، C-98-14 و C-98-12 و کمترین آن‌ها از

این نظر در همین شرایط، حیدری، میهن و C-98-6 بودند. با این وجود، برترین ژنوتیپ‌ها از نظر زیست توده در شرایط عدم آلودگی به ترتیب زارع، C-98-9 و MV-17 و ژنوتیپ‌های با کمترین زیست توده در همین شرایط حیدری، میهن، C-98-17، C-98-18 و بولانی شناسایی شدند. ژنوتیپ‌های حیدری، میهن و C-98-8 در شرایط آلودگی دارای بیشترین درصد شاخص برداشت و ژنوتیپ‌های زارع، C-98-6، C-98-10 و MV-17 نیز به ترتیب در همین شرایط، کمترین درصد شاخص برداشت را داشتند. بیشترین شاخص برداشت، در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شرایط عدم آلودگی مربوط به MV-17، C-98-17، C-98-18، C-98-12 و C-98-13 و همین‌طور کمترین مقدار آن تحت همین شرایط، مربوط به ژنوتیپ‌های C-98-11، C-98-16، C-98-15 و C-98-14 بود. در متوسط شرایط آلودگی به بیماری، ژنوتیپ‌های زارع، C-98-12 و C-98-13 و C-98-14 بیشترین ارتفاع بوته را نشان دادند و در مقابل کمترین ارتفاع بوه در همین شرایط را C-98-18، حیدری، C-98-17، میهن و بولانی داشتند. تحت متوسط شرایط آلودگی نیز از لحاظ صفت طول سنبله، بیشترین مقدار آن مربوط به زارع، C-98-14، C-98-12 و MV-17 و کمترین مقدار آن متعلق به ژنوتیپ‌های حیدری،C-98-17، میهن و C-98-18 بود. بیشترین وزن سنبله در متوسط شرایط آلودگی را ژنوتیپ‌های زارع، C-98-12 و C-98-14 و همین طور کمترین مقدار آن را در این شرایط حیدری، C-98-10، میهن و C-98-17 نشان دادند. نتایج نشان داد که آلودگی به بیماری زنگ ساقه در مقایسه با شرایط عدم آلودگی باعث کاهش قطر سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، عملکرد دانه، زیست توده و شاخص برداشت شد. بر اساس Degete & Chala (2019) زنگ سیاه باعث ایجاد تغییرات و کاهش در صفات عملکردی و اجزای آن می‌شود. هم‌چنین، در این تحقیق ژنوتیپ‌هایی مانند زارع، MV-17، C-98-12، C-98-13، C-98-14، CD-94-5 و حیران دارای بیشترین میانگین برای صفات مورد مطالعه بودند. در پژوهشی Vahed Rezaei *et al*. (2023) ژنوتیپ‌های مذکور را از نظر شدت آلودگی، نوع آلودگی، ضریب آلودگی، AUDPC و rAUDPC بررسی و گروه‌بندی کرده و گزارش نمودند که ژنوتیپ‌های MV-17 و C-98-12 مقاومت بالایی نسبت به عامل بیماری زنگ ساقه دارند.

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه حاصل از واکنش ژنوتیپ‌های مختلف گندم نسبت به زنگ سیاه در متوسط شرایط.

Table 4. Mean comparison studied traits obtained from reaction to stem rust in the studied wheat genotypes at average of conditions.

Genotype	Traits		
	Plant height (cm)	Spike length (cm)	Spike weigth (g)
C-98-1	62.33 HI	8.000 HIJ	2.000 FG
C-98-2	58.00 I	7.667 J	1.833 G
C-98-3	73.83 DEFG	9.000 EFGHI	2.833 CDEF
C-98-4	95.67 A	12.50 A	5.000 A
C-98-5	73.83 DEFG	9.333 EFG	2.500 EFG
C-98-6	72.67 EFG	9.000 EFGHI	2.500 EFG
C-98-7	79.33 BCDEF	8.667 FGHIJ	2.000 FG
C-98-8	71.50 FG	9.167 EFGH	3.000 BCDE
C-98-9	72.67 EFG	10.00 CDE	3.167 BCDE
C-98-10	74.50 CDEFG	9.667 DEF	1.833 G
C-98-11	82.67 BC	8.500 FGHIJ	3.333 BCDE
C-98-12	87.67 B	11.00 BC	3.833 B
C-98-13	86.00 B	10.17 CDE	3.167 BCDE
C-98-14	87.33 B	11.67 AB	3.667 BC
C-98-15	79.50 BCDEF	10.83 BCD	3.167 BCDE
C-98-16	81.83 BCD	9.000 EFGHI	2.833 CDEF
C-98-17	62.17 HI	7.833 IJ	2.833 CDEF
C-98-18	58.83 I	8.333 GHIJ	3.000 BCDE
CD-94-9	76.17 CDEFG	9.167 EFGH	2.667 DEFG
CD-94-5	79.33 BCDEF	10.00 CDE	3.000 BCDE
MV-17	80.67 BCDE	11.00 BC	3.333 BCDE
CD-92-6	80.50 BCDE	10.67 BCD	3.333 BCDE
Morocco	76.00 CDEFG	8.667 FGHIJ	2.667 DEFG
Bolany	68.50 GH	9.667 DEF	3.500 BCD

Averages with the same letters do not have a significant difference at the 1% probability level.

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه حاصل از واکنش ژنوتیپ‌های مختلف گندم نسبت به زنگ سیاه در دو شرایط آلودگی و عدم آلودگی.

Table 5. Mean comparison for studied traits obtained from reaction to stem rust in the studied wheat genotypes at the both of infection and non-infection conditions.

		Traits					
Disease	**Genotype**	**Spikediameter (cm)**	**Number of grain per spike (No)**	**100 grain Weigth (g)**	**Yield (g)**	**Biomass (g)**	**Harvest index (%)**
Infection	C-98-1	1.441 BCDEFG	63.00 I	4.000 BCD	570.21 JKLMN	1180.6 EFGHIJKLM	160.5 A
	C-98-2	1.403 DEFGH	56.33 NOP	3.000 DE	460.80 MN	990.80 GHIJKLMN	123.2 B
	C-98-3	1.362 EFGH	60.67 J	3.000 DE	770.10 DEFGHIJKLM	1520.7 CDEF	109.4 BCD
	C-98-4	1.380 EFGH	67.33 E	4.000 BCD	1620.8 A	3090.8 A	62.52 FGHIJK
	C-98-5	1.363 EFGH	51.33 UV	5.000 A	670.24 FGHIJKLMN	1360.0 CDEFGHIJK	91.18 BCDEF
	C-98-6	1.561 BCDE	49.33 W	4.000 BCD	630.97 GHIJKLMN	1260.2 EFGHIJKLM	60.31 FGHIJK
	C-98-7	1.348 EFGH	52.00 TU	4.000 BCD	890.04 CDEFGHIJK	1460.8 CDEFG	117.8 BC
	C-98-8	1.331 EFGH	53.33 R	3.000 DE	930.92 CDEFGH	1590.3 CDEF	123.6 B
	C-98-9	1.362 EFGH	55.67 P	4.667 AB	550.18 KLMN	1780.2 CD	73.28 DEFGHI
	C-98-10	1.305 EFGH	56.67 NO	4.000 BCD	570.90 IJKLMN	1370.7 CDEFGHIJK	64.17 FGHIJK
	C-98-11	1.407 DEFGH	59.33 KL	3.000 DE	610.38 HIJKLMN	1780.2 CD	66.73 FGHIJ
	C-98-12	1.362 EFGH	63.67 HI	4.000 BCD	1000.1 BCDEF	1820.0 C	62.04 FGHIJK
	C-98-13	1.476 BCDEFG	56.33 NOP	4.333 ABC	930.41 CDEFGHI	1490.5 CDEFG	67.73 FGHIJ
	C-98-14	1.543 BCDEF	58.67 LM	4.000 BCD	660.51 FGHIJKLMN	2680.0 B	74.66 DEFGHI
	C-98-15	1.319 EFGH	46.00 Y	4.333 ABC	790.16 DEFGHIJKLM	1500.9 CDEF	63.42 FGHIJK
	C-98-16	1.407 DEFGH	70.33 C	4.000 BCD	730.67 EFGHIJKLMN	1430.1 CDEFGHI	48.67 GHIJK
	C-98-17	1.706 ABCDE	50.67 V	3.667 CD	690.37 EFGHIJKLMN	1370.5 CDEFGHIJK	83.17 CDEFGH
	C-98-18	1.294 EFGH	48.67 W	4.000 BCD	710.51 EFGHIJKLMN	1140.1 FGHIJKLM	54.45 FGHIJK
	CD-94-9	1.462 BCDEFG	57.00 N	4.333 ABC	680.33 FGHIJKLMN	1540.3 CDEF	65.55 FGHIJ
	CD-94-5	1.425 CDEFGH	56.00 OP	5.000 A	1190.2 BC	2290.2 B	67.93 FGHIJ
	MV-17	1.847 ABC	75.00 B	4.667 AB	710.72 EFGHIJKLMN	1400.6 CDEFGHIJ	56.01 FGHIJK
	CD-92-6	1.291 EFGH	49.00 W	4.000 BCD	760.38 EFGHIJKLM	1510.9 CDEF	72.13 EFGHI
	Morocco	0.8487 I	40.33 Z	4.000 BCD	560.92 JKLMN	1440.9 CDEFGH	106.3 BCDE
	Bolany	1.070 GHI	44.33 Z	4.667 AB	880.06 CDEFGHIJK	1790.6 CD	86.79 CDEFG
Non-infection	C-98-1	1.823 ABCD	68.00 E	4.000 BCD	500.11 LMN	570.77 NO	49.15 GHIJK
	C-98-2	1.687 ABCDE	59.67 K	3.333 D	400.75 N	380.53 O	41.31 IJK
	C-98-3	1.270 EFGH	64.33 GH	3.667 CD	610.92 HIJKLMN	850.90 LMN	50.56 GHIJK
	C-98-4	1.563 BCDE	65.33 F	3.000 DE	1310.6 B	2360.0 B	50.75 GHIJK
	C-98-5	1.811 ABCD	56.00 OP	4.000 BCD	810.71 DEFGHIJKLM	1200.3 EFGHIJKLM	52.16 FGHIJK
	C-98-6	1.415 DEFGH	46.00 Y	3.667 CD	860.59 CDEFGHIJK	1320.5 CDEFGHIJKL	44.33 HIJK
	C-98-7	1.629 ABCDE	64.67 FG	3.000 DE	830.20 DEFGHIJKL	1530.0 CDEF	62.10 FGHIJK
	C-98-8	1.443 BCDEFG	58.33 M	3.333 D	1010.6 BCDEF	1240.9 EFGHIJKLM	50.54 GHIJK
	C-98-9	1.329 EFGH	61.33 J	3.667 CD	880.11 CDEFGHIJK	1810.6 C	51.47 GHIJK
	C-98-10	1.479 BCDEFG	54.67 Q	4.000 BCD	800.24 DEFGHIJKLM	1300.0 DEFGHIJKL	52.59 FGHIJK
	C-98-11	1.551 BCDEF	80.67 A	3.667 CD	690.48 EFGHIJKLMN	930.00 JKLMN	24.84 K
	C-98-12	1.469 BCDEFG	65.33 F	3.667 CD	910.56 CDEFGHIJ	1350.6 CDEFGHIJK	64.25 FGHIJK
	C-98-13	1.377 EFGH	70.00 C	3.667 CD	790.61 DEFGHIJKLM	1370.4 CDEFGHIJK	55.50 FGHIJK
	C-98-14	1.321 EFGH	64.33 GH	3.333 D	940.31 CDEFGH	1440.4 CDEFGH	35.47 IJK
	C-98-15	1.307 EFGH	46.33 Y	2.333 E	1040.9 BCDE	1650.1 CDE	41.77 IJK
	C-98-16	1.426 CDEFGH	69.00 D	3.333 D	750.57 EFGHIJKLM	1100.7 FGHIJKLM	31.08 JK
	C-98-17	1.859 AB	51.00 V	4.333 ABC	980.32 CDEFG	790.83 MNO	60.74 FGHIJK
	C-98-18	1.648 ABCDE	53.00 RS	3.333 D	920.84 CDEFGHI	790.87 MNO	61.04 FGHIJK
	CD-94-9	1.119 FGHI	47.67 X	3.000 DE	880.36 CDEFGHIJK	1460.6 CDEFG	50.70 GHIJK
	CD-94-5	1.306 EFGH	52.33 ST	3.000 DE	870.57 CDEFGHIJK	960.27 HIJKLMN	49.44 GHIJK
	MV-17	1.991 A	80.67 A	5.000 A	1110.9 BCD	1810.3 C	52.45 FGHIJK
	CD-92-6	1.544 BCDEF	59.00 KLM	3.000 DE	970.78 CDEFG	940.57 IJKLMN	50.50 GHIJK
	Morocco	1.000 HI	43.00 Z	2.333 E	1000.4 BCDEF	880.88 KLMN	46.76 GHIJK
	Bolany	1.078 GHI	45.67 Y	3.000 DE	880.82 CDEFGHIJK	590.33 NO	48.18 GHIJK

Averages with the same letters do not have a significant difference at the 1% probability level.

تجزیه همبستگی

نتایج حاصل از تجزیه همبستگی صفات اندازه‌گیری شده در شرایط آلودگی به بیماری (جدول ۶) نشان داد که همبستگی مثبت، قوی و معنی‌داری بین تمامی صفات به جز شاخص برداشت با قطر سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، عملکرد دانه و زیست توده و نیز وزن صد دانه با زیست توده وجود داشت. همچنین همبستگی منفی، قوی و معنی‌داری بین صفت شاخص برداشت و زیست توده در پاسخ به بیماری زنگ سیاه وجود داشت. در شرایط عدم آلودگی (جدول ۷) به بیماری همانند شرایط آلودگی به بیماری همبستگی مثبت، قوی و معنی‌داری بین قطر سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، عملکرد دانه و زیست توده مشاهده

شد اما هیچ همبستگی مثبت یا منفی معنی‌داری بین صفت شاخص برداشت با قطر سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، عملکرد دانه و زیست توده مشاهده نشد. علاوه بر این، در متوسط شرایط آلودگی به بیماری (جدول ۸) همبستگی مثبت، قوی و معنی‌داری بین صفات ارتفاع بوته، طول سنبله و وزن سنبله وجود داشت. نتایج مطالعات Degete & Chala (2019) وجود همبستگی مثبت و قوی میان صفات عملکردی در شرایط آلودگی و عدم آلودگی به زنگ سیاه گندم را تائید می کند. آن‌ها گزارش کردند پتانسیل عملکرد به طور کلی از طریق عملکرد دانه و اجزای عملکرد مرتبط با هم ارزیابی می‌شود که خود خصوصیات پیچیده بوده و نتیجه تجمعی فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف می‌باشند.

جدول ۶. همبستگی صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های مختلف گندم در شرایط آلودگی نسبت به زنگ سیاه.

Table 6. Correlation of measured traits in different genotypes of wheat under stem rust infection conditions.

	Spike diameter (cm)	**Number of grain per spike (No)**	**100 grain Weigth (g)**	**Yield (g)**	**Biomass (g)**	**Harvest index (%)**
Spike diameter (cm)	1					
Number of grain per spike (No)	0.599**	1				
100 grain Weigth (g)	0.760**	0.449*	1			
Yield (g)	0.736**	0.675**	0.726**	1		
Biomass (g)	0.605**	0.639**	0.369 ns	0.679**	1	
Harvest index (%)	-0.230ns	-0.169 ns	0.049 ns	-0.072 ns	-0.739**	1

** ,* and ns Significant at 5%, 1% probability level, and non-significant

جدول ۷. همبستگی صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های مختلف گندم در شرایط عدم آلودگی نسبت به زنگ سیاه.

Table 7. Correlation of measured traits in different genotypes of wheat under stem rust non-infection conditions.

	Spike diameter (cm)	**Number of grain per spike (No)**	**100 grain Weigth (g)**	**Yield (g)**	**Biomass (g)**	**Harvest index (%)**
Spike diameter (cm)	1					
Number of grain per spike (No)	0.495*	1				
100 grain Weigth (g)	0.701**	0.599**	1			
Yield (g)	0.700**	0.455*	0.800**	1		
Biomass (g)	0.603**	0.688**	0.688**	0.707**	1	
Harvest index (%)	0.224 ns	-0.203 ns	0.242 ns	0.441 ns	-0.293 ns	1

** , * and ns Significant at 5%, 1% probability level, and non-significant

جدول ۸. همبستگی صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های مختلف گندم در متوسط شرایط آلودگی نسبت به زنگ سیاه.

Table 8. Correlation of traits measured in different genotypes of wheat under average conditions of stem rust infection.

	Plant height (cm)	**Spike length (cm)**	**Spike weigth (g)**
Plant height (cm)	1		
Spike length (cm)	0.792**	1	
Spike weigth (g)	0.661**	0.765**	1

** Significant at 1% probability level

تجزیه خوشه‌ای و تجزیه تابع تشخیص

نتایج تجزیه خوشه‌ای در قالب نمودار درختی و با استفاده از صفات مورد مطالعه در دو شرایط آلودگی و عدم آلودگی به زنگ سیاه در شکل‌های ۱ ،۲ و ۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج این تجزیه ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه در این پژوهش در شرایط آلودگی و عدم آلودگی به زنگ سیاه به چهار گروه و در متوسط شرایط آلودگی به سه گروه مجزا تقسیم شدند که در شرایط آلودگی به بیماری به ترتیب ۱۰، ۴، ۵ و ۵ ژنوتیپ در چهار گروه قرار گرفتند. در حالی‌که، در شرایط عدم آلودگی به بیماری به ترتیب ۱۷، ۴، ۲ و ۱ ژنوتیپ در چهار گروه مجزا خوشه‌بندی شدند. هم‌چنین، در متوسط شرایط آلودگی به بیماری به ترتیب ۹، ۴ و ۱۱ ژنوتیپ در سه

گروه مجزا قرار گرفت. با توجه به نتایج گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و نیز قرار گرفتن ژنوتیپ‌های با ارزش از نظر صفات قطر سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در گروه‌های اول و دوم در شرایط آلودگی و عدم آلودگی به بیماری و صفات ارتفاع بوته، وزن سنبله و طول سنبله در متوسط شرایط آلودگی به بیماری می‌توان نتیجه گرفت که نتایج تجزیه خوشه‌ای رابطه خوبی با نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه داشت و سطوح مقاومت مرتبط با صفات عملکردی و اجزاء آن نسبت به زنگ ساقه در ارقام زارع و حیران و لاین‌های C-98-14، C-98-13، C-98-12، CD-94-5 قابل مقایسه با مقاومت گونه‌های تجاری شاهد آزمایش شامل MV-17 (مقاوم)، بولانی و موروکو (حساس) هستند. نتایج تجزیه تابع تشخیص (جداول ۱۰، ۱۲ و ۱۴) گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها به چهار خوشه مجزا در شرایط آلودگی و عدم آلودگی و سه خوشه در متوسط شرایط آلودگی به بیماری را تایید کرد. میانگین گروه‌ها و درصد انحراف از میانگین کل در شرایط آلودگی به بیماری برای صفات مورد مطالعه (جدول ۹) نشان داد که ارقام و لاین‌های مقاوم و نیمه مقاوم با استناد به صفات قطر سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در گروه‌های اول و دوم قرار گرفتند. هم‌چنین، بر اساس میانگین گروه‌ها و درصد انحراف از میانگین در شرایط عدم آلودگی (جدول ۱۱) ارقام و لاین‌های با ارزش بیشتر به ترتیب در گروه اول و دوم قرار داشت. شایان ذکر است بر اساس میانگین گروه‌ها و درصد انحراف از میانگین در شرایط عدم آلودگی (جدول ۱۳) ارقام و لاین‌های با ارزش بیشتر به ترتیب در گروه اول و دوم قرار داشت.

شکل ۱. نمودار درختی حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مختلف گندم در شرایط آلودگی به زنگ سیاه به روش وارد.

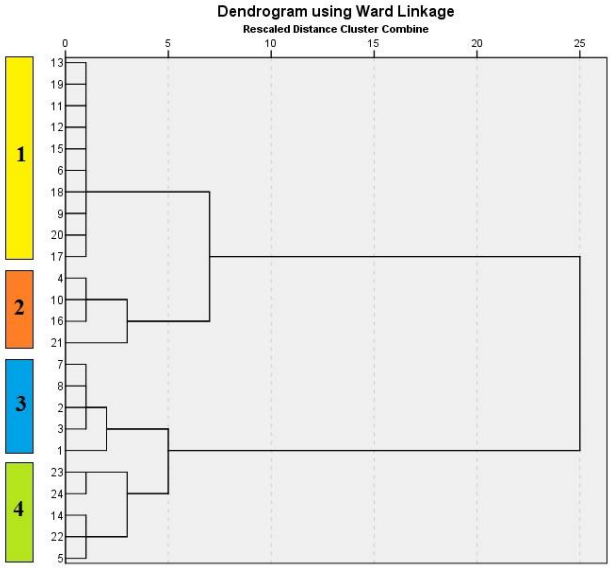
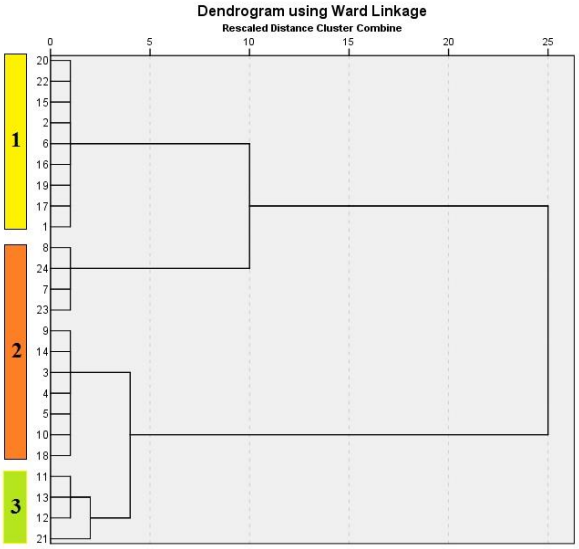
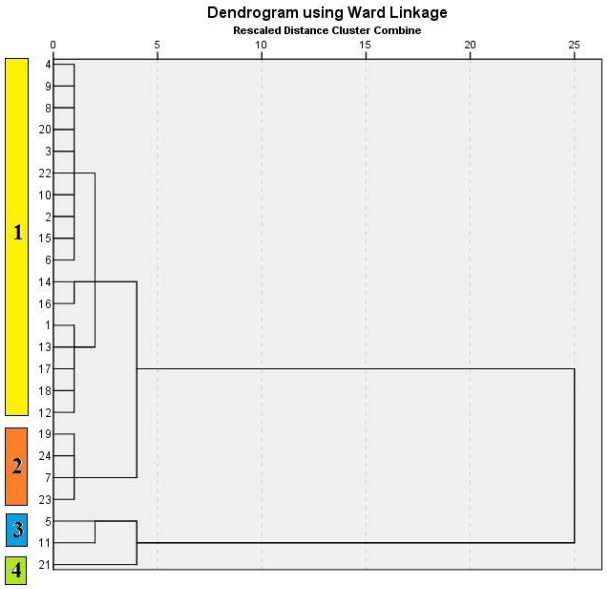


Figure 1. Dendogram of cluster analysis of different wheat genotypes under stem rust infection conditions using Ward method.



شکل ۲. نمودار درختی حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مختلف گندم در شرایط عدم آلودگی به زنگ سیاه به روش وارد.

Figure 2. Dendogram of cluster analysis of different wheat genotypes under stem rust non-infection conditions using Ward method.



شکل ۳. نمودار درختی حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مختلف گندم در متوسط شرایط آلودگی به زنگ سیاه به روش وارد.

Figure 3. Dendogram of cluster analysis of different wheat genotypes in average of conditions using Ward method.

جدول ۹. میانگین خوشه‌ها و درصد انحراف آن‌ها از میانگین کل بر اساس صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های مختلف گندم نسبت به زنگ سیاه در شرایط آلودگی.

Table 9. Average of groups and their percentage deviation from the total average based on measured traits in different genotypes of wheat under stem rust infection and infection conditions.

Group	Cluster	traits					
		Spike diameter (cm)	Number of grain per spike (No)	100 grain Weigth (g)	Yield (g)	Biomass (g)	Harvest index (%)
1	Mean	1.3769	57.08	4.7613	95.6273	80.4967	126.8927
	deviation from the total average percentage	-0.80686	2.146362	4.430505	9.957386	-32.7615	55.25917
2	Mean	1.4847	67.3333	4.8083	109.1325	191	57.8417
	deviation from the total average percentage	6.959153	20.49495	5.461365	25.48639	59.54146	-29.228
3	Mean	1.2231	48.7467	4.1407	61.9647	74.2933	86.216
	deviation from the total average percentage	-11.8868	-12.7663	-9.18123	-28.7497	-37.9431	5.489321
4	Mean	1.4375	54.2667	4.568	86.2733	133.5283	66.46
	deviation from the total average percentage	3.558821	-2.88812	0.190819	-0.79834	11.5356	-18.6831
	Total mean	1.3881	55.8806	4.5593	86.9676	119.7181	81.7296

جدول ۱۰. تجزیه تابع تشخیص برای شناسایی محل برش نمودار درختی در تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مختلف گندم بر اساس صفات اندازه‌گیری شده در شرایط آلودگی نسبت به زنگ سیاه.

Table 10. Discriminant function analysis for determining cutting pint of dendrogram obtained from cluster analysis of different wheat genotypes based on measured traits under stem rust infection conditions.

Group	Wilks' Lambda	Canonical Correlation	Of Cumulative٪	Of Variance٪	Eigenvalue	Chi-square	df
	0.015	0.942	59.4	59.4	7.85	75.80**	18
4	0.131	0.915	98.2	38.8	5.13	36.55**	10
	0.805	0.441	100	1.8	0.241	3.89 ns	4

** and ns Significant at 1 % probability level, and non-significant

جدول ۱۱. میانگین خوشه‌ها و درصد انحراف آن‌ها از میانگین کل بر اساس صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های مختلف گندم نسبت به زنگ سیاه در شرایط عدم آلودگی.

Table 11. Average of groups and their percentage deviation from the total average based on measured traits in different genotypes of wheat under stem rust infection and non-infection conditions.

Group	Cluster	traits					
		Spike diameter (cm)	Number of grain per spike (No)	100 grain Weigth (g)	Yield (g)	Biomass (g)	Harvest index (%)
1	Mean	1.4863	59.2941	3.9571	75.231	154.3074	49.4408
	deviation from the total average percentage	0.636468	-0.22968	1.212369	-3.28702	-4.77403	0.754834
2	Mean	1.681	68.3334	4.2117	92.875	248.6167	38.505
	deviation from the total average percentage	13.81949	14.98016	7.724378	19.39518	53.426	-21.5311
3	Mean	1.2065	50.25	3.2083	59.8709	114.6917	51.9334
	deviation from the total average percentage	-18.3086	-15.4476	-17.94	-23.0331	-29.2216	5.834475
4	Mean	1.9913	80.6667	5.3067	162.75	309.8167	52.4533
	deviation from the total average percentage	34.82971	35.7326	35.73164	109.2228	91.19366	6.893973
	Total mean	1.4769	59.4306	3.9097	77.7879	162.0434	49.0704

جدول ۱۲. تجزیه تابع تشخیص برای شناسایی محل برش نمودار درختی در تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مختلف گندم بر اساس صفات اندازه‌گیری شده در شرایط عدم آلودگی نسبت به زنگ سیاه.

Table 12. Discriminant function analysis for determining cutting pint of dendrogram obtained from cluster analysis of different wheat genotypes based on measured traits under stem rust non-infection conditions.

Group	Wilks' Lambda	Canonical Correlation	Of Cumulative٪	Of Variance٪	Eigenvalue	Chi-square	df
	0.021	0.965	89.3	89.3	13.66	69.15**	18
4	0.315	0.734	97.0	7.6	1.16	20.81*	10
	0.682	0.564	100	3.0	0.467	6.89 ns	4

** ,* and ns Significant at 1% probability level, and non-significant

جدول ۱۳. میانگین خوشه‌ها و درصد انحراف آن‌ها از میانگین کل بر اساس صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های مختلف گندم در متوسط شرایط آلودگی نسبت به زنگ سیاه.

Table 13. Average of groups and their percentage deviation from the total average based on measured traits in different genotypes of wheat under average conditions of stem rust infection.

Group	Cluster	traits		
		Plant height (cm)	Spike length (cm)	Spike weigth (g)
1	Mean	73.65	9.71	3.2781
	deviation from the total average percentage	-3.43187	-2.75024	-5.06516
2	Mean	84.1152	10.7915	3.8121
	deviation from the total average percentage	10.28985	8.081445	10.39965
3	Mean	60.575	8.3833	2.859
	deviation from the total average percentage	-20.5755	-16.0377	-17.2024
	Total mean	76.2674	9.9846	3.453

جدول ۱۴. تجزیه تابع تشخیص برای شناسایی محل برش نمودار درختی در تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مختلف گندم بر اساس صفات اندازه‌گیری شده در متوسط شرایط آلودگی نسبت به زنگ سیاه.

Table 14. Discriminant function analysis for determining cutting pint of dendrogram obtained from cluster analysis of different wheat genotypes based on measured physiological traits under average conditions of stem rust infection.

Group	Wilks' Lambda	Canonical Correlation	Of Cumulative٪	Of Variance٪	Eigenvalue	Chi-square	df
3	0.146	0.923	99.7	99.7	5.74	38.42**	6
	0.985	0.124	100	0.3	0.015	0.308 ns	2

** and ns Significant at 1% probability level, and non-significant

بحث

تنوع ژنتیکی گیاهان، پایه و اساس تحقیقات به نژادی گیاهان و از ارکان اصلی کشاورزی پایدار است. موفقیت برنامه‌های به‌نژادی به میزان تنوع ژنتیکی موجود در گیاهان زراعی و خویشاوندان وحشی آن‌ها بستگی دارد و براساس آن ظرفیت گیاه برای استفاده در برنامه‌های اصلاح نباتاتی تعیین می‌شود (Haussmann *et al.* 2004). شناخت تنوع ژنتیکی موجود در یک گونه گیاهی و گزینش درست والدین برای استفاده در برنامه اصلاحی می‌تواند در نهایت به افزایش عملکرد در واحد سطح و ایجاد ارقام پر محصول و یا خصوصیات کمی و کیفی مطلوب منتهی و به نوعی در ارتقاء تولید غذا در دنیا نقش آفرینی کند (Govindaraj *et al.* 2015). نژادهای مختلف عامل بیماری زنگ سیاه گندم مسئول کاهش عملکرد گندم به شمار می‌آیند. بر این اساس بیشتر مطالعات در مورد ارزیابی مقاومت و تجزیه تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های مختلف گندم، امری مهم در مبارزه با این عامل بیماری می‌باشد (Knott 2012). در این پژوهش تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، از نظر صفات عملکردی و اجزای آن مشاهده شد که فرصت خوبی را برای بهبود صفات عملکردی مرتبط با تحمل بیماری در برنامه‌های اصلاحی زنگ ساقه گندم فراهم می‌کند که نتایج فوق مشابه نتایج گزارش شده توسط Vahed Rezaei *et al.* (2023)، Degete & Chala (2019) و Soresa (2018) بود. تنش‌های زیستی از جمله تنش‌های محیطی هستند که به‌شدت باعث

کاهش میزان تولید گیاهان می‌شوند (Cohen & Leach 2019). عواملی همچون باکتری‌ها، قارچ‌ها، حشرات و نماتدها اشکال مختلفی از تنش‌های زیستی را از طریق تاثیر منفی بر روی گیاهان ایجاد می‌کنند (Cramer *et al*. 2011) و از این طریق باعث ایجاد خسارت اقتصادی در محصولات کشاورزی می‌شوند و امنیت غذایی را به خطر می‌اندازند (Atkinson & Urwin 2012). خسارت‌های ایجاد شده توسط عامل بیماری زنگ سیاه می‌تواند بیش از سایر عوامل بیماری‌زا در غلات باشد و اهمیت آن به‌نحوی است که میلیون‌ها هکتار از مزارع سالم با پتانسل بالای تولید محصول را می‌تواند در کمتر از یک ماه به‌طور کامل تخریب نماید (Singh *et al*. 2015). نتایج این پژوهش نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در اثر آلودگی به بیماری با کاهش صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، قطر سنبله، وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، عملکرد، زیست توده و شاخص، مواجه می‌شوند که این رفتار می‌تواند در آینده در تغییرات ویژگی‌های عملکردی و زراعی گیاه موثر باشد. Degete & Chala (2019) گزارش کردند زنگ سیاه بر عملکرد دانه و پارامترهای کیفی گندم دوروم تاثیر می‌گذارد. براساس مطالعه انجام شده یک سری روابط مثبت و منفی قوی و معنی‌داری بین صفات مورد ارزیابی در شرایط آلودگی به بیماری وجود داشت که نشان داد با آلودگی یا عدم آلودگی گیاه به عامل بیماری زنگ سیاه و تحت تاثیر گرفتن آن، به محض تغییر و کاهش یا افزایش ارزش یک صفت سایر صفات نیز تحت تاثیر قرار خواهند گرفت و این ارتباط قوی بین عملکرد و اجزاء آن باعث تحمل خسارت شدیدی توسط کشاورزان خواهد شد. در این پژوهش در کل ژنوتیپ‌هایی مانند زارع، MV-17، C-98-12، C-98-13، C-98-14، CD-94-5 و حیران که براساس مقایسه میانگین و تجزیه خوشه‌ای نشان دادند که مقاومت بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارند ممکن است دارای ژن‌های مقاومت مرحله گیاه بالغ باشند که واکنش مقاومت به عامل بیماری را در این مرحله دارند و بیان این ژن‌ها در این مرحله صورت گرفته است. همچنین در شرایط آلودگی به بیماری ژنوتیپ‌های C-98-13، CD-94-9، C-98-11، C-98-12، C-98-15، C-98-6، C-98-18، C-98-19، CD-94-5 و C-98-17 دارای بیشترین قطر سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت هستند که این امر باعث قرار گرفتن آن‌ها در گروه اول و ژنوتیپ‌های موروکو، بولانی، C-98-14، CD-92-6 و C-98-5 دارای کمترین قطر سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت می‌باشند که قرار گرفتن آن‌ها را در گروه چهارم را میسر می‌سازد که با در نظر گرفتن این خروجی نتیجه‌گیری می‌شود که ژنوتیپ‌های گروه اول دارای مقاومت بیشتر نسبت به عامل بیماری زنگ سیاه هستند و ژنوتیپ‌های گروه چهارم به دلیل حساسیت بالا به عامل بیماری دچهار کاهش ارزش شده‌اند. بنابراین نتایج مطالعه حاضر نشان داد که سطوح مقاومت مرتبط با صفات عملکردی و اجزاء آن نسبت به زنگ ساقه در ارقام زارع و حیران و لاین‌های C-98-14، C-98-13، C-98-12، CD-94-5 قابل مقایسه با مقاومت گونه‌های تجاری شاهد آزمایش شامل MV-17(مقاوم)، بولانی و موروکو (حساس) هستند که می‌توان از آن‌ها برای تولید ارقام جدید و برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد. Vahed Rezaei *et al*. (2023) با بررسی مقاومت ژنوتیپ‌های گندم به بیماری زنگ سیاه با استفاده از شاخص‌های بیماری‌شناسی در شرایط گیاه بالغ و گیاهچه‌ای، لاین‌های C-98-11، C-98-12، C-98-6، C-98-17 را ژنوتیپ مقاوم و لاین‌های C-98-14 و CD-92-6 را ژنوتیپ حساس به بیماری زنگ سیاه گندم گزارش کردند که این موضوع با نتایج آزمایش فوق همخوانی دارد. بر همین اساس می‌توان نتیجه گرفت با توجه به ارتباط میان نتایج حاصل از ارزیابی صفات عملکردی و زراعی آزمایش فوق با صفات پاتولوژیک ارزیابی شده توسط Vahed Rezaei *et al*. (2023)، امکان استفاده از صفات عملکردی به‌عنوان نشانگرهای مرتبط با مقاومت به بیماری زنگ سیاه گندم بهره‌مند شد. به عبارت دیگر، صفات عملکردی مورد استفاده قادر به تشخیص وجود تنوع و پاسخ به مقاومت نسبت به بیماری زنگ سیاه بود و می‌توان از آن‌ها به‌عنوان صفات مرتبط با مقاومت به بیماری زنگ سیاه گندم استفاده نمود. اصلاح مقاومت در برابر زنگ سیاه به‌عنوان یکی از عوامل کاهش عملکرد، برای ارقام گندم در سرتاسر جهان ضروری است. چراکه، پاتوژن‌های این نوع از زنگ به سرعت در حال تغییر نژاد هستند و بر منابع مقاومت موجود غلبه می‌کنند (Sweeney *et al*. 2019). استفاده از مقاومت ژنتیکی یک روش موثر و کاربردی در جهت کاهش خسارت زنگ سیاه به‌شمار می‌آید که نیل به این مهم تنها با داشتن دانش کافی در زمینه ژنتیک جمعیت عامل بیماری و شناسایی ژن‌های مقاومت موثر موجود در ارقام و لاین‌های گندم امکان‌پذیر است (Roelfs *et al*. 1992). این مطالعه تاثیر نژاد TKTTF زنگ ساقه آذربایجان شرقی بر صفات عملکردی ارقام زمستانه

و لاین‌های امید بخش گندم را نشان داد. این نژاد باعث ایجاد تغییرات در صفات عملکردی مورد مطالعه در شرایط آلودگی به بیماری زنگ سیاه شد که از این خروجی می‌توان نتیجه گرفت که لاین‌های مقاوم شناسایی شده در آزمایش نسبت به رقم تجاری مقاوم (MV-17) به بیماری بوده و توصیه می‌شود به عنوان لاین‌های انتخابی در برنامه‌های اصلاحی استفاده شود. نتایج تجزیه خوشه‌ای نشان داد که تنوع ژنتیکی مناسبی برای صفات مورد مطالعه وجود دارد و می‌توان از این تنوع‌ها برای اصلاح ژنوتیپ‌های گندم زمستانه استفاده کرد. بررسی صفات مختلف در شرایط محیطی مختلف نشان داده است که با تغییر شرایط محیطی، نحوه عمل و پاسخ ژنوتیپ‌ها به پاتوژن تغییر می‌کند. برای این کار باید این مطالعات در چند سال و محیط‌های مختلف انجام شود. همچنین توصیه می‌شود آزمایش فوق با استفاده از صفات زراعی در مرحله گیاه بالغ و نیز صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مرتبط با بیماری نیز اجرا گردد.

References

Atkinson NJ, Urwin PE, 2012. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *Journal of Experimental Botany* 63: 3523–3543.

Bamdadyan, A, Torabi M, 1999. Study on epidemic of wheat stem rust in the south parts of Iran in 1977. *Entomology & Phytopathology Journal* 14: 19–24.

Bolton MD, Kolmer JA, Garvin DF, 2008. Wheat leaf rust caused by Puccinia triticina. *Molecular Plant Pathology* 9: 563–575.

Cohen SP, Leach JE, 2019. Abiotic and biotic stresses induce a core transcriptome response in rice. *Scientific Reports* 9: 1–11.

Cramer GR, Urano K, Delrot S, Pezzotti M, Shinozaki K, 2011. Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. *BMC Plant Biology* 11: 163.

Degete AG, Chala A, 2019. Effects of stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) on yield, physical and chemical quality of durum wheat varieties in East Shoa Zone, Ethiopia. *American Journal of Agriculture & Forestry* 7: 78–83.

Figueroa M, Hammond-Kosack KE, Solomon PS, 2018. A review of wheat diseases—a field perspective. *Molecular Plant Pathology* 19: 1523–1536.

Ghazvini H, 2012. Emergence and current status of Ug99 races of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* and overview of recent progresses in deployment of stem rust resistance genes for effective control of disease (keynote presentation). *Proceedings of 12th Congress of Agronomy and Plant Breeding, Karaj, Iran.* pp.6831.

Ghazvini H, Hiebert CW, Zegeye T, Fetch T, 2012a. Inheritance of stem rust resistance derived from *Aegilops triuncialis* in wheat line Tr129. *Canadian Journal of Plant Science* 92: 1037–1041.

Ghazvini H, Hiebert CW, Zegeye T, Liu S, Dilwari M, *et al.*, 2012b. Inheritance of resistance to Ug99 stem rust in wheat cultivar Norin 40 and genetic mapping of Sr42. *Theoretical & Applied Genetics* 125: 817–824.

Govindaraj M, Vetriventhan M, Srinivasan M, 2015. Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: an overview of its analytical perspectives. *Genetics Research Internationa* 2015 (2015): 431487.

Haussmann B, Parzies H, Prestrel T, Susic Z, Miedaner T, 2004. Plant genetic resources in crop improvement. *Plant Genetic Resources* 2: 3–21.

Hiebert CW, Fetch TG, Zegeye T, 2010. Genetics and mapping of stem rust resistance to Ug99 in the wheat cultivar Webster. *Theoretical & Applied Genetics* 121: 65–69.

Jin Y, Singh R, Ward R, Wanera R, Kinyua M, *et al*., 2007. Characterization of seedling infection types and adult plant infection responses of monogenic Sr gene lines to race TTKS of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. *Plant Disease* 91: 1096–1099.

Knott DR, 2012. The wheat rusts—breeding for resistance, Springer Science & Business Media. 201 pp.

Kolmer JA, 2005. Tracking wheat rust on a continental scale. *Current Opinion in Plant Biology* 8: 441–449.

Lagudah ES, 2011. Molecular genetics of race non-specific rust resistance in wheat. *Euphytica* 179: 81–91.

Malihipour A, Najafian G, 2023. Evaluation of the moderate agro-climate zone elite wheat lines of Iran in terms of reaction to stem rust. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 12 (4): 425–437.

Nazaei K, 2008. Detection of Wheat Stem Rust Race TTKSK (Ug99) in Iran *Proceedings of the 11th International Wheat Genetics Symposium*, 24-29 August, Brisbane, Qld., Australia, Sydney University Press. 1000 pp.

Roelfs AP, Singh RP, Saari EE, 1992. Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. Mexico, D.F.: Cimmyt. 81 pp.

Safavi SA, Afshari F. 2021. Evaluation of slow rusting resistance to stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) in some elite wheat lines. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 10 (3): 15–28.

Schwarz T, 2020. Climate-data. org. AmbiWeb GmbH: Gernsbach, Germany) Available at http://es. climate-data. org/[Verified 15 December 2015].

Singh RP, Hodson DP, Huerta-Espino J, Jin Y, Bhavani S, Njau P, Herrera-Foessel S, Singh PK, Singh S, Govindan V, 2011. The emergence of Ug99 races of the stem rust fungus is a threat to world wheat production. *Annual Review of Phytopathology* 49: 465–481.

Singh RP, Hodson DP, Huerta-Espino J, Jin Y, Njau P, *et al*., 2008. Will stem rust destroy the world's wheat crop. *Advances in Agronomy* 98: 271–309.

Singh RP, Hodson DP, Jin Y, Lagudah ES, Ayliffe MA, *et al.*, 2015. Emergence and spread of new races of wheat stem rust fungus: continued threat to food security and prospects of genetic control. *Phytopathology* 105: 872–884.

Soresa DN, 2018. Evaluation of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for resistance against stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) diseases at seedling and adult stages. *African Journal of Agricultural Research* 13: 2904–2910.

Sweeney DW, Sun J, Taagen E, Sorrells ME, 2019. Genomic Selection in Wheat. Applications of Genetic and Genomic Research in Cereals. Elsevier. 380 pp.

Vahed Rezaei A, Asghari A, Norouzi M, Aharizad S, Roohparvar R, *et al*., 2023. Biometrical analysis of resistance to stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) in the winter wheat genotypes. *Journal of Plant Physiology & Breeding* 13(2): 113-130.

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