Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)

49(1), Spring, 2026

10.22055/ppr.2026.50555.1843

Resistance of wheat elite lines to septoria leaf blotch under northern and southern climatic conditions of Iran (Gorgan and Dezful)

R. Roohparvar[*1,2], A. Omrani[3], M. Dalvand[4]

1. ***Corresponding Author:** Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tabriz, Iran (r.roohparvar@areeo.ac.ir)
2. Assistant Professor, Cereal Research Department, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3. Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran
4. Researcher, Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran

Received: 7 September 2025 Revised: 22 February 2026 Accepted: 1 March 2026

Abstract

Background and Objectives

Septoria leaf blotch (STB), caused by *Zymoseptoria tritici*, is one of the most significant constraints to wheat production, particularly in humid and temperate regions, where temperatures between 22–25°C and relative humidity exceeding 85% favor disease development. The disease leads to substantial reductions in grain yield and quality. The high genetic variability of *Z. tritici* populations and their rapid evolution of novel virulence factors indicate the need to identify virulence determinants and discover sources of durable resistance. The virulence of *Z. tritici* isolates against wheat STB resistance genes (*Stb1* to *Stb18*) could critically guide the breeding programs to develop resistant cultivars. Pyramiding multiple effective *Stb* resistance genes into elite wheat lines offers a sustainable strategy to reduce reliance on fungicides and develop climate-resilient STB-resistant cultivars.

Materials and Methods

To evaluate STB resistance in 113 Iranian elite wheat lines (designated ERWYT-N98, ERWYT-N99, ERWYT-S98, and ERWYT-S99, including 20, 23, 30, and 40 lines, respectively), field experiments were conducted in adult plant stage over two consecutive growing seasons of 2019–2021 under artificial inoculation conditions in a randomized complete block design with three replications at two agricultural research stations of Golestan (Gorgan) and Safiabad (Dezful). Wheat lines were inoculated with virulent local isolates of *Z. tritici*, followed by resistance evaluation based on two key parameters: relative vertical disease progress and percentage of disease severity on infected leaves. Host response to STB was scored using the 00–99 double-digit scale.

Results and Discussion

Zymoseptoria tritici isolates from Gorgan and Dezful showed different virulence patterns, both geographically and temporally, while Gorgan isolates displayed higher virulence on known *Stb* resistance genes than Dezful isolates in both years of the study. No virulence was identified

among the resistance genes *Stb1*, *Stb5*, *Stb10*, *Stb12*, *Stb13*, *Stb14*, *Stb15*, *Stb16*, and *Stb18* at either location or year of study, indicating their effectiveness against prevalent pathogen populations. In contrast, *Stb7*, *Stb8*, and *Stb9*, as well as *Stb11* and *Stb17*, were ineffective against all or some of the tested isolates, suggesting their unsuitability for current breeding programs. Polymorphism regarding significant virulence variation was observed against *Stb2*, *Stb3*, *Stb4*, and *Stb6*, suggesting their possible contribution to durable resistance, especially in combination with other effective resistance genes, particularly in north agro-climatic zone. Phenotypic evaluation of elite wheat lines revealed variable levels of resistance across the four germplasm sets. Among ERWYT-N98 lines, 24%, 43% and 33% displayed moderately resistance (including lines ER-N98-14, 18, 19 and the cultivars Tirgan and Kalateh), susceptibility and high susceptibility responses, while in ERWYT-N99 set, 29%, 29% and 42% of lines were moderately resistant (ER-N99-6, 14, 16, 18, 21, 22, 23), susceptible and highly susceptible, respectively. Regarding the south agro-climatic zone lines of ERWYT-S98, 39% demonstrated moderately resistance (ER-S98-7, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 23, 28, 29, and cultivars Chamran2 and Mehregan), while 29% and 32% were susceptible and highly susceptible, respectively. In ERWYT-S99 set, 24%, 22%, 30% and 24% of lines displayed moderately resistance (ER-S99-3, 18, 19, 22, 25, 28, 30, 31, 36, and Chamran2), moderately susceptibility (ER-S99-4, 7, 8, 10, 24, 32, 34, 35, and Mehregan), susceptibility and high susceptibility, respectively.

Conclusion

Utilization of genetic resistance is considered the most effective, economical, and environmentally sustainable strategy for managing septoria leaf blotch in wheat breeding programs. Host resistance could significantly reduce yield loss when integrated with other disease management methods, such as cultural practices and chemical control. Results of this study indicate that the resistance genes *Stb1*, *Stb5*, *Stb10*, *Stb12*, *Stb13*, *Stb14*, *Stb15*, *Stb16*, and *Stb18* are effective against current *Z. tritici* populations in both Iranian north and south agro-climatic zones, and their incorporation (preferably as pyramiding) into high-yielding genetic backgrounds is strongly recommended. Additionally, identification of moderately resistant and resistant wheat lines in this study highlights their potential as sources of resistance and valuable breeding parents. Utilizing these lines could help reduce reliance on chemical control, minimize disease impact, and enhance wheat productivity, particularly in disease hotspots.

Keywords: Breeding programs, geneic resistance response, susceptibility, wheat, Zymoseptoria tritici

Associate editor: R. Sharifi (Ph.D.)

Citation: Roohparvar, R., Omrani, A. & Dalvand, M. (2026). Resistance of wheat elite lines to septoria leaf blotch under northern and southern climatic conditions of Iran (Gorgan and Dezful). *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 49*(1), 89-108. https://doi.org/10.22055/ppr.2026.50555.1843

گیاه‌پزشکی (مجله علمی کشاورزی)
جلد ۴۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵

10.22055/ppr.2026.50555.1843

ارزیابی مقاومت لاین‌های امیدبخش گندم به بیماری لکه‌برگی سپتوریایی در شرایط اقلیمی شمال و جنوب ایران (گرگان و دزفول)

رامین روح‌پرور*[۱،۲]، علی عمرانی[۳] و محمد دالوند[۴]

۱- * **نویسنده مسوول**: استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان‌شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
۲- استادیار بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران
۴- محقق بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۱۰

چکیده

لکه‌برگی سپتوریایی گندم با عامل قارچی *Zymoseptoria tritici* یکی از بیماری‌های مهم این محصول در مناطق مرطوب و معتدل است که منجر به کاهش عملکرد و کیفیت دانه می‌شود. استفاده از ارقام مقاوم، مؤثرترین و پایدارترین روش مدیریت این بیماری به‌شمار می‌رود. در این پژوهش، واکنش فنوتیپی ۱۱۳ لاین امیدبخش گندم شامل چهار مجموعه ERWYT-N98، ERWYT-N99 (اقلیم شمال) و ERWYT-S98 و ERWYT-S99 (اقلیم جنوب) به‌همراه ارقام حساس تجن و داراب۲ طی دو سال زراعی متوالی (۱۴۰۰-۱۳۹۸) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط مزرعه‌ای ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان (گرگان) و صفی‌آباد (دزفول) تحت مایه‌زنی مصنوعی ارزیابی شد. مقاومت گیاهان براساس دو شاخص پیشرفت نسبی بیماری و شدت آلودگی برگی اندازه-گیری شد. نتایج نشان داد جدایه‌های گرگان و دزفول از نظر الگوی پرآزاری بر ژن‌های مقاومت تفاوت معنی‌دار داشتند. ژن‌های مقاومت *Stb1*، *Stb5*، *Stb10*، *Stb12*، *Stb13*، *Stb14*، *Stb15*، *Stb16* و *Stb18* در برابر جدایه‌های مورد بررسی مؤثر بودند، در حالی که ژن‌های مقاومت *Stb7*، *Stb8* و *Stb9* و تا حدی ژن‌های مقاومت *Stb11* و *Stb17* کارایی خود را از دست دادند. در میان لاین‌های امیدبخش، بخشی از ژنوتیپ‌ها واکنش نیمه‌مقاومت تا نیمه‌حساسیت نشان دادند، در حالی که بسیاری از لاین‌ها دارای واکنش حساسیت یا بسیار حساسیت بودند. شناسایی این منابع می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی و هرمی‌سازی ژن‌های مقاومت برای تولید ارقام پایدار و مقاوم به لکه‌برگی سپتوریایی مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: واکنش مقاومت ژنتیکی، حساسیت، برنامه‌های به‌نژادی، گندم، Zymoseptoria tritici

دبیر تخصصی: دکتر روح الله شریفی

مقدمه

براساس برآوردهای جهانی با توجه به روند افزایشی رشد جمعیت، تقاضای جهانی برای غذا بیش از پیش رو به افزایش خواهد بود. بنابراین تامین امنیت غذایی یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های پیش روی بشر در آینده می‌باشد. گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی است که در تامین امنیت غذایی نقش تعیین کننده دارد (Giraldo et al., 2019).

در سال‌های اخیر گندم با سطح زیرکشت حدود ۲۲۲ میلیون هکتار، حدود ۸۱۶ میلیون تن تولید در سطح جهان داشته است (USDA, 2024). در ایران حدود ۷/۵ میلیون هکتار (مجموع آبی و دیم) از اراضی به کشت گندم اختصاص یافته و تولید آن در سال‌های اخیر به حدود ۱۶/۶۲ میلیون تن رسیده است (Anonymous, 2023).

بیماری لکه‌برگی سپتوریایی یا سپتوریوز برگی گندم (Septoria tritici blotch: STB) با عامل قارچی(*Zt*) *Zymoseptoria tritici* یکی از چالش‌های مهم تولید گندم در مناطقی با شرایط دمایی ۲۲ تا ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی بالا (بیش از ۸۵ درصد) می‌باشد. عامل بیماری لکه‌برگی سپتوریایی در شرایط همه‌گیری می‌تواند عملکرد تولید محصول را بیش از ۴۰ درصد، و در شرایط غیرهمه‌گیری به‌طور میانگین به‌میزان ۱۵ درصد کاهش دهد (Simon et al., 2012).

خسارت شدید این بیماری به عملکرد گندم در مزارع استان‌های خوزستان، گلستان، ایلام، اردبیل (دشت مغان)، مرکزی، کرمانشاه، آذربایجان شرقی، مازندران و خراسان که از کانون‌های مهم آلودگی به‌شمار می‌آیند، گزارش شده است (Torabi, 1979; Kia & Torabi, 2008; Dadrezaei et al., 2003). تنوع ژنتیکی قارچ *Z. tritici* در استان‌های آذربایجان شرقی و اردبیل با جهش‌های سریع مشاهده شده می‌تواند مقاومت ژن‌های موثر قبلی از جمله *Stb6*را مورد تهدید قرار دهد. جمعیت‌های بیمارگر حاضر در مناطق مرکزی و جنوبی ایران نیز ساختار ژنتیکی متنوعی نشان می‌دهند که نیاز به معرفی منابع مقاومت جدید را ضروری می‌نماید (Hatami Rad et al., 2023).

برای کنترل این بیماری می‌توان از روش‌های به‌زراعی مانند مصرف کمتر کودهای ازته، تراکم کشت کمتر، حذف بقایای گیاهی و همچنین کاربرد قارچ‌کش‌های شیمیایی (مانند مانت، مانکوزیت، مانکوزب، بنومیل، کاربندازیم، بنزیمیدازول، تیوفانات متیل و زینب، پروپیکونازول (تیلت)، پروکلراز، تریادیمفون (بایلتون)، تیابندازول (تکتو)، نواریمنول، فلوزیلازول، آلرت، آرتئا و یا ترکیبات مختلف (مانند بایلتون+ مانکوزب، تیلت+ مانکوزب، پروکلزار+ مانکوزب)) استفاده نمود (Dadrezaei et al., 2003). هر یک از این روش‌ها به‌تنهایی کارایی لازم و قابل قبولی ندارند و توصیه می‌شود که در تلفیق با مقاومت‌های ژنتیکی مورد استفاده قرار گیرند. مدیریت تلفیقی بیماری لکه‌برگی سپتوریایی با مجموعه‌ای از روش‌های زراعی، کنترل شیمیایی و استفاده از ارقام مقاوم انجام می‌شود (Torriani et al., 2015; Ben M'Barek et al., 2020; Kristoffersen et al., 2020).

تاکنون بیش از ۲۲ ژن مقاومت به *Z. tritici* روی ژنوم گندم شناسایی و گزارش شده است (Brown et al., 2015; Yang et al., 2018). استفاده از ژرم‌پلاسم حامل ژن‌های مقاومت در برنامه‌های به‌نژادی گندم برای ایجاد مقاومت به این بیماری در سراسر جهان در حال گسترش است. ژن‌های مقاومت به STB در مراحل گیاهچه‌ای[1] و گیاه کامل[2] عملکرد متفاوتی دارند. ژن‌های کیفی[3] اغلب در مرحله گیاهچه‌ای مؤثرتر بوده و اختصاص به جدایه[4] هستند، در حالی که QTLهای کمّی[5] در مرحله گیاه کامل عمل کرده و غیراختصاص به جدایه[6] می‌باشند. هم‌پوشانی کم QTLها در بین مراحل (کمتر از ۱۰٪) نشان می‌دهد که کنترل ژنتیکی مستقل است (Yang et al., 2022).

مطالعات انجام یافته حاکی از آن است که مقاومت ناشی از اغلب منابع مقاومت به بیماری لکه‌برگی سپتوریایی گندم

[1] Seedling
[2] Adult plant
[3] Qualitative
[4] Isolate-specific
[5] Quantitative
[6] Isolate-non specific

توسط تعداد محدودی از ژن‌های مقاومت کنترل می‌شود. این نوع مقاومت‌ها پایدار نبوده و هر لحظه در معرض شکسته شدن قرار داشته (Kema, 2012) و گزارش‌های متعددی از شکسته شدن مقاومت در ارقام مقاوم گندم با ژن‌های مقاومت محدود نسبت به این بیماری وجود دارد (Adhikari et al., 2003; Chartrain et al., 2004; Ponomarenko et al., 2011).

منابع مقاومت نسبت به این بیماری که عمدتاً با ژن‌های محدود مقاومت کنترل می‌شوند، در داخل کشور نیز شناسایی و گزارش شده‌اند (Dalvand et al., 2016; Kheirgoo et al., 2020a; b). برای ایجاد مقاومت‌های موثر و پایدار چند ژنی در برنامه‌های به‌نژادی مقاومت به این بیمارگر، لازم است تا فاکتور (ژن)های پرآزار در جمعیت‌های قارچ عامل بیماری به‌صورت مستمر در مناطق مختلف مشخص شوند، منابع مقاومت جدید در سطوح ژنتیکی مختلف و ژن‌های مقاومت موثر آنها نیز شناسایی شوند و در ژنوتیپ‌های گندم با پتانسل تولید بالا، هرمی‌سازی شوند (Kema, 2012).

مطالعات گسترده‌ای در زمینه شناخت ساختار ژنتیکی جمعیت قارچ عامل لکه‌برگی سپتوریایی با تعیین الگوهای پرآزاری روی ژن‌های مقاومت و شناسایی منابع مقاومت انجام شده است. بررسی الگوی پرآزاری در جدایه‌های قارچ بیمارگرجمع‌آوری شده از مناطق مختلف نشان داد که جدایه‌های مورد مطالعه در سال‌های مختلف دارای الگوی پرآزاری متفاوت بوده و این بیمارگر تنوع ژنتیکی در داخل کشور دارد (Mehrabi et al., 2015; Makhdoomi et al., 2015; Mahboubi et al., 2020). بررسی واکنش ۳۳ ژنوتیپ گندم نسبت به پنج جدایه قارچ بیمارگر در مرحله گیاهچه‌ای نشان داد که سه رقم نوگال، آرتا و آراز مقاومت بالایی به تمام جدایه‌ها داشتند (Kia et al., 2018). بررسی مقاومت ۲۱۹ ژنوتیپ مختلف گندم با استفاده از چهار جدایه عامل بیماری لکه‌برگی سپتوریایی جمع‌آوری شده از مناطق مختلف استان خوزستان نشان داد که تنها هشت ژنوتیپ نسبت به هر چهار جدایه مقاوم می‌باشند (Mohammadbeygi et al., 2014). در پژوهشی با ارزیابی ۲۳۰ رقم و لاین گندم نسبت به سه جدایه قارچ عامل بیماری، ۱۳ درصد ژنوتیپ‌ها را مقاوم به تمام جدایه‌های مورد مطالعه و ۷۸ درصد را دارای درجات مختلفی از واکنش حساسیت گزارش کردند (Fallahi-Motlagh et al., 2015). در تحقیقی دیگر ضمن ارزیابی ۲۳ ژنوتیپ گندم با ۱۰ جدایه قارچ نشان داده شد که بیش از نیمی از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه دارای واکنش حساسیت بودند و شش ژنوتیپ واکنش مقاومت اختصاص به جدایه داشته و درجات مختلفی از مقاومت را نشان دادند (Davari et al., 2012).

در تحقیق حاضر برای شناسایی منابع جدید مقاومت به بیماری لکه‌برگی سپتوریایی، واکنش مقاومت تعدادی از لاین‌های امیدبخش گندم تولید داخل نسبت به جدایه‌های قارچ عامل بیماری در مرحله گیاه کامل در دو منطقه گرگان و دزفول مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای تعیین الگوی پرآزاری[1] جدایه‌های قارچ *Z. tritici* روی ژن‌های مقاومت از مجموعه ۲۶ تایی ارقام و لاین‌های افتراقی لکه‌برگی سپتوریایی (دریافت شده از دانشگاه واخنینگن هلند) به‌همراه شاهدهای حساس تجن و داراب۲ مورد استفاده قرار گرفتند. مشخصات ژنوتیپ‌های افتراقی گندم در جدول ۱ ارایه شده است.

نمونه‌های برگی ارقام حساس کلاته و شاوور آلوده به لکه‌برگی سپتوریایی (به تعداد ۵ برگ) از مزارع مناطق گرگان و دزفول جمع‌آوری، و به آزمایشگاه منتقل شدند. جداسازی و خالص‌سازی قارچ عامل بیماری با استفاده از روش Roohparvar et al. (2008) با کمی تغییر انجام شد. قطعات برگی دارای علایم نکروز واجد پیکنید، پس از ضدعفونی سطحی با هیپوکلریت سدیم نیم درصد و سه بار شستشو با آب مقطر استریل، روی لام شیشه‌ای چسبانده شده و درون تشتک پتری حاوی کاغذ صافی استریل مرطوب منتقل، و داخل انکوباتور با دمای ۲۴-۲۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۲۴-۱۲ ساعت نگه‌داری شدند.

[1] Virulence

جدول ۱- مجموعه ژنوتیپ‌های گندم افتراقی حامل ژن‌های مقاومت به بیماری لکه‌برگی سپتوریایی برای تعیین الگوی پرآزاری جدایه‌های بیمارگر

Table 1. A set of differential wheat genotypes carrying resistance genes to septoria tritici blotch disease to determine the virulence pattern of pathogen isolates

No.	Line	Resistance gene	No.	Line	Resistance gene
1	Oasis	*Stb 1*	15	Obelisk	*Susceptible check*
2	Sulivan	*Stb 1*	16	Taichung 29	*Susceptible check*
3	Bulgaria 88	*Stb 1 & Stb 6*	17	Salamouni	*Stb 13&14*
4	Veranopolis	*Stb2 & Stb 6*	18	Arina	*Stb 6 &15*
5	Israel 493	*Stb 3 & Stb 6*	19	Riband	*Stb 15 or another*
6	Tadinia	*Stb 4 & Stb 6*	20	M3	*Stb 16 &17*
7	Cs synthetic	*Stb 5*	21	Balance	*Stb 6 &18*
8	Flame	*Stb 6*	22	Kulm	-
9	Shafir	*Stb 6*	23	3HD-126	*Stb11*
10	Estanzuela Federal	*Stb 7*	24	KM 7	*Stb16*
11	M6 Synthetic	*Stb 8*	25	KM 41	*Stb17*
12	Courtot	*Stb 9*	26	3HD-138	*Stb18*
13	Kavkaz-K4500	*Stb 6,7,10&12*	27	Darab-2	*Local check*
14	TE 9111	*Stb 6,7&11*	28	Tajan	*Local check*

سپس ترشحات[1] فتیله‌ای شکل حاوی پیکنیدیوسپورها که از دهانه پیکنیدها خارج شده بود، با استفاده از سوزن نازک استریل بر روی محیط کشت پی.دی.ای[2] (عصاره ۲۰۰ گرم سیب‌زمینی پخته شده، به‌همراه ۲۰ گرم دکستروز و ۱۵ گرم آگار در حجم نهایی یک لیتر آب مقطر) حاوی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر آنتی‌بیوتیک سولفات استرپتومایسین منتقل، و در انکوباتور با دمای ۱۸ درجه سلسیوس به‌مدت ۷-۵ روز نگه‌داری شدند. در طول این مدت تشتک‌های پتری مورد بررسی قرار گرفتند و در صورت مشاهده رشد مخمری قارچ، به محیط کشت پی.دی.ای بدون آنتی‌بیوتیک منتقل و به‌صورت مخطط کشت داده شدند. خالص‌سازی تک‌کلنی‌هایی که بر روی محیط کشت رشد کرده بودند، با تجدید کشت آن‌ها در ۲۰ میلی‌لیتر محیط کشت وای.جی.ام[3] (۱۰ گرم عصاره مخمر و ۲۰ گرم گلوکز در یک لیتر آب مقطر) در شیکرانکوباتور در دمای ۱۸ درجه سلسیوس و ۱۴۰ دور در دقیقه به‌مدت ۷-۵ روز انجام گردید.

سلول‌های مخمر مانند ته‌نشین شده قارچ پس از حذف محیط کشت، در لوله‌های اپندورف ۱/۵ میلی‌لیتری در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگه‌داری شدند. در دو سال ارزیابی، از دو جدایه متفاوت قارچ *Z. tritici* برای هر منطقه استفاده شد. زادمایه قارچ جهت مایه‌زنی ژنوتیپ‌های گندم به روش Roohparvar et al. (2008) با استفاده از محیط کشت مایع وای.جی.ام تهیه شد. سوسپانسیون اسپور جدایه‌های قارچی در غلظت 10^7 اسپور در میلی‌لیتر آب مقطر سترون حاوی ۰/۱۵ درصد توئین ۲۰ با استفاده از روش سری رقت سریالی تهیه و برای مایه‌زنی مورد استفاده قرار گرفت.

به‌منظور بررسی فنوتیپی مقاومت به بیماری لکه‌برگی سپتوریایی در ۱۱۳ لاین گندم امیدبخش (جدول ۲) تولید شده در داخل کشور(ERWYT-N98، ERWYT-N99، ERWYT-S98 و ERWYT-S99 به‌ترتیب شامل ۲۰، ۲۳، ۳۰، ۴۰ لاین) با شانس معرفی به‌عنوان رقم تجاری جدید در آینده، لاین‌های گندم به‌مدت دو سال زراعی متوالی (۱۴۰۰-۱۳۹۸) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط مزرعه‌ای ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان (گرگان) و صفی‌آباد (دزفول) بررسی شدند. کاشت بذور هر یک از لاین‌ها در هر تکرار بر روی دو خط

[1] Ooze
[2] Potato Dextrose Agar: PDA
[3] Yeast extract Glucose Medium: YGM

یک متری به‌فاصله ۳۰ سانتی‌متر انجام شده و جهت تسهیل در توسعه بیماری، در اطراف خزانه و به‌ازای هر ۱۰ شماره بذر رقم شاهد محلی حساس به بیماری (تجن در گرگان و داراب۲ در دزفول) کشت شده و پس از مایه‌زنی مصنوعی با جدایه‌های قارچی بیمارگر منطقه (به‌وسیله سمپاش پشتی ۲۰ لیتری) سیستم آبیاری افشانه[1] مورد استفاده قرار گرفت.

واکنش ژنوتیپ‌ها در مزرعه قبل از رسیدن دانه و زمانی که حداقل چهار برگ از هر بوته گندم زنده و سبز بودند، به روش Eyal (1999) در مقیاس دو رقمی ۹۹-۰۰ یادداشت‌برداری گردید. در این مقیاس رقم سمت چپ ارتفاع نسبی پیشرفت بیماری بر روی گیاه و رقم سمت راست درصد شدت بیماری را به‌صورت ۹-۰ نشان می‌دهد. بر این اساس در صورت فراهم بودن شرایط ایجاد آلودگی، ژنوتیپ‌های فاقد علایم[2] بیماری در گروه مصون (Immune:00)، و سایر واکنش‌ها به‌صورت بسیارمقاوم (Very Resistant:11-14)، مقاوم (Resistant:15-34)، نیمه‌مقاوم (Moderately Resistant:35-44)، نیمه‌حساس (Moderately Susceptible:45-64)، حساس (Susceptible:65-84) و بسیار حساس (Very Susceptible:85-99) گروه‌بندی شدند. برای تجزیه واریانس و تجزیه خوشه‌ای از نرم افزار SPSS نسخه ۲۱ استفاده گردید.

جدول ۲- شجره لاین‌های امیدبخش گندم مورد استفاده

Table 2. Pedigree of elite wheat lines used

Entry	No.	Line	Pedigree	Entry	No.	Line	Pedigree
1	1	N-98-1	Tirgan	21	1	N-99-1	Tirgan
2	2	N-98-2	Kalate	22	2	N-99-2	Kalate
3	3	N-98-3	N-86-12/4/BABAX/LR42//BABAX*2.	23	3	N-99-3	Morvarid/Yang//VOROBEY
4	4	N-98-4	KUTZ	24	4	N-99-4	KACHU//WBLL1*2/BRAMBLING/3/KACHU/KIRITATI
5	5	N-98-5	MUCUY	25	5	N-99-5	KACHU//WBLL1*2/BRAMBLING*2/3/KACHU/KIRITATI
6	6	N-98-6	KACHU/SAUAL/3/TACUPETO F2001.	26	6	N-99-6	KACHU//WBLL1*2/BRAMBLING*2/3/KACHU/KIRITATI
7	7	N-98-7	KAUZ//ALTAR 84/AOS/3/MILAN/KAUZ/4.	27	7	N-99-7	KACHU//WBLL1*2/BRAMBLING*2/3/KACHU/KIRITATI
8	8	N-98-8	KACHU/SAUAL*2/3/TACUPETO F2001.	28	8	N-99-8	ONIX/KBIRD*2//KFA/2*KACHU
9	9	N-98-9	KACHU/SAUAL/4/VARIS/MISR 2/3/FRET2.	29	9	N-99-9	KACHU/SAUAL*2/3/KINGBIRD #1//INQALAB 91*2/TUKURU
10	10	N-98-10	KACHU/SAUAL/3/TACUPETO F2001.	30	10	N-99-10	KACHU/SAUAL*2/3/KINGBIRD #1//INQALAB 91*2/TUKURU
11	11	N-98-11	KACHU/SAUAL/3/TRCH/SRTU//KACHU	31	11	N-99-11	UP2338*2/SHAMA/3/MILAN/KAUZ//CHIL/CHUM18/4/UP2338*2/SHAMA*2
12	12	N-98-12	PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNA.	32	12	N-99-12	MUTUS*2/TECUE #1/3/KINGBIRD #1//INQALAB 91*2/TUKURU
13	13	N-98-13	ROLF07/SAUAL/3/TRCH/SRTU//KACHU/4.	33	13	N-99-13	MUCUY/3/PBW343*2/KUKUNA*2//FRTL/PIFED
14	14	N-98-14	KACHU/SAUAL*2/3/TACUPETO F2001.	34	14	N-99-14	KFA/2*KACHU/3/PBW343*2/KUKUNA*2//FRTL/PIFED/4/KFA
15	15	N-98-15	KACHU/SAUAL*2/5/SERI.1B//KAUZ/HEVO.	35	15	N-99-15	NELOKI//SOKOLL/EXCALIBUR
16	16	N-98-16	KACHU/SAUAL/4/VARIS/MISR 2,EGY/3/FRET2	36	16	N-99-16	MUCUY
17	17	N-98-17	BCN/RIALTO//2*MUNAL #1	37	17	N-99-17	NELOKI//SOKOLL/EXCALIBUR
18	18	N-98-18	BAJ #1/ALTIGO	38	18	N-99-18	BAJ #1*2/PREMIO
19	19	N-98-19	VARIS/MISR2,EGY/3/FRET2/KUKUNA//FRET2.	39	19	N-99-19	KACHU#1/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1/4/KACHU/8/TACUPETO F2001
20	20	N-98-20	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU*2.	40	20	N-99-20	SAUAL/MUTUS/4/KACHU#1//WBLL1*2/KUKUNA/3/BRBT1*2/KIRITATI
				41	21	N-99-21	BABAX/LR42//BABAX/3/ER2000/7/CNO79//PF70354/MUS/3/PASTOR
				42	22	N-99-22	BAJ #1*2/PREMIO
				43	23	N-99-23	BAVIS #1*2/PREMIO

[1] Mist irrigation
[2] No symptom

Continuation of Table 2. **ادامه جدول ۲.**

Entry	No.	Line	Pedigree	Entry	No.	Line	Pedigree
44	1	S-98-1	Chamran 2	65	22	S-98-22	CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//OPATA/3/PASTOR/4/2*SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU
45	2	S-98-2	Niknejad//Attila*2/PBW65	66	23	S-98-23	BECARD #1/BAVIS #1
46	3	S-98-3	PBW343//CAR422/ANA/3/Niknejad	67	24	S-98-24	Mehregan
47	4	S-98-4	Cham//PTZ Niska/VT l556-170 WRB856/3/Yaco/2*Parus/4/C-84-8	68	25	S-98-25	FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ*2/5/KIRITATI
48	5	S-98-5	Niknejad/1-66-22	69	26	S-98-26	FRNCLN/QUAIU//FRANCOLIN #1
49	6	S-98-6	DEEK-2//Star */Lotus-5/3/ATTILA50Y//ATTILA/BCN	70	27	S-98-27	TACUPETO F2001/6/CNDO/R143//ENTE/MEXI_2/3/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)/4/WEAVER/5/PASTOR/7/ROLF07*2/8/SAUAL/YANAC//SAUAL
50	7	S-98-7	PASTOR/3/KAUZ*2/OPATA//KAUZ/4/FISCAL	71	28	S-98-28	SHORTENED SR26 TRANSLOCATION/4/ATTILA/3*BCN//BAV92/3/PASTOR/5/MUNAL/6/MUTUS*2/TECUE #1
51	8	S-98-8	PASTOR/3/KAUZ*2/OPATA//KAUZ/4/FISCAL	72	29	S-98-29	WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1/4/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR/5/WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1/6/QUAIU #1/SOLALA//QUAIU #2
52	9	S-98-9	BAJ#1/5/ATTILA/3*BCN//BAV92/3/TILHI/4/SHA7/VEE#5//ARIV92/6/WBLL1/KUKUNA//TACUPETO F2001/3/BAJ #1	73	30	S-98-30	Sarang
53	10	S-98-10	WBLL1*2/4/YACO/PBW65/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ/5/KACHU #1/6/MARCHOUCH*4/SAADA/3/2*FRET2/KUKUNA//FRET2/7/WBLL1*2/4/YACO/PBW65/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ/5/KACHU #1	74	1	S-99-1	Chamran 2
54	11	S-98-11	BAVIS #1/5/W15.92/4/PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1	75	2	S-99-2	Gascogne/3/Nai60/Hn7//Sy/4/WS-85-10
55	12	S-98-12	JNRB.5/PIFED/5/BJY/COC//PRL/BOW/3/SARA/THB//VEE/4/PIFED	76	3	S-99-3	Gascogne/3/Nai60/Hn7//Sy/4/WS-85-10
56	13	S-98-13	SOKOLL/WESTONIA	77	4	S-99-4	CMH80-279/Pastor//Sivand/3/WS-85-10
57	14	S-98-14	BABAX/LR42//BABAX/3/ER2000/5/W15.92/4/PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1	78	5	S-99-5	Darab#2/FISCAL/4/Alvd//Aldan/Ias/3/Flt
58	15	S-98-15	SOKOLL/WBLL1/6/OASIS/5*BORL95/5/CNDO/R143//ENTE/MEXI75/3/AE.SQ/4/2*OCI	79	6	S-99-6	Falat/3/Pastor/Tabasi//Cham/4/Debira
59	16	S-98-16	KAUZ//ALTAR 84/AOS/3/MILAN/KAUZ/4/SAUAL/5/SERI.1B//KAUZ/HEVO/3/AMAD*2/4/KIRITATI/6/KACHU/SAUAL	80	7	S-99-7	ATTILA50Y//ATTILA/BCN/3/KAPSW/SHUHA-17/4/TNMU/MILAN
60	17	S-98-17	KACHU/SAUAL*2/3/TACUPETO F2001/BRAMBLING//KIRITATI	81	8	S-99-8	DEBEIRA//MILAN/PASTOR/4/URES/BOW//OPATA/3/HD2206/HORK'S'
61	18	S-98-18	SAUAL/MUTUS*2/3/TRCH/SRTU//KACHU	82	9	S-99-9	NELOKI//SOKOLL/EXCALIBUR
62	19	S-98-19	WAXWING/KIRITATI//FISCAL/3/HUW234+LR34/PRINIA//UP2338*2/VIVITSI/4/HUW234+LR34/PRINIA*2//YANAC	83	10	S-99-10	NELOKI//SOKOLL/EXCALIBUR
63	20	S-98-20	ATTILA/3*BCN//BAV92/3/TILHI/5/BAV92/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/CROC_1/AE.SQUARROSA (224) //2*OPATA*2/6/HUW234+LR34/PRINIA//UP2338*2/VIVITSI	84	11	S-99-11	BECARD/AKURI*2/3/KINGBIRD#1//INQALAB 91*2/TUKURU
64	21	S-98-21	FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ/5/PARUS/6/FRET2*2/KUKUNA*2/7/TRCH/SRTU//KACHU	85	12	S-99-12	TACUPETOF2001/6/CNDO/R143//ENTE/MEXI_2/3/AEGILOPS SQUARROSA(TAUS)/4/WEAVER/5/PASTOR/7/ROLF07*2/8/SAUAL/YANAC//SAUAL

ادامه جدول ۲. **Continuation of Table 2.**

Entry	No.	Line	Pedigree	Entry	No.	Line	Pedigree
86	13	S-99-13	SUP152/6/OASIS/5*BORL95/5/CNDO/R143//ENTE/MEXI75/3/AE.SQ/4/2*OCI	100	27	S-99-27	Pishtaz//Falat/Barakat/4/OASIS/SKAUZ//4*BCN/3/2*PASTOR
87	14	S-99-14	SUP152/6/OASIS/5*BORL95/5/CNDO/R143//ENTE/MEXI75/3/AE.SQ/4/2*OCI	101	28	S-99-28	PFAU/MILAN/5/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA(TAUS)//BCN/3/VEE#7/BOW/4/PASTOR/6/Baaz
88	15	S-99-15	CETA/AE.SQUARROSA (435)//2*BECARD	102	29	S-99-29	PFAU/MILAN/5/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA(TAUS)//BCN/3/VEE#7/BOW/4/PASTOR/6/Baaz
89	16	S-99-16	AMUR/3/KINGBIRD #1//INQALAB91*2/ TUKURU/4/AMUR	103	30	S-99-30	PFAU/MILAN/5/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA(TAUS)//BCN/3/VEE#7/BOW/4/PASTOR/6/Baaz
90	17	S-99-17	BABAX/LR42//BABAX*2/3/KUKUNA/4/CROSBILL #1/5/BECARD/6/KFA/2*KACHU	104	31	S-99-31	PFAU/MILAN/5/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA(TAUS)//BCN/3/VEE#7/BOW/4/PASTOR/6/Baaz
91	18	S-99-18	BABAX/LR42//BABAX*2/3/SHAMA/4/KINGBIRD #1/5/QUAIU/6/2*COPIO	105	32	S-99-32	PFAU/MILAN/5/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA(TAUS)//BCN/3/VEE#7/BOW/4/PASTOR/6/Baaz
92	19	S-99-19	SITE/MO//PASTOR/3/TILHI/4/ WAXWING/KIRITATI/5/KACHU #1/KIRITATI//KACHU	106	33	S-99-33	Mehregan
93	20	S-99-20	TACUPETO F2001/SAUAL//BLOUK #1/3/SAUAL/YANAC//SAUAL/4 /TACUPETO F2001/SAUAL//BLOUK #1	107	34	S-99-34	WBLL4//OAX93.24.35/WBLL1/5/CROC_1/AE.SQUARROSA(205)//BORL95/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2
94	21	S-99-21	FRET2/KUKUNA//FRET2/3/YANAC/4/FRET2/KIRITATI/5/MUU #1//PBW343*2/KUKUNA/3/MUU/6/BORL14	108	35	S-99-35	REH/HARE//2*BCN/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (213)//PGO/4/HUITES/5/T.SPELTA PI348599/6/REH/HARE//2*BCN/3/CROC_1/AE.SQUARROSA(213)//PGO/4/HUITES/7/QUAIU/8/2*QUAIU #1/SOLALA//QUAIU #2
95	22	S-99-22	Pishtaz//Falat/Barakat/3/IRENA/BABAX//PASTOR	109	36	S-99-36	WBLL1//PUB94.15.1.12/WBLL1/3/ MUCUY
96	23	S-99-23	Pishtaz//Falat/Barakat/3/IRENA/BABAX//PASTOR	110	37	S-99-37	C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1/3/ATTILA/3*BCN*2//BAV92/4/WBLL1*2/KURUKU/5/IWA8600211//2*PBW343*2/KUKUNA/6/MUCUY
97	24	S-99-24	Pishtaz//Falat/Barakat/4/OASIS/SKAUZ//4*BCN/3/2*PASTOR	111	38	S-99-38	SHAKTI/5/WHEAR/KIRITATI/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1*2/4/KIRITATI/2*TRCH/6/BECARD//KIRITATI/2*TRCH/3/BECARD
98	25	S-99-25	Pishtaz//Falat/Barakat/4/OASIS/SKAUZ//4*BCN/3/2*PASTOR	112	39	S-99-39	QUAIU #1/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR/4/QUAIU #2*2/5/SUP152/BECARD
99	26	S-99-26	Pishtaz//Falat/Barakat/4/OASIS/SKAUZ//4*BCN/3/2*PASTOR	113	40	S-99-40	Sarang

نتایج

الگوی ناپرآزاری/پرآزاری جدایه‌های جمع‌آوری شده از مناطق گرگان و دزفول در دو سال زراعی متوالی ۱۴۰۰-۱۳۹۸ در جدول ۳ ارایه شده است. جدایه‌های مناطق گرگان و دزفول نه تنها بایکدیگر از لحاظ الگوی ناپرآزاری/پرآزاری روی ژن‌های مقاومت موجود در ارقام افتراقی تفاوت داشتند بلکه در هر دو منطقه نیز جدایه‌ها در هر دو سال آزمایش متفاوت بودند. جدایه‌های منطقه گرگان تعداد فاکتور (ژن)های پرآزار بیشتری نسبت به جدایه‌های منطقه دزفول روی ژن‌های مقاومت موجود در ارقام افتراقی در دو سال متوالی داشتند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که براساس شاخص‌های مقاومت اندازه‌گیری شده بین واکنش لاین‌ها (ERWYT-N98, N99, S98, S99) نسبت به جمعیت قارچ *Z. tritici* در مرحله گیاه کامل اختلاف بسیار معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. بنابراین وجود تفاوت‌های ژنتیکی در میان لاین‌های امیدبخش گندم مورد مطالعه از نظر میزان مقاومت تایید شد (جدول ۴). مقادیر پایین ضریب تغییرات

(CV) در محدوده ۱۰/۸ تا ۱۳/۵ درصد، نشان‌دهنده دقت مناسب طراحی آزمایش و همگنی داده‌ها بود. میانگین مربعات برهمکنش ژنوتیپ × جدایه نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، بنابراین واکنش لاین‌ها نسبت به جدایه‌های مختلف در دو سال انجام آزمایش یکسان نبودند. نتایج حاصل از بررسی واکنش گیاه کامل لاین‌های امیدبخش گندم دو اقلیم شمال و جنوب کشور طی دو سال زراعی نسبت به قارچ بیمارگر لکه‌برگی سپتوریایی در جدول ۵ منعکس شده است.

جدول ۳- الگوی ناپرآزاری/پرآزاری جدایه‌های قارچ *Zymoseptoria tritici* روی ژن‌های مقاومت موجود در ارقام افتراقی

Table 3. Avirulence/Virulence pattern of *Zymoseptoria tritici* isolates on resistance genes present in differential wheat cultivars

Isolate	Year	Region	Avirulence/Virulence pattern
1	2019-2020	Gorgan	***Stb1,2,3,4,5,6,10,11,12,13,14,15,16,18*** */ Stb 7,8,9,17*
2	2020-2021	Gorgan	***Stb1,2,3,4,5,6,7,8,10,11,12,13,14,15,16,17,18*** */ Stb9*
1	2019-2020	Dezful	***Stb1,5,10,11,12,13,14,15,16,17,18*** */ Stb2, 3,4,6,7,8,9,*
2	2020-2021	Dezful	***Stb1,5,10,12,13,14,15,16,18*** */ Stb2,3,4,6,7,8,9,11, 17*

جدول ٤- تجزیه واریانس واکنش لاین‌های امیدبخش گندم نسبت به جدایه‌های قارچ *Zymoseptoria tritici* در مرحله گیاه کامل در دو منطقه گرگان و دزفول در دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۸

Table 4. Analysis of variance (ANOVA) for the response of elite wheat lines to isolates of *Zymoseptoria tritici* at the adult plant stage across two locations (Gorgan and Dezful) during two growing seasons (2019–2021).

Line	Df Block	Df Treatment	Df Error	Adult plant reaction											
				Gorgan						Dezful					
				2019-2020			2020-2021			2019-2020			2020-2021		
				MSB	MST	MSE	MSB	MST	MSE	MSB	MST	MSE	MSB	MST	MSE
N-98	2	20	40	2.78ns	10.32**	2.33	1.21ns	11.27**	1.87	1.99ns	13.42**	1.41	2.31ns	12.58**	2.02
N-99	2	23	46	1.47ns	12.56**	2.73	1.93ns	13.78**	1.99	2.53ns	15.41**	2.32	1.69ns	10.48**	2.98
S-98	2	30	60	2.59ns	14.36**	2.15	1.88ns	15.71**	2.21	2.31ns	12.11**	1.78	2.71ns	14.66**	1.78
S-99	2	40	80	1.84ns	11.75**	1.91	1.69ns	17.09**	1.47	2.14ns	11.47**	1.91	2.09ns	11.98**	1.59
%CV					10.8			13.5			12.6			11.2	

*, ** and ns: indicate significant at 5% and 1% levels, and non-significant, respectively

جدول ۵- واکنش لاین‌های امیدبخش گندم نسبت به جدایه‌های قارچ *Zymoseptoria tritici* در مرحله گیاه کامل در گرگان و دزفول در دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۸ بر اساس روش ایال (Eyal, 1999) در مقیاس دو رقمی ۹۹-۰۰. در این مقیاس رقم سمت چپ ارتفاع نسبی پیشرفت بیماری بر روی گیاه و رقم سمت راست درصد شدت بیماری را به‌صورت ۹-۰ نشان می‌دهد.

Table 5. Adult plant reaction of wheat elite lines to *Zymoseptoria tritici* isolates based on 00-99 double digit scale of Eyal (1999) in Gorgan and Dezful during two cropping years of 2019–2021. Left and right digits show relative height of disease progress on plant, and disease severity in 0-9, respectively.

Entry	No.	Line	Adult plant reaction											
			Gorgan						Dezful					
			2019-2020			2020-2021			2019-2020			2020-2021		
			I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	1	N-98-1	57	36	54	34	11	12	75	75	75	71	73	71
2	2	N-98-2	55	34	56	12	12	32	72	72	71	72	72	72
3	3	N-98-3	57	34	56	32	0*	0	75	73	75	72	71	71
4	4	N-98-4	58	56	55	32	0	0	75	75	73	73	73	73
5	5	N-98-5	58	34	56	11	0	0	77	75	75	73	73	72
6	6	N-98-6	56	34	56	36	54	12	77	75	75	73	73	73

Continuation of Table 5. **ادامه جدول ۵.**

Entry	No.	Line	Adult plant reaction											
			Gorgan						Dezful					
			2019-2020			2020-2021			2019-2020			2020-2021		
			I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
7	7	N-98-7	74	35	55	31	54	11	75	75	77	73	75	72
8	8	N-98-8	57	36	58	11	0	12	75	75	75	73	75	72
9	9	N-98-9	56	55	58	11	0	32	75	75	75	75	75	73
10	10	N-98-10	55	56	56	0	0	11	73	75	75	73	75	71
11	11	N-98-11	75	73	57	32	34	31	75	73	75	75	75	73
12	12	N-98-12	58	57	58	35	0	56	72	73	73	71	73	71
13	13	N-98-13	56	52	56	32	0	31	75	75	75	75	75	75
14	14	N-98-14	55	52	74	12	36	12	75	75	75	75	75	75
15	15	N-98-15	58	54	58	12	54	12	75	75	75	75	77	75
16	16	N-98-16	56	54	56	11	12	12	75	75	75	73	75	75
17	17	N-98-17	54	55	75	12	12	0	73	72	75	75	73	75
18	18	N-98-18	54	54	56	12	12	35	73	71	71	71	71	71
19	19	N-98-19	57	54	56	0	33	32	75	75	75	77	75	75
20	20	N-98-20	56	56	55	0	11	11	71	71	72	71	71	71
-	-	susceptible control	78	79	77	73	72	73	78	78	78	77	73	77
21	1	N-99-1	54	0	0	55	34	32	71	71	71	71	71	53
22	2	N-99-2	36	0	34	74	31	52	71	73	73	52	72	75
23	3	N-99-3	33	35	34	77	31	54	73	73	75	0	0	52
24	4	N-99-4	36	0	32	75	54	56	52	71	71	75	75	75
25	5	N-99-5	52	0	36	75	31	11	73	73	75	73	75	75
26	6	N-99-6	31	0	36	56	72	11	71	72	75	75	75	77
27	7	N-99-7	54	32	0	75	72	56	73	73	73	73	72	73
28	8	N-99-8	54	36	32	74	51	58	71	71	71	53	71	55
29	9	N-99-9	53	0	0	72	54	55	73	75	73	72	72	72
30	10	N-99-10	0	52	0	77	52	54	73	75	75	73	72	72
31	11	N-99-11	0	54	55	55	54	56	71	71	73	72	72	72
32	12	N-99-12	34	0	58	53	34	34	71	73	71	71	72	73
33	13	N-99-13	0	0	31	73	52	54	73	73	77	71	71	71
34	14	N-99-14	0	0	11	55	52	52	73	73	75	73	72	75
35	15	N-99-15	36	0	0	78	74	74	75	75	75	75	75	75
36	16	N-99-16	36	36	32	52	34	54	75	73	75	72	71	73
37	17	N-99-17	0	0	31	77	57	56	75	72	75	75	75	77
38	18	N-99-18	0	0	0	54	55	34	51	53	52	0	52	53
39	19	N-99-19	35	32	11	73	52	55	72	72	73	71	53	71
40	20	N-99-20	0	12	54	54	52	32	75	75	73	71	71	71
41	21	N-99-21	35	11	12	52	54	34	73	73	73	71	71	72
42	22	N-99-22	0	32	12	52	51	55	73	73	73	71	55	71
43	23	N-99-23	0	31	31	11	52	32	71	71	75	0	55	71
-	-	susceptible control	73	71	72	78	74	78	75	75	77	77	77	77
44	1	S-98-1	35	55	54	12	11	12	75	73	73	72	71	71
45	2	S-98-2	74	74	74	12	55	74	75	73	75	75	73	72
46	3	S-98-3	35	54	55	55	52	32	73	73	73	75	75	72
47	4	S-98-4	54	55	55	12	54	0	75	75	75	73	72	73
48	5	S-98-5	55	55	55	12	52	33	73	75	73	73	73	71
49	6	S-98-6	74	74	75	11	56	33	77	77	77	73	71	72
50	7	S-98-7	75	74	74	12	32	32	75	75	75	72	72	71
51	8	S-98-8	55	74	58	12	56	54	75	73	75	75	71	73
52	9	S-98-9	57	76	73	13	58	0	75	75	77	75	73	72
53	10	S-98-10	57	75	74	35	32	36	75	75	75	75	73	75
54	11	S-98-11	54	58	73	0	32	1	75	75	77	73	71	71
55	12	S-98-12	74	75	74	56	58	54	75	75	73	75	73	75
56	13	S-98-13	73	56	72	54	56	32	75	73	75	73	73	71
57	14	S-98-14	57	55	54	54	32	31	75	75	75	73	71	71
58	15	S-98-15	58	57	56	12	31	32	75	75	75	73	71	73
59	16	S-98-16	75	57	57	12	34	33	75	75	75	75	73	75
60	17	S-98-17	74	57	56	34	0	31	75	75	75	75	73	72
61	18	S-98-18	56	56	55	54	58	31	75	73	73	75	73	72
62	19	S-98-19	74	57	56	12	56	53	77	75	77	75	73	73
63	20	S-98-20	57	57	74	12	56	53	75	73	75	75	75	75
64	21	S-98-21	74	57	74	58	54	34	77	75	75	75	75	73
65	22	S-98-22	56	55	55	56	54	0	75	75	75	73	72	73
66	23	S-98-23	55	56	56	12	32	34	77	75	72	75	73	75
67	24	S-98-24	57	56	56	34	35	11	75	75	73	72	73	73
68	25	S-98-25	76	74	73	58	0	12	72	72	73	72	72	71
69	26	S-98-26	36	55	54	12	0	55	75	72	73	73	73	73

ادامه جدول ۵. **Continuation of Table 5.**

Entry	No.	Line	Adult plant reaction											
			Gorgan						Dezful					
			2019-2020			2020-2021			2019-2020			2020-2021		
			I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
70	27	S-98-27	74	56	74	36	54	11	75	75	75	75	75	73
71	28	S-98-28	54	54	55	33	12	12	73	75	75	75	75	73
72	29	S-98-29	54	57	74	0	12	35	75	77	77	77	75	75
73	30	S-98-30	55	56	58	35	56	59	73	73	72	77	77	71
-	-	susceptible control	78	79	77	73	75	74	78	78	78	75	77	75
74	1	S-99-1	31	0	0	32	32	32	75	75	75	72	75	73
76	3	S-99-3	34	0	52	55	58	32	77	75	73	71	72	75
77	4	S-99-4	0	0	0	74	52	11	77	75	77	74	77	73
78	5	S-99-5	58	54	11	77	74	74	77	75	77	75	71	77
79	6	S-99-6	56	31	11	75	58	32	77	75	75	73	73	75
80	7	S-99-7	12	0	12	75	54	55	73	75	73	71	72	73
81	8	S-99-8	12	56	0	58	51	31	75	75	75	72	75	75
82	9	S-99-9	0	31	0	78	52	74	75	77	77	73	72	75
83	10	S-99-10	0	0	0	79	57	52	75	75	77	75	73	75
84	11	S-99-11	32	34	54	79	77	31	77	75	77	75	72	77
85	12	S-99-12	54	12	35	54	54	32	75	75	75	72	75	73
86	13	S-99-13	54	12	31	56	72	11	72	73	75	71	52	71
87	14	S-99-14	54	0	56	77	74	56	73	73	77	71	72	72
88	15	S-99-15	56	0	54	74	75	51	72	72	75	51	53	71
89	16	S-99-16	58	77	54	55	51	31	73	75	75	53	51	73
90	17	S-99-17	34	32	0	73	54	11	75	77	77	72	73	75
91	18	S-99-18	0	36	0	54	32	11	73	77	75	53	71	73
92	19	S-99-19	31	31	0	55	54	11	75	75	77	71	75	73
93	20	S-99-20	32	0	0	74	31	34	72	73	73	75	72	71
94	21	S-99-21	56	55	0	56	73	55	73	75	75	73	75	77
95	22	S-99-22	34	0	0	52	34	34	73	75	75	53	55	71
96	23	S-99-23	0	31	55	74	78	54	75	75	75	53	51	71
97	24	S-99-24	0	0	12	55	53	32	75	75	73	53	72	0
98	25	S-99-25	0	0	13	34	52	11	73	73	73	0	72	71
99	26	S-99-26	36	58	32	54	73	55	73	75	73	0	51	52
100	27	S-99-27	58	31	31	56	54	34	73	75	71	0	0	71
101	28	S-99-28	34	57	0	32	32	12	73	75	75	71	71	73
102	29	S-99-29	56	32	35	74	73	56	75	75	73	53	73	75
103	30	S-99-30	54	32	33	34	74	52	71	73	73	72	51	72
104	31	S-99-31	32	56	36	55	54	74	71	71	71	0	51	53
105	32	S-99-32	0	32	31	74	74	52	52	72	71	0	0	0
106	33	S-99-33	0	0	34	72	53	55	72	72	72	0	0	0
107	34	S-99-34	0	0	0	76	32	56	73	75	73	75	71	71
108	35	S-99-35	0	0	0	52	31	52	72	72	71	0	0	55
109	36	S-99-36	31	36	0	55	32	34	72	75	73	73	72	73
110	37	S-99-37	32	0	34	72	34	53	73	72	73	73	51	71
111	38	S-99-38	53	34	0	55	32	34	75	73	75	72	51	72
112	39	S-99-39	55	11	0	73	73	54	71	72	71	71	0	71
113	40	S-99-40	74	56	56	52	34	36	77	77	77	71	0	73
-	-	susceptible control	72	73	71	74	72	78	77	77	77	75	75	77

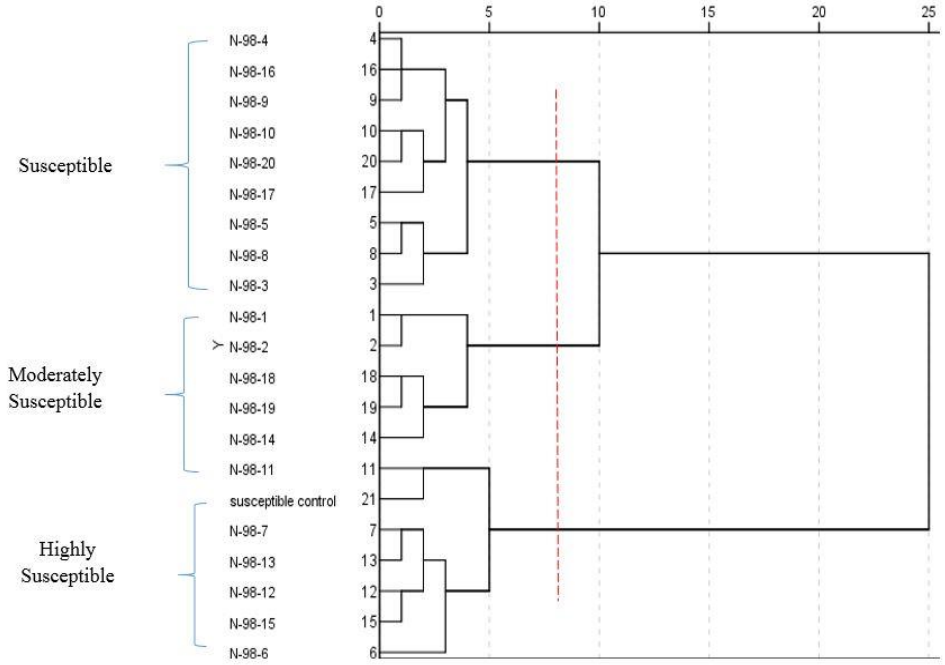
*: The value 0 (no symptom) does not necessarily refer to immunity reaction. No disease symptom could also be observed due to non-immunity reasons, such as lack of inoculum during artificial inoculation, or unfavorable microclimate for infection around the genotype, etc.

برای لاین‌های امیدبخش گندم اقلیم شمال مربوط به سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ (ERWYT-N98)، ۲۴ درصد از لاین‌ها واکنش نیمه‌حساسیت (لاین‌های ER-N98-14,18,19 به‌همراه ارقام تیرگان و کلاته)، ۴۳ درصد از لاین‌ها واکنش حساسیت و ۳۳ درصد واکنش حساسیت شدید را بروز دادند.

لاین‌های متعلق به هر گروه (نیمه‌حساس، حساس و حساس شدید) در مجموعه لاین‌های امیدبخش گندم ERWYT-N98 به تفکیک در شکل ۱ ارایه شده‌اند. در مجموعه لاین‌های امیدبخش گندم ERWYT-N99، ۲۹ درصد از لاین‌ها واکنش نیمه‌حساسیت (لاین‌های ER-N99-6,14,16,18,21,22,23)، ۲۹ درصد واکنش حساسیت و ۴۲ درصد واکنش حساسیت شدید داشتند.

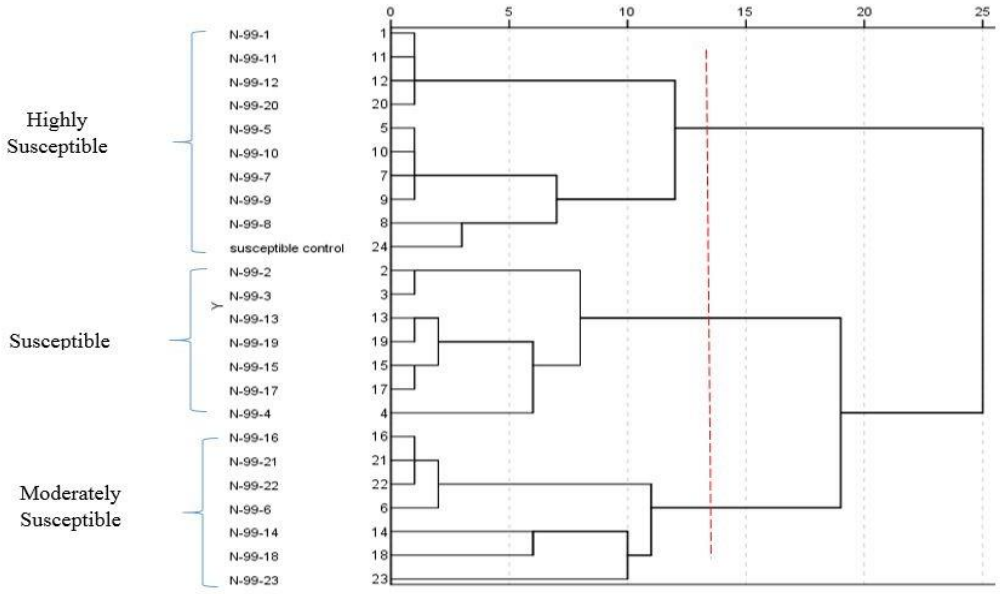
لاین‌های متعلق به گروه‌های مختلف نیمه‌حساس، حساس و حساس شدید به تفکیک در مجموعه لاین‌های امیدبخش ERWYT-N99 در شکل ۲ نشان داده شده است.

برای مجموعه لاین‌های امیدبخش گندم ERWYT-S98، ۳۹ درصد از لاین‌ها واکنش نیمه‌حساسیت (لاین‌های ER-S98-7,10,11,14,15,16,17,23,28,29 به همراه ارقام چمران۲ و مهرگان)، ۲۹ درصد واکنش حساسیت و ۳۲ درصد واکنش حساسیت شدید نشان دادند. لاین‌های متعلق به هر گروه (نیمه‌حساس، حساس و حساس شدید) در مجموعه لاین‌های گندم امیدبخش ERWYT-S98 به تفکیک در شکل ۳ ارایه شده‌اند.



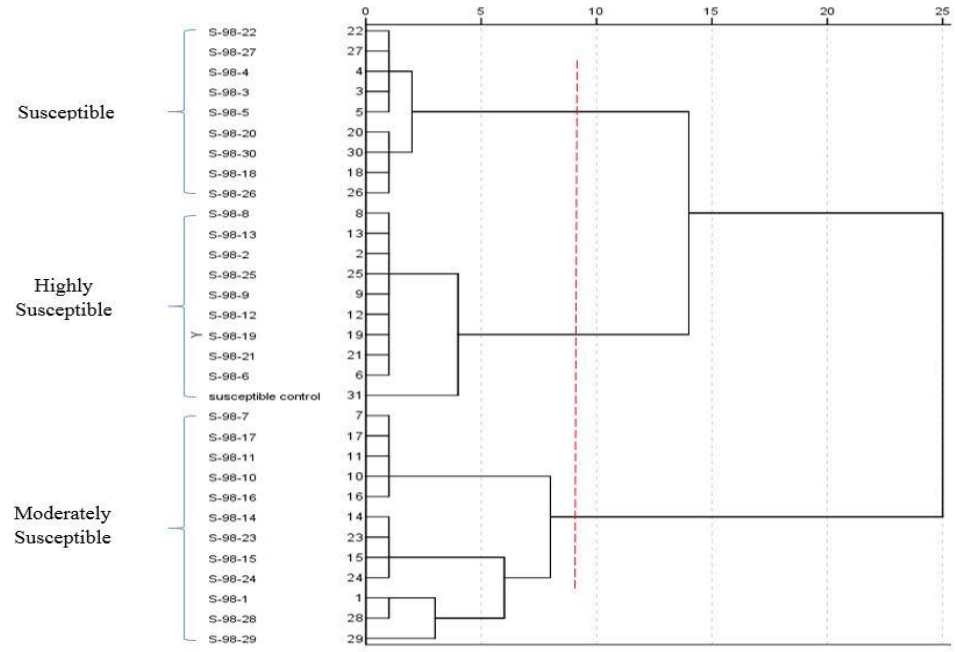
شکل ۱- تجزیه خوشه‌ای واکنش لاین‌های امیدبخش گندم (ERWYT-N98) نسبت به جدایه‌های قارچ *Zymoseptoria tritici* در مرحله گیاه کامل

Figure 1. Cluster analysis of the responses of elite wheat lines (ERWYT-N98) to *Zymoseptoria tritici* isolates in adult plant stage



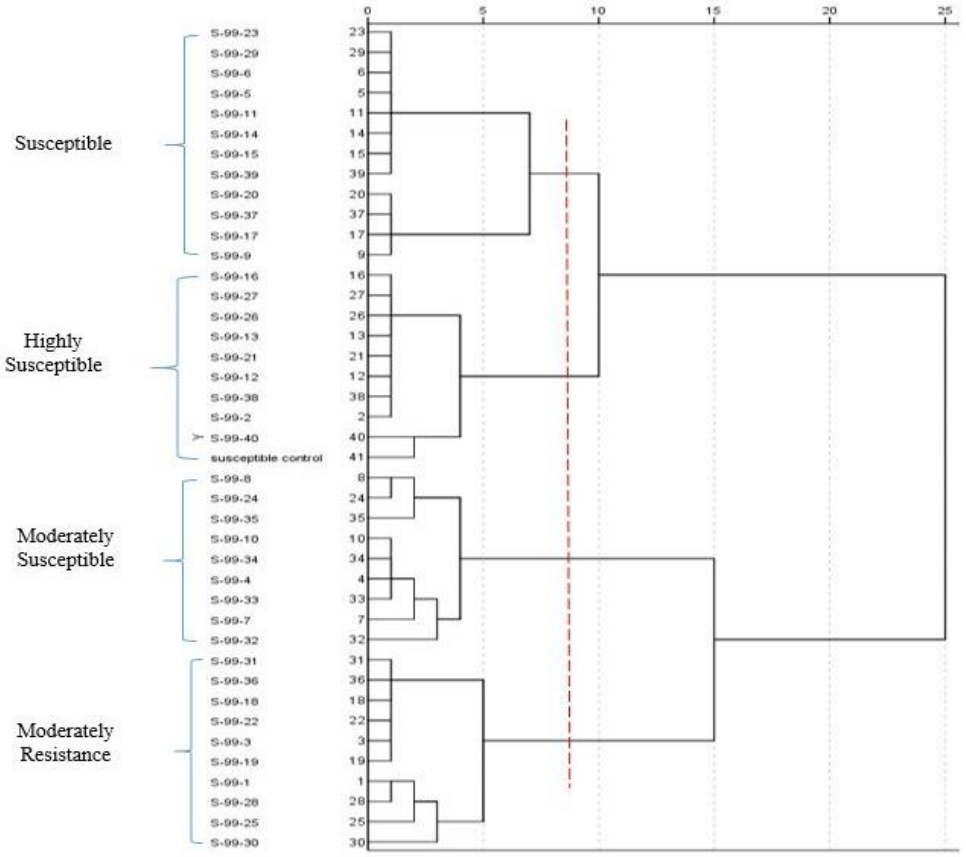
شکل ۲- تجزیه خوشه‌ای واکنش لاین‌های امیدبخش گندم (ERWYT-N99) نسبت به جدایه‌های قارچ *Zymoseptoria tritici* در مرحله گیاه کامل

Figure 2. Cluster analysis of the responses of elite wheat lines (ERWYT-N99) to *Zymoseptoria tritici* isolates in adult plant stage



شکل ۳- تجزیه خوشه‌ای واکنش لاین‌های امیدبخش گندم (ERWYT-S98) نسبت به جدایه‌های قارچ *Zymoseptoria tritici* در مرحله گیاه کامل

Figure 3. Cluster analysis of the responses of promising wheat lines (ERWYT-S98) to *Zymoseptoria tritici* isolates at the adult plant stage



شکل ٤- تجزیه خوشه‌ای واکنش لاین‌های امیدبخش گندم (ERWYT-S99) نسبت به جدایه‌های قارچ *Zymoseptoria tritici* در مرحله گیاه کامل

Figure 4. Cluster analysis of the responses of elite wheat lines (ERWYT-S99) to *Zymoseptoria tritici* isolates in adult plant stage

در مجموعه لاین‌های گندم امیدبخش ERWYT-S99، ۲۴ درصد از لاین‌ها واکنش نیمه‌مقاومت (لاین‌های ER-S99-3,18,19,22,25,28,30,31,36 به‌همراه رقم چمران۲)، ۲۲ درصد واکنش نیمه‌حساسیت (لاین‌های ER-S99-4,7,8,10,24,32,34,35 به همراه رقم مهرگان)، ۳۰ درصد واکنش حساسیت و ۲۴ درصد از لاین‌ها نسبت به بیماری واکنش حساسیت شدید داشتند. لاین‌های متعلق به گروه‌های مختلف نیمه‌مقاوم، نیمه‌حساس، حساس و حساس شدید در مجموعه لاین‌های گندم امیدبخش ERWYT-S99 به تفکیک در شکل ۴ ارایه شده‌اند.

بحث

مطالعه الگوی پرآزاری جدایه‌های قارچ عامل بیماری لکه‌برگی سپتوریایی نشان داد که این الگو در جدایه‌های قارچ در سال‌ها و مناطق مختلف، متفاوت بود. همچنین الگوی ژنتیکی پرآزاری جدایه‌های مورد مطالعه با الگوی پرآزاری جدایه‌های بررسی شده توسط سایر محققین تفاوت داشت (Abrinbana et al., 2012; Davari et al., 2012; Hosseinnezhad et al., 2014; Kia et al., 2018) که این امر می‌تواند به وجود تنوع ژنتیکی در جمعیت‌های *Z. tritici* موجود در کشور دلالت داشته باشد. ایجاد تنوع ژنتیکی در بیمارگر به‌دلیل برخوردار بودن از تولید مثل جنسی و غیرجنسی و همچنین تغییرات آب و هوایی و اقلیمی در عرض‌های جغرافیایی مختلف امری طبیعی به‌شمار می‌آید (Brown et al., 2015).

Roohparvar et al. (2023) تفاوت‌های موجود در نتایج مطالعات مختلف را مربوط به اختلاف مولفه‌های مکانی و زمانی عامل بیماری، و ناشی از تنوع ژنتیکی جمعیت‌های بیمارگر حاضر در مناطق مختلف و پرآزاری آن‌ها بر روی ژن‌های مختلف مقاومت به بیماری (*Stb*)، دینامیسم جمعیت و تغییرات ژنتیکی جدایه‌های بیمارگر در سال‌های زراعی مختلف معرفی کردند.

با توجه به وجود تنوع ژنتیکی بالا در مجموعه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه می‌توان از این ژنوتیپ‌ها در برنامه‌های مکان‌یابی ارتباطی برای شناسایی ژن‌های مقاومت به بیماری لکه‌برگی سپتوریایی استفاده نمود (Goudemand et al., 2013). تنوع ژنتیکی مقاومت به جدایه‌های *Z. tritici* در ژنوتیپ‌های مختلف گندم گزارش شده است (Tabib Ghaffary et al., 2011; Ghaneie et al., 2012).

اطلاع از طیف پرآزاری عوامل بیماری‌زای گیاهی یکی از ملزومات تدوین و اجرای موفق برنامه‌های به‌نژادی برای ایجاد مقاومت‌های موثر و پایدار می‌باشد (Goudemand et al., 2013). داده‌های مربوط به ساختار ژنتیکی جمعیت‌های محلی بیمارگر، تعیین الگوی پرآزاری و بررسی روند تغییرات الگوی پرآزاری جمعیت‌های منطقه‌ای بیمارگر می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای تولید هدفمند و سریع‌تر ارقام مقاوم پایدار در اختیار به‌نژادگران گندم قرار دهد. استفاده از ژن‌های مقاومتی که کارایی ژنتیکی لازم را برای ایجاد مقاومت موثر نسبت به جمعیت‌های منطقه‌ای قارچ *Z. tritici* نداشته باشند، می‌تواند باعث شکسته شدن زود هنگام مقاومت و حساسیت ژنوتیپ‌های گندم مقاوم معرفی شده، و در نتیجه افزایش احتمال وقوع همه‌گیری بیماری لکه‌برگی سپتوریایی در منطقه شود.

براساس نتایج حاصل از بررسی الگوی پرآزاری جدایه‌های جمع‌آوری شده در این تحقیق، پرآزاری بر روی ژن‌های مقاومت *Stb1*، *Stb5*، *Stb10*، *Stb12*، *Stb13*، *Stb14*، *Stb15*، *Stb16* و *Stb18* در سال‌ها و مکان‌های مورد مطالعه مشاهده نشد.

ژن‌های مقاومت *Stb7*، *Stb8* و *Stb9* در برابر تمامی جدایه‌ها غیرموثر بودند. در مورد ژن‌های مقاومت *Stb11* و *Stb17* در هر دو منطقه گرگان و دزفول جدایه‌ای با پرآزاری بر روی این ژن‌ها وجود داشت و بنابراین کارایی چندانی برای ایجاد مقاومت موثر نسبت به لکه‌برگی سپتوریایی ندارند. از آنجا که جدایه‌های دزفول و گرگان در هر دو سال بر روی ژن‌های مقاومت *Stb2*، *Stb3*، *Stb4* و *Stb6* به ترتیب پرآزاری و ناپرآزاری نشان دادند، بنابراین در لاین‌های امیدبخش اقلیم شمال استفاده از این ژن‌ها در کنار سایر ژن‌های مقاومت که در هر دو سال و هر دو منطقه موثر بودند، قابل توصیه می‌باشد. راهکار هرمی نمودن ترکیب‌های متنوع

ژن‌های موثر مقاومت در ژنوتیپ‌های گندم با پتانسیل عملکرد بالا می‌تواند برای ایجاد مقاومت‌های موثر و پایدار در برابر جدایه‌های قارچ *Z. tritici* موجود در مناطق گرگان و دزفول و یا سایر مناطق مورد استفاده قرار گیرد. از نشانگرهای مولکولی معرفی شده و مرتبط با ژن‌های مقاومت موثر نیز می‌توان برای تسریع در روند انتقال ژن‌های مقاومت به ژنوتیپ‌های گندم پربازده استفاده کرد (Kramer et al., 2009). در مجموع بررسی مقاومت گیاه کامل لاین‌های امیدبخش گندم مربوط به آزمایش‌های ERWYT-N98, N99, S98, S99 نشان داد که ۳۲ درصد از لاین‌های گندم به‌همراه ارقام چمران۲ و مهرگان نسبت به جدایه‌های قارچ *Z. tritici* دارای واکنش نیمه‌مقاومت تا نیمه‌حساسیت و ۶۸ درصد لاین‌ها دارای واکنش حساسیت تا حساسیت شدید بودند. این روش تفکیک واکنش‌ها تقریباً مشابه روش Xu et al. (2009) و Omrani et al. (2024) می‌باشد.

در مطالعه پیشین با بررسی واکنش مقاومت ۵۳ لاین گندم در دست معرفی به‌عنوان رقم جدید نسبت به جمعیت قارچ *Z. tritici* در مراحل گیاه کامل در مزرعه و گیاهچه‌ای در گلخانه نتیجه گرفتند که ۱۹ درصد لاین‌های گندم مورد مطالعه شامل DM-95-6، D-96-16، DM-95-16، D-96-5، D-96-19، N-94-12، N-95-7، N-95-10، N-96-15و CD-96-9 واکنش نیمه‌مقاوم تا مقاوم در مراحل گیاهچه‌ای و گیاه کامل در منطقه مغان در دو سال متوالی داشتند (Omrani et al., 2023).

داده‌های حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که مقاومت لاین‌های امیدبخش گندم نسبت به بیماری لکه‌برگی سپتوریایی بسیار محدود بوده و از نوع مقاومت موثر نیست. نتایج این تحقیق ضمن انطباق با نتایج به‌دست آمده توسط سایر محققین، تایید کننده این مطلب می‌باشد که منابع مقاومت نسبت به جمعیت بیمارگر لکه‌برگی سپتوریایی در سطوح ژنتیکی مختلف محدود می‌باشد (Dalvand et al., 2016; Kia et al., 2018; 2017; Davari et al., 2012; Fallahi-Motlagh et al., 2015; Kheirgoo et al., 2020a; 2020b; Brown et al., 2015). این امر ضرورت توجه به ایجاد مقاومت به لکه‌برگی سپتوریایی و استفاده از ژن‌های موثر در تدوین برنامه‌های اصلاح گندم را بیش از پیش به اثبات می‌رساند.

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج این پژوهش، استفاده از ترکیب‌های متنوع ژن‌های مقاومت *Stb1*، *Stb5*، *Stb10*، *Stb12*، *Stb13*، *Stb14*، *Stb15*، *Stb16* و *Stb18* در ساختار ژنتیکی ژنوتیپ‌های گندم پرپتانسیل می‌تواند موجب ایجاد مقاومت‌های موثر و پایدار در برابر جدایه‌های بیمارگر لکه‌برگی سپتوریایی گندم در اقلیم‌های شمال و جنوب کشور شود. از سوی دیگر برای ایجاد مقاومت‌های موثر و پایدار نسبت به این بیماری، استفاده از لاین‌های مقاوم شناسایی شده گندم در برنامه‌های به‌نژادی به عنوان یکی از موثرترین راه‌کارهای کاهش مصرف بی‌رویه سموم، کنترل خسارت بیماری و افزایش عملکرد گندم به‌ویژه در کانون‌های آلودگی توصیه می‌شود.

سپاس‌گزاری

این تحقیق مستخرج از نتایج پروژه‌های ملی با کدهای مصوب ۹۹۱۴۴۰-۱۷۱-۰۳-۰۳-۰ و ۹۸۱۲۷۵-۲۸۸-۰۳-۰۳ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی می‌باشد. بدین وسیله از مسئولین محترم موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان (گرگان) و صفی‌آباد (دزفول) برای فراهم نمودن امکانات لازم قدردانی می‌شود. از زحمات آقای دکتر محمدعلی دهقان عضو هیات علمی بازنشسته مرکز تحقیقات گلستان، خانم‌ها زهره حسن‌بیات و الهام الاحسنی و آقایان اسمعیل ابراهیمی میمند، امیر کبیری، حسین بهلول و عزیز اسمعیلی خسروآبادی برای مساعدت در انجام پروژه‌های تحقیقاتی صمیمانه قدردانی می‌شود.

REFERENCES

Abrinbana, M., Mozafari, J., Shams-bakhsh, M., & Mehrabi, R. (2012). Resistance spectra of wheat genotypes and virulence patterns of *Mycosphaerella graminicola* isolates in Iran. *Euphytica*, *186*, 75-90. https://doi.org/10.1007/s10681-011-0493-z

Adhikari, T. B., Anderson, J. M., & Goodwin, S. B. (2003). Identification and molecular mapping of a gene in wheat conferring resistance to *Mycosphaerella graminicola*. *Phytopathology*, *93*(9), 1158-1164. https://doi.org/10.1094/PHYTO.2003.93.9.1158

Anonymous. (2023). Agricultural statistics: 2022-2023 Cropping cycle. 1st volume. Field crops. Information and Communication Technology Center. Deputy of Planning and Economy. Ministry of Jihad-e-Agriculture, 126 pp. (*in Persian*)

Arraiano, L. S., & Brown, J. K. (2017). Sources of resistance and susceptibility to *Septoria tritici* blotch of wheat. *Molecular Plant Pathology*, *18*(2), 276-292. https://doi.org/10.1111/mpp.12482

Ben M'Barek, S., Karisto, P., Abdedayem, W., Laribi, M., Fakhfakh, M., Kouki, H., & Yahyaoui, A. (2020). Improved control of *Septoria tritici* blotch in durum wheat using cultivar mixtures. *Plant Pathology*, *69*(9), 1655-1665. https://doi.org/10.1111/ppa.13247

Brown, J. K., Chartrain, L., Lasserre-Zuber, P., & Saintenac, C. (2015). Genetics of resistance to *Zymoseptoria tritici* and applications to wheat breeding. *Fungal Genetics and Biology*, *79*, 33-41. https://doi.org/10.1016/j.fgb.2015.04.017

Chartrain, L., Brading, P. A., Makepeace, J. C., & Brown, J. K. M. (2004). Sources of resistance to *Septoria tritici* blotch and implications for wheat breeding. *Plant Pathology*, *53*(4), 454-460. https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2004.01052.x

Dadrezaei, S. T., Minasian, V., Torabi, M., & Ayeneh, G. (2003). Effect of *Septoria tritici* infections at different growth stages on yield and yield components of three wheat cultivars. *Seed and Plant Improvement Journal*, 19, 101-116. https://doi.org/10.22092/SPIJ.2017.110943

Dalvand, M., Soleimani Pari, M. J., Zafari, D., Roohparvar, R., & Tabib Ghafari, S. M. (2016). Study on virulence factors of *Mycosphaerella graminicola*, the causal agent of *Septoria tritici* blotch and reactions of some Iranian wheat genotypes to this pathogen in Iran. *Journal of Applied Biotechnology Reports*, *3*(1), 359-363.

Davari, M., Abrinbana, M., Zakaria, R. A., & Arzanlou, M. (2012). Assessment of wheat cultivars for resistance to *Mycosphaerella graminicola* isolates from Moghan Plain at seedling stage under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 43(2), 379-389. https://doi.org/10.22059/IJPPS.2013.30257

Eyal, Z. (1999). Breeding for disease resistance to Septoria and Stagonospora disease of wheat. pp. 332-344. In: Lucas, J. A., Bowyer, P., and Anderson, H. M. (eds.) Septoria on Cereals: A Study of Pathosystems. CAB International, Wallingford, UK.

Fallahi-Motlagh, S. F., Rohparvar, R., Kia, S., & Zamanizadeh, H. R. (2015). Evaluation of resistance of some wheat cultivars and lines to *Septoria tritici* blotch at seedling and adult plant stages. *Seed and Plant Improvement Journal*, *31*(3), 73-90.

Giraldo, P., Benavente, E., Manzano-Agugliaro, F., & Gimenez, E. (2019). Worldwide research trends on wheat and barley: A bibliometric comparative analysis. *Agronomy*, *9*(7): 352. https://doi.org/10.3390/agronomy9070352

Hatami Rad, S., Ebrahimi, L., & Croll, D. (2023). Virulence associations and global context of AvrStb6 genetic diversity in Iranian populations of *Zymoseptoria tritici*. *Phytopathology*, *113*(10): 1924-1933. https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-22-0348-R

Hosseinnezhad, A., Khodarahmi, M., Rezaee, S., Mehrabi, R., & Roohparvar, R. (2014). Effectiveness determination of wheat genotypes and *Stb* resistance genes against Iranian *Mycosphaerella graminicola* isolates. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, *47*, 2051-2069. https://doi.org/10.1080/03235408.2013.868696

Ghaneie, A., Mehrabi, R., Safaie, N., Abrinbana, M., Saidi, A., & Aghaee, M. (2012). Genetic variation for resistance to *Septoria tritici* blotch in Iranian tetraploid wheat landraces. *European Journal of Plant Pathology*, *132*, 191-202. https://doi.org/10.1007/s10658-011-9862-7

Goudemand, E., Laurent, V., Duchalais, L., Tabib Ghaffary, S. M., Kema, G. H., Lonnet, P., Margalé, E., & Robert, O. (2013). Association mapping and meta-analysis: two complementary approaches for the detection of reliable *Septoria tritici* blotch quantitative resistance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Molecular Breeding*, *32*(3), 563-584. https://doi.org/10.1007/s11032-013-9890-4

Kema, G. H. J. (2012). New broad-spectrum resistance to *Septoria tritici* blotch derived from synthetic hexaploid wheat. *Theoretical and Applied Genetics, 124*:125-142.

Kheirgoo, M., Panjeke, N., & Taliey, F. (2020a). Evaluation of resistance to *Zymoseptoria tritici* blotch and Fusarium Head Blight in some genotypes of bread wheat. *Journal of Crop Breeding*, *12*(36), 151-159. https://doi.org/10.52547/jcb.12.36.151

Kheirgoo, M., Panjeke, N., & Taliey, F. (2020b). Identification of new sources of resistance to *Zymoseptoria tritici* blotch in genotypes of spring bread wheat. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, *9*(2), 31-43. (*in Persian*)

Kia, Sh., Rahnama, K., Soltanloo, H., Babaeizad, V., & Aghajani, M. A. (2018). Identification of resistance sources to *Septoria tritici* blotch with causal agent *Zymoseptoria tritici* in bread wheat genotypes. *Agricultural Biotechnology Journal*, *10*(1), 49-65. https://doi.org/10.22103/JAB.2018.2067

Kia, Sh., & Torabi, M. (2008). Effects of infection with *Septoria tritici* blotch (*Septoria tritici*) at different growth stages on yield and yield components of wheat cultivars in Gorgan. *Seed and Plant Improvement Journal*, *24*, 237-250.

Kramer, B., Thines, E., & Foster, A. J. (2009). MAP kinase signalling pathway components and targets conserved between the distantly related plant pathogenic fungi *Mycosphaerella graminicola* and *Magnaporthe grisea*. *Fungal Genetics and Biology*, *46*(9), 667-681. https://doi.org/10.1016/j.fgb.2009.06.001

Kristoffersen, R., Jørgensen, L. N., Eriksen, L. B., Nielsen, G. C., & Kiaer, L. P. (2020). Control of *Septoria tritici* blotch by winter wheat cultivar mix-tures: Meta-analysis of 19 years of cultivar trials. *Field Crops Research*, *249*, 107696. https://doi.org/10.1101/658575

Mahboubi, M., Mehrabi, R., Naji, A. M., & Talebi, R. (2020). Whole-genome diversity, population structure and linkage disequilibrium analysis of globally diverse wheat genotypes using genotyping-by-sequencing DArTseq platform. 3 Biotech, *10*(2), 48-61. https://doi.org/10.1007/s13205-019-2014-z

Makhdoomi, A., Mehrabi, R., Khodarahmi, M., & Abrinbana, M. (2015). Efficacy of wheat genotypes and Stb resistance genes against Iranian isolates of *Zymoseptoria tritici*. *Journal of General Plant Pathology, 81*, 5-14. https://doi.org/10.1007/s10327-014-0565-8

Mehrabi, R., A. Makhdoomi and M. Jafar-Aghaie. (2015). Identification of New sources of resistance to Septoria tritici blotch caused by *Zymoseptoria tritici*. *Journal of Phytopathology*, *163*(2), 84-90. https://doi.org/10.1111/jph.12282

Mohammadbeygi, A., Roohparvar, R., & Torabi, M. (2014). Resistance sources to *Septoria tritici* blotch in selected wheat genotypes. *Seed and Plant Improvement Journal*, *30*(3), 605-621. https://doi.org/10.22092/SPIJ.2017.111232

Omrani, A. & Dadrezaei, S. T. (2024). Investigation of Resistance Responses in Elite Wheat Lines and Cultivars to Brown Rust (Puccinia triticina Eriks.) in the Moghan Plain. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *47*(1), 1-20. https://doi.org/10.22055/ppr.2024.46519.1737

Omrani, A., Roohparvar, R., & Shahbazi, K. (2023). Reaction of wheat lines candidate for introduction as new commercial cultivars to *Septoria tritici* blotch. *Applied Entomology and Phytopathology*, *90*(2), 195-208. https://doi.org/10.22094/jaep.2023.360133.1457

Ponomarenko, A., Goodwin, S. B., & Kema, G. H. (2011). *Septoria tritici* blotch of wheat. Plant Health Instr.

Roohparvar, R., Mehrabi, R., Nistelrooy, J. G. M., Zwiers, L. H., & Waard, M. A. (2008). The drug transporter MgMfs1 can modulate sensitivity of field strains of the fungal wheat pathogen *Mycosphaerella graminicola* to the strobilurin fungicide trifloxystrobin. *Pest Management Science, 64*, 685-693. https://doi.org/10.1002/ps.1569

Roohparvar, R., Omrani, A., Dehghan, M. A., & Dalvand, M. (2023). Virulence factors of *Zymoseptoria tritici*, the causal agent of wheat sptoria leaf blotch disease in disease hot spots during the years 2019-2021. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, *12*(3), 257–270.

Simon, M. R., Cordo, C. A., Castillo, N. S., Struik, P. C., & Börner, A. (2012). Population structure of *Mycosphaerella graminicola* and locatio of genes for resistance to the pathogen: recent advances in Argentina. *International Journal of Agronomy*, *2012*, 1-7. https://doi.org/10.1155/2012/680275

Tabib Ghaffary, S. M., Robert, O., Laurent, V., Lonnet, P., Margalé, E., van der Lee, T. A., & Kema, G. H. (2011). Genetic analysis of resistance to *Septoria tritici* blotch in the French winter wheat cultivars Balance and Apache. *Theoretical and Applied Genetics*, 123, 741-754. https://doi.org/10.1007/s00122-011-1623-7

Torriani, S. F., Melichar, J. P., Mills, C., Pain, N., Sierotzki, H., & Courbot, M. (2015). *Zymoseptoria tritici*: a major threat to wheat production, integrated approaches to control. *Fungal Genetics and Biology*, *79*, 8-12. https://doi.org/10.1016/j.fgb.2015.04.010

Torabi, M. (1979). Causal organism of wheat septoriose and its distribution in Iran. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 16, 7-16.

USDA. (2024). United States Department of Agriculture. Wheat: World Supply and Distribution. In World Agricultural Supply and Demand Estimates (WASDE) Report (June 2024). Economic Research Service. https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde

Xu, S. S., Jin, Y., Klindworth, D. L., Wang, R. R., & Cai, X. (2009). Evaluation and characterization of seedling resistances to stem rust Ug99 races in wheat-alien species derivatives. *Crop Science*, *49*(6), 2167. https://doi.org/10.2135/cropsci2009.02.0074

Yang, N., McDonald, M. C., Solomon, P. S., & Milgate, A. W. (2018). Genetic mapping of *Stb19*, a new resistance gene to *Zymoseptoria tritici* in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, *131*, 2765-2773. https://doi.org/10.1007/s00122-018-3189-0

Yang, N., Ovenden, B., Baxter, B., McDonald, M. C., Solomon, P. S., & Milgate, A. (2022). Multi-stage resistance to *Zymoseptoria tritici* revealed by GWAS in an Australian bread wheat diversity panel. *Frontiers in Plant Science*, *13*: 990915. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.990915

© 2026 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/.