Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 18, Issue 2, 2026 p: 157-172

OPEN ACCESS

Research Paper

Evaluation of Durum Wheat Elite Lines for Resistance to Stem Rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*)

Ali Malihipour[1], Tohid Najafi Mirak[2], Leila Sadeghi[3], Saba Delfan[4], and Ali Omrani[5]

1- Associate Professor, Department of Cereal Research, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), AREEO, Karaj, Iran, (Corresponding author: a.malihipour@areeo.ac.ir)
2- Professor, Department of Cereal Research, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), AREEO, Karaj, Iran
3- Researcher, Department of Value of Cultivation and Use, Seed and Plant Certification Research Institute (SPCRI), AREEO, Karaj, Iran
4- Expert, Department of Value of Cultivation and Use, Seed and Plant Certification Research Institute (SPCRI), AREEO, Karaj, Iran
5- Assistant Professor, Department of Crop and Horticultural Science Research, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Ardabil Province (Moghan), AREEO, Parsabad, Iran

Received: 08 November, 2025 Revised: 20 February, 2026 Accepted: 22 March, 2026

Extended Abstract

Background: Identifying disease-resistant lines for release or use in crosses is considered part of the goals of wheat breeding programs. Stem rust disease of wheat, caused by *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, is one of the diseases of this crop that has been a threat to wheat production since the past. Unlike bread wheat, no specialized and specific study has been conducted or published on durum wheat resistance to stem rust in Iran. In this study, 20 elite lines obtained from each of the country's durum wheat breeding programs, including temperate-2015, warm-2015, temperate-2016, and warm-2016, were evaluated for disease resistance at seedling and adult-plant stages.

Methods: To investigate seedling resistance, three sets of experimental lines, including temperate-2015, warm-2015, and temperate-2016, were evaluated against four isolates/races of stem rust pathogen, *P. graminis* f. sp. *tritici*, at the seedling stage in the greenhouses of Cereal Research Department, Seed and Plant Improvement, Karaj, Albprz Province, Iran. Seeds of wheat lines were sown in pots containing a mixture of ordinary soil and peat moss (70% and 30%, respectively). After 10 days, when the first leaf of the seedlings developed well, they were inoculated separately using the isolates/races of the pathogen. The pots containing the inoculated plants were kept in a dark room at a temperature of 18 ± 2 °C and near-saturated humidity for 24 hours and then transferred to a greenhouse at a temperature of 22 ± 2 °C with 16 hours of light per day. After 14 days, infection types of the inoculated plants were recorded on a 0–4 scale. To conduct adult-plant studies, the 2015 lines were sown during two crop years 2015-16 and 2016-17, and the 2015 lines were sown during two crop years 2016-17 and 2017-18 in late winter at the Kelardasht Cereal Research Station, Kelardasht, Mazandaran Province, Iran. Seven grams of seeds from each line were sown in a one-meter row with a distance of 20 cm from the adjacent row. While the lines from 2015 were evaluated under natural infection conditions and artificial inoculations in the first and second years of the experiment, respectively, the lines from 2016 were evaluated in both years of the experiment under artificial inoculations. Artificial inoculations were carried out at early-heading wheat stage using the fungus isolate 94-32 (TTTTF race) previously collected from the Kelardasht region and increased in the greenhouse after purification. Inoculation was carried out by spraying a mixture of fungal spores and talc powder using a backpack sprayer. The severity of the disease was recorded at the end of the wheat soft dough stage (the color of the stems changed from green to straw color) according to the percentage of stem coverage by stem rust lesions on a scale of 0-100. Simultaneously, wheat response to infection was recorded, *i.e.*, determining the infection types of resistance (R), moderate resistance (MR), modereate susceptibile (MS), and susceptibile (S). For data analysis, infection types 0, 1, and 2 (low infection types) were regarded as resistance, and infection types 3 and 4 (high infection types) were considered susceptibility, according to the method mentioned for disease assessment at the seedling stage. In terms of resistance at the adult-plant stage, lines with disease severity of 30 or less, provided that they were not accompanied by the susceptibility infection type (S), were considered selectable lines.

Copyright ©2026. Malihipour et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1642]

Results: Results of the evaluation of all four sets of experimental lines against different isolates/races of the pathogen at seedling stage indicated diversity in the reaction of all four sets of these lines. Based on these results, nine lines (DM-94-1, DM-94-15, DM-94-20, DM-95-18, DM-95-19, DW-94-6, DW-94-8, DW-94-15, and DW-94-16) showed resistance to all four isolates/races of the pathogen, 17 lines were susceptible to them, and the remaining lines were resistant to three, two, or one isolate/race. Given that no virulence was observed on any of the four resistance genes *Sr24*, *Sr26*, *Sr32*, and *Sr40* by the four isolates/races used, the resistance of the nine lines mentioned against these isolates/races could have been caused by one or more of these genes or other unknown resistance genes. Based on the results of adult-plant studies, wheat lines of temperate-2015 and warm-2015, evaluated for their first year (2015-016) under natural disease infection, had a relatively low disease level, and it was possible to find lines with acceptable disease levels for selection. In the second year of the experiment of 2015 lines (2016-017) and in both years of the study of 2016 lines (2016-17 and 2017-18) that the experiments were conducted under artificial disease infection, the disease level of all the experimental lines was very high without any significant difference. Even though a significant number of experimental lines showed resistance to one or more isolates collected from Kelardasht at the seedling stage under greenhouse conditions, none of them had sufficient resistance to the disease at the adult-plant stage. This is probably due to the presence of different races at the time of the adult-plant stage in the Kelardasht region compared to the races used under greenhouse conditions.
Conclusion: Although a significant number of durum wheat lines had high resistance to one or more races of the stem rust pathogen at the seedling stage, given the high susceptibilty of these lines to the races of the fungus prevalent in the adult-plant experiment station (Kelardasht), it is clear that these lines do not have sufficient resistance to more races of the pathogen. Given this and the history of the epidemics of the disease on durum wheat by some races in some parts of the world, in case of a possible epidemic of the disease in Iran, it will be necessary to consider preparation for chemical control, in addition to relying on genetic resistance.

Keywords: Adult-plant resistance, Artificial inoculation, Epidemics, Seedling resistance, Susceptibility

How to Cite This Article: Malihipour, A., Najafi Mirak, T., Sadegh, L., Delfan, S., & Omrani, A. (2026). Evaluation of Durum Wheat Elite Lines for Resistance to Stem Rust (*Puccinia graminis* f. sp. tritici). *J Crop Breed,* 18(2), 157-172. DOI: 10.61882/jcb.2026.1642

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1642]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

ارزیابی لاین‌های امیدبخش گندم دوروم از نظر مقاومت به زنگ سیاه (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*)

علی ملیحی‌پور[۱]، توحید نجفی میرک[۲]، لیلا صادقی[۳]، صبا دلفان[۴] و علی عمرانی[۵]

۱- دانشیار، بخش تحقیقات غلات، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، (نویسنده مسوول: a.malihipour@areeo.ac.ir)

۲- استاد، بخش تحقیقات غلات، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳- محقق، بخش تحقیقات رفتارهای زراعی، مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۴- کارشناس، بخش تحقیقات رفتارهای زراعی، مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۵- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پارس‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۷ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۰۲

صفحه ۱۵۷ تا ۱۷۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: شناسایی لاین‌های مقاوم به بیماری‌ها به‌منظور معرفی رقم یا استفاده در تلاقی‌ها، به‌عنوان بخشی از اهداف برنامه‌های به‌نژادی گندم به‌شمار می‌رود. بیماری زنگ سیاه گندم، ناشی از قارچ *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*، یکی از بیماری‌های مهم گندم است که از گذشته دور تاکنون تهدیدی برای تولید آن بوده است. برخلاف گندم نان، تاکنون بررسی تخصصی و ویژه‌ای در ارتباط با مقاومت گندم دوروم نسبت به زنگ سیاه در ایران انجام یا منتشر نشده است. در تحقیق حاضر، لاین‌های امیدبخش گندم دوروم بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در سال‌های ۹۴ و ۹۵ با هدف شناسایی لاین‌های مقاوم به بیماری به‌منظور استفاده از آنها برای معرفی ارقام جدید، در شرایط گلخانه و مزرعه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها: برای انجام این بررسی، ۲۰ لاین امیدبخش به‌دست آمده از هر یک از برنامه‌های به‌نژادی دوروم بخش تحقیقات غلات شامل معتدل ۹۴، گرم ۹۴، معتدل ۹۵ و گرم ۹۵ در نظر گرفته شدند. برای انجام بررسی‌های مربوط به واکنش گیاهچه‌ای، سه دسته از لاین‌های آزمایشی شامل لاین‌های اقلیم معتدل سال‌های ۹۴ و ۹۵ و لاین‌های اقلیم گرم سال ۹۴ نسبت به چهار جدایه/نژاد از قارچ عامل بیماری در گلخانه‌های بخش تحقیقات غلات ارزیابی شدند. برای این منظور، بذرهای آزمایشی در گلدان‌های حاوی خاک معمولی و پیت ماس (به‌ترتیب ۷۰٪ و ۳۰٪) کاشته شدند و بعد از گذشت ۱۰ روز که برگ اول گیاهچه‌ها به‌خوبی توسعه یافت، اقدام به مایه‌زنی جداگانه آنها با استفاده از قارچ عامل بیماری گردید. گلدان‌های حاوی گیاهان مذکور به‌مدت ۲۴ ساعت در اتاقک تاریک با دمای ۱۸±۲ °C و رطوبت نزدیک به اشباع نگهداری و سپس به گلخانه با دمای ۲۲±۲ °C با ۱۶ ساعت روشنایی در شبانه‌روز منتقل شدند. بعد از گذشت ۱۴ روز، از تیپ آلودگی گیاهچه‌ها براساس مقیاس ۴–۰ یادداشت‌برداری به عمل آمد. برای انجام بررسی‌های گیاه کامل، لاین‌های سال ۹۴ طی دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ و لاین‌های سال ۹۵ طی دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ در اواخر زمستان در ایستگاه تحقیقات غلات کلاردشت (استان مازندران) کشت شدند. از هر لاین آزمایشی مقدار هفت گرم بذر در یک ردیف یک‌متری با فاصله ۲۰ سانتی‌متری از ردیف مجاور کشت گردید. لاین‌های مربوط به سال ۹۴ در سال اول اجرای آزمایش تحت شرایط آلودگی طبیعی و در سال دوم تحت شرایط مایه‌زنی مصنوعی و لاین‌های سال ۹۵ در هر دو سال اجرای آزمایش در شرایط مایه‌زنی مصنوعی ارزیابی شدند. مایه‌زنی خزانه‌ها اوایل سنبله‌دهی اکثریت بوته‌ها، با استفاده از جدایه 32-94 (نژاد TTTTF) قارچ که قبلاً از کلاردشت جمع‌آوری و پس از خالص‌سازی در گلخانه تکثیر شده بود، انجام گردید. مایه‌زنی از طریق پاشیدن مخلوطی از اسپورهای قارچ و پودر تالک نزدیک غروب آفتاب و با استفاده از اسپورپاش موتوری پشتی انجام شد. یادداشت‌برداری از شدت بیماری در اواخر مرحله خمیری نرم (تغییر رنگ ساقه‌ها از سبز به کاهی) با توجه به درصد پوشش ساقه توسط جوش‌های زنگ سیاه در مقیاس ۱۰۰–۰ انجام شد. همزمان، یادداشت‌برداری از واکنش گیاه در برابر آلودگی یعنی تعیین تیپ‌های آلودگی مقاومت (R)، نیمه مقاومت (MR)، نیمه حساسیت (MS) و حساسیت (S) انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، در ارتباط با داده‌های گیاهچه‌ای و مطابق روش گفته شده برای ارزیابی بیماری در این مرحله، تیپ‌های آلودگی ۰، ۱ و ۲ (آلودگی پایین) به‌معنای مقاومت و تیپ‌های آلودگی ۳ و ۴ (آلودگی بالا) به معنای حساسیت در نظر گرفته شدند. از نظر مقاومت در مرحله گیاه کامل، لاین‌های با شدت بیماری ۳۰ یا کمتر به شرط همراه نبودن با تیپ آلودگی حساسیت (S) به‌عنوان لاین‌های قابل انتخاب در نظر گرفته شدند.

یافته‌ها: نتایج حاصل از ارزیابی هر چهار دسته از لاین‌های آزمایشی در برابر جدایه‌ها/نژادهای مختلف قارچ عامل بیماری در مرحله گیاهچه نشان‌دهنده تنوع در واکنش هر چهار دسته از این لاین‌ها در برابر جدایه‌ها/نژادهای بیمارگر مذکور بود. براساس این نتایج، نه لاین آزمایشی شامل DM-94-1، DM-94-15، DM-94-20، DM-95-18، DM-95-19، DW-94-6، DW-94-8، DW-94-15 و DW-94-16 در برابر هر چهار جدایه/نژاد واکنش مقاومت و ۱۷ لاین در برابر آنها واکنش حساسیت داشتند و بقیه لاین‌ها در برابر سه، دو یا یک جدایه/نژاد مقاوم بودند. با توجه به عدم مشاهده پرآزاری روی هیچکدام از چهار ژن مقاومت *Sr24*، *Sr26*، *Sr32* و *Sr40* توسط چهار جدایه/نژاد مورد استفاده، مقاومت نه لاین گفته شده در برابر این جدایه‌ها/نژادها می‌تواند توسط یک یا چند تا از این ژن‌ها یا ژن‌های مقاومت ناشناخته دیگری ایجاد شده باشد. نتایج بررسی مقاومت گیاه کامل نشان داد که در سال اول اجرای بررسی، لاین‌های دوروم سال ۹۴ (شامل لاین‌های هر دو اقلیم معتدل و گرم) که در شرایط آلودگی طبیعی بیماری انجام شد، سطح بیماری نسبتاً پایین بود و امکان یافتن لاین‌های با میزان بیماری قابل قبول برای انتخاب وجود داشت. در سال دوم بررسی این لاین‌ها و در هر دو سال بررسی لاین‌های سال ۹۵ که آزمایش در شرایط آلودگی مصنوعی بیماری انجام شد، سطح بیماری همه لاین‌های آزمایشی بدون تفاوتی قابل‌توجه بسیار بالا بود و تنوع خاصی بین آنها مشاهده نشد. با وجود این‌که تعداد قابل توجهی از لاین‌های آزمایشی در مرحله گیاهچه در شرایط گلخانه نسبت به یک یا چند جدایه جمع‌آوری شده از منطقه کلاردشت واکنش مقاومت نشان داده بودند، هیچ‌یک از آنها در مرحله گیاه کامل از مقاومت کافی در برابر بیماری برخوردار نبودند. این موضوع احتمالاً ناشی از حضور نژادهایی متفاوت در زمان بالغ‌شدن گیاه در منطقه کلاردشت با نژادهایی است که در شرایط گلخانه استفاده شده بودند.

نتیجه‌گیری: اگرچه تعداد قابل‌توجهی از لاین‌های دوروم در مرحله گیاهچه در برابر یک یا چند نژاد از قارچ عامل بیماری مقاومت بالایی داشتند اما با توجه به حساسیت بالای این لاین‌ها در برابر نژادهای شایع قارچ در منطقه مورد آزمایش (کلاردشت)، مشخص می‌شود که این لاین‌ها از مقاومت کافی در برابر نژادهای بیشتری از قارچ عامل بیماری برخوردار نیستند. با توجه به این امر و با توجه به سابقه اپیدمی شدن بیماری روی گندم دوروم در برخی مناطق جهان توسط برخی نژادهای قارچ، در صورت احتمال اپیدمی شدن بیماری در کشور، علاوه‌بر تکیه بر مقاومت ژنتیکی، لازم خواهد خواهد بود آمادگی برای کنترل شیمیایی نیز در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: اپیدمی، حساسیت، مایه‌زنی مصنوعی، مقاومت گیاهچه‌ای، مقاومت گیاه کامل

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1642]

مقدمه

گندم که از مهم‌ترین منابع تأمین پروتئین انسان و کربوهیدرات‌های مورد نیاز بدن به‌شمار می‌رود، مهم‌ترین جزء تشکیل‌دهندهٔ رژیم‌های غذایی در مناطق مختلف جهان به‌شمار می‌رود. در ایران همانند بسیاری دیگر از کشورهای جهان، نان حاصل از آرد گندم مهم‌ترین ماده غذایی مردم را تشکیل می‌دهد و در تأمین انرژی، کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌های مورد نیاز بدن نقش عمده‌ای دارد. تلاش‌های جهانی به‌منظور افزایش تولید گندم هماهنگ با رشد جمعیت و افزایش تقاضا، افزایش سه برابری تولید نسبت به دههٔ ۱۹۶۰ را باعث شده است (Gustafson *et al*., 2009). با این وجود، هنوز صدها میلیون نفر در جهان از فقر غذایی و گرسنگی رنج می‌برند. جمعیت جهان که براساس آخرین اطلاعات منتشر شده توسط سازمان ملل متحد (سال ۲۰۲۴) در حدود ۸/۲ میلیارد نفر است (Anonymous, 2024)، تا سال ۲۰۵۰ به ۹/۷ میلیارد نفر خواهد رسید (Anonymous, 2015). با توجه به این امر، تولید گندم باید به میزان چشمگیری افزایش یابد تا پاسخگوی نیاز جمعیت در حال رشد جهان باشد.

علاوه بر افزایش سالیانه جمعیت جهان و کاهش مناطق تولید، کاهش محصول در اثر عوامل زنده و غیر زنده از عوامل مهم نگرانی از کمبود مواد غذایی در جهان به‌شمار می‌روند (Ma *et al*., 2014). در بین عوامل زنده خسارت‌زای گندم، عوامل بیماری‌زای قارچی از اهمیت زیادی برخوردارند. در این میان، زنگ سیاه گندم ناشی از قارچ *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Eriks. & Henn. به‌طور بالقوه یکی از تهدیدات جدی برای تولید گندم به‌شمار می‌رود. قارچ عامل این بیماری یک بیمارگر اجباری و چندمیزبانه است که توانایی ایجاد اپیدمی‌های گسترده و کاهش عملکرد شدید را دارد (Leonard & Szabo, 2005؛ Singh *et al*., 2008b). یوردوسپورهای[1] این قارچ نسبت به شرایط جوی مقاومت بالایی داشته و با پیمودن مسافت‌های بین قاره‌ای سبب همه‌گیری بیماری در مناطق مختلف جهان می‌شوند (Singh *et al*., 2008b). از نظر تاریخی، اپیدمی‌های زنگ سیاه در سراسر مناطق عمده تولید گندم روی داده است و ضرورت کنترل این بیماری بود که با معرفی ارقام گندم نیمه‌پاکوتاه و مقاوم به این بیماری سنگ بنای انقلاب سبز را بنیان گذاشت (Figueroa *et al*., 2018).

اگرچه زنگ سیاه گندم در بسیاری از مناطق جهان به‌خوبی کنترل شده است، مدل‌های پیش‌بینی با فرض عدم وجود مقاومت پایدار در گندم، خسارت جهانی ناشی از این بیماری در شرایط همه‌گیری شدید را به‌طور متوسط ۶/۲ میلیون تن در سال یا بیشتر تخمین می‌زنند (Pardey *et al*., 2013).

در ایران پس از نخستین گزارش از وقوع زنگ سیاه در سال ۱۳۲۶ (Esfandiari, 1947)، چندین اپیدمی از بیماری عمدتاً در نواحی جنوبی و شمالی کشور به‌وقوع پیوسته است (Sharif *et al*., 1970؛ Bamdadian & Torabi, 1978). در سال ۱۳۵۵ در اثر شرایط مساعد اقلیمی برای ظهور و توسعه بیماری در مناطق جنوب و جنوب شرقی کشور، میزان خسارت تا ۹۰٪ هم رسید (Bamdadian & Torabi, 1978).

برای مدیریت بیماری زنگ سیاه، انهدام گیاهان زرشک معمولی[2]، روش‌های زراعی، مبارزه شیمیایی و کشت ارقام مقاوم به بیماری از گذشته دور تاکنون مورد استفاده بوده‌اند. مقاومت ژنتیکی رایج‌ترین و مؤثرترین روش برای کنترل این بیماری به‌شمار می‌رود. تاکنون بیش از ۷۰ ژن مقاومت به زنگ سیاه[3] شناسایی شده‌اند (Hafeez *et al*., 2021؛ Kumar *et al*., 2022؛ McIntosh *et al*., 2017) که از میان آن‌ها ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای *Sr24*، *Sr26*، *Sr31*، *Sr36* و *Sr38* نقش مهمی در کاهش بیماری در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ در مناطق مختلف جهان داشته‌اند (Singh *et al.,* 2008a). همه این ژن‌ها که از خویشاوندان وحشی گندم یا چاودار به گندم منتقل شده‌اند، از نوع ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای هستند (McIntosh *et al*., 1995). یکی دیگر از ژن‌هایی که در ایجاد مقاومت به زنگ سیاه در گندم در دهه‌های پایانی قرن بیستم نقش مهمی داشته است، ژن مقاومت گیاه کامل *Sr2* است که از گندم مخروطی[4] به گندم معمولی منتقل شده است (McIntosh *et al*., 1995).

با وجود پیشرفت در شناسایی و به‌کارگیری ژن‌های مقاومت به بیماری، توانایی قارچ عامل بیماری در تکامل سریع و ایجاد نژادهای جدید همچنان یکی از مهم‌ترین چالش‌های اصلاح گندم است. با پیدایش نژادهای پرآزار از قارچ عامل بیماری و غلبه آنها بر ژن‌های مقاومت به بیماری، بسیاری از این ژن‌ها کارآیی خود را در برابر بیماری از دست می‌دهند و از برنامه‌های اصلاحی گندم کنار گذاشته می‌شوند. در این ارتباط می‌توان به ظهور نژاد جدیدی از قارچ عامل بیماری با نام TTKSK (معروف به نژاد Ug99) در سال ۱۹۹۸ اشاره کرد که روی ژن مقاومت بسیار مهم *Sr31* پرآزاری دارد و با پیدایش آن تولید جهانی گندم مجدداً توسط زنگ سیاه در معرض خطر قرار گرفته است. تاکنون ۱۵ جور[5] از نژاد اولیه و کلاسیک Ug99 شناسایی شده‌اند که توانایی غلبه بر ژن‌های مقاومت کلیدی مانند *Sr24*، *Sr31*، *Sr36*، *Sr38* و *SrTmp* را دارا هستند (Anonymous, 2021). به‌همین علت، پیشنهاد شده است که هرکدام از این جورها به نام نژاد[6] و مجموع آنها به نام گروه نژادی Ug99[7] نامیده شوند (Singh *et al*., 2015). با توجه به پرآزاری گروه نژادی Ug99 برای اکثر ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای زنگ سیاه، این نژادها تهدیدی جدی برای تولید گندم به‌شمار می‌روند. علاوه بر این نژادها، ظهور نژاد دیگری با نام TKTTF (معروف به نژاد دیگالو[8]) در سال زراعی

1. uredospore
2. common barberry (*Berberis vulgaris*)
3. *Sr* genes
4. cone wheat (*Triticum turgidum*)
5. Variant
6. Race
7. Ug99 race group
8. Digalu

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1642]

۱۴-۲۰۱۳ با ایجاد همه‌گیری روی متداول‌ترین رقم مورد کاشت (دیگالو) باعث از بین رفتن حدود ۱۰۰٪ محصول این رقم گردید (Olivera *et al*., 2015). در ایران نیز وجود برخی نژادهای قارچ عامل بیماری از جمله نژاد TTTTF که هم روی ژن‌های مقاومت مهمی از گندم دارای پرآزاری هستند و هم در دامنه وسیعی از کشور قابل مشاهده هستند، تهدیدی برای تولید گندم کشور به‌شمار می‌رود (Omrani *et al*., 2018؛ Patpour, 2013).

از زمان ظهور و گسترش نژاد Ug99 و سایر نژادهای مربوطه با پرآزاری روی بسیاری از ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای، استفاده از ژن‌های غیراختصاصی مقاومت به زنگ سیاه یا همان ژن‌های مقاومت گیاه کامل در گندم مورد توجه قرار گرفته است. نکته قابل توجه در باره این ژن‌ها، اثرات افزایشی آنها است و اینکه ترکیب تعدادی از آنها در یک رقم گندم می‌تواند واکنشی در حد ایمنی کامل و پایدار در برابر بیماری ایجاد کند (Singh *et al*., 2011). ژن مقاومت گیاه کامل *Sr2* باعث زنگ‌زدگی تدریجی[1] می‌شود (Sunderwirth & Roelfs, 1980). ترکیب این ژن با چند ژن مقاومت ناشناخته دیگر دارای مکانیسم زنگ‌زدگی تدریجی که احتمالاً از ارقام گندم تاچر[2] و کریس[3] منشأ گرفته‌اند و به نام کمپلکس *Sr2*[4] شناخته می‌شود، مقاومت پایداری را نسبت به زنگ سیاه در ژرم‌پلاسم گندم دانشگاه مینه‌سوتای آمریکا، دانشگاه سیدنی استرالیا و گندم بهاره اصلاح شده توسط دکتر بورلاگ در برنامه به‌نژادی گندم سیمیت ایجاد کرده است (Singh *et al*., 2011).

هر نوع برنامه اصلاحی گندم برای معرفی ارقام مقاوم به زنگ سیاه، بیش از همه به بررسی ژرم‌پلاسم مقاوم به بیماری، شناسایی منابع مقاومت، انتخاب والدهای مقاوم به‌منظور انجام تلاقی‌های مناسب و غربال نتاج حاصل از آنها به‌منظور شناسایی و حفظ لاین‌های برتر متکی خواهد بود. به‌دنبال گزارش نژاد Ug99 از ایران در سال ۱۳۸۶ (Nazari *et al*., 2009) و اهمیت یافتن مجدد بیماری در کشور، بررسی‌های نسبتاً زیادی در ارتباط با تعیین واکنش ارقام و لاین‌های کشور نسبت به بیماری، شناسایی منابع مقاومت به بیماری و غربال ژرم‌پلاسم گندم انجام شده است. در هر حال، عمده این بررسی‌ها فقط در مرحله گیاهچه در شرایط گلخانه انجام شده‌اند و هیچکدام از آنها به‌طور اختصاصی روی گندم دوروم متمرکز نبوده‌اند. در این پژوهش، به ارزیابی مقاومت چهار دسته از لاین‌های امیدبخش گندم دوروم برنامه‌های به‌نژادی بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر متشکل از لاین‌های دو اقلیم معتدل و گرم در سال‌های ۹۴ و ۹۵ در برابر زنگ سیاه پرداخته شده است. ارزیابی هر دو دسته از لاین‌های اقلیم معتدل به‌همراه لاین‌های اقلیم گرم در سال ۹۴ در دو مرحله گیاهچه و گیاه کامل و بررسی لاین‌های اقلیم گرم در سال ۹۵ فقط در مرحله گیاه کامل انجام شده است.

مواد و روش‌ها

لاین‌های گندم مورد آزمایش

در این پژوهش، چهار دسته از لاین‌های گندم امیدبخش متعلق به بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به‌همراه رقم حساس به بیماری موراکو[5] به‌عنوان شاهد حساس مورد بررسی قرار گرفتند. جزئیات لاین‌های آزمایشی مورد استفاده در این بررسی به شرح زیر بودند:

- لاین‌های گندم دوروم امیدبخش معتدل سال ۹۴ (ERDYT-M-94) به تعداد ۲۰ شماره (جدول ۱)
- لاین‌های گندم دوروم امیدبخش معتدل سال ۹۵ (ERDYT-M-95) به تعداد ۲۰ شماره (جدول ۲)
- لاین‌های گندم دوروم امیدبخش گرم سال ۹۴ (ERDYT-W-94) به تعداد ۲۰ شماره (جدول ۳)
- لاین‌های گندم دوروم امیدبخش گرم سال ۹۵ (ERDYT-W-95) به تعداد ۲۰ شماره (جدول ۴)

شایان ذکر است که در هر دسته از مواد آزمایشی گفته شده در بالا، دو لاین آزمایشی (لاین‌های شماره‌های ۱ و ۲ در هر کدام از جدول‌های گفته شده) به‌ترتیب ارقام شاهد تجاری گندم دوروم و گندم نان هستند.

تهیه زادمایه زنگ سیاه

چهار جدایه از قارچ عامل بیماری زنگ سیاه (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) که از مناطق مختلف کشور جمع‌آوری شده بودند و پس از خالص‌سازی و تعیین نژاد (Jin *et al*., 2008؛ Roelfs & Martens, 1988) در واحد پاتولوژی بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر نگهداری می‌شدند، بعد از تکثیر مجدد، در بررسی حاضر مورد استفاده قرار گرفتند. مشخصات جدایه‌ها/نژادهای مذکور به شرح زیر است:

- جدایه 32-94 (نژاد TTTTF) جمع‌آوری شده از منطقه کلاردشت (استان مازندران)، دارای پرآزاری روی ژن‌های *Sr5*، *Sr6*، *Sr7a*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr8b*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr11*، *Sr12*، *Sr13*، *Sr14*، *Sr15*، *Sr16*، *Sr17*، *Sr18*، *Sr19*، *Sr20*، *Sr21*، *Sr27*، *Sr28*، *Sr29*، *Sr30*، *Sr33*، *Sr34*، *Sr35*، *Sr36*، *Sr37*، *Sr38*، *SrMcN* و *SrTmp* و عدم پرآزاری روی ژن‌های *Sr24*، *Sr25*، *Sr26*، *Sr31*، *Sr32*، *Sr39* و *Sr40*.
- جدایه 15-94 (نژاد PTRTF) جمع‌آوری شده از منطقه کلاردشت (استان مازندران)، دارای پرآزاری روی ژن‌های *Sr5*، *Sr6*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr8b*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr11*، *Sr12*، *Sr13*، *Sr14*، *Sr15*، *Sr16*، *Sr17*، *Sr18*، *Sr19*، *Sr20*، *Sr25*، *Sr27*، *Sr28*، *Sr29*، *Sr34*، *Sr35*، *Sr36*، *Sr37*، *Sr38*، *Sr39*، *SrMcN* و

1. Slow rusting
2. Thatcher
3. Chris
4. Sr2-complex
5. Morocco

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1642]

SrTmp و عدم پرآزاری روی ژن‌های *Sr7a*، *Sr21*، *Sr22*، *Sr23*، *Sr24*، *Sr26*، *Sr30*، *Sr31*، *Sr32*، *Sr33* و *Sr40*.

– جدایه 31-95 (نژاد TKTTF) جمع‌آوری‌شده از منطقه کلاردشت (استان مازندران)، دارای پرآزاری روی ژن‌های *Sr5*، *Sr6*، *Sr7a*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr8b*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr12*، *Sr14*، *Sr15*، *Sr16*، *Sr17*، *Sr18*، *Sr19*، *Sr20*، *Sr21*، *Sr23*، *Sr28*، *Sr29*، *Sr30*، *Sr34*، *Sr35*، *Sr36*، *Sr37*، *Sr38*، *SrMcN* و *SrTmp* و عدم پرآزاری روی ژن‌های *Sr13*، *Sr22*، *Sr24*، *Sr25*، *Sr26*، *Sr27*، *Sr31*، *Sr32*، *Sr33*، *Sr39* و *Sr40*.

– جدایه 2-95 (نژاد TTKTK، از گروه نژادی Ug99) جمع‌آوری شده از منطقه شاوور (استان خوزستان)، دارای پرآزاری روی ژن‌های *Sr5*، *Sr6*، *Sr7a*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr8b*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr11*، *Sr12*، *Sr14*، *Sr15*، *Sr16*، *Sr17*، *Sr18*، *Sr19*، *Sr20*، *Sr21*، *Sr23*، *Sr28*، *Sr29*، *Sr30*، *Sr31*، *Sr33*، *Sr34*، *Sr37*، *Sr38*، *SrMcN* و *SrTmp* و عدم پرآزاری روی ژن‌های *Sr13*، *Sr22*، *Sr24*، *Sr25*، *Sr26*، *Sr27*، *Sr32*، *Sr35*، *Sr36*، *Sr39* و *Sr40*.

جدایه 32-94 (نژاد TTTTF) علاوه بر استفاده در آزمایش‌های گلخانه‌ای، جهت مایه‌زنی مصنوعی در آزمایش‌های مزرعه‌ای کلاردشت نیز به‌کار گرفته شد. این نژاد در مناطق مختلف کشور شیوع گسترده‌ای دارد.

بررسی مقاومت در مرحله گیاهچه

سه دسته از لاین‌های آزمایشی شامل لاین‌های اقلیم معتدل در سال‌های ۹۴ و ۹۵ و لاین‌های اقلیم گرم در سال ۹۴ نسبت به هر چهار جدایه/نژاد از قارچ عامل بیماری در مرحله گیاهچه مورد ارزیابی قرار گرفتند و به دلایل فنی فرصتی برای ارزیابی لاین‌های اقلیم گرم در سال ۹۵ در این مرحله وجود نداشت. همه بررسی‌های مربوطه در این مرحله در گلخانه‌های واحد پاتولوژی بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در کرج انجام شدند. برای این منظور، بذرهای آزمایشی گندم در گلدان‌های با دهانه چهارگوش به ضلع ۸/۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۷/۵ سانتی‌متر حاوی مخلوط خاک معمولی و پیت ماس (به‌ترتیب ۷۰٪ و ۳۰٪) کاشته شدند. در هر گلدان چهار لاین و از هر لاین شش تا ۱۰ بذر به‌صورت کپه‌ای در چهارگوشه گلدان کاشته شدند. بعد از گذشت ۱۰ روز، زمانی که برگ اول گیاهچه‌ها به‌خوبی توسعه یافت، مایه‌زنی جداگانه آنها با استفاده از سوسپانسیون اسپورهای قارچ عامل بیماری در حلال سالترول[1] (در دز ۱۰ میلی‌گرم اسپور در ۱۰ میلی‌لیتر حلال) انجام شد. به‌منظور اطمینان از استقرار بیماری روی لاین‌های آزمایشی و ثبت بالاترین واکنش آنها در برابر بیماری، هر جدایه از قارچ عامل بیماری در دو تکرار مجزا روی لاین‌های آزمایشی مایه‌زنی شد. گلدان‌های حاوی گیاهان مایه‌زنی شده به‌مدت ۲۴ ساعت در اتاقک تاریک با دمای °C ۱۸±۲ و رطوبت نزدیک به اشباع نگهداری و سپس به گلخانه با دمای °C ۲۲±۲ با ۱۶ ساعت روشنایی در شبانه‌روز منتقل شدند. بعد از گذشت ۱۴ روز، از تیپ آلودگی گیاهچه‌ها براساس مقیاس ۴–۰ استاکمن و همکاران (Stakman *et al*., 1962) که توسط مک‌اینتاش و همکاران (McIntosh *et al*., 1995) اصلاح شده است، یادداشت‌برداری به‌عمل آمد.

بررسی مقاومت در مرحله گیاه کامل

هر چهار دسته از لاین‌های آزمایشی در مرحله گیاه کامل در شرایط مزرعه در ایستگاه تحقیقات غلات کلاردشت واقع در استان مازندران مورد بررسی قرار گرفتند. به منظور افزایش دقت آزمایش و اطمینان از صحت داده‌های مورد جمع‌آوری، هر دسته از مواد گفته شده به‌طور جداگانه در قالب طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار کاشته شد. با هدف کمک به سبز ماندن ساقه‌های سبز به مدتی طولانی‌تر در انتهای فصل زراعی و در نتیجه افزایش احتمال گسترش بیماری روی لاین‌های آزمایشی گندم، این لاین‌ها در اواخر زمستان کاشته شدند. هر تکرار از هر لاین آزمایشی به‌میزان هفت گرم بذر در یک ردیف یک‌متری با فاصله ۲۰ سانتی‌متری از ردیف مجاور کشت گردید. همچنین، با هدف گسترش بیماری و پخش آن در خزانه‌های آزمایشی، پیرامون خزانه‌ها رقم حساس موراکو کاشته شد. لاین‌های مربوط به سال ۹۴ در سال اول اجرای آزمایش (زراعی ۹۵–۱۳۹۴) تحت شرایط آلودگی طبیعی و در سال دوم (۹۶–۱۳۹۵) تحت شرایط مایه‌زنی مصنوعی و لاین‌های سال ۹۵ در هر دو سال اجرای آزمایش (۹۶–۱۳۹۵ و ۹۷–۱۳۹۶) در شرایط مایه‌زنی مصنوعی ارزیابی شدند. با توجه به برنامه مایه‌زنی مصنوعی خزانه‌ها در سال‌های زراعی ۹۶–۱۳۹۵ و ۹۷–۱۳۹۶، این عملیات اوایل سنبله‌دهی اکثریت بوته‌های گندم، به‌ترتیب در تاریخ‌های ۹۶/۰۲/۲۰ و ۹۷/۰۳/۲۰، با استفاده از جدایه 32-94 (نژاد TTTTF) قارچ که قبلاً از منطقه کلاردشت جمع‌آوری شده بود و پس از خالص‌سازی در گلخانه تکثیر شد، انجام گردید. مایه‌زنی گیاهان از طریق پاشیدن مخلوطی از اسپورهای قارچ و پودر تالک (به نسبت یک گرم اسپور در یک کیلوگرم پودرتالک) روی گیاهان نزدیک غروب آفتاب، با استفاده از اسپورپاش موتوری پشتی و در حجمی انجام شد که از دریافت مخلوط اسپور و پودر تالک توسط گیاهان اطمینان حاصل شود. یادداشت‌برداری از شدت بیماری در اواخر مرحله خمیری نرم (تغییر رنگ ساقه‌ها از سبز به کاهی) با توجه به درصد پوشش ساقه توسط جوش‌های زنگ سیاه با استفاده از مقیاس اصلاح شده کاب[2] (Peterson *et al*., 1948) در مقیاس ۱۰۰–۰ انجام شد. همزمان، یادداشت‌برداری از واکنش گیاه در برابر آلودگی یعنی تعیین تیپ‌های آلودگی مقاومت (R)، نیمه مقاومت (MR)، نیمه حساسیت (MS) و حساسیت (S) براساس روش رالفز و همکاران (Roelfs *et al*., 1992) انجام شد.

تجزیه و تحلیل ژنتیکی واکنش به بیماری

در ارتباط با داده‌های گیاهچه‌ای و مطابق روش گفته شده برای ارزیابی بیماری در این مرحله، تیپ‌های آلودگی ۰، ۱ و

1. Soltrol® 170
2. Modified Cobb scale

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1642]

۲ (آلودگی پایین) به‌معنای مقاومت و تیپ‌های آلودگی ۳ و ۴ (آلودگی بالا) به‌معنای حساسیت در نظر گرفته شدند. از نظر مقاومت در مرحله گیاه کامل، در صورت تفاوت در میزان بیماری در تکرارهای مختلف، بالاترین میزان بیماری مشاهده شده روی تکرار یا تکرارهای مربوطه و در صورت یکسان بودن بیماری روی هر سه تکرار، هر میزان بیماری مشاهده شده روی آنها به‌عنوان میزان بیماری نهایی روی لاین آزمایشی مربوطه در نظر گرفته شد. با توجه به داده‌های جمع‌آوری‌شده طی دو سال اجرای آزمایش، لاین‌های با شدت بیماری ۳۰ یا کمتر به شرط همراه نبودن با تیپ آلودگی حساسیت (S) به‌عنوان لاین‌های قابل انتخاب از نظر مقاومت گیاه کامل در نظر گرفته شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از ارزیابی هر چهار دسته از لاین‌های آزمایشی در برابر جدایه‌ها/نژادهای مختلف قارچ عامل بیماری در مرحله گیاهچه نشان‌دهنده تنوع در واکنش هر چهار دسته از لاین‌ها در برابر جدایه‌ها/نژادهای مختلف بودند (جدول‌های ۱، ۲، ۳ و ۴). بیشترین فراوانی تیپ آلودگی مقاومت (تیپ‌های آلودگی بین ۰ تا ۲) در مرحله گیاهچه در بین هر سه دسته از لاین‌های آزمایشی بررسی شده در شرایط گلخانه، به‌ترتیب در برابر جدایه‌های 95-2 (نژاد TTKTK)، 94-15 (نژاد PTRTF)، 95-31 (نژاد TKTTF) و 94-32 (نژاد TTTTF) مشاهده شد. از نظر مقایسه واکنش لاین‌های آزمایشی در برابر جدایه‌ها/نژادهای مورد استفاده، نه لاین در برابر هر چهار جدایه/نژاد واکنش مقاومت و ۱۷ لاین در برابر آنها واکنش حساسیت داشتند و بقیه لاین‌ها در برابر سه، دو یا یک جدایه/نژاد مقاومت و در برابر بقیه جدایه‌ها/نژادها حساسیت نشان دادند. این تنوع در واکنش‌ها نشان‌دهنده‌ی تفاوت بیماری‌زایی میان نژادهای قارچ عامل بیماری و همچنین پاسخ‌های متفاوت لاین‌های آزمایشی نسبت به این نژادها است. چنین نتایجی بیانگر تعامل پیچیده بین ژنوتیپ‌های گندم (میزبان) و نژادهای قارچ (بیمارگر) هستند و اهمیت غربال‌گری دقیق برای شناسایی منابع ژنتیکی مقاوم را نشان می‌دهند.

بر اساس نتایج بررسی حاضر، نه لاین آزمایشی شامل DM-94-1، DM-94-15، DM-94-20 (جدول ۱)، DM-95-18، DM-95-19 (جدول ۲)، و DW-94-6، DW-94-8، DW-94-15 و DW-94-16 (جدول ۳) در برابر هر چهار جدایه/نژاد از قارچ عامل بیماری مقاومت نشان دادند. با توجه به این که پرآزاری اقلاً یکی از این جدایه‌ها/نژادها روی ۳۹ ژن مقاومت به بیماری شامل ژن‌های *Sr5*، *Sr6*، *Sr7a*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr8b*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr11*، *Sr12*، *Sr13*، *Sr14*، *Sr15*، *Sr16*، *Sr17*، *Sr18*، *Sr19*، *Sr20*، *Sr21*، *Sr23*، *Sr25*، *Sr27*، *Sr28*، *Sr29*، *Sr30*، *Sr31*، *Sr33*، *Sr34*، *Sr35*، *Sr36*، *Sr37*، *Sr38*، *Sr39*، *SrMcN* و *SrTmp* به اثبات رسیده است (مواد و روش‌ها)، مقاومت در برابر این جدایه‌ها/نژادها نمی‌تواند ناشی از این ژن‌ها باشد. از طرف دیگر، با توجه به عدم مشاهده پرآزاری روی هیچکدام از چهار ژن مقاومت *Sr24*، *Sr26*، *Sr32* و *Sr40* توسط چهار جدایه/نژاد مذکور (مواد و روش‌ها)، مقاومت این لاین‌ها در برابر این جدایه‌ها/نژادها می‌تواند توسط یک یا چند تا از این ژن‌ها یا ژن‌های مقاومت ناشناخته دیگری ایجاد شده باشد.

با توجه به مقاومت لاین آزمایشی DM-94-3 در برابر سه جدایه/نژاد 94-32 (TTTTF)، 94-15 (PTRTF) و 95-31 (TKTTF) (جدول ۱) و با توجه به عدم مشاهده پرآزاری روی هیچکدام از پنج ژن مقاومت *Sr24*، *Sr26*، *Sr31*، *Sr32* و *Sr40* توسط سه جدایه/نژاد مذکور، مقاومت لاین مذکور در برابر این جدایه‌ها/نژادها می‌تواند توسط یک یا چند تا از این ژن‌ها یا ژن‌های مقاومت ناشناخته دیگری ایجاد شده باشد. به‌طور مشابه، با توجه به مقاومت چهار لاین آزمایشی DM-94-10 (جدول ۱)، DM-95-16، DM-95-17 (جدول ۲) و DW-94-12 (جدول ۳) در برابر سه جدایه/نژاد 94-32 (TTTTF)، 94-15 (PTRTF) و 95-2 (TTKTK) و با توجه به عدم مشاهده پرآزاری روی هیچکدام از چهار ژن مقاومت *Sr24*، *Sr26*، *Sr32* و *Sr40* توسط این سه جدایه/نژاد، مقاومت لاین‌های مذکور در برابر این جدایه‌ها/نژادها می‌تواند توسط یک یا چند تا از این ژن‌ها یا ژن‌های مقاومت ناشناخته دیگری ایجاد شده باشد. همچنین، با توجه به مقاومت هفت لاین آزمایشی DM-95-3، DM-95-4، DM-95-6، DM-95-20 (جدول ۲)، DW-94-4، DW-94-17 و DW-94-18 (جدول ۳) در برابر سه جدایه/نژاد 94-15 (PTRTF)، 95-31 (TKTTF) و 95-2 (TTKTK) و با توجه به عدم مشاهده پرآزاری روی هیچکدام از پنج ژن مقاومت *Sr22*، *Sr24*، *Sr26*، *Sr32* و *Sr40* توسط این سه جدایه/نژاد، مقاومت لاین‌های مذکور در برابر این جدایه‌ها/نژادها می‌تواند توسط یک یا چند تا از این ژن‌ها یا ژن‌های مقاومت ناشناخته دیگری ایجاد شده باشد.

با توجه به مقاومت لاین آزمایشی DM-95-8 در برابر دو جدایه/نژاد 94-32 (TTTTF) و 95-2 (TTKTK) (جدول ۲) و با توجه به عدم مشاهده پرآزاری روی هیچ‌کدام از شش ژن مقاومت *Sr24*، *Sr25*، *Sr26*، *Sr32*، *Sr39* و *Sr40* توسط دو جدایه/نژاد مذکور، مقاومت لاین مذکور در برابر این دو جدایه/نژاد می‌تواند توسط یک یا چند تا از این ژن‌ها یا ژن‌های مقاومت ناشناخته دیگری ایجاد شده باشد. به‌طور مشابه، با توجه به مقاومت لاین آزمایشی DM-94-19 در برابر دو جدایه/نژاد 94-15 (PTRTF) و 95-31 (TKTTF) (جدول ۱) و با توجه به عدم مشاهده پرآزاری روی هیچکدام از هفت ژن مقاومت *Sr22*، *Sr24*، *Sr26*، *Sr31*، *Sr32*، *Sr33* و *Sr40* توسط این دو جدایه/نژاد، مقاومت لاین مذکور در برابر این دو جدایه/نژاد می‌تواند توسط یک یا چند تا از این ژن‌ها یا ژن‌های مقاومت ناشناخته دیگری ایجاد شده باشد. همچنین، با توجه به مقاومت چهار لاین آزمایشی DM-94-9 (جدول ۱)، DM-95-1، DM-95-12 (جدول ۲) و DW-94-12 (جدول ۳) در برابر دو جدایه/نژاد 94-15 (PTRTF) و 95-2 (TTKTK) و با توجه به عدم مشاهده پرآزاری روی هیچکدام از پنج ژن مقاومت *Sr22*، *Sr24*، *Sr26*، *Sr32* و *Sr40* توسط این دو جدایه/نژاد، مقاومت لاین‌های مذکور در برابر این دو

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1642]

جدایه/نژاد می‌تواند توسط یک یا چند تا از این ژن‌ها یا ژن‌های مقاومت ناشناخته دیگری ایجاد شده باشد. علاوه بر آن، با توجه به مقاومت سه لاین آزمایشی DM-94-14، DM-94-16 و DM-94-17 (جدول ۱) در برابر دو جدایه/نژاد 31-95 (TKTTF) و 2-95 (TTKTK) و با توجه به عدم مشاهده پرآزاری روی هیچکدام از نه ژن مقاومت *Sr13*، *Sr22*، *Sr24*، *Sr25*، *Sr26*، *Sr27*، *Sr32*، *Sr39* و *Sr40* توسط این دو جدایه/نژاد، مقاومت لاین‌های مذکور در برابر این دو جدایه/نژاد می‌تواند توسط یک یا چند تا از این ژن‌ها یا ژن‌های مقاومت ناشناخته دیگری ایجاد شده باشد.

در بررسی حاضر، چهار لاین آزمایشی DM-94-4، DM-94-11 (جدول ۱)، DM-95-5 و DM-95-10 (جدول ۲) فقط در برابر جدایه/نژاد 15-94 (PTRTF) مقاومت نشان دادند. با توجه به این که این جدایه/نژاد روی ۱۱ ژن مقاومت *Sr7a*، *Sr21*، *Sr22*، *Sr23*، *Sr24*، *Sr26*، *Sr30*، *Sr31*، *Sr32*، *Sr33* و *Sr40* پرآزاری ندارد، احتمال می‌رود که ژن‌ها یا ژن‌های مقاومت ناشناخته دیگری در ایجاد مقاومت این لاین‌ها در برابر این جدایه/نژاد دخالت داشته باشند. به‌طور مشابه، با توجه به مقاومت دو لاین آزمایشی DM-94-6 (جدول ۱) و DW-94-7 (جدول ۳) در برابر جدایه/نژاد 31-95 (TKTTF) و با توجه به عدم مشاهده پرآزاری روی هیچکدام از ۱۱ ژن مقاومت *Sr13*، *Sr22*، *Sr24*، *Sr25*، *Sr26*، *Sr27*، *Sr31*، *Sr32*، *Sr33*، *Sr39* و *Sr40* توسط این جدایه/نژاد، مقاومت لاین‌های مذکور در برابر این جدایه/نژاد می‌تواند توسط یک یا چند تا از این ژن‌ها یا ژن‌های مقاومت ناشناخته دیگری ایجاد شده باشد. همچنین، با توجه به مقاومت پنج لاین آزمایشی DM-94-2، DM-94-5، DM-94-12 (جدول ۱)، DM-95-2 و DM-95-13 (جدول ۳) در برابر جدایه/نژاد 2-95 (TTKTK) و با توجه به عدم مشاهده پرآزاری روی هیچکدام از ۱۱ ژن مقاومت *Sr13*، *Sr22*، *Sr24*، *Sr25*، *Sr26*، *Sr27*، *Sr32*، *Sr35*، *Sr36*، *Sr39* و *Sr40* توسط این جدایه/نژاد، مقاومت لاین‌های مذکور در برابر این جدایه/نژاد می‌تواند توسط یک یا چند تا از این ژن‌ها یا ژن‌های مقاومت ناشناخته دیگری ایجاد شده باشد.

در این بررسی، به غیر از لاین‌های آزمایشی گفته شده در بالا، تعداد ۱۷ لاین آزمایشی همانند شاهد حساس موراکو در برابر هر چهار جدایه/نژاد مورد بررسی حساسیت بالایی داشتند (جدول‌های ۱، ۲، ۳ و ۴). تصور می‌شود که این لاین‌ها فاقد ژن‌های مقاومت به بیماری در برابر این جدایه‌ها/نژادها باشند.

نتایج بررسی مقاومت گیاه کامل در شرایط مزرعه در منطقه کلاردشت نشان دادند که در سال اول اجرای بررسی لاین‌های دوروم سال ۹۴ (شامل لاین‌های هر دو اقلیم معتدل و گرم) که در شرایط آلودگی طبیعی بیماری انجام شد، سطح بیماری نسبتاً پایین بود و امکان یافتن لاین‌های با میزان بیماری قابل قبول برای انتخاب وجود داشت (جدول‌های ۱ و ۲). در سال دوم بررسی این لاین‌ها و در هر دو سال بررسی لاین‌های سال ۹۵ که آزمایش در شرایط آلودگی مصنوعی بیماری و از طریق اسپورپاشی با قارچ عامل بیماری انجام شد، سطح بیماری همه لاین‌های آزمایشی بدون تفاوتی قابل توجه بسیار بالا بود و تنوع خاصی بین آنها مشاهده نشد (جدول‌های ۱، ۲، ۳ و ۴). این امر بار دیگر اهمیت مایه‌زنی مصنوعی و افزایش سطح بیماری در خزانه‌های بیماری‌ها به‌منظور نمایش ماهیت واقعی لاین‌های آزمایشی از نظر واکنش به بیماری و امکان انتخاب لاین‌های مناسب را به اثبات می‌رساند. همچنین، این نتایج نشان می‌دهند که لاین‌های مورد آزمایش در مرحله گیاه کامل در شرایط منطقه و در برابر نژاد یا نژادهای شایع در آن از مقاومت کافی برخوردار نیستند. حتی با این‌که تعداد قابل‌توجهی از لاین‌های آزمایشی در مرحله گیاهچه در شرایط گلخانه نسبت به یک یا چند جدایه جمع‌آوری شده از منطقه کلاردشت واکنش مقاومت نشان داده بودند، هیچیک از آنها در مرحله گیاه کامل از مقاومت کافی در برابر بیماری برخوردار نبودند. این موضوع احتمالاً ناشی از حضور نژادهایی متفاوت در زمان بالغشدن گیاه در منطقه کلاردشت با نژادهایی است که در شرایط گلخانه استفاده شده بودند.

در تحقیق حاضر، ارقام تجاری دنا (با شماره DM-94-1 در آزمایش معتدل سال ۹۴)، هانا (با شماره DM-95-1 در آزمایش معتدل سال ۹۵)، پارسی (با شماره DM-94-2 در آزمایش معتدل سال ۹۴ و شماره DM-95-2 در آزمایش معتدل سال ۹۵)، شبرنگ (با شماره DW-94-1 در آزمایش گرم سال ۹۴ و شماره DW-95-1 در آزمایش گرم سال ۹۵) و مهرگان (با شماره DW-94-2 در آزمایش گرم سال ۹۴ و شماره DW-95-2 در آزمایش گرم سال ۹۵) به‌عنوان شاهدهای تجاری مورد استفاده قرار گرفتند. گندم دوروم رقم دنا که در سال ۱۳۸۶ برای کشت در استان‌های گلستان، تهران، کرمانشاه، لرستان، خوزستان، اصفهان، کرمان، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی و سایر مناطق مشابه در هر دو اقلیم معتدل و گرم معرفی شد، در زمان معرفی در برابر زنگ زرد، سیاهک پنهان و سیاهک ناقص مقاوم بود (Malihipour *et al*., 2020b). همچنین، گندم دوروم رقم هانا که در سال ۱۳۹۴ برای کشت در مناطق معتدل کشور شامل استان‌های تهران، البرز، خراسان رضوی، اصفهان و کرمانشاه و شمال استان فارس معرفی گردید، در زمان معرفی در برابر زنگ زرد نیمه‌مقاوم تا مقاوم و در برابر زنگ قهوه‌ای مقاوم بود (Malihipour *et al*., 2020b). در هر حال، واکنش دو رقم گفته شده نسبت به بیماری زنگ سیاه نه در زمان معرفی و نه بعداً منتشر نشده است. در مطالعه حاضر، در حالی‌که این دو رقم در مرحله گیاهچه در شرایط گلخانه در برابر جدایه‌ها/نژادهای استفاده شده برای بررسی مقاومت به بیماری واکنش‌های متفاوتی نشان دادند، هر دو رقم اقلاً در یکی از دو سال اجرای آزمایش در مرحله گیاه کامل در شرایط مزرعه به شدت در برابر بیماری حساس بودند و میزان بیماری آنها تا 90S افزایش یافت (جدول‌های ۱ و ۲). این یافته نشان می‌دهد که به احتمال قوی در این دو رقم در مرحله گیاه کامل ژن مقاومت مؤثری برای کاهش بیماری در برابر نژادهای شایع در منطقه وجود نداشت. گندم نان رقم پارسی نیز که در سال ۱۳۸۸ برای کشت در مناطق معتدل کشور معرفی شد، در زمان معرفی مقاوم به زنگ زرد، نیمه‌حساس به زنگ قهوه‌ای و مقاوم به زنگ سیاه (نژاد Ug99) اعلام شد (Malihipour *et al*., 2020b). بر اساس نتایج پژوهش‌های بعدی انجام شده توسط

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1642]

افشاری (Afshari, 2012) ، در حالی که این رقم در مرحله گیاهچه در شرایط گلخانه نسبت به جدایه 4-88 (نژاد TTKSK از گروه Ug99 جمع‌آوری شده از منطقه دشت آزادگان) و یک نژاد دیگر از قارچ عامل بیماری (نژاد KRKSC جمع‌آوری شده از منطقه کلاردشت) حساس (تیپ آلودگی +3) بود، واکنش آن در مرحله گیاه کامل در شرایط مزرعه در برابر نژادهای محلی شایع در منطقه کلاردشت و نیز در برابر نژاد Ug99 شایع در کشور کنیا مقاوم (5R تا 10MR) گزارش شده است. همچنین، بر اساس نتایج بررسی انجام شده توسط پاتپور و همکاران (Patpour *et al*., 2014a)، این رقم در برابر نژادهای مختلف قارچ عامل بیماری جمع‌آوری شده از مناطق مختلف ایران واکنش‌هایی متفاوت از +2 تا 4 اما عمدتاً حساسیت (تیپ آلودگی 4) و در شرایط مزرعه در کنیا، سوریه و ایران (کلاردشت و کرج) دارای واکنش‌های متغیر از مقاومت (10R) تا حساسیت (80S) بود. در تحقیق حاضر نیز رقم پارسی در مرحله گیاهچه در شرایط گلخانه نسبت به جدایه‌ها/نژادهای مورد استفاد واکنش‌هایی متفاوت اما در شرایط مزرعه حساسیت (90S) نشان داد (جدول‌های ۱ و ۲). اگرچه مطالعات گذشته احتمال وجود ژن مقاومت گیاه کامل *Sr2* به همراه یک ژن مقاومت ناشناخته دیگر را در این رقم مطرح کرده‌اند (Joshi *et al*., 2011)، با توجه به میزان بالای بیماری در این تحقیق، به‌نظر می‌رسد که اثر این ژن‌ها در شرایط حاضر ناکافی بود. گندم دوروم رقم شبرنگ که در سال ۱۳۹۳ برای کاشت در مناطق گرم و خشک کشور نظیر استان‌های خوزستان، سیستان و بلوچستان و ایلام و مناطق گرم استان‌های کرمان، لرستان، کرمانشاه، کهکیلویه و بویراحمد و فارس معرفی شد، در زمان معرفی به دو زنگ زرد و قهوه‌ای مقاوم بود (Malihipour *et al*., 2020b). همچنین، گندم نان رقم مهرگان در همان سال معرفی گردید، در زمان معرفی مقاوم به هر سه زنگ زرد، قهوه‌ای و سیاه (نژاد Ug99) بود (Malihipour *et al*., 2020b). در هرحال، نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهند که این دو رقم به‌ترتیب با داشتن تیپ‌های آلودگی 3 و -3 نسبت به جدایه 32-94 (نژاد TTKTK) در مرحله گیاهچه و حداکثر بیماری 100S در مرحله گیاه کامل در برابر بیماری حساس هستند (جدول‌های ۳ و ۴). این امر نیز عدم وجود ژن‌های مقاومت فعال را در برابر بیماری در این دو رقم نشان می‌دهد.

شناسایی و غربال ارقام و لاین‌های مقاوم به بیماری زنگ سیاه که در بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر عمدتاً براساس بررسی مقاومت لاین‌های آزمایشی در برابر جدایه‌ها/نژادهای مختلف قارچ عامل بیماری در مرحله گیاهچه در شرایط گلخانه و آزمایش مقاومت به بیماری در ایستگاه تحقیقات غلات کلاردشت انجام می‌شود، به‌عنوان راهبردی اقتصادی، پایدار و سازگار با محیط زیست برای کنترل این بیماری محسوب می‌شود. در هر حال، در صورت خطر زنگ سیاه برای ارقام کاشته‌شده، توصیه می‌شود که علاوه‌بر تکیه بر مقاومت ژنتیکی، آمادگی برای کنترل شیمیایی نیز در نظر گرفته شود. با شناسایی بیش از ۷۰ ژن مقاومت زنگ سیاه در گندم و خویشاوندان آن، فرصتی برای استفاده از آنها در برنامه‌های اصلاح گندم به منظور افزایش مقاومت در ارقام جدید در برابر زنگ سیاه وجود خواهد داشت. در حالی‌که بیشتر این ژن‌های مقاومت از نوع ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای و اختصاصی نژاد[1] هستند، ژن مقاومت *Sr2* از قدیم به‌عنوان ژنی شناخته شده است که مقاومت گیاه کامل را ایجاد می‌کند (McIntosh *et al*., 1995). علاوه بر آن، بعدها چهار ژن مقاومت *Sr55*، *Sr56*، *Sr57* و *Sr58* نیز به‌عنوان ژن‌های مقاومت گیاه کامل شناسایی شده‌اند. این ژن‌ها می‌توانند در ایجاد مقاومت غیر اختصاصی و پایدارتر در گندم نقش ایفا کنند. برخی دیگر از ژن‌های مقاومت به زنگ سیاه مانند *Sr13* (Chen *et al*., 2018) و *Sr21* (Zhang *et al*., 2017) نیز تحت تأثیر دما هستند و فقط در دماهای خاص عمل می‌کنند. با توجه به این فرصت‌ها، استفاده‌ی هوشمندانه و متنوع از ژن‌های مقاومت به زنگ سیاه برای جلوگیری از فشار انتخابی بر قارچ عامل بیماری و حفظ پایداری مقاومت ضروری است.

1. Race-specific

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1642]

جدول ۱- مشخصات لاین‌های امیدبخش گندم دوروم اقلیم معتدل کشور در سال ۱۳۹۴ (ERDYT-M-94) و واکنش آنها در برابر زنگ سیاه در مراحل گیاهچه در شرایط گلخانه و گیاه کامل در شرایط مزرعه در کلاردشت

Table 1. Characteristics of durum wheat elite lines of the moderate agro-climate zone in 2015 (ERDYT-M-94) and their reactions to stem rust at the seedling stage in the greenhouse and at the adult-plant stage under field conditions in Kelardasht, Mazandaran

لاین گندم Wheat line	شجره Pedigree	واکنش گیاهچه‌ای نسبت به جدایه‌ها/نژادهای مختلف Seedling reactions to different isolates/races				واکنش گیاه کامل Adult-plant reactions	
		94-32 (TTTTF)	94-15 (PTRTF)	95-31 (TKTTF)	95-2 (TTKTK)	1395	1396
DM-94-1	Dena (Durum wheat commercial cultivar check)	2+	1+	;1	1+	10MR	90S
DM-94-2	Parsi (Bread wheat commercial cultivar check)	3	3	3	2-	30MR	90S
DM-94-3	GUANAY*2/4/CHEN 1/TEZ/3/GUIL//CIT71/CII/5/SOMAT 4/INTER 8/6/SOOTY 9/RASCON 37//TILO 1/LOTUS 4	2	2-	;1	3-	30MR	90S
DM-94-4	CLAUDIO/7/ECO/CMH76A.722//BIT/3/ALTAR 84/4/AJAIA 2/5/KJOVE 1/6/MALMUK 1/SERRATOR 1/8/HUBEI//3*SOOTY 9/RASCON 37/3/CRAKE 10/RISSA	3	2	3	4	30MS	90S
DM-94-5	1A.1D 5+1-06/3*MOJO//RCOL/3/SNITAN/SOMAT 3//FULVOUS 1/MFOWL 13/10/AVILLO 1/3/CANELO 8//SORA/2*PLATA 12/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV 1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD 9	4	4	3	2+	70S	90S
DM-94-6	ARMENT//2*SOOTY 9/RASCON 37/4/CNDO/PRIMADUR//HAI-OU 17/3/SNITAN	4	4	1	4	30MS	90S
DM-94-7	PLATA 6/GREEN 17/3/CHEN/AUK//BISU*2/5/PLATA 3//CREX/ALLA/3/SOMBRA 20/4/SILVER 14/MOEWE	4	3+	3	4	80S	90S
DM-94-8	PLATA 10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA 7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA 13/8/THKNEE 11/9/CHEN/ALTAR	4	3+	3	4	90S	90S
DM-94-9	84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/10/GREEN 32/CHEN 7//SILVER 14/3/DIPPER 2/BUSHEN 3/4/SNITAN GODRIN/GUTROS//DUKEM/3/THKNEE 11/4/DUKEM 1//PATKA 7/YAZI 1/3/PATKA 7/YAZI 1/5/AJAIA 12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA 13/3/ADAMAR	3+	2-	3	2	50MS	90S
DM-94-10	WID22248/10/LD357E/2*TC60//JO69/3/FGO/4/GTA/5/SRN 1/6/TOTUS/7/ENTE/MEXI 2//HUI/4/YAV 1/3/LD357E/2*TC60//JO69/8/SOMBRA 20/9/JUPARE C	2C	2-	3	2+	90S	90S
DM-94-11	2001/11/PORTO 6/GREEN 38/3/SOMAT 3/PHAX 1//TILO 1/LOTUS 4 CLAUDIO/10/PLATA 10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA 7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA 13/8/THKNEE 11/9/CHEN/ALTAR 84/3/HUI/POC//BUB/ RUFO/4/FNFOOT/11/AJAIA 12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA 13/3/POD 9/4/RASCON 37*2/TARRO 2/5/SORA/2*PLATA 12//SOMAT 3	3	2-	3	3	70MS	90S
DM-94-12	MERIDIANO/3/SOMAT 3/PHAX 1//TILO 1/LOTUS 4/5/TATLER 1/TARRO 1/3/CANELO 8//SORA/2*PLATA 12/4/ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1	4	3	3+	2	60S	90S
DM-94-13	AJAIA 12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA 13/3/SOMBRA 20/4/SNITAN/5/SOMAT 4/INTER 8/6/SOMO/CROC 4//LOTUS 1/3/KITTI/4/JUPARE C 2001	3+	4	3	3	70MS	90S
DM-94-14	SOOTY_9/RASCON_37//GUAYACAN INIA	4	4	1+	1+	20MR	90S
DM-94-15	STOT//ALTAR 84/ALD/3/THB/CEP7780//2*MUSK 4/6/ECO/CMH76A.722//BIT/3/ALTAR 84/4/AJAIA 2/5/KJOVE 1/7/RASCON 37/2*TARRO_2/4/ROK/FGO//STIL/3/BISU_1/5/MALMUK 1/SERRATOR 1	2C	2+	1	2	10MR	90S
DM-94-16	PLATA 10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA 7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA 13/8/RAFI97/9/MALMUK 1/SERRATOR 1/10/ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1/11/SHAG 21/DIPPER 2//PATA 2/6/ARAM 7//CREX/ALLA/5/ENTE/MEXI 2//HUI/4/YAV 1/3/LD357E/2*TC60//JO69	3	4	1	1+	40MS	90S
DM-94-17	AJAIA 12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA 13/3/SOMAT 3/4/SOOTY 9/RASCON 37/5/1A.1D 5+10-6/3*MOJO//RCOL/4/ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1	3	3	1	2+	10MR	90S
DM-94-18	ISLOM 1/DUKEM 2//TARRO 3/5/CREX//BOY/YAV 1/3/PLATA 6/4/PORRON 11/6/YAZI 1/AKAKI 4//SOMAT 3/3/AUK/GUIL//GREEN/7/TOSKA 26/RASCON 37//SNITAN/4/ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1	3	3+	3	4	20MR	90S
DM-94-19	DW-92-6	-	2	2-	3	70S	90S
DM-94-20	DW-92-17	2+	2-	2-	2+	20MR	90S
21	Morocco (Susceptible check)	4	3	3+	3+	100S	100S

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1642]

جدول ۲- مشخصات لاین‌های امیدبخش گندم دوروم اقلیم معتدل کشور در سال ۱۳۹۵ (ERDYT-M-95) و واکنش آنها در برابر زنگ سیاه در مراحل گیاهچه در شرایط گلخانه و گیاه کامل در شرایط مزرعه در کلاردشت

Table 2. Characteristics of durum wheat elite lines of the moderate agro-climate zone in 2016 (ERDYT-M-95) and their reactions to stem rust at the seedling stage in the greenhouse and at the adult-plant stage under field conditions in Kelardasht, Mazandaran

لاین گندم Wheat line	شجره Pedigree	واکنش گیاهچه‌ای نسبت به جدایه‌ها/نژادهای مختلف Seedling reactions to different isolates/races				واکنش گیاه کامل Adult-plant reactions	
		94-32 (TTTTF)	94-15 (PTRTF)	95-31 (TKTTF)	95-2 (TTKTK)	1396	1397
DM-95-1	Hana (*Triticum durum* check)	3	2-	3	1	90S	80S
DM-95-2	Parsi (Bread wheat commercial cultivar check)	3	3	3	1	90S	80S
DM-95-3	SOOTY 9/RASCON 37//SOMAT 3.1/4/GRO 2/YUAN 1//ARLIN/2*ACO89/3/JUPARE C 2001	3	2-	;1	1	100S	70S
DM-95-4	SOOTY 9/RASCON 37//SOMAT 3.1/5/GUA YACAN INIA/KUCUK/4/ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/ 3/CANELO 9.1/8/AVTA/ALTAR 84/5/CHEN/ALTAR 84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/6/SOR A/2*PLATA 12//SOMAT 3/7/SOOTY 9/RAS CON 37	3	2-	1	1	90S	70S
DM-95-5	BOOMER 33/ZAR/3/BRAK 2/AJAIA 2//SOL GA 8/10/PLATA 10/6/MQUE/4/USDA573//Q FN/AA 7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA 13/8/THKNEE 11/9/ CHEN/ALTAR 84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/11/AR TICO/AJAIA 3//HUALITA/3/FULVOUS 1/M FOWL 13/4/TECA96/TILO 1/12/SORA/2*PL ATA 12//	3	2+	3	3	90S	90S
DM-95-6	P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPARE C 2001/5/ARTICO/AJAIA 3//HUALITA/3/FULV OUS 1/MFOWL 13/4/TECA96/TILO 1/6/RIS SA/GAN//POHO 1/3/PLATA 3//CREX/ALLA *2/4/ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1	3	1	1	;1	100S	90S
DM-95-7	SOOTY 9/RASCON 37//STORLOM/5/TOSK A 26/RASCON 37//SNITAN/4/ARMENT//SR N 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1/6/RISSA/GAN //POHO 1/3/PLATA 3//CREX/ALLA*2/4/AR MENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1	3	;1	3	;1	100S	90S
DM-95-8	SOOTY 9/RASCON 37//SOMAT 3.1/3/SOOT Y_9/RASCON_37//STORLOM/4/SOOTY_9/R ASCON 37//GUAYACAN INIA/3/SOOTY 9/RASCON 37//LLARETA INIA	2+	3	3+	2+	100S	90S
DM-95-9	PLATA 6/GREEN 17//SNITAN/4/YAZI 1/AK AKI 4//SOMAT 3/3/AUK/GUIL//GREEN/5/R COL/GUANAY*2//SOMAT 3/GREEN 22	3	3	3	3+	100S	90S
DM-95-10	PLATA 6/GREEN 17/3/CHEN/AUK//BISU*2/ 5/PLATA 3//CREX/ALLA/3/SOMBRA 20/4/S ILVER 14/MOEWE	3	1	3	3	100S	70MS S
DM-95-11	P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPARE C 2001/5/PLATA 6/GREEN 17//SNITAN/4/YAZ I 1/AKAKI 4//SOMAT 3/3/AUK/GUIL//GRE EN/6/D94528/2*JUPARE C 2001/5/TARRO 1/TISOMA 2//TARRO 1/3/C OMB DUCK 2/4/SHAG 9/BUTO 17	3	4	4	4	90S	80S
DM-95-12	MAALI/5/LOTUS 5/SORD 1/3/CANELO 8//S ORA/2*PLATA 12/4/YAZI 1/AKAKI 4//SOM AT 3/3/AUK/GUIL//GREEN	3	2+	3	;1	100S	70S
DM-95-13	SCRIP 1//DIPPER 2/BUSHEN 3/4/ARMENT/ /SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1	3	3	3	;1	100S	80S
DM-95-14	1A.1D 5+1-06/3*MOJO//RCOL/3/SOMAT_3/PHAX_1//TI LO 1/LOTUS 4	3+	3+	4	3+	100S	70S
DM-95-15	PLATA 6/GREEN 17/3/CHEN/AUK//BISU*2/ 5/PLATA 3//CREX/ALLA/3/SOMBRA 20/4/ …	3	3	3+	3+	100S	100S
DM-95-16	TAMAROI/8/R143/RUFF//STIL/3/YAV79/4/S HWA/MALD/5/ALTAR 84/6/TILO 1/LOTUS 4/7/CAMAYO	2	2-	3	;1	100S	80S
DM-95-17	ADAMAR 15//ALBIA 1/ALTAR 84/3/SNITAN/10/PLATA 10/6/MQUE/4/USDA 573//QFN/AA 7/3/…	2	2-	3	1	100S	60MS S
DM-95-18	WID22202/5/TOSKA 26/RASCON 37//SNITA N/4/ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1/6/…	1+	2-	2+	1	80MS	70S
DM-95-19	SOOTY 9/RASCON 37//JUPARE C 2001/6/PLATA 6/GREEN 17/3/CHEN/AUK// BISU/5/PLATA 3//…	2+	2+	1+	1+	90S	60S
DM-95-20	ZHONG ZUO/2*GREEN 3//SORA/2*PLATA 12/10/PL ATA 10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA 7/3/ …	3	2+	2	1	90S	80S
21	Morocco (Susceptible check)	4	3	3	3+	100S	90S

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1642]

جدول ۳- مشخصات لاین‌های امیدبخش گندم دوروم اقلیم گرم کشور در سال ۱۳۹۴ (ERDYT-W-94) و واکنش آنها در برابر زنگ سیاه درمراحل گیاهچه و گیاه کامل به ترتیب در گلخانه و مزرعه منطقه‌ی کلاردشت

Table 3. Characteristics of durum wheat elite lines of the warm agro-climate zone in 2015 (ERDYT-W-94) and their reactions to stem rust at seedling and adult-plant stages in the greenhouse and field conditions, respectively, in Kelardasht, Mazandaran

لاین گندم Wheat line	شجره Pedigree	واکنش گیاهچه‌ای نسبت به جدایه‌ها/نژادهای مختلف Seedling reactions to different isolates/races				واکنش گیاه کامل Adult-plant reactions	
		94-32 (TTTTF)	94-15 (PTRTF)	95-31 (TKTTF)	95-2 (TTKTK)	1395	1396
DW-94-1	Shabrang (Durum wheat commercial cultivar check)	3	-	-	-	10MR	100S
DW-94-2	Mehreghan (Bread wheat commercial cultivar check)	3-	-	-	-	30MS	100S
DW-94-3	AJAIA 12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA 13/3/SOMBRA 20/4/SNITAN/5/SOMAT 4/INTER 8/6/GUAYACAN INIA/POMA 2//SNITAN	4	3	3	4	90S	100S
DW-94-4	AJAIA 12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA 13/3/GUANAY/4/SOMAT 3/PHAX 1//TILO 1/LOTUS 4/5/CAMON 5//HUI/YAV79	3	2-	1+	1	20MR	100S
DW-94-5	AJAIA 12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA 13/3/PLATA 6/GREEN 17/4/SOOTY 9/RASCON 37/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV 1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD 9/10/ZHONG	4	3	3	3	70MS	100S
DW-94-6	ZUO/2*GREEN 3//SORA/2*PLATA 12/3/SOMAT 4/INTER 8 ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1/10/PLATA 10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA 7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA 13/8/THKNEE 11/9/CHEN/ALTAR	2	2	2+	1	50MS	90S
DW-94-7	84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/11/R143/RUFF//STIL/3/YAV79/4/SHWA/MALD/5/ALTAR 84/6/TILO 1/LOTUS 4 GUANAY/HUALITA/10/PLATA 10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA 7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA 13/8/THKNEE 11/9/CHEN/ALTAR	3	3+	2+	3	20MR	90S
DW-94-8	84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/11/STOT//ALTAR 84/ALD/3/PATKA 7/YAZI 1 GODRIN/GUTROS//DUKEM/3/THKNEE 11/4/DUKEM 1//PATKA 7/YAZI 1/3/PATKA 7/YAZI 1/5/AJAIA 12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA 13/3/ADAMAR	2C	1+	2-	1	10MR	100S
DW-94-9	BICHENA/AKAKI 7/4/LIS 8/FILLO 6/3/FUUT//HORA/JOR/5/YAZI 1/AKAKI 4//SOMAT 3/3/AUK/GUIL//GREEN/6/RASCON 33/TISOMA 2/3/CANELO 8//SORA/2*PLATA 12/4/SOMAT 4/INTER 8	4	4	3	4	70MSS	90S
DW-94-10	AJAIA 12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA 13/3/PLATA 6/GREEN 17/4/SOOTY 9/RASCON 37/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV 1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD 9/10/ZHONG ZUO/2*GREEN 3//SORA/2*PLATA 12/3/SOMAT 4/INTER 8	3+	3	3	3+	70S	100S
DW-94-11	SOOTY 9/RASCON 37/3/SOOTY 9/TARRO 1//AJAIA 2/10/PLATA 10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA 7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA 13/8/THKNEE 11/9/CHEN/ALTAR	4	3	3	4	70MSS	100S
DW-94-12	84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/11/RISSA/GAN//POHO 1/3/PLATA 3//CREX/ALLA/4/JUPARE C 2001/5/ARMENT//SRN 3/NIGRI ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1/10/PLATA 10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA 7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA 13/8/THKNEE 11/9/CHEN/ALTAR	X	2+	3	1+	20MR	90S
DW-94-13	84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/11/R143/RUFF//STIL/3/YAV79/4/SHWA/MALD/5/ALTAR 84/6/TILO 1/LOTUS 4 GUAYACAN INIA/POMA 2//SNITAN/4/D86135/ACO89//PORRON 4/3/SNITAN	4	3+	3+	4	70MS	100S
DW-94-14	CBC 509 CHILE/6/ECO/CMH76A.722//BIT/3/ALTAR 84/4/AJAIA 2/5/KJOVE 1/7/AJAIA 12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA 13/8/SOOTY 9/RASCON 37//WODUCK/CHAM 3	3+	4	3+	4	60S	100S
DW-94-15	PLATA 6/GREEN 17/3/CHEN/AUK//BISU*2/5/PLATA 3//CREX/ALLA/3/SOMBRA 20/4/SILVER 1 4/MOEWE	2C	2-	1	1+	30MS	100S
DW-94-16	BUSHEN 4/TARRO 2//FOCHA 1/4/Mrf1/Stj2/3/17 18/BT24//Karim-5	2C	2-	1	1	50MS	90S
DW-94-17	TOPDY_21/RASCON_33/2/Ter-1/Ysf1-3	3-	1+	1	1	10MR	100S
DW-94-18	TOPDY_21/RASCON_33/2/Ter-1/Ysf1-7	3	1+	;1	1	20MR	80S
DW-94-19	AKAKI_7/LOTUS_4//HIMAN_9 /3/ Icamar-1-2	3-	3	3	4	70S	100S
DW-94-20	AKAKI_7/LOTUS_4//HIMAN_9 /3/ Icamar-1-3	3	4	3	3+	70MSS	100S
21	Morocco (Susceptible check)	4	3	3+	3+	90S	100S

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1642]

جدول ۴- مشخصات لاین‌های امیدبخش گندم دوروم اقلیم گرم کشور در سال ۱۳۹۵ (ERDYT-W-95) و واکنش آنها در برابر زنگ سیاه درمرحله گیاه کامل در شرایط مزرعه در کلاردشت

Table 4. Characteristics of durum wheat elite lines of the warm agro-climate zone in 2016 (ERDYT-W-95) and their reactions to stem rust at the adult-plant stage under field conditions in Kelardasht, Mazandaran

لاین گندم Wheat line	شجره Pedigree	واکنش گیاه کامل Adult-plant reactions	
		1396	1397
DW-95-1	Shabrang (Durum wheat commercial cultivar check)	100S	80S
DW-95-2	Mehreghan (Bread wheat commercial cultivar check)	100S	90S
DW-95-3	PH896-21/5/HUBEI//SOOTY 9/RASCON 37/3/2*SOOTY 9/RASCON 37/4/SOOTY 9/RASCON 37/6/1A.1D 5+1-06/3*MOJO//RCOL/4/ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1	100S	80S
DW-95-4	SOOTY 9/RASCON 37//STORLOM/5/TOSKA 26/RASCON 37//SNITAN/4/ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1/6/RISSA/GAN//POHO 1/3/PLATA 3//CREX/ALLA*2/4/ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1	100S	80S
DW-95-5	SOOTY 9/RASCON 37//SOMAT 3.1/3/SOOTY 9/RASCON 37//STORLOM/4/SOOTY 9/RASCON 37//GUAYACAN INIA/3/SOOTY 9/RASCON 37//LLARETA INIA	100S	90S
DW-95-6	MAALI/10/ALTAR 84/CMH82A.1062//ALTAR 84/3/YAZI 10/4/SNITAN/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV 1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD 9	100S	80S
DW-95-7	SOOTY_9/RASCON_37//JUPARE C 2001/3/SOOTY_9/RASCON_37//GUAYACAN INIA	100S	80S
DW-95-8	SOOTY 9/RASCON 37//STORLOM/5/TOSKA 26/RASCON 37//SNITAN/4/ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1/6/RISSA/GAN//POHO 1/3/PLATA 3//CREX/ALLA*2/4/ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1	100S	70S
DW-95-9	CLAUDIO/10/PLATA 10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA 7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA 13/8/THKNEE 11/9/CHEN/ALTAR 84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/11/AJAIA 12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA 13/3/POD 9/4/RASCON 37/TARRO 2//RASCON 37/5/SORA/2*PLATA 12//SOMAT 3	100S	70S
DW-95-10	DACK/KIWI//OSTE/3/CHEN84 1/4/MEXI75/5/NIGRIS 4/6/CANELO 8//SORA/2*PLATA 12/7/SOMAT 4/INTER 8/8/GEDIZ/FGO//GTA/3/SRN 1/4/TOTUS/5/ENTE/MEXI 2//HUI/4/YAV 1/3/LD357E/2*TC60//JO69/6/SOMBRA 20/7/JUPARE C 2001	100S	80S
DW-95-11	E90040/MFOWL 13//LOTAIL 6/3/PROZANA/ARLIN//MUSK 6/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV 1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD 9/10/TOSKA 26/RASCON 37//SNITAN/4/ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1	100S	60MSS
DW-95-12	ALTAR 84/STINT//SILVER 45/3/GUANAY/4/GREEN 14//YAV 10/AUK/10/CMH79.959/CHEN//SOOTY 9/RASCON 37/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV 1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD 9/11/RCOL//SHAG 23/LAPDY 25/4/ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1	100S	70S
DW-95-13	SILVER 14/MOEWE//BISU 1/PATKA 3/3/PORRON 4/YUAN 1/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV 1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD 9/10/TARRO 1/2*YUAN 1//AJAIA 13/YAZI/4/ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1	100S	60MSS
DW-95-14	BCRIS/BICUM//LLARETA INIA/3/DUKEM 12/2*RASCON 21/5/SRN 2//YAVAUS/HUI/3/RASCON 19/4/SOMAT 3/PHAX 1//TILO 1/LOTUS 4	100S	90S
DW-95-15	BCRIS/BICUM//LLARETA INIA/3/DUKEM 12/2*RASCON 21/5/SRN 2//YAVAUS/HUI/3/RASCON 19/4/SOMAT 3/PHAX 1//TILO 1/LOTUS 4	100S	70S
DW-95-16	1A.1D 5+1-06/3*MOJO//RCOL/4/ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1/8/SHAG 21/DIPPER 2//PATA 2/6/ARAM 7//CREX/ALLA/5/ENTE/MEXI 2//HUI/4/YAV 1/3/LD357E/2*TC60//JO69/7/ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1	100S	70S
DW-95-17	1A.1D 5+1-06/3*MOJO//RCOL/4/ARMENT//SRN 3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1/11/PLATA 10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA 7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/RAFI97/9/MALMUK_1/SERRATOR_1/10/ARMENT//SRN_3/NIGRIS 4/3/CANELO 9.1	100S	70S
DW-95-18	BUSHEN_4/TARRO_2//FOCHA_1/4/Mrf1/Stj2/3/1718/BT24//Karim-36	100S	70MSS
DW-95-19	ZEGZAG/ALTAR 84//DIPPER_2 /3/ Bcr/Lks4//Mrf1/Stj2-1	100S	80S
DW-95-20	Sebatel-1/IRAN-YT05-10-2	100S	70S
21	Morocco (Susceptible check)	100S	90S

رویکرد سنتی ارزیابی مقاومت به بیماری بر پایه‌ی تیپ و یا شدت آلودگی دارای معایبی از قبیل زمان‌بر بودن، پیچیده بودن و تأثیرپذیری از شرایط محیطی است. ممکن است لازم باشد که این روش ارزیابی مورد بازبینی قرار گیرد و یا با روش‌های دیگری همراه شود. امروزه استفاده از نشانگرهای مولکولی چشم‌انداز جدیدی را در اصلاح گیاهان برای مقاومت به بیماری‌ها از جمله زنگ‌ها گشوده‌اند. با توجه به وراثتی بودن این نشانگرها، غربالگری ژنوتیپ‌های آزمایشی و شناسایی ارقام و لاین‌های مقاوم به بیماری در شرایط آزمایشگاه نیز ممکن است. ترکیب نتایج فنوتیپی و داده‌های مربوط به نشانگرهای مولکولی می‌تواند به شناسایی دقیق‌تر ژن‌های مقاومت به بیماری در ارقام و لاین‌های آزمایشی کمک کند و فرآیند تجمیع ژن‌های[1] مقاومت مؤثر را تسهیل نماید.

در ایران طی یکی دو دهه گذشته، بررسی‌های متعددی در ارتباط با ارزیابی مقاومت به این بیماری در گندم نان انجام و نتایج برخی از آنها منتشر شده‌اند (Afshari, 2012؛ Mojerlou *et al*., 2012؛ Malihipour *et al*., 2020a؛ Nasrollahi, 1998؛ Nazari & Mafi, 2013؛ Omrani & Roohparvar, 2020؛ Omrani *et al*., 2017, 2018, 2020؛ Patpour *et al*., 2014a, 2014b؛ Safavi & Malihipour, 2018, 2020؛ Saremirad *et al*., 2021, 2022). برخلاف گندم نان، تاکنون بررسی تخصصی و ویژه‌ای در ارتباط با مقاومت گندم دوروم نسبت به زنگ سیاه

1. gene pyramiding

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.66224/jcb.2026.1642]

در کشور انجام یا منتشر نشده است. در بررسی حاضر، اگرچه تعداد قابل توجهی از لاین‌های دوروم در مرحله گیاهچه در برابر یک یا چند نژاد از قارچ عامل بیماری مقاومت بالایی داشتند اما با توجه به حساسیت بالای این لاین‌ها در برابر نژادهای شایع قارچ در منطقه مورد آزمایش (کلاردشت)، مشخص می‌شود که این لاین‌ها از مقاومت کافی در برابر نژادهای بیشتری از قارچ عامل بیماری برخوردار نیستند. با توجه به این امر و با توجه به سابقه اپیدمی شدن بیماری روی گندم دوروم در برخی مناطق جهان توسط برخی نژادهای قارچ، در صورت احتمال اپیدمی شدن بیماری در کشور، علاوه‌بر تکیه بر مقاومت ژنتیکی، لازم خواهد بود که آمادگی برای کنترل شیمیایی نیز در نظر گرفته شود.

تشکر و قدردانی

به این‌وسیله از آقای دکتر رامین روح‌پرور استادیار بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به‌دلیل فراهم نمودن جدایه‌های قارچی و ارائه اطلاعات آنها و آقایان مهندس علی ناظری و مهندس فرنو ملک‌پور، به‌ترتیب رئیس و کارشناس ایستگاه تحقیقات کشاورزی کلاردشت، به‌دلیل همکاری مؤثر در اجرای آزمایش‌های مزرعه‌ای صمیمانه قدردانی می‌شود. همچنین، از خانم مهندس زهره حسن‌بیات و اقای مهندس اسماعیل ابراهیمی میمند، کارشناسان بخش تحقیقات غلات مؤسسه، به‌سبب کمک در انجام آزمایش‌های گلخانه‌ای در کرج سپاسگزاری می‌شود. هزینه‌های اجرای این تحقیق از محل اعتبارات پروژه مصوب به شماره ۹۴۲۶۳-۰۳-۰۳-۲، توسط مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر وابسته به سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تأمین شده‌اند.

References

Afshari, F. (2012). Genetics of pathogenicity of wheat stem rust pathogen (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) and reaction of wheat genotypes to the disease. *Iranina Journal of Plant Protection Science,* 43, 357-365. [In Persian]

Anonymous. (2015). World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP.241. United Nations, New York, NY, USA.

Anonymous. (2021). Pathotype Tracker - Where is Ug99? (https://rusttracker.cimmyt.org/?page_id=22, accessed 30 April 2025).

Anonymous. (2024). World Population Prospects 2024: Summary of Results (UN DESA/POP/2024/TR/NO. 9). United Nations, New York, NY, USA.

Bamdadian, A., & Torabi, M. (1978). Epidemiology of wheat stem rust in southern areas of Iran in 1976. *Iranian Journal of Plant Pathology,* 14, 14-19. [In Persian]

Chen, S., Zhang, W., Bolus, S., Rouse, M.N., & Dubcovsky, J. (2018). Identification and characterization of wheat stem rust resistance gene *Sr21* effective against the Ug99 race group at high temperature. *PLOS Genetics*, 14, e1007287. DOI: 10.1371/journal.pgen.1007287.

Esfandiari, E. (1947). Cereal rusts in Iran. *Journal of Entomology and Phytopathology,* 4, 67-76. [In Persian]

Figueroa, M., Hammond-Kosack, K.E., & Solomon, P.S. (2018). A review of wheat diseases—a field perspective. *Molecular Plant Pathology, 19*, 1523-1536.

Gustafson, P., Raskina, O., Ma, X., & Nevo, E. (2009). "Wheat evolution, domestication, and improvement". In *Wheat Science and Technology*, edited by B.F. Carver, 5-30. Wiley-Blackwell, Ames, IA, USA.

Hafeez, A.N., Arora, S., Ghosh, S., Gilbert, D., Bowden, R.L., & Wulff, B.B.H. (2021). Creation and judicious application of a wheat resistance gene atlas. *Molecular Plant,* 14, 1053-1070. DOI: 10.1016/j.molp.2021.05.014.

Jin, Y., Szabo, L.J., Pretorius, Z.A., Singh, R.P., Ward, R., & Fetch, T. (2008). Detection of virulence to resistance gene *Sr24* within race TTKS of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. *Plant Disease,* 92, 923-926.

Joshi, A.K., Azab, M., Mosaad, M., Moselhy, M., Osmanzai, M., Gelalcha, S., Bedada, G., Bhatta, M.R., Hakim, A., Malaker, P.K., Haque, M.E., Tiwari, T.P., Majid, A., Jalal Kamali, M.R., Bishaw, Z., Singh, R.P., Payne, T., & Braun, H.J. (2011). Delivering rust resistant wheat to farmers: A step towards increased food security. *Euphytica,* 179, 187-196.

Kumar, K., Jan, I., Saripalli, G., Sharma, P.K., Mir, R.R., Balyan, H.S., & Gupta, P.K. (2022). An update on resistance genes and their use in the development of leaf rust resistant cultivars in wheat. *Frontiers in Genetics,* 13. DOI:0.3389/fgene.2022.816057.

Leonard, K.J., & Szabo, L.J. (2005). Stem rust of small grains and grasses caused by *Puccinia graminis*. *Molecular Plant Pathology,* 6, 99-111.

Ma, P.T., Xu, H.X., Luo, Q.L., Qie, Y.M., Zhou, Y.L., Xu, Y.F., Han, H.M., Li, L.H., & An, D.G. (2014). Inheritance and genetic mapping of a gene for seedling resistance to powdery mildew in wheat line X39862. *Euphytica,* 200, 149-157.

Malihipour, A., Ebrahimi-Meymand, E., and Mostafavi, K. 2020a. Investigation on effectiveness of wheat stem rust resistance genes and the latest response of wheat genotypes from the cold agro-climatic zone of Iran to the disease. *Iranaian Journal of Plant Pathology*, 56, 69-97. DOI: 10.22034/ijpp.2020.43624. [In Persian]

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1642]

Malihipour, A., Esmaeilzadeh Moghaddam, M., Najafian, G., Roustaei, M., Najafi Mirak, T., Amini, A., Khodarahmi, M., & Bakhtiar, F. (2020b). Iranian Wheat Cultivars (Released from 1931 to 2019). Nashr-e Amouzesh-e Keshavarzi, Karaj, Iran. 172 pp.

McIntosh, R.A., Dubcovsky, J., Rogers, J., Morris, C., & Xia, X.C. (2017). Catalogue of gene symbols for wheat. Available at: https://shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/macgene/supplement2017.pdf**.**

McIntosh, R.A., Wellings, C.R., & Park, R.F. (1995). *Wheat Rusts: An Atlas of Resistance Genes.* CSIRO Publications, Victoria, Australia. 200 pp.

Mojerlou, Sh., Safaei, N., Abasi Moghadam, A., & Shamasbakhsh, M. (2012). Evaluation of some Iranian wheat landraces resistance against stem rust disease at seedling stage in the greenhouse. *Journal of Plant Protection*, 35, 69-82. [In Persian]

Nasrollahi, M. (1998). Virulence factors of stem rust and responses of some advanced wheat genotypes to isolates of the pathogen at seedling stage. M.Sc. thesis. Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. [In Persian]

Nazari, K., & Mafi, M. (2013). Physiological races of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Iran and evaluation of seedling resistance to stem rust in Iranian wheat cultivars. *Phytopathologia Mediterranea*, 52, 110-122.

Nazari, K., Mafi, M., Yahyaoui, A., Singh, R.P., & Park, R.F. (2009). Detection of wheat stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) race TTKSK (Ug99) in Iran. *Plant Disease,* 93, 317.

Olivera, P.D., Newcomb, M., Szabo, L.J., Rouse, M., Johnson, J., Gale, S., Luster, D.G., Hodson, D., Cox, J.A., Burgin, L., Hort, M., Gilligan, C.A., Patpour, M., Justesen, A.F., Hovmøller, M.S., Woldeab, G., Hailu, E., Hundie, B., Tadesse, K., Pumphrey, M., Singh, R.P., & Jin, Y. (2015). Phenotypic and genotypic characterization of race TKTTF of *Puccinia graminis* f. sp *tritici* that caused a wheat stem rust epidemic in southern Ethiopia in 2013-14. *Phytopathology,* 105: 917–928. DOI: 10.1094/phyto-11-14-0302-fi.

Omrani, A., & Roohparvar, R. (2020). Identification of resistance sources to TTKSK and TTKTK (Ug99 race group) of stem rust pathogen in some synthetic hexaploid wheat genotypes. *Iranaian Journal of Plant Pathology,* 56, 237-252. [In Persian]

Omrani, A., Aharizad, S., Roohparvar, R., Khodarahmi, M., & Toorchi, M. (2017). Identification of stem and leaf rust resistance genes in some promising wheat lines using molecular markers. *Crop Biotechnology*, 15-25. [In Persian]

Omrani, A., Aharizad, S., Roohparvar, R., Khodarahmi, M., & Toorchi, M. (2018). Virulence factors of wheat stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) isolates and identification of resistance sources in CIMMYT wheat synthetic genotypes. *Journal of Crop Breeding,* 10, 84-93. [In Persian]

Omrani, A., Khodarahmi, M., and Roohparvar, R. 2020. Investigation of seedling resistance of CIMMYT wheat germplasm to *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* races. *Journal of Applied Research in Plant Protection,* 9, 75-87. [In Persian]

Pardey, P., Beddow, J., Kriticos, D., Hurley, T., Park, R., Duveiller, E., Sutherst, R., Burdon, J., & Hodson, D. (2013). Right-sizing stem rust research. *Science,* 340, 147-148.

Patpour, M. (2013). Study on genetic and virulence diversity of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* populations in Iran and stem rust resistance genes in wheat. Ph.D. thesis. National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology, Tehran, Iran. 165 pp. [In Persian]

Patpour, M., Nazari, K., Alavi, S.M., & Mousavi, A. (2014a). Detection of resistance sources to Iranian prevalent stem rust races in commercial wheat cultivars. *Seed and Plant Improvement Journal,* 30, 133-154. [In Persian]

Patpour, M., Nazari, K., Ogbonnaya, F., Alavi, S.M., & Mousavi, A. (2014b). Phenotypic and molecular characterization of resistance to stem rust in wheat cultivars and advanced breeding lines from Iran and Syria. *Crop Breeding Journal*, 4, 1-14.

Peterson, R.F., Campbell, A.B., & Hannah, A.E. (1948). A diagramatic scale for estimating rust intensity of leaves and stem of cereals. *Canadian Journal of Research, Section C, 26*, 496-500.

Roelfs, A.P., & Martens, J.W. (1988). An international system of nomenclature for *P. graminis* f. sp. *tritici*. *Phytopathology,* 78, 526-533.

Roelfs, A.P., Singh, R.P., & Saari, E.E. (1992). *Rust Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management*. Mexico, D.F. CIMMYT. 81 pp.

Safavi, SA., & Malihipour, A. (2018). Effective and ineffective resistance genes and reaction of promising wheat lines to stem rust in Ardabil. *Journal of Crop Protection,* 7, 415-427.

Safavi, S.A. and Malihipour, A. 2020. Partial resistance of some wheat cultivars and candidate lines against stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*). *Plant Protection,* 43, 31-52. [In Persian]

Saremirad, A., Bihamta, M.R., Malihipour, A., Mostafavi, Kh., & Alipour, H. (2021). Evaluation of resistance of some Iranian spring bread wheat cultivars to stem rust disease at seedling stage. *Seed and Plant,* 36, 383-401. [In Persian]

Saremirad, A., Bihamta, M.R., Malihipour, A., Mostafavi, Kh., & Alipour, H. (2022). Evaluation of seedling stage resistance of commercial bread wheat cultivars to black rust disease using GGE biplot method. *Journal of Crop Breeding,* 14, 186-196. [In Persian]

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1642]

Sharif, G., Bamdadian, A., & Daneshpajoh, B. (1970). Physiological races of wheat stem rust in Iran (1965-1970). *Journal of Applied Entomology and Phytopathology,* 6, 73-100. [In Persian]

Singh, D., Park, R.F., McIntosh, R.A., & Bariana, H.S. (2008a). Characterisation of stem rust and stripe rust seedling resistance genes in selected wheat cultivars from the United Kingdom. *Journal of Plant Pathology,* 90, 553-562.

Singh, R.P., Hodson, D.P., Huerta-Espino, J., Jin, Y., Njau, P., Wanyera, R., Herrera-Foessel, S.A., & Ward, R.W. (2008b). Will stem rust destroy the world's wheat crop? *Advances in Agronomy,* 98, 272-309.

Singh, R.P., Hodson, D.P., Jin, Y., Lagudah, E.S., Ayliffe, M.A., Bhavani, S., Rouse, M.N., Pretorius, Z.A., Szabo, L.J., Huerta-Espino, J., Basnet, B.R., Lan, C., & Hovmøller, M. (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.

Singh, R.P., Huerta-Espino, J., Bhavani, S., Herrera-Foessel, S.A., Singh, D., Singh, P.K., Velu, G., Mason, R.E., Jin, Y., Njau, P., & Cross, J. (2011). Race non-specific resistance to rust diseases in CIMMYT spring wheats. *Euphytica,* 179, 175-186.

Stakman, E.C., Stewart, D.M., & Loegering, W.Q. (1962). Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. Agricultural Research Service E617. United States Department of Agriculture, Washington DC., USA.

Sunderwirth, S.D., & Roelfs, A.P. (1980). Greenhouse evaluation of the adult plant resistance of *Sr2* to wheat stem rust. *Phytopathology,* 70, 634-637.

Zhang, W.J., Chen, S.S., Abate, Z., Nirmala, J., Rouse, M.N., & Dubcovsky, J. (2017). Identification and characterization of *Sr13*, a tetraploid wheat gene that confers resistance to the Ug99 stem rust race group. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 23, 9483-9492.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.66224/jcb.2026.1642]