

## شناسایی منابع مقاومت به عامل بیماری زنگ قهوه‌ای (*Puccinia triticina* Erikss.) در ژنوتیپ‌های گندم بومی ایران

صبا دلفان<sup>۱</sup>، محمدرضا بی‌همتا<sup>۲\*</sup>، سید طه دادرزایی<sup>۳</sup>، علیرضا عباسی<sup>۴</sup> و هادی علی پور<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی دکتری اصلاح نباتات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران - کرج

۲. استاد دانشگاه تهران پردیس کشاورزی و منابع طبیعی - کرج

۳. استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر - سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۴. دانشیار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران - کرج

۵. استادیار دانشگاه ارومیه

(تاریخ دریافت: ۹۹/۱۰/۱۲ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۳۰)

### چکیده

شناسایی منابع ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای و گیاه کامل برای هر می کردن ژن‌ها، آرایش ژنی و ایجاد ارقام گندم دارای مقاومت پایدار، برای کنترل زنگ قهوه‌ای گندم، با عامل *Puccinia triticina* Erikss. امری ضروری است. در این پژوهش تعداد ۲۱۸ ژنوتیپ گندم بومی ایران که از مناطق مختلف جمع‌آوری شده بود، در مزرعه آزمایشی ایستگاه تحقیقات کشاورزی گلستان اهواز طی سال ۹۹-۱۳۹۸ به صورت خطوط یک متری کشت شده و با پاتوتیپ‌های شایع زنگ قهوه‌ای خوزستان شامل LR-98-8، LR-98-14، LR-94-5 و LR-97-4 تیمار شدند. واکنش گیاهچه‌ای نیز در گلخانه‌های واحد بیماری‌شناسی غلات موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با پنج پاتوتیپ شایع ایران در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار انجام شد. برای ارزیابی مقاومت از شاخص‌هایی تیپ آلودگی، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری، شدت نهایی آلودگی و ضریب آلودگی استفاده شد. نتایج نشان داد که به ترتیب ۱۰ و هفت درصد از ژنوتیپ‌ها در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای مقاومت نشان دادند. در مرحله گیاه کامل واکنش ۲۳ ژنوتیپ به صورت نیمه‌مقاوم (MR: moderately resistant) و ۱۴ ژنوتیپ به صورت نیمه‌حساس (MS: moderately susceptible) بود. ضریب همبستگی بین شدت نهایی آلودگی، با مقادیر ضریب آلودگی و سطح نسبی زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC)، به ترتیب ۰/۹۸۹ و ۰/۹۴۹ بود. در نهایت ۳۰ ژنوتیپ با خصوصیات مورد نظر یعنی شدت نهایی آلودگی ۰-۴۰ درصد، ضریب آلودگی ۰-۴۰ و rAUDPC بین ۰-۳۰ درصد به عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب انتخاب شدند. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد نظر را در چهار گروه حساس (S: Sensetive)، نیمه‌حساس (MS)، نیمه‌مقاوم (MR) و مقاوم (R: Resistance) طبقه‌بندی کرد.

واژه‌های کلیدی: زنگ قهوه‌ای گندم، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری، مقاومت گیاهچه‌ای، مقاومت گیاه کامل.

### Identification sources of resistance for leaf rust (*Puccinia triticina* Erikss.) in Iranian wheat genotypes

Saba Delfan<sup>1</sup>, Mohammad Reza Bihanta<sup>2\*</sup>, Seyed Taha Dadrezaei<sup>3</sup>, Hadi Alipoor<sup>5</sup>

1. Ph.D. Student of Plant Breeding\_ University of Tehran\_ Daneshkade Avenue\_ College of Agriculture and natural Ressources, Karaj- Iran
2. \_ Professor\_ University of Tehran\_ Daneshkade Avenue\_ College of Agriculture and natural Ressources, Karaj- Iran
3. \_ Assistant Professor\_ Department of Cereal Reserch, Seed and Plant Impovent Indtitute, Agricultural Reserch, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj- Iran
4. Associate Professor University of Tehran\_ Daneshkade Avenue\_ College of Agriculture and natural Ressources, Karaj- Iran
5. Assistant Profosor\_ University of Oromie\_ Iran. Urmia city, 11km Sero road

(Received: Jan 1, 2021- Accepted: Agu 21, 2021)

### Abstract

Identification the sources of seedling and adult plant resistance genes is important for gene pyramiding, gene deployment, and developing durable wheat cultivars to control the leaf rust with *Puccinia triticina* Erikss agent. In this study, 218 Iranian wheat genotypes collected from different regions were cultivated in one-meter lines in the experimental farm of Golestan Agricultural Research Station in Ahwaz during 2019-2020 and treated with Khouzeestan leaf rust prevalent pathotypes including LR-98-8, LR-98-5, LR-94-5 and LR-9-4. Seedling reactions with five prevalent pathotypes were carried out in a randomized complete block design with two replications in the greenhouses of the Cereal Pathology Unit of Seed and Plant Breeding Institute, Karaj. To evaluate resistance, we used Infection Type (IT), AUDPC (Area Under Disease Progression Curve), Final Disease Severity (FDS) and Coefficient Infection (CI) indices. The results showed that 10 percent and 7 percent of the genotypes are resistant in greenhouse and field conditions, respectively. In the adult plant stage, the responses of 23 genotypes were moderately resistant (MR) and 14 genotypes were moderately susceptible (MS). The correlation coefficients between the final disease severity, with the coefficient infection and rAUDPC were 0.989 and 0.949, respectively. Finally, 30 genotypes with the desired characteristics, ie final disease severity between 0-40%, coefficient of infection between 0-40 and rAUDPC between 0-30% were selected as the suitable genotypes. Cluster analysis classified the genotypes into four groups: susceptible (S), moderately susceptible (MS), moderately resistant (MR) and resistant (R).

**Key word:** Wheat Leaf Rust, Area Under Disease Progress Curve (AUDPC), Seedling Resistance, Adult Plant Resistance

\* Corresponding author E-mail: mrghanad@ut.ac.ir

### مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) یک پنجم کالری مورد نیاز بشر را تأمین کرده و بنابراین نقش بسیار مهمی در امنیت غذایی بشر ایفا می‌کند. سه بیماری مهم زنگ یعنی زنگ زرد (Stripe rust)، زنگ قهوه‌ای (Leaf rust) و زنگ سیاه (Stem rust) به‌طور مداوم تولید گندم را تحت تأثیر قرار می‌دهند. تخمین زده شده است که میزان کاهش سالانه ناشی از این بیماری‌ها بین ۵-۴/۳ میلیارد دلار می‌باشد (Huerta\_Espio et al., 2020). زنگ قهوه‌ای (*Puccinia triticina*) گندم، با عامل Erickss که به زنگ برگ (Leaf rust) نیز معروف می‌باشد، از نظر گستردگی مهم‌ترین بیماری گندم است (Kolmer, 2013). بیمارگر پهنک برگ را مورد حمله قرار می‌دهد اگرچه در اپیدمی‌های شدیدتر در ارقام حساس، غلاف ساقه و گلوم‌ها نیز مورد حمله قرار می‌گیرند. تحت شرایط همه‌گیری شدید این بیماری می‌تواند تا بیش از ۴۰ درصد عملکرد را از طریق کاهش وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله تحت تأثیر قرار دهد (Zhang et al., 2019). این بیماری در ایران در ابتدا در سال ۱۹۴۸ میلادی گزارش شده است (Esfandiari, 1948). در حال حاضر اهمیت اقتصادی زنگ قهوه‌ای در ایران، بیشتر از زنگ سیاه و کمتر از زنگ زرد است ولی گستردگی آن از زنگ زرد بیشتر است. این بیماری در تمام مناطق ایران به‌خصوص نواحی غرب، شمال غرب، خوزستان و قسمت‌هایی از خراسان و گرگان مشاهده و گزارش شده است (Bamdadian, 1993). اگرچه زنگ قهوه‌ای می‌تواند توسط قارچ‌کش‌ها کنترل شود باین‌حال استفاده از ارقام مقاوم مؤثرترین، اقتصادی‌ترین و از نظر زیست‌محیطی ایمن‌ترین روش برای کنترل این بیماری می‌باشد. تاکنون ۷۹ ژن مقاومت به زنگ قهوه‌ای شناسایی شده است (Qureshi, 2018, McIntosh et al., 2014). اکثر این ژن‌ها مقاومت اختصاصی نژاد اعطا می‌کنند اما هشت ژن، یعنی *Lr34*, *Lr46*, *Lr67*, *Lr68*, *Lr74*, *Lr75*, *Lr77* و *Lr78* باعث مقاومت غیراختصاصی نژاد (Race non specific) می‌شوند (Zhang et al., 2019). مقاومت اختصاصی نژاد معمولاً کیفی بوده و به‌دلیل تکامل نژادهای بیماری‌زای بالقوه کوتاه‌مدت می‌باشد. در مقابل،

سطوح کافی از مقاومت توسط ژن‌های مقاومت غیراختصاصی که ممکن است اثرات کم یا متوسط (Intermediate) ایجاد کنند، وجود دارد. گیاهان حامل چنین ژن‌هایی در مرحله‌ی گیاهچه‌ای حساس و در مراحل بعد از گیاهچه‌ای مقاوم هستند و منجر به کاهش توسعه زنگ (Slow rusting) در گیاه می‌شوند (Huerta Espio et al., 2020). مقاومت به زنگ قهوه‌ای در اغلب ارقام گندم توسط یک یا تعداد کمی ژن مقاومت گیاهچه‌ای ایجاد می‌شود. این ژن‌ها در اکثر مواقع ناپایدارند که توسط تکامل نژادهای جدید بیمارگر در جمعیت بیمارگر زنگ قهوه‌ای، شکسته می‌شوند؛ بنابراین باوجود شناسایی و آرایش تعدادی از ژن‌های مقاومت زنگ برای حفظ عملکرد گندم، ظهور پاتوتیپ‌های بیمارگر می‌تواند پایداری و استفاده از آن‌ها را محدود کند؛ بنابراین، تحقیق مداوم برای شناسایی منابع جدید مقاومت جهت استفاده کامل و مؤثر آن‌ها در برنامه‌های به‌نژادی ضروری است (Amin et al., 2007). ارقام بومی گندم منبعی بالقوه از ژن‌های مقاومت جدید هستند، با این حال این ارقام به نسبت کمتری در اصلاح نباتات مدرن استفاده شده است. تحقیقات نشان داده بعضی از ارقام جدید گندمی که با استفاده از ژن‌های منتقل‌شده از ارقام بومی به وجود آمده‌اند، منابع با ارزشی از تنوع ژنتیکی برای مقاومت مؤثر مقابل عامل بیماری زنگ هستند که این تنوع در ارقام جدید وجود ندارد (Sthapit et al., 2014; Bonman et al., 2015). منابع برخی از ژن‌های مقاومت به زنگ قهوه‌ای از توده‌های بومی گندم و یا خویشاوندان وحشی بوده‌اند؛ به طوری که ژن *Lr79* در یک توده بومی گندم دوروم استرالیایی (Aus26582) شناسایی شد (Qureshi et al., 2018). همچنین ژن‌های *Lr9*, *Lr19*, *Lr24* و *Lr76* در نمونه‌ها و خویشاندان بومی گندم شناسایی شده‌اند (McIntosh et al., 1995). این مطالب نشان‌دهنده‌ی احتمال وجود ژن‌های مقاومت به عامل بیماری زنگ قهوه‌ای در ژنوتیپ‌های بومی گندم است. برای ارزیابی مواد ژنتیکی نسبت به زنگ از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود. تیپ آلودگی (Infection Type) پاسخ متقابل بین میزبان و عامل بیماری است؛ بنابراین می‌تواند برای توصیف مقاومت و نیز برای ظاهر ساختن

زنگ قهوه‌ای در هوای آزاد در حرارت ۲۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد. پس از ثبت مشخصات و اختصاص یک کد در واحد پاتولوژی بخش تحقیقات غلات در یخچال نگهداری گردید. سپس نمونه‌های برگ روی رقم حساس بولانی احیا و اسپور آن‌ها تکثیر شد. برای احیا نمونه‌های جمع‌آوری شده ابتدا نمونه‌های برگ را در شرایط رطوبت ۱۰۰ درصد به مدت دو ساعت قرار داده تا نمونه‌ها شروع به اسپورزایی نمایند؛ پس از اسپورزایی نمونه‌های برگ به صورت مالشی برگ به برگ روی گیاهچه‌های حساس رقم بولانی مایه‌زنی شدند. بعد از مایه‌زنی تمام گلدان‌های مایه‌زنی شده را ابتدا در شرایط ۲۰-۱۸ درجه سانتی‌گراد، رطوبت اشباع و تاریکی به مدت ۲۴ ساعت قرار داده و سپس به گلخانه‌های زنگ قهوه‌ای با دمای ۲۴-۲۲ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. به منظور جلوگیری از احتمال اختلاط پاتوتیپ‌ها با یکدیگر، پاتوتیپ‌ها از ابتدا تا انتهای آزمایش به صورت مجزا زیر سرپوش شفاف کریستالی قرار داده شدند. نمونه‌ها تا زمان اسپوردهی در دمای فوق به مدت ۱۶ ساعت نور ۱۶۰۰۰ لوکس و ۸ ساعت تاریکی نگه داشته و سپس بعد از ۲۰-۱۴ روز برای تکثیر اسپور از نمونه‌هایی که تولید اسپور نمودند مجدداً به رقم بولانی مایه‌زنی شدند و این سیکل تا تکثیر نمونه‌ها به مقدار لازم ادامه یافت. برای شناسایی ساختار پرازاری بر اساس فرمول پرازاری/ناپرازاری، ۳۸ لاین و یا رقم مونوژن که لیست کامل ژن‌های مورد استفاده ارقام افتراقی در این مطالعه به شرح جدول ۱ می‌باشد، در گلدان‌هایی به قطر ۱۵ سانتی‌متر حاوی خاک با ماسه و پیت‌ماس کاشته شده و سپس گیاهچه‌های ۱۰ روزه ارقام افتراقی با مخلوط اسپور زنگ قهوه‌ای و پودر تالک به نسبت ۱:۴ مایه‌زنی شدند. مانند مرحله تکثیر اسپور بعد از مایه‌زنی، تمامی گلدان‌ها در تاریکخانه در شرایط ۲۰-۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت اشباع قرار داده شدند. پس از ۲۴ ساعت از تاریکخانه به گلخانه‌های زنگ قهوه‌ای با دمای ۲۴-۲۲ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. حدود ده روز بعد از مایه‌زنی تیپ‌های آلودگی ایجاد شده روی ژنوتیپ‌های مورد نظر بر اساس مکینتاش و همکاران (McIntosh *et al.*, 1995) در مقیاس ۴-۰ به صورت زیر یادداشت‌برداری شد:

O (مصون): بدون هیچگونه علائم و جوش‌های قابل رویت؛ ؛ (فوق حساسیت): ظهور لکه‌های فوق حساسیت

پرازاری عامل بیماری مورد استفاده قرار گیرد. یکی دیگر از شاخص‌های مرتبط با مقاومت، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) می‌باشد. این شاخص به‌عنوان بهترین معیار مقاومت در مرحله گیاه کامل و بازتابی از شدت و توسعه بیماری شناخته شده است. این مقیاس در بسیاری از مطالعات ارزیابی مقاومت غیراختصاصی به عوامل بیماری‌زا به‌عنوان شاخص روند توسعه بیماری مورد استفاده قرار گرفته است (Xue *et al.*, 2005). هدف از این پژوهش ردیابی منابع مقاومت گیاهچه‌ای و مقاومت گیاه کامل در ژنوتیپ‌های گندم بومی ایران نسبت به زنگ قهوه‌ای بود تا در صورت داشتن مقاومت مناسب از آن‌ها در برنامه‌های به‌نژادی آینده استفاده شود.

## مواد و روش‌ها

### مواد گیاهی و بیمارگر

تعداد ۲۱۸ ژنوتیپ گندم نان بومی ایران از کلکسیون بذر پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران دریافت شد (جدول ۲). ژنوتیپ‌سنجی (Genotyping) این نمونه‌ها طی پژوهشی از طریق توالی‌یابی کل ژنوم توسط نشانگر تفاوت تک نوکلئوتیدی (SNP) انجام شده است (Alipoor *et al.*, 2017). ارزیابی ژنوتیپ‌های مورد نظر در مرحله گیاهچه‌ای نسبت به پاتوتیپ‌های غالب زنگ قهوه‌ای در کشور شامل پنج پاتوتیپ زنگ قهوه‌ای (LR-99-3, G32, LR-98-38, LR-98-22 و LR-97-19) در گلخانه‌های واحد پاتولوژی غلات موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انجام شد. آزمایش مزرعه‌ای با پاتوتیپ‌های شایع استان خوزستان در ایستگاه گلستان اهواز انجام شد. مشخصات پاتوتیپ‌های مورد استفاده در جدول ۳ آورده شده است.

### تعیین پاتوتیپ

#### تعیین پاتوتیپ جدایه‌ها

برای تعیین پاتوتیپ یا شناسایی ساختار پرازاری نمونه‌های زنگ قهوه‌ای بر اساس فرمول پرازاری/ناپرازاری از ۳۸ لاین تک ژنی زنگ قهوه‌ای گندم (با زمینه ژنتیکی رقم حساس تاجر (Dyck, 1979)) استفاده شد (جدول ۱). هر لاین یا رقم مونوژن تنها حامل یک ژن مقاومت مشخص (*Lrgene*) به بیماری زنگ قهوه‌ای هستند. برای تکثیر پاتوتیپ‌ها ابتدا نمونه‌ها به شکل برگ‌های آلوده به

که اصلاح شده است از تیپ آلودگی ارقام افتراقی یادداشت برداری گردید. تیپ‌های آلودگی ۳ تا ۴ به‌عنوان آلودگی بالا (High) و تیپ‌های ۲-۰ به‌عنوان تیپ‌های آلودگی پایین (Low) در نظر گرفته شدند. برای تعیین فراوانی فاکتورهای پرآزاری در جدایه‌های زنگ قهوه‌ای، درصد فاکتورهای پرآزار در هر جدایه نسبت به تعداد کل ژن‌های مقاومت محاسبه شد.

بصورت نکروز و کلروز بدون جوش؛ ۱ (مقاوم): جوش‌های کوچک که به وسیله لکه‌های نکروز احاطه شده‌اند؛ ۲ (نیمه‌مقاوم): جوش‌های کوچک تا متوسط احاطه شده به وسیله نکروز یا کلروز؛ ۳ (حساس): جوش‌ها در اندازه متوسط که ممکن است با کلروز همراه باشد؛ ۴ (خیلی حساس): جوش‌های کوچک بدون کلروز و نکروز. با استفاده از مقیاس ۰-۴ مک‌این‌تاش و همکاران (۱۹۹۵)

جدول ۱. ژن‌های مقاومت و لاین‌های افتراقی مورداستفاده برای تعیین پاتوتیپ‌ها و نژادهای زنگ قهوه‌ای گندم

Table 1. *Lr* genes and tested wheat standard differential genotypes

No.	Name/Pedigree	<i>Lr</i> gene/s
1	Thatcher	<i>Lr22b</i>
2	TC*6/CENTENARIO (RL6003)	<i>Lr1</i>
3	TC*6/WEBSTER (RL6016)	<i>Lr2a</i>
4	TC*6/CARINA(RL6019)	<i>Lr2b</i>
5	TC*6/LOROS(RL6047)	<i>Lr2c</i>
6	TC*6/DEMOCRAT(RL6002)	<i>Lr3</i>
7	TC*6/ANIVERSARIO(RL6007)	<i>Lr3ka</i>
8	BAGE/8*TC(RL6042)	<i>Lr3bg</i>
9	TRANSFER/6*TC(RL6010)	<i>Lr9</i>
10	TC*6/EXCHANGE(RL6004)	<i>Lr10</i>
11	HUSSAR(W976)	<i>Lr11</i>
12	EXCHANGE/6*TC(RL6011)	<i>Lr12</i>
13	MANITUOU	<i>Lr13</i>
14	SELKIRK/6*TC(RL6013)	<i>Lr14a</i>
15	TC*6/MARIA ESCOBAR(RL6006)	<i>Lr14b</i>
16	TC*6/KENYA1483(RL6052)	<i>Lr15</i>
17	TC*6/EXCHANGE(RL6005)	<i>Lr16</i>
18	KLEIN LUCERO/6*TC(RL6008)	<i>Lr17</i>
19	TC*7/AFRICA43(RL6009)	<i>Lr18</i>
20	TC*7/TR(RL6040)	<i>Lr19</i>
21	THEW(W203)	<i>Lr20</i>
22	TC*6/RL5406(RL6043)	<i>Lr21</i>
23	TC*6/RL5404(RL6044)	<i>Lr22a</i>
24	LEE310/6*TC(RL6012)	<i>Lr23</i>
25	TC*6/AGENT(RL6064)	<i>Lr24</i>
26	TC*?/TRANSEC	<i>Lr25</i>
27	TC*6/ST-1-25(RL6078)	<i>Lr26</i>
28	GATCHER(W3201)	<i>Lr10, Lr27+ Lr31</i>
29	CS2D-2M	<i>Lr28</i>
30	TC*6/CS7AG#11(RL6080)	<i>Lr29</i>
31	TC*6/TERENZ10(RL6049)	<i>Lr30</i>
32	TCLR32(RL5497)	<i>Lr32</i>
33	TC*6/PI58548(RL6057)	<i>Lr33</i>
34	TC*6/PI58548(RL6058)	<i>Lr34</i>
35	RL5711	<i>Lr35</i>
36	E84018(NEP/AE.SPELTOIDES.2-9-w...)	<i>Lr36</i>
37	TC*6/VPM(RL6081)	<i>Lr37</i>
38	TC*6//CARINA(RL6051)	<i>Lrb</i>
39	WL711	<i>Lr13</i>

مایه‌زنی شدند. مایه‌زنی با استفاده از مخلوط اسپور زنگ قهوه‌ای و پودر تالک به نسبت ۱:۴ با استفاده از قلمو به صورت پودر پاشی انجام گرفت. پس از مایه‌زنی گلدان‌ها به مدت ۲۴ ساعت در اتاق تاریک و سرد با دمای ثابت ۱۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی اشباع (۱۰۰ درصد) نگهداری شدند. سپس گلدان‌ها به گلخانه‌های با دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۷۵ درصد، دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی طبیعی و ۸ ساعت تاریکی منتقل شدند. حدود ده روز بعد از مایه‌زنی تیپ‌های آلودگی ایجاد شده روی ژنوتیپ‌های مورد نظر همانند ارقام افتراقی بر اساس روش مکینتاش و همکاران (McIntosh et

### ارزیابی‌های گیاهچه‌ای

مایه‌زنی و یادداشت‌برداری از واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به پاتوتیپ‌های مورد مطالعه در بهار سال ۹۹ انجام شد. ژنوتیپ‌های موردنظر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار جهت ارزیابی نسبت به پاتوتیپ‌های مورد نظر کشت شدند. در کلیه آزمایش‌ها، تعداد هفت بذر از هر ژنوتیپ در گلدان‌های حاوی خاک برگ، ماسه و خاک مزرعه کشت و در شرایط گلخانه‌ای (در دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد) نگهداری شدند و آبیاری به طریقه نشستی انجام شد. ۱۰-۸ روز پس از کشت بذور با کامل شدن برگ اول، گیاهچه‌ها آماده

(مصون): بدون هیچگونه علائم؛ R (مقاوم): ظهور لکه‌های نواری کلروتیک و نکروتیک، بدون ظهور اسپور، یا جوش‌های ریز و پراکنده؛ MR (نیمه‌مقاوم): ظهور جوش‌های کوچک زنگ که به‌وسیله لکه‌های نکروتیک احاطه شده‌اند؛ MS (نیمه‌حساس): ظهور جوش‌هایی به اندازه متوسط، بدون لکه نکروتیک، گاهی همراه با لکه‌های کلروتیک؛ S (حساس): وجود جوش‌های بزرگ به مقدار فراوان و بدون لکه‌های کلروتیک، گاهی همراه با این لکه‌ها. زمانی که شدت بیماری در رقم حساس بولانی به ۱۰۰ درصد رسید آخرین یادداشت‌برداری (یادداشت‌برداری چهارم) در سایر ارقام نیز انجام شد و به عنوان شدت نهایی آلودگی (FDS: Final Disease Severity) در نظر گرفته شد. برای محاسبه ضریب آلودگی (CI: Coefficient Infection) داده‌های مربوط به شدت بیماری (Severity) در هر یادداشت‌برداری و عکس‌العمل میزبان (تیپ آلودگی R: مقاوم، MR: نیمه مقاوم، MS: نیمه‌حساس و S: حساس) باهم ترکیب شده و از ترکیب آن‌ها ضریب آلودگی محاسبه شد. یعنی ضریب آلودگی (CI) از حاصل ضرب شدت بیماری در ضریب ثابت مربوط به واکنش میزبان ( )  $0=0, R=0.2, MR=0.4, MS=0.8, S=1$  به دست آمد. درنهایت بر اساس ضریب آلودگی به‌دست آمده سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) با فرمول زیر محاسبه شد:

$$A_e = \sum_{i=1}^{N-1} \frac{(y_i + y_{i+1})}{2} (t_{i+1} - t_i) \quad (1)$$

که در آن  $t_i$ : زمان یادداشت‌برداری  $t_i$  ام،  $t_{i+1}$ : زمان یادداشت‌برداری  $t_{i+1}$  ام،  $Y_i$ : ضریب آلودگی به بیماری زنگ قهوه‌ای در زمان یادداشت‌برداری  $t_i$  ام،  $Y_{i+1}$ : ضریب آلودگی به بیماری زنگ قهوه‌ای در زمان یادداشت‌برداری  $t_{i+1}$  ام،  $N$ : تعداد یادداشت‌برداری برای ارزیابی شدت آلودگی به بیماری زنگ قهوه‌ای در زمان یادداشت‌برداری  $t_{i+1}$  ام،  $N$ : تعداد یادداشت‌برداری برای محاسبه مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC) از فرمول زیر استفاده شد:

$$rAUDPC = \left( \frac{Y_{AUDPC}}{Y_{AUDPC}} \right) \times 100 \quad (2)$$

که در آن  $X_{AUDPC}$ : AUDPC هر ژنوتیپ و  $Y_{AUDPC}$ : AUDPC رقم حساس (بولانی) می‌باشد. این شاخص AUDPC هر ژنوتیپ را نسبت به AUDPC شاهد یعنی رقم بولانی می‌سنجد بنابراین ژنوتیپ‌هایی که مقادیر بالاتری دارند حساس و ژنوتیپ‌های با مقادیر کمتر مقاوم‌تر هستند.

(*al.*, 1995) در مقیاس ۴-۰ یادداشت‌برداری شد. کلیه بوته‌های هر ژنوتیپ برای تعیین واکنش نهایی در نظر گرفته شدند. در مواردی که هفت بوته واکنش یکسان نداشتند (بعنوان مثال از هفت بوته یک بوته واکنش متفاوت داشت)، تک بوته مورد نظر به عنوان احتمال اختلاط بذری در نظر گرفته شد. در مواردی که تصمیم‌گیری با شک مواجه بود جهت اطمینان از واکنش نهایی میزبان، ژنوتیپ مورد نظر آزمایش برای بار سوم تکرار شد. در نهایت مقیاس ۲-۰ به عنوان تیپ آلودگی پایین (Low) و اعداد ۳ و ۴ به عنوان تیپ آلودگی بالا (High) در نظر گرفته شدند.

### آزمایش مزرعه‌ای

ژنوتیپ‌های مورد بررسی در نیمه آذر ۱۳۹۸ در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در خزانه زنگ غلات کشت شد. هرکدام از ژنوتیپ‌های آزمایشی روی یک خط یک متری با فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر کشت و پس از هر ده ژنوتیپ، رقم حساس بولانی به عنوان شاهد کشت شد. این آزمایش در شرایط آبیاری افشانه‌ای کشت و ارزیابی شد. در اطراف خزانه آزمایشی نیز رقم حساس بولانی به عنوان انتشار دهنده بیماری و اوردیوسپور کشت شد. مایه‌زنی مصنوعی خزانه زنگ با قهوه‌ای، با استفاده از مخلوطی از پاتوتیپ‌های زنگ قهوه‌ای منطقه (جدول ۳) که به نسبت مساوی مخلوط شده بودند، از دهم دی‌ماه شروع و تا بیست و پنج بهمن هر ۱۵ روز یک‌بار در غروب به‌روش گردپاشی انجام شد (در اواسط فروردین‌ماه برگ‌های آلوده همین مزرعه که از نقاط مختلف جمع‌آوری شده بودند، گرفته شده و به عنوان یک توده از پاتوتیپ‌های موجود در مزرعه به واحد بیماری‌های غلات ارسال و کد پاتوتیپ LR-99-3 به آن تعلق گرفت و در شرایط گلخانه مقاومت گیاهچه‌ای ژنوتیپ‌ها به این توده ارزیابی شد). یادداشت‌برداری از شدت بیماری روی برگ پرچم پس از یکنواختی در ظهور بیماری روی رقم حساس (بولانی) از طریق تعیین درصد پوشش آلوده سطح برگ (۰-۱۰۰ درصد) بر اساس روش اصلاح‌شده پترسون و همکاران (Peterson *et al.*, 1948) و تعیین تیپ آلودگی بر اساس روش رولفز و همکاران (Roelfs *et al.*, 1992) در چهار نوبت با فواصل ۱۰ روزه از تاریخ ششم اسفند ماه به صورت زیر انجام شد: O

جدول ۲. ژنوتیپ‌های بومی استفاده شده در آزمایش

Table 2. Wheat landraces used in the experiment

No	Genotype	Collected_ID	Year	Collected location	No	Genotype	Collected_ID	Year	Collected location	No	Genotype	Collected_ID	Year	Collected location
1	626154			NA	46	624900	286	1960	Kordestan_Bijar	91	624582	174	1959	Hamedan_Hamedan
2	627036	282	1959	Lorestan_Borojerd	47	627054	170	1960	Gilan_Roudbar	92	623909	79	1957	Bakhtaran_Kermanshah
3	626156	211	1950	Kerman_Kerman	48	626223	372	1966	Sistan_Balouchestan_Zahedan	93	627616	104	1956	Esfahan_Esfahan
4	627852	370	1966	Sistan_Balouchestan_Zabol	49	627189	228	1961	Khorasan_Bojnourd	94	627102	359	1960	Zanjan_Roudbar
5	628114	143	1964	Esfahan_Sgahreza	50	627466			NA	95	623109	381	1964	Yazd_Dastjerd
6	624985	156	1959	Ghazvin_Ghazvin	51	627423	174	1959	Hamedan_Hamedan	96	623091	247	1957	Khorasan_Mashhad
7	624837	203	1959	Ilam_Ilam	52	627410	37	1959	Azarbayjan-Sharghi_Maragheh	97	625433	247	1959	Khorasan_Mashhad
8	623473	203	1939	Ilam_Ilam	53	625080	308	1961	Markazi_Saveh	98	623161	10	1961	Azarbayjan-Gharbi_Mahabad
9	627359	311	1939	Markazi_Arak	54	627842	211	1966	Kerman_Kerman	99	626699	203	1957	Ilam_Ilam
10	627038	282	1959	Lorestan_Borojerd	55	627043	14	1959	Azarbayjan-Gharbi_Rezaeih	100	627873	392	1959	Zanjan_Zanjan
11	621704	156	1948	Ghazvin_Ghazvin	56	624956	376	1948	Tehran_Tehran	101	622379	247	1961	Khorasan_Mashhad
12	626566	104	1964	Esfahan_Esfahan	57	626261	372	1966	Sistan_Balouchestan_Zahedan	102	627497			NA
13	623508	79	1968	Bakhtaran_Kermanshah	58	628084	357	1959	Mazandaran_	103	627587	284	1959	Kordestan_Baneh
14	621735	156	1948	Ghazvin_Ghazvin	59	625047	308	1961	Markazi_Saveh	104	623127	14	1959	Azarbayjan-Gharbi_Rezaeih
15	623338	153	1961	Fars_Shiraz	60	626158	211	1950	Kerman_Kerman	105	623507	79	1968	Bakhtaran_Kermanshah
16	621668	376	1931	Tehran_Tehran	61	624925	186	1959	Hamedan_Malayer	106	621650	376	1931	Tehran_Tehran
17	624320			NA	62	621619	286	1959	Kordestan_Bijar	107	627066	214	1961	Kerman_Rafsanjan
18	621421	292	1959	Kordestan_Kordestan	63	627299	381	1968	Yazd_Dastjerd	108	627787	52	1959	Azarbayjan-Sharghi_Tabriz
19	624240	203	1959	Ilam_Ilam	64	623291	197	1959	Hamedan_Toyserkan	109	623139	53	1961	Fars_Shiraz
20	623344	68	1957	Bakhtaran_Gilan_Gharab	65	627849	370	1966	Sistan_Balouchestan_Zabol	110	621908	317	1939	Markazi_Arak
21	624941	376	1931	Tehran_Tehran	66	626978	104	1964	Esfahan_Esfahan	111	624944	376	1946	Tehran_Tehran
22	621716	156	1948	Ghazvin_Ghazvin	67	627072	398	1959	Zanjan_Zanjan	112	624846	203	1957	Ilam_Ilam
23	627236	1961	242	Khorasan_Gonabad	68	626908	216	1961	Kerman_Sirjan	113	623428	52	1959	Azarbayjan-Sharghi_Tabriz
24	624911	1959	190	Hamedan_Nahavand	69	623421	52	1959	Azarbayjan-Sharghi_Tabriz	114	622894	104	1964	Esfahan_Esfahan
25	624990	1947	156	Ghazvin_Ghazvin	70	623090	94	1940	Bakhtaran_Shahabad	115	623162	10	1961	Azarbayjan-Gharbi_Mahabad
26	627484	1964	379	Yazd_Ardakan	71	626234	372	1966	Sistan_Balouchestan_Zahedan	116	628189	203	1959	Ilam_Ilam
27	627688	1963	131	Esfahan_Naien	72	627853	370	1966	Sistan_Balouchestan_Zabol	117	624318			NA
28	627416	1959	91	Bakhtaran_Sanjabi	73	624805	65	1959	Bakhtaran_Ghasr Shirin	118	626215	211	1956	Kerman_Kerman
29	625661	1939	247	Khorasan_Mashhad	74	621565	174	1958	Hamedan_Hamedan	119	627414	74	1957	Bakhtaran_Kangavar
30	625081	1961	308	Markazi_Saveh	75	626706	186	1959	Hamedan_Malayer	120	627399	394	1959	Zanjan_Manjil
31	627061	1939	311	Markazi_Arak	76	622063	398	1959	Zanjan_Zanjan	121	623318	379	1964	Yazd_Ardakan
32	624315	1961	292	Kordestan_Kordestan	77	626747	379	1964	Yazd_Ardakan	122	627963	174	1947	Hamedan_Hamedan
33	627103	1961	357	Mazandaran_	78	626573	104	1964	Esfahan_Esfahan	123	621706	156	1940	Ghazvin_Ghazvin
34	623475	1940	203	Ilam_Ilam	79	622247	364	1956	Mazandaran_Sari	124	626358	104	1964	Esfahan_Esfahan
35	624596	1959	174	Hamedan_Hamedan	80	627990	55	1959	Bakhtaran_Bakhtaran	125	623980	197	1958	Hamedan_Toyserkan
36	626744			NA	81	626226	372	1959	Sistan_Balouchestan_Zahedan	126	626776	226	1961	Khorasan_Birjand
37	623506	1968	79	Bakhtaran_Kermanshah	82	626924	161	1960	Gilan_Astara	127	625127	327	1966	Markazi_
38	623510	1959	3	Azarbayjan-Gharbi_Uromia	83	622084	359	1959	Mazandaran_	128	623503	203	1940	Ilam_Ilam
39	627845	1966	370	Sistan-Balouchestan_Zabol	84	626482			NA	129	627881	62	1959	Azarbayjan-Sharghi_Tabriz
40	627856	1940	364	Mazandaran_Sari	85	624849	203	1957	Ilam_Ilam	130	623377	217	1950	Kerman_Soofi Abad
41	627360	1961	214	Kerman_Rafsanjan	86	624576	174	1959	Hamedan_Hamedan	131	627948	308	1959	Markazi_Saveh
42	627883	1959	52	Azarbayjan-Sharghi_Tabriz	87	626904	42	1939	Azarbayjan-Sharghi_mianeh	132	624818	203	1931	Ilam_Ilam
43	623379	1956	210	Kerman_Jiroft	88	626895	37	1941	Azarbayjan-Sharghi_Maragheh	133	623345	284	1959	Kordestan_Baneh
44	624910	1959	190	Hamedan_Nahavand	89	627057	162	1961	Gilan_Fooman	134	627908	311	1959	Markazi_Arak
45	623908	1957	79	Bakhtaran_Kermanshah	90	627987	392	1959	Zanjan_Zanjan	135	623169	170	1960	Gilan_Rpoudbar

ادامه جدول ۲-

No	Genotype	Collected_ID	Year	Collected location	No	Genotype	Collected_ID	Year	Collected location	No	Genotype	Collected_ID	Year	Collected location
136	627356	200	1961	Hormozgan_Bandar Abbas	164	622311	247	1961	Khorasan_Mashhad	192	626881	19	1941	Ardabil_Ardabil
137	626943	220	1961	Kerman_Zabol	165	627385	65	1961	Bakhtaran_Ghasr Shirin	193	624947	376	1931	Tehran_Tehran
138	627417	91	1959	Bakhtaran_Sanhabi	166	624209			NA	194	624963	376	1931	Tehran_Tehran
139	628088	311	1959	Markazi_Arak	167	623905	79	1975	Bakhtaran_Kermanshah	195	623123	153	196	Fars_Shiraz
140	626933	200	1961	Hormozgan_Bandar Abbas	168	627460	255	1961	Khorasan_Sabzevar	196	623069	104	1964	Esfahan_Esfahan
141	623125	153	1961	Fars_Shiraz	169	627760	25	1959	Azar_Sharghi_Azar Shahr	197	624901	286	1960	Kordestan_Bijar
142	624980	156	1959	Ghazvin_Ghazvin	170	625362	348	1962	Mazandaran_Babol	198	624215	174	1959	Hamedan_Hamedan
143	625281	164	1960	Gilan_Gilan	171	623274	68	1957	Bakhtaran_Gilan gharb	199	624861	203	1959	Ilam_Ilam
144	623382	210	1956	Kerman_Jiroft	172	626736	255	1961	Khorasan_Sabzevar	200	627055	375	1960	Zanjan_Roudbar
145	624580	174	1959	Hamedan_Hamedan	173	624585	174	1959	Hamedan_Hamedan	201	626932	200	1961	Hormozgan_Bandar Abbas
146	626883	151	1961	Fars_Shiraz	174	624864	203	1959	Ilam_Ilam	202	624838	203	1959	Ilam_Ilam
147	623136	10	1941	Azərbayjan-Gharbi_Mahabad	175	625123	327	1966	Markazi_Kashan	203	621736	156	1948	Ghazvin_Ghazvin
148	626923	161	1960	Gilan_Astara	176	626764	384	1964	Yazd_Yazd	204	621869	311	1959	Markazi_Arak
149	627099	283	1959	Lorestan_Khoram Abad	177	624804	65	1959	Bakhtaran_Ghasr Shirin	205	621910			NA
150	626260	372	1961	Sistan_Balouchestan_Zahedan	178	626846	384	1964	Yazd_Yazd	206	628012	55	1959	Bakhtaran_Bakhtaran
151	623176	225	1961	Khorasan_Birjand	179	626814	104	1961	Esfahan_Esfahan	207	622099	164	1959	Gilan_Gilan
152	621492	55	1959	Bakhtaran_Bakhtaran	180	626825	143	1961	Esfahan_Shahreza	208	622105	164	1956	Gilan_Gilan
153	627723	384	1940	Yazd_Yazd	181	624251	203	1959	Ilam_Ilam	209	621420	174	1959	Hamedan_Hamedan
154	4820			NA	182	623953	65	1957	Bakhtaran_Ghasr Shirin	210	623266	14	1947	Azarbaijan Gharbi_Rezaeieh
155	626565	104	1964	Esfahan_Esfahan	183	626855	344	1961	Markazi_Varamin	211	621712	156	1959	Ghazvin_Ghazvin
156	624946	376	1948	Tehran_Tehran	184	623008	104	1964	Esfahan_Esfahan	212	620903	3	1959	Azarbaijan Gharbi_Arak
157	624894	286	1959	Kordestan_Bijar	185	621669	376	1931	Tehran_Tehran	213	625139	311	1939	Markazi_Arak
158	626958	14	1961	Azərbayjan-Gharbi_Rezaeieh	186	624939	376	1931	Tehran_Tehran	214	622098	164	1957	Gilan_Gilan
159	623417	370	1966	Sistan_Balouchestan_Zabol	187	626360	104	1964	Esfahan_Esfahan	215	625263	359	1959	Mazandaran_Mazandaran
160	624378	55	1959	Bakhtaran_Bakhtaran	188	624983	156	1959	Ghazvin_Ghazvin	216	622264	348	1962	Mazandaran_Babol
161	626872	153	1960	Fars_Shiraz	189	627551	19	1953	Ardabil_Ardabil	217	622272	347	1962	Mazandaran_Amol
162	624381	55	1959	Bakhtaran_Bakhtaran	190	621717	156	1960	Ghazvin_Ghazvin	218	627905	347	1959	Mazandaran_Amol
163	625810	247	1961	Khorasan_Mashhad	191	624863	203	1959	Ilam_Ilam					

NA: not available (موجود نیست)

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، داده‌های تیپ آلودگی مرحله‌ی گیاهچه‌ای (۴-۰) با استفاده از روش (Zhang et al., 2019) به مقادیر کمی ۰-۹ تبدیل شدند. به صورت خلاصه ابتدا تیپ‌های آلودگی ۰، ۱<sup>-</sup>، ۱<sup>+</sup>، ۲<sup>-</sup>، ۲<sup>+</sup>، ۳<sup>-</sup>، ۳<sup>+</sup> به ترتیب به اعداد ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ تبدیل شدند. علامت؛ برای لکه‌های فوق حساسیت به صفر و تیپ آلودگی ۴ نیز به نه تبدیل شد. تیپ‌های آلودگی ترکیبی مانند ۱۲۳؛ ابتدا به صورت ۳؛ در نظر گرفته شد و سپس اولین و آخرین عدد از این ترکیب یعنی ۳ و ۳؛ به ترتیب به اعداد ۹ و ۰ تبدیل شد و از این دو عدد به توجه به اینکه؛ به میزان بیشتری و ۳ به مقدار کمتری وجود داشت یک میانگین وزنی گرفته شد. به این صورت که به ۰ ضریب ۲ و به ۹ ضریب یک داده شد. در نهایت عدد به دست آمده برای این ترکیب معادل ۵/۳۳ خواهد بود. به منظور گروه‌بندی ارقام مورد بررسی از نظر مقاومت به زنگ قهوه‌ای، از تجزیه خوشه‌ای به روش Ward بر اساس فاصله اقلیدسی (به کمک نرم‌افزار SPSS 16.00) استفاده گردید. تجزیه همبستگی نیز با استفاده از نرم‌افزار مذکور انجام شد.

### نتایج و بحث

نتایج تعیین فرمول پرآزاری پاتوتیپ‌های استفاده شده در جدول ۳ ارائه شده است. پاتوتیپ LR-94-5 دارای کمترین و پاتوتیپ LR-98-8 دارای بیشترین فاکتورهای پرآزاری بود. ژن‌های *Lr12* (Dyck et al., 1966)، *Lr13* (Dyck et al., 1966)، *Lr22a* (Dyck and Samboraski, 1979)، *Lr22b* (Dyck and Samboraski, 1979)، *Lr34* (Dyck et al., 1987)، *Lr35* (Dyck et al., 1987) و *Lr37* (Dvorak and Knott, 1990) که از ژن‌های مقاومت گیاه کامل هستند نسبت به تمام پاتوتیپ‌ها حساس بودند، به استثنای ژن *Lr13* که نسبت به پاتوتیپ LR-94-5 مقاوم بود. با وجود اینکه ژن *Lr13* ژن مقاومت گیاه کامل بوده ولی نسبت به دماهای بالا حساس است و ممکن است در مرحله گیاهچه‌ای در دماهای بالا تظاهر پیدا کند (Dyck et al., 1966). بنابراین مقاومت این ژن در برابر برخی از پاتوتیپ‌ها دور از انتظار نیست. به علاوه ژن‌های *Lr3c*، *Lr3bg*، *Lr10*، *Lr11*، *Lr14b*، *Lr17*، *Lr18*

*Lr21*، *Lr24*، *Lr25*، *Lr30*، *Lr32*، *Lr33*، *Lr36* و *LrB* نسبت به تمام پاتوتیپ‌ها حساس و ژن‌های *Lr9*، *Lr2a*، *Lr19* نسبت به تمام پاتوتیپ‌ها مقاوم بودند. مقاومت ژن *Lr9* و *Lr19* نسبت به تمامی پاتوتیپ‌ها در سایر مطالعات گزارش شده است (Torabi et al., 2001). ژن *Lr9* روی کرموزوم 6B (Soliman et al., 1963) گزارش گردیده است. این ژن نسبت به تغییرات محیطی از جمله دمای محیط واکنش کم نشان می‌دهد. اکثر منابع دارای منابع ژن *Lr9* از آمریکای شمالی منشا گرفته‌اند. با توجه به اینکه پرآزاری برای این ژن در هیچ کدام از پاتوتیپ‌های استفاده شده گزارش نشده، این ژن به‌عنوان یک ژن مؤثر و قابل استفاده در برنامه‌های به‌نژادی کشور توصیه می‌شود. در ارتباط با ژن *Lr19* اظهار شده است که پرآزاری برای این ژن در مقیاس جهانی نادر می‌باشد. با وجود مؤثر بودن این ژن در اکثر نقاط دنیا کاربرد این ژن به دلیل لینکاژ با عامل تولید کننده زردی رنگ آرد در سطح بین‌المللی محدود می‌باشد (Winzeler et al., 1995).

### واکنش ژنوتیپ‌ها در مرحله‌ی گیاهچه‌ای

واکنش ژنوتیپ‌ها در برابر پاتوتیپ‌های زنگ قهوه‌ای در مرحله‌ی گیاهچه‌ای در جدول ۴ آورده شده است. نتایج نشان داد که از ۲۱۸ ژنوتیپ مورد بررسی به ترتیب ۸/۷۱، ۷/۸، ۶/۹، ۱۱ و ۶/۴ درصد به پاتوتیپ‌های LR-98-19، LR-98-22، LR-98-38، LR-94-5 و LR-99-3 مقاوم هستند. تنها هشت ژنوتیپ (حدود چهار درصد) به تمام پاتوتیپ‌های مورد نظر مقاومت داشتند. همچنین پنج ژنوتیپ نسبت به چهار پاتوتیپ مقاوم بودند. به علاوه ۱۹ ژنوتیپ دیگر حداقل به یک پاتوتیپ استفاده شده مقاوم بودند، سایر ژنوتیپ‌ها (۸۷ درصد) حساس بودند. این تفاوت‌ها در واکنش مقاومت نشان‌دهنده وجود مقاومت اختصاصی متفاوت در این ژنوتیپ‌هاست. موجرلو و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که ۵۹ درصد از توده‌های بررسی شده نسبت به پاتوتیپ‌های زنگ سیاه مقاوم و نیمه‌مقاوم هستند (Mojerlou et al., 2012). لی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که تنها چهار نمونه از جمعیت ۱۸۳ نمونه‌ای ارقام و لاین‌های اصلاحی مورد بررسی، نسبت به زنگ قهوه‌ای مقاوم هستند که با نتایج این بررسی مطابقت داشت (Li et al., 2017). اسپاکوتا و همکاران (۲۰۱۹) نیز تنوع گسترده‌ای از مقاومت به زنگ



مختلفی از مقاومت و حساسیت نشان دادند. واکنش نهایی ۲۳ ژنوتیپ از نوع MR، ۱۴ ژنوتیپ از نوع MS و ۱۸۱ ژنوتیپ از نوع S بود (جدول ۴).

در پژوهشی که توسط دهقان و همکاران روی ۲۲۴ توده بومی ایران متعلق به بانک ژن موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انجام شد، بیش از ۴۳ درصد ژنوتیپ‌های مورد بررسی مقاوم (R)، ۴/۵ درصد نیمه‌مقاوم (MR)، ۵/۳ درصد نیمه‌حساس (MS) و بیش از ۴۷ درصد نسبت به نژادهای قارچ عامل بیماری زنگ قهوه‌ای در شرایط مزرعه‌ای حساس (S) بودند (Dehghan et al., 2017). در این بررسی شدت نهایی آلودگی چندین ژنوتیپ به صورت آلودگی جزئی (TMR) بود. جانسون اظهار داشت ژنوتیپ‌هایی که آلودگی جزئی داشته و یا اصلاً آلودگی نداشته باشند، احتمال دارد مقاومت این ژنوتیپ‌ها به علت ژن‌های مقاومت اختصاصی و یا به دلیل اثر افزایشی چند ژن مقاومت بزرگ اثر باشد (Johnson, 1988). از آنجایی که احتمال شکسته شدن مقاومت ارقام دارای ژن مقاومت اختصاصی نژاد، در اثر تغییر ژنتیکی بیمارگر زیاد است، لذا در کاربرد این ژنوتیپ‌ها بایستی دقت شود. ژنوتیپ‌های شماره ۱۲۲، ۱۱۳ و ۱۴۷ که نسبت به همه یا برخی از پاتوتیپ‌ها در مرحله‌ی گیاهچه‌ای مقاوم هستند جز این دسته می‌باشند.

**سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری نسبی (rAUDPC)**

سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) یک معیار کمی از کل مقاومت بوده که حاصل تمام عواملی مثل تفاوت در شرایط محیطی، ژنوتیپ‌ها و جمعیت بیمارگر است که روی توسعه بیماری اثر دارند؛ بنابراین ژنوتیپ‌هایی که از مقدار AUDPC و درصد rAUDPC پایینی برخوردارند احتمال دارد دارای ژن‌های مقاومت غیراختصاصی (APR) (Slow rusting) باشند که بتواند ما را به مقاومت پایدار نزدیک کند.

مقادیر AUDPC ژنوتیپ‌ها در محدوده ۰-۲۴۰۰ (rAUDPC=0-100%) بود (جدول ۴). طبق مقادیر AUDPC ژنوتیپ‌های دارای AUDPC بیشتر از ۵۰۰ به عنوان ژنوتیپ‌های حساس در نظر گرفته شدند (Dadrezaei et al., 2015). این گروه شامل ۱۹۰ ژنوتیپ

قهوه‌ای در بین توده‌های بومی گندم زمستانه (SRWW: Soft Red Winter Wheat) در مرحله‌ی گیاهچه‌ای گزارش کردند (Spakota et al., 2019). ژنوتیپ‌های مقاوم به زنگ قهوه‌ای شناسایی شده در این مطالعه منابع ژنتیکی ارزشمندی برای برنامه‌های اصلاحی گندم کشور هستند. ژنوتیپ‌های شماره ۴۰، ۴۹، ۷۹، ۸۳، ۸۹، ۱۰۶، ۱۱۳، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۳۲، ۱۶۲، ۲۰۷، ۲۱۶ و ۲۱۷ در برابر همه یا تعدادی از پاتوتیپ‌های استفاده شده پاسخ‌های مصونیت (Immunity) با Infection type=0 تا مقاومت کامل (Complete Resistance) با پاسخ فوق حساسیت (Infection type: Hypersensitive Fleck (:)) نشان دادند. این واکنش روی ژنوتیپ‌های مذکور می‌تواند نتیجه واکنش فوق حساسیت (Hyper sensitive) باشد. این نوع مقاومت می‌تواند به دلیل تکامل نژادهای جدید بیمارگر شکسته شود.

مناسب‌ترین راهبرد برای استفاده از این نوع ژنوتیپ‌ها در برنامه‌های اصلاحی انتقال این نوع مقاومت از طریق روش‌هایی مثل تلاقی برگشتی (Back cross) به ارقام تجاری گندم همراه سایر ژن‌های مقاومت می‌باشد.

### واکنش ژنوتیپ‌ها در مرحله‌ی گیاه کامل

**شدت نهایی آلودگی (FDS: Final Disease)**

**(Severity) و واکنش میزبان (Infection Type)**

شدت نهایی آلودگی بیان‌کننده اثرات تجمعی همه‌ی فاکتورهای مقاومت شامل دوره کمون، تراکم و اندازه جوش در طول فرایند همه‌گیری می‌باشد، بنابراین صفت مهمی برای قضاوت است (Parevalent and Omeren, 1975). زمانی که در رقم حساس بولانی شدت آلودگی ۱۰۰ درصد مشاهده شد، زمان ثبت شدت نهایی آلودگی در ژنوتیپ‌های موردنظر بود، شدت آلودگی بالا (100S) در رقم بولانی (به عنوان انتشاردهنده‌ی بیماری) نشان داد که بیماری به صورت یکنواخت در کل مزرعه ایجاد شده است. ژنوتیپ‌های ارزیابی شده بر اساس درصد شدت نهایی آلودگی به سه گروه تقسیم شدند: گروه اول (۱۸ ژنوتیپ) دارای شدت نهایی آلودگی ۰-۳۰ درصد بودند. گروه دوم (۳۲ ژنوتیپ) دارای شدت نهایی آلودگی ۳۰-۶۰ درصد بودند و گروه سوم با بیشترین فراوانی (۱۶۸ ژنوتیپ) دارای شدت آلودگی بالاتر از ۶۰ درصد بودند. همچنین ژنوتیپ‌ها بر اساس صفت تیپ آلودگی درجات

بین ژنوتیپ‌های گندم مختلف برای مقاومت Slow rusting در برابر زنگ قهوه‌ای و سایر زنگ‌ها با استفاده از AUDPC و rAUDPC تنوع مشابهی گزارش کردند (Draz *et al.*, 2015; Hie *et al.*, 2017; Safavi *et al.*, 2020). در نهایت بر اساس واکنش ژنوتیپ‌ها در گلخانه و مزرعه می‌توان ژنوتیپ‌ها را به‌صورت زیر دسته‌بندی کرد: گروه اول حساس در مرحله‌ی گیاهچه‌ای و مقاوم در مرحله گیاه کامل: این گروه شامل ۱۷ ژنوتیپ بود. این گروه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند زیرا ممکن است دارای ژن یا ژن‌های شناخته‌شده یا ناشناخته گیاه کامل باشند. این موضوع بایستی توسط نشانگرهای مولکولی بررسی شود. گروه دوم مقاوم در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل: این گروه شامل ۲۰ ژنوتیپ بود. اعضای این گروه دارای ژن‌های اختصاصی وابسته به نژاد استفاده شده بودند.

مقاومت در این ارقام از نوع کامل بوده و احتمال شکسته شدن مقاومت در این ارقام زیاد است. بایستی در نظر داشت این گروه علاوه بر ژن‌های مقاومت اختصاصی نژاد ممکن است دارای ژن‌های مقاومت غیراختصاصی باشند که توسط اثر ژن‌های مقاومت اختصاصی پوشیده شده است. گروه سوم حساس در هر دو مرحله گیاه کامل و گیاهچه‌ای: این گروه شامل ۱۶۸ ژنوتیپ بود و فاقد ژن‌های مقاومت اختصاصی نژاد و غیراختصاصی مؤثر نسبت به پاتوتیپ‌های استفاده شده بودند. رقم حساس بولانی نیز در این گروه جای داشت. گروه چهارم مقاوم در مرحله‌ی گیاهچه‌ای و حساس در مرحله‌ی گیاه کامل شامل ۱۳ ژنوتیپ بود که نشان می‌دهد فاقد ژن‌های مرحله‌ی گیاه کامل بود. دادرزایی و همکاران نیز تقسیم‌بندی مشابهی را به‌کاربردند که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت (Dadrezaei *et al.*, 2015).

(AUDPC=521-2400) بود. AUDPC رقم حساس بولانی ۲۴۰۰ بود. چنین ژنوتیپ‌هایی بیماری به‌سرعت در آن‌ها گسترش می‌یابد (Fast rusting)؛ همچنین AUDPC پائین از ۵۰۰ به‌عنوان مقاومت قابل‌قبول در نظر گرفته شد. این گروه ۲۸ ژنوتیپ (AUDPC=6-481) را شامل شد. مقادیر پائین AUDPC در این ژنوتیپ‌ها نشان‌دهنده‌ی توانایی این ژنوتیپ‌ها در کند کردن روند پیشرفت بیماری در مرحله‌ی ابتدایی توسعه است (Slow rusting).

با توجه به نتایج جدول ۴ مشخص شد تمام ارقامی که دارای پاسخ MR و MS هستند، در این گروه جای می‌گیرند. در این بین ژنوتیپ‌های دارای AUDPC بین ۲۵۰-۵۰۰ به‌عنوان ژنوتیپ‌های نیمه‌حساس (MS) در نظر گرفته شدند، این گروه شامل ۱۱ ژنوتیپ (پنج درصد) بود. همچنین AUDPC بین ۱۵۰-۲۵۰ به‌عنوان ژنوتیپ‌های نیمه‌مقاوم (MR) در نظر گرفته شدند، که شامل ۹ ژنوتیپ (حدود چهار درصد) بود.

به علاوه ژنوتیپ‌های دارای AUDPC کمتر از ۱۵۰ به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم (R) در نظر گرفته شدند، که متشکل از ۸ ژنوتیپ (حدود چهار درصد) بود. این دو گروه از ژنوتیپ‌ها (با پاسخ MR و MS) همانند ارقام حساس در ابتدا آلودگی و تولید اسپور نشان داده، ولی بر عکس ارقام حساس به مرور رشد تصاعدی بیماری کندتر شده و آلودگی به تأخیر می‌افتد و در نهایت واکنش میزبان به‌صورت لکه‌های کلروتیک و نکروتیک خواهد بود. تیپ‌های آلودگی ایجاد شده در شرایط مزرعه‌ای در شکل ۱ نشان داده شده است. ژن‌های موجود در این ژنوتیپ‌ها می‌توانند به میزان بالایی تکامل نژادهای پر آزار جدید را به تأخیر بیندازند؛ زیرا چندین جهش نقطه‌ای (Point mutation) در شرایط محیطی نرمال بسیار نادر است (Hie *et al.*, 2017; Tsilo *et al.*, 2010). سایر محققان در

جدول ۳. پاتوتیپ‌های زنگ قهوه‌ای استفاده شده جهت ارزیابی ژنوتیپ‌های بومی گندم ایرانی

Table 3. Leaf rust pathotypes used to evaluate Iranian wheat landraces

Isolate code	Site of Collection	Ineffective genes	Effective genes
LR-98-19	Gorgan, Golestan	<i>Lr22b, Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb</i>	<i>Lr2a, Lr9, (Lr10, Lr27+Lr31), Lr16, Lr19</i>
LR-98-22	Baikola, Mazandaran	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, (Lr10, Lr27+Lr31), Lr19, Lr29</i>
LR-98-38	Safi Abad, Khozestan	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, (Lr10, Lr27+Lr31), Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr28</i>
LR-G32	Gorgan, Golestan	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14b, Lr15, Lr17, Lr18, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr14a, Lr16, Lr19, Lr20, Lr26, (Lr10, Lr27+Lr31), Lr29</i>
LR-99-3	Ahwaz, Khozestan	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3bg, Lr10, (Lr10, Lr27+Lr31), Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr3ka, Lr9, Lr16, Lr19, Lr26, (Lr10, Lr27+Lr10), Lr29</i>
LR-94-5	Ahwaz, Khozestan	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr21, Lr22a, Lr24, Lr25, Lr26, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb</i>	<i>Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr14a, Lr19, Lr20, Lr23, (Lr10, Lr27+Lr10), Lr28, Lr13</i>
LR-97-4	Ahwaz, Khozestan	<i>Lr22b, Lr2c, Lr3, Lr3bg, Lr10, (Lr10, Lr27+Lr10), Lr11, Lr12, Lr13, Lr14b, Lr16, Lr17, Lr18, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb</i>	<i>Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr3ka, Lr9, Lr15, Lr19, Lr28, Lr29</i>
LR-98-8	Safi Abad, Khozestan	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, (Lr10, Lr27+Lr31), Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr15, Lr19</i>
LR-98-14	Shavour, Khozestan	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr15, Lr16, Lr19, (Lr10, Lr27+Lr10), Lr29</i>



شکل ۱. تیپ‌های آلودگی در شرایط مزرعه‌ای بر اساس روش رولفز و همکاران (۱۹۹۲)  
Figure 1. Infection types in field conditions based on Roelfs et al (1992)

جدول ۴. واکنش ژنوتیپ‌های گندم نان نسبت به پاتوتیپ‌های زنگ قهوه‌ای در مرحله‌ی گیاهچه‌ای در شرایط گلخانه‌ای و گیاه کامل در مزرعه

Table 4. Reaction of Bread wheat landraces to leaf rust pathotype in seedling and adult palnt stages

No.	Geno.	FDS	CI	AUDPC	rAUDPC	98-19	98-22	98-38	G32	99-3	No.	Geno.	FDS	CI	AUDPC	rAUDPC	98-19	98-22	98-38	G32	99-3
Greenhouse reaction											Greenhouse reaction										
1	626154	85S	85	1295	54	H	H	H	H	H	111	624944	75S	75	1236	69	H	H	H	H	H
2	627036	75S	75	1145	48	H	H	H	H	H	112	624846	85S	85	1645	25	H	H	H	H	H
3	626156	70S	70	1120	47	H	H	H	H	H	113	623428	35S	35	596	63	L	H	H	L	H
4	627852	85S	85	1295	54	H	H	H	H	H	114	622894	90S	90	1510	62	H	H	H	H	H
5	628114	70S	70	1120	47	H	H	H	H	H	115	623162	85S	85	1485	53	H	H	H	H	H
6	624985	80S	80	1270	53	H	H	H	H	H	116	628189	80S	80	1280	22	H	H	H	H	H
7	624837	90S	90	1240	52	H	H	H	H	H	117	624318	35S	35	525	55	H	H	H	H	H
8	623473	40MR	16	440	18	H	L	H	L	H	118	626215	75S	75	1315	56	H	H	H	H	H
9	627359	95S	95	1555	65	H	H	H	H	H	119	627414	75S	75	1335	66	H	H	H	H	H
10	627038	55S	55	955	40	H	H	H	H	H	120	627399	75S	75	1595	8	H	H	H	H	H
11	621704	85S	85	1166	49	H	H	H	H	H	121	623318	30MR	12	181	19	L	H	H	L	H
12	626566	90S	90	1430	60	H	H	H	H	H	122	627963	25S	25	465	58	L	L	L	L	L
13	623508	90S	90	1410	59	H	H	H	H	H	123	621706	85S	85	1385	61	H	H	H	H	H
14	621735	75S	75	1156	48	H	H	H	H	H	124	626358	80S	80	1460	68	H	H	H	H	H
15	623338	95S	95	1555	65	H	H	H	H	H	125	623980	85S	85	1625	68	H	H	H	H	H
16	621668	95S	95	1396	58	H	H	H	H	H	126	626776	85S	85	1625	62	H	H	H	H	H
17	624320	35MR	14	350	15	H	H	H	L	H	127	625127	90S	90	1490	70	H	H	H	H	H
18	621421	75S	75	1136	47	H	H	H	H	H	128	623503	90S	90	1670	61	H	H	H	H	H
19	624240	65S	65	1006	42	H	H	H	H	H	129	627881	85S	85	1465	32	H	H	H	H	H
20	623344	95S	95	1555	65	H	H	H	H	H	130	623377	55S	55	756	20	L	H	H	L	H
21	624941	45S	45	666	28	H	H	H	H	H	131	627948	40MS	32	481	6	H	H	H	H	H
22	621716	75S	75	1555	65	H	H	H	H	H	132	624818	7.5MS	6	151	72	L	H	L	L	H
23	627236	85S	85	1605	67	H	H	H	H	H	133	623345	85S	85	1725	71	H	H	H	H	H
24	624911	85S	85	1385	58	H	H	H	H	H	134	627908	80S	80	1700	72	H	H	H	H	L
25	624990	75S	75	1165	49	H	H	H	H	H	135	623169	85S	85	1725	4	H	H	H	H	H
26	627484	75S	75	1335	56	H	H	H	H	H	136	627356	TMR	1.4	88	72	H	H	H	H	H
27	627688	75S	75	1435	60	H	H	H	H	H	137	626943	85S	85	1725	71	H	H	H	H	H
28	627416	75S	75	1335	56	H	H	H	H	H	138	627417	80S	80	1700	72	H	H	H	H	H
29	625661	35MR	14	330	14	H	H	H	H	H	139	628088	85S	85	1725	30	H	H	H	H	L
30	625081	92.5S	92.5	1422.5	59	H	H	H	H	H	140	626933	35MR	14	710	34	H	H	H	H	H
31	627061	45MS	36	760	32	H	H	H	H	H	141	623125	45MS	45	805	70	H	H	H	H	H
32	624315	35MS	28	401	17	H	H	H	H	H	142	624980	90S	90	1670	66	H	H	H	H	H
33	627103	35MR	14	231	10	L	L	L	L	H	143	625281	90S	90	1590	68	H	H	H	H	H
34	623475	95S	95	1535	64	H	H	H	H	H	144	623382	80S	80	1620	69	H	H	H	H	H
35	624596	95S	95	1555	65	H	H	H	H	H	145	624580	85S	85	1645	70	H	H	H	H	H
36	626744	85S	85	1505	63	H	H	H	H	H	146	626883	90S	90	1670	54	H	H	H	H	H
37	623506	85S	85	1585	66	H	H	H	H	H	147	623136	90S	90	1290	60	H	H	L	L	H
38	623510	90S	90	1610	67	H	H	H	H	H	148	626923	80S	80	1440	70	H	H	H	H	H

Continued Table 4.

ادامه جدول ۴.

No.	Geno.	FDS	CI	AUDPC	rAUDPC	98-19	98-22	98-38	G32	99-3	No.	Geno.	FDS	CI	AUDPC	rAUDPC	98-19	98-22	98-38	G32	99-3
Greenhouse reaction											Greenhouse reaction										
39	627845	95S	95	1855	77	H	H	H	H	H	149	627099	90S	90	1670	73	H	H	H	H	H
40	627856	25MR	10	151	6	L	L	L	L	L	150	626260	80S	80	1740	60	H	H	H	H	H
41	627360	95S	95	1735	72	H	H	H	H	H	151	623176	75S	75	1435	25	H	H	H	H	H
42	627883	97.5S	97.5	1547.5	64	H	H	H	H	H	152	621492	40MS	32	600	28	H	H	H	H	H
43	623379	60S	60	1070	45	H	H	H	H	H	153	627723	45MS	45	666	70	H	H	H	L	H
44	624910	85S	85	1305	54	H	H	H	H	H	154	626565	90S	90	1670	48	H	H	H	H	H
45	623908	65S	65	1095	46	H	H	H	H	H	155	4820	75S	75	1156	59	H	H	H	H	H
46	624900	95S	95	1435	60	H	H	H	H	H	156	624946	85S	85	1405	59	H	H	H	H	H
47	627054	95S	95	1715	71	H	H	H	H	H	157	624894	90S	90	1410	58	H	H	H	H	H
48	626223	100S	100	1541	64	H	H	H	H	H	158	626958	85S	85	1385	57	H	H	H	H	H
49	627189	25MR	10	250	10	L	L	H	L	L	159	623417	80S	80	1360	59	H	H	H	H	H
50	627466	80S	80	1280	53	H	H	H	H	H	160	624378	90S	90	1410	56	H	H	H	H	H
51	627423	70S	70	971	40	H	H	H	H	H	161	626872	75S	75	1335	5	H	H	H	H	H
52	627410	90S	90	1510	63	H	H	H	H	H	162	624381	15MR	6	111	59	L	L	L	L	L
53	625080	55MS	55	855	36	H	H	H	H	H	163	625810	90S	90	1410	65	H	H	H	H	H
54	627842	70S	70	1090	45	H	H	H	H	H	164	622311	85S	85	1565	62	H	H	H	H	H
55	627043	85S	85	1305	54	H	H	H	H	H	165	627385	85S	85	1485	12	H	H	H	H	H
56	624956	80S	80	1280	53	H	H	H	H	H	166	624209	40MR	16	281	63	H	H	H	H	H
57	626261	75S	75	1255	52	H	H	H	H	H	167	623905	90S	90	1510	71	H	H	H	H	H
58	628084	80S	80	1280	53	H	H	H	H	H	168	627460	90S	90	1710	61	H	H	H	H	H
59	625047	85S	85	1385	58	H	H	H	H	H	169	627760	85S	85	1465	57	H	H	H	H	H
60	626158	85S	85	1385	58	H	H	H	H	H	170	625362	80S	80	1360	63	H	H	H	L	H
61	624925	85S	85	1465	61	H	H	H	H	H	171	623274	75S	75	1515	61	H	H	H	H	H
62	621619	75S	75	1335	56	H	H	H	H	H	172	626736	85S	85	1465	58	H	H	H	H	H
63	627299	45MS	36	581	24	H	H	H	H	H	173	624585	80S	80	1380	58	H	H	H	H	H
64	623291	85S	85	1385	58	H	H	H	H	H	174	624864	70S	70	1390	68	H	H	H	H	H
65	627849	75S	75	1335	56	H	H	H	H	H	175	625123	95S	95	1635	56	H	H	H	H	H
66	626978	80S	80	1440	60	H	H	H	H	H	176	626764	75S	75	1355	58	H	H	H	H	L
67	627072	85S	85	1606	67	H	H	H	H	H	177	624804	80S	80	1380	59	H	H	H	H	L
68	626908	85S	85	1286	54	H	H	H	H	H	178	626846	85S	85	1405	57	H	H	H	H	H
69	623421	80S	80	1261	53	H	H	H	H	H	179	626814	80S	80	1360	57	H	H	H	H	H
70	623090	85S	85	1385	58	H	H	H	H	H	180	626825	80S	80	1360	58	H	H	H	H	H
71	626234	80S	80	1501	63	H	H	H	L	H	181	624251	85S	85	1385	58	H	H	H	H	H
72	627853	95S	95	1856	77	H	H	H	H	H	182	623953	85S	85	1385	58	H	H	H	H	H
73	624805	25MS	20	301	13	H	H	H	H	H	183	626855	85S	85	1385	58	H	H	H	H	H
74	621565	85S	85	1306	54	H	H	H	H	H	184	623008	85S	85	1385	57	H	H	H	H	H
75	626706	95S	95	1355	56	H	H	H	H	H	185	621669	80S	80	1360	42	H	H	H	H	H
76	622063	75S	75	1255	52	H	H	H	H	H	186	624939	60S	60	1001	76	H	H	H	H	H
77	626747	80S	80	1440	60	H	H	H	H	H	187	626360	95S	95	1835	32	H	H	H	H	H

ادامه جدول ۴. Continued table 4.

No.	Geno.	FDS	CI	AUDPC	rAUDPC	98-19	98-22	98-38	G32	99-3	No.	Geno.	FDS	CI	AUDPC	rAUDPC	98-19	98-22	98-38	G32	99-3
Greenhouse reaction											Greenhouse reaction										
78	626573	85S	85	1286	54	H	H	H	H	H	188	624983	40S	40	770	33	H	H	H	H	H
79	622247	R	0.2	6	0	L	L	L	L	L	189	627551	45S	45	795	61	H	H	H	H	H
80	627990	15MR	6	151	6	H	H	H	H	H	190	621717	85S	85	1465	58	H	H	H	H	H
81	626226	95S	95	1795	75	H	H	H	H	H	191	624863	85S	85	1385	59	H	H	H	H	H
82	626924	25MR	10	133	6	H	L	L	H	H	192	626881	90S	90	1410	57	H	H	H	H	H
83	622084	15MR	6	111	5	L	L	L	L	L	193	624947	80S	80	1360	58	H	H	H	H	H
84	626482	80S	80	1440	60	H	H	H	H	H	194	624963	85S	85	1385	58	H	H	H	H	H
85	624849	75S	75	1415	59	H	H	H	H	H	195	623123	85S	85	1385	63	H	H	H	H	H
86	624576	85S	85	1465	61	H	H	H	H	H	196	623069	90S	90	1510	58	H	H	H	H	H
87	626904	75S	75	1415	59	H	H	H	H	H	197	624901	85S	85	1385	62	H	H	H	H	H
88	626895	85S	85	1385	58	H	H	H	H	H	198	624215	85S	85	1485	56	H	L	H	L	H
89	627057	10MR	4	101	4	L	L	L	L	H	199	624861	80S	80	1350	56	H	H	H	H	H
90	627987	90S	90	1650	69	H	H	H	H	H	200	627055	75S	75	1335	76	H	H	H	H	H
91	624582	85S	85	1625	68	H	H	H	H	H	201	626932	95S	95	1815	3	H	H	H	H	H
92	623909	75S	75	1236	52	H	H	H	H	H	202	624838	15MR	6	72	56	H	H	H	H	H
93	627616	75S	75	1255	52	H	H	H	H	H	203	621736	75S	75	1335	59	H	H	H	H	H
94	627102	85S	85	1206	50	H	H	H	H	H	204	621869	90S	90	1410	57	H	H	H	H	H
95	623109	80S	80	1280	53	H	H	H	H	H	205	621910	80S	80	1360	10	H	H	H	H	H
96	623091	80S	80	1600	67	H	H	H	H	L	206	628012	35MR	14	231	9	L	L	L	L	H
97	625433	75S	75	1495	62	H	H	H	H	H	207	622099	30MR	12	221	9	L	L	L	L	L
98	623161	85S	85	1545	64	H	H	H	H	H	208	622105	30MR	12	221	58	L	L	L	L	H
99	626699	90S	90	1320	55	H	H	H	H	L	209	621420	85S	85	1385	58	H	H	H	H	H
100	627873	90S	90	1320	55	H	H	H	H	H	210	623266	85S	85	1385	61	H	H	H	H	H
101	622379	45MS	36	590	25	H	H	H	H	H	211	621712	85S	85	1465	57	H	H	H	H	H
102	627497	75S	75	1255	52	H	H	H	H	H	212	620903	80S	80	1360	58	H	H	H	H	H
103	627587	95S	95	1735	72	H	H	H	H	H	213	625139	85S	85	1385	57	H	H	H	H	H
104	623127	40S	40	581	24	H	H	H	H	H	214	622098	80S	80	1360	52	H	H	H	H	H
105	623507	85S	85	1465	61	H	H	H	H	H	215	625263	75S	75	1245	7	H	H	H	H	H
106	621650	45MS	36	521	22	L	H	H	L	H	216	622264	25MR	10	171	18	L	L	L	L	L
107	627066	40MS	32	660	28	H	H	H	H	H	217	622272	35MS	28	421	12	L	L	L	L	L
108	627787	7.5MR	3	23	1	H	H	H	H	H	218	627905	40MR	16	281	100	L	L	H	H	H
109	623139	80S	80	1100	46	H	H	H	H	H	219	BOLANI	100S	100	2400	1.00	H	H	H	H	H
110	621908	55S	55	935	39	H	H	H	H	H											

NO: Number (شماره); Geno: Genotype (ژنوتیپ); FDS: Final Disease Severity (شدت نهایی آلودگی); CI: Coefficient Infection (ضریب آلودگی); AUDPC: Area Under Disease Progress Curve (سطح زیر منحنی پیشرفت

بیماری); rAUDPC: relative Area Under Disease Progress Curve (سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری نسبی); 98-19: ایزوله LR\_98\_19; 98-22: ایزوله LR\_98\_22; 98-38: ایزوله LR\_98\_38; G32: ایزوله LR\_99\_3; 99-3: ایزوله LR\_99\_3

## همبستگی اجزای مقاومت گیاه کامل

به منظور بررسی همبستگی اجزای مقاومت شامل ضریب آلودگی (CI)، شدت نهایی آلودگی (FDS)، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) و سطح منحنی زیر پیشرفت بیماری نسبی (rAUDPC) تجزیه همبستگی صفات انجام شد (جدول ۵). نتایج نشان داد که همبستگی مثبت معنی داری در سطح احتمال یک درصد بین شدت نهایی آلودگی (FDS) با ضریب آلودگی (CI) ( $r=0.989$ ) و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) ( $r=0.949$ ) وجود دارد. همچنین همبستگی بالا معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ بین ضریب آلودگی (CI) و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) مشاهده شد ( $r=0.956$ ). همبستگی بالا این اجزا توسط سایر محققان گزارش شده است (Hei *et al.*, 2017). از آنجایی که شدت

نهایی آلودگی (FDS)، ضریب آلودگی (CI) و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) ضرایب مثبت بالا دارند، انتخاب ژنوتیپ‌هایی با شدت نهایی آلودگی کمتر از ۴۰ درصد، ضریب آلودگی بین ۰-۴۰ و rAUDPC کمتر از ۴۰ درصد با پاسخ‌های MR و MS معیاری قابل قبول برای اهداف کاربردی است. عملی بودن اندازه‌گیری slow rusting تحت شرایط مزرعه بر مبنای ضریب و شدت آلودگی پائین توسط سایر محققان گزارش شده است (Hie *et al.*, 2014; Safavi *et al.*, 2013; Hie *et al.*, 2017). بر همین اساس ۳۰ ژنوتیپ (جدول ۴) با خصوصیات مورد نظر یعنی شدت نهایی آلودگی ۳/۵-۴۰، ضریب آلودگی ۱/۴-۳۰ و rAUDPC ۱-۳۲ درصد با پاسخ‌های MS و MR برای اصلاح مقاومت شناسایی شدند.

جدول ۵. ضرایب همبستگی اجزای مقاومت زنگ قهوه‌ای گندم در شرایط مزرعه‌ای در ژنوتیپ‌های گندم نان

Table 5. Correlation Coefficients of Components resistance for leaf rust in field conditions in wheat genotypes

	1	2	3	4
FDS.1	1			
CI.2	0.989**	1		
AUDPC .3	0.949**	0.956**	1	
rAUDPC.4	0.949**	0.956**	1.000**	1

Significant at level 0.01 probability

\*\* معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱

FDS: Final Disease Severity (شدت نهایی آلودگی); CI: Coefficient Infection (ضریب آلودگی); AUDPC: Area Under Disease Progress Curve (سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری نسبی)

Curve (سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری); rAUDPC: relative Area Under Disease Progress Curve (سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری نسبی)

## گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس تجزیه خوشه‌ای

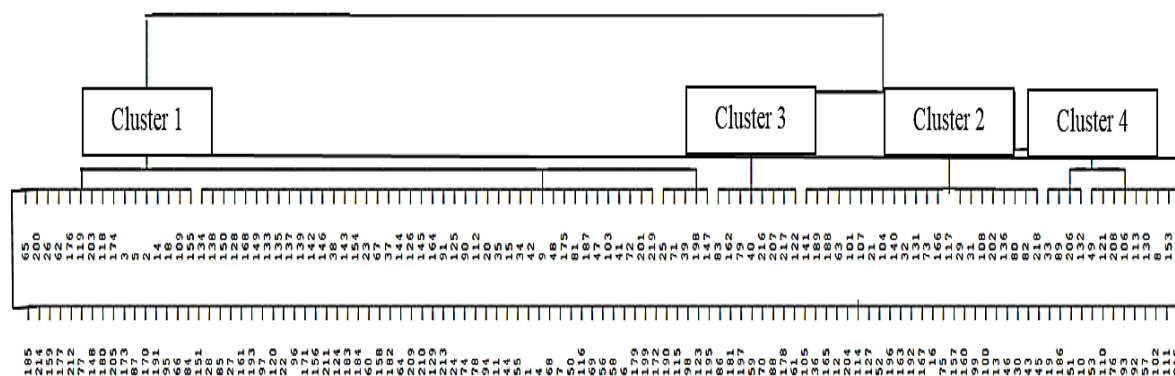
تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد بررسی با استفاده از داده‌های تیپ آلودگی مرحله‌ی گیاهچه‌ای، ضریب آلودگی مرحله‌ی گیاه کامل، شدت نهایی آلودگی، AUDPC و rAUDPC انجام شد. بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد نظر در چهار خوشه حساس، نیمه‌حساس، نیمه‌مقاوم و مقاوم دسته‌بندی شدند (شکل ۲). خوشه اول با بیشترین فراوانی، تعداد ۱۸۳ ژنوتیپ (حدود ۸۰ درصد) همراه با شاهد (بولانی) را شامل شد. ژنوتیپ‌های این خوشه دارای بالاترین متوسط AUDPC (۱۳۷۲)، بالاترین مقدار متوسط ضریب آلودگی

(CI=79.82)، بالاترین میزان شدت نهایی آلودگی (۸۰/۲۲) و بالاترین متوسط تیپ آلودگی (IT=8.43) مرحله‌ی گیاهچه‌ای بودند. خوشه دوم (نیمه‌حساس) با ۲۳ ژنوتیپ (۱۱ درصد) دارای متوسط تیپ آلودگی ۸/۳۶ (IT=3+)، میزان AUDPC=460.22، شدت نهایی آلودگی ۳۳/۹۶ و ضریب آلودگی ۲۵/۵۸ و rAUDPC= 19% بودند، محدوده واکنش گیاه کامل بین 10MR-50S بود. کمترین فراوانی متعلق به خوشه سوم (مقاوم) بود (تعداد ۴ ژنوتیپ، ۱/۸۳ درصد) که دارای متوسط تیپ آلودگی ۴/۳۳، AUDPC=178.5 و CI=9.5 و شدت نهایی آلودگی ۲۱/۸۸ بود، ژنوتیپ‌های این خوشه دارای واکنش MR و

شناسایی بیشتر بایستی از تجزیه‌های ژنتیکی\_مولکولی استفاده شود. ابراهیمیان و همکاران بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای ۴۱ ژنوتیپ گندم را تحت اپیدمی زنگ قهوه‌ای در چهار خوشه حساس، مقاوم، نیمه‌مقاوم و نیمه‌حساس گروه‌بندی کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت (Ebrahimian et al., 2019). سایر محققان از روش تجزیه‌ای خوشه‌ای برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها استفاده کرده‌اند (Zahravi et al., 2019; Li et al., 2017; Mojerlou et al., 2014).

به‌منظور بررسی صحت گروه‌بندی تجزیه خوشه‌ای از تابع تشخیص استفاده شد که نتایج گروه‌بندی در جدول ۶ آورده شده است. نتایج تابع تشخیص نشان داد که ژنوتیپ‌ها به‌درستی گروه‌بندی شده‌اند و میزان موفقیت تابع تشخیص در تشخیص گروه‌ها زیاد بوده و به ترتیب ۱۰۰، ۱۰۰، ۱۰۰ و ۷۷/۸ درصد از ژنوتیپ‌ها و در کل ۹۹/۱ درصد در گروه‌های خود به‌درستی گروه‌بندی شده‌اند. علی‌پور و همکاران نیز در گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم بر اساس صفات اگرونومی از تابع تشخیص برای صحت گروه‌بندی تجزیه خوشه‌ای استفاده کردند (Alipour et al., 2017).

MS در مرحله‌ی گیاه کامل بودند و در برابر تمام پاتوتیپ‌های استفاده‌شده گیاهچه‌ای مقاوم بودند، از آنجایی که این ژنوتیپ‌ها در مرحله‌ی گیاهچه‌ای و گیاه کامل مقاوم بودند، دارای ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای هستند به‌نحوی که ژن موردنظر در مرحله‌ی گیاهچه‌ای تظاهر پیدا کرده و تا پایان مرحله‌ی رشد فنوتیپ مقاومت نشان می‌دهد. خوشه چهارم (نیمه‌مقاوم) با ۹ ژنوتیپ (۴/۱۱ درصد) دارای متوسط تیپ آلودگی  $IT=2$ ،  $AUDPC=442.33$  و  $CI=26.11$  و شدت نهایی آلودگی  $rAUDPC=18.00$  و  $37/78$  کامل  $10MR-35S$  بود. متوسط میزان  $AUDPC$  ژنوتیپ‌های خوشه دوم و چهارم کمتر از ۵۰۰ (خوشه دوم:  $460/22$  و خوشه چهارم:  $442$ ) می‌باشد، بنابراین این ژنوتیپ‌ها احتمالاً دارای ژن‌های مقاومت تدریجی (Slow Rusting) یا مقاومت جزئی (Partial Resistance) مانند  $Lr34$  هستند، این ژن‌ها دارای اثرات کوچک بوده و اغلب به‌صورت افزایشی عمل می‌کنند (Chen, 2013). این نوع مقاومت به دلیل اثرات افزایشی مدت‌زمان طولانی‌تری پایدار می‌مانند و بنابراین بایستی بیشتر مورد توجه محققان قرار بگیرند، جهت اطلاع از ماهیت این ژن‌ها و



شکل ۲. دندوگرام ژنوتیپ‌های بومی گندم ایران در شرایط گیاهچه‌ای و گیاه کامل نسبت به پاتوتیپ‌های زنگ قهوه‌ای (دندوگرام توسط نرم افزار SPSS 16.00 ترسیم شده است)

Figure 2. Dendrogram Iranian wheat landraces in seedling and adult plant stage to leaf rust pathotypes (Dendrogram is made by SPSS 16.00 software)



جدول ۶. تابع تشخیص برای صحت گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم بومی ایران

	Cluster	Predicted Group Membership				Total
		1	2	3	4	
Count	1	183	0	0	0	183
	2	0	23	0	0	23
	3	0	0	4	0	4
	4	0	1	1	7	9
%	1	100.0	.0	0	0	100.0
	2	0	100.0	0	0	100.0
	3	0	0	100.0	0	100.0
	4	0	11.1	11.1	77.8	100.0

99.1% of original grouped cases correctly classified.

اینکه این نوع مقاومت ممکن است پایداری زیادی نداشته باشد توصیه می‌شود در استفاده از این ژنوتیپ‌ها احتیاط‌های لازم در نظر گرفته شود؛ به علاوه تعداد ۳۱ ژنوتیپ (حدود ۱۵ درصد) دارای ژن‌های مقاومت گیاه کامل (مقاومت غیراختصاصی نژاد) با واکنش MS و MR بودند. این ژنوتیپ‌ها ممکن است دارای ژن‌های مقاومت ناشناخته گیاه کامل (APR) باشند بنابراین پیشنهاد می‌شود برای مطالعه بیشتر ژن‌های مقاومت این ژنوتیپ‌ها، از نشانگرهای مولکولی نظیر تفاوت تک نوکلئوتیدی (SNP) استفاده شود.

### نتیجه‌گیری کلی

از آنجایی که نتایج تجزیه خوشه‌ای برآیند کل شاخص‌های استفاده شده در آزمایش است، بنابراین بهتر است نتایج کلی نیز بر اساس آن ارائه شود. نتایج کلی نشان داد که بیش از ۸۰ درصد ژنوتیپ‌های گندم نان ایرانی نسبت به زنگ قهوه‌ای در مرحله‌ی گیاهچه‌ای و گیاه کامل حساس هستند، به بیان دیگر فاقد هر گونه ژن مقاومت گیاهچه‌ای و گیاه کامل نسبت به پاتوتیپ‌های استفاده شده هستند. تعداد چهار ژنوتیپ (معادل دو درصد) دارای مقاومت گیاهچه‌ای (مقاومت اختصاصی نژاد) بودند، با توجه به

### REFERENCES

1. Ali, S., Shah, S. J. A., Raman, I. K. H., Maqbool, K., & Ullah, W. (2009). Partial resistance to yellow rust in introduced winter wheat germplasm at the north of Pakistan. *Australian Journal of Crop Science*, 3(1), 37-43.
2. Alipour, H., Bihamta, M. R., Mohammadi, V., & Peyghambari, S. A. (2017). Evaluation of genetic variability of agronomic traits in Iranian wheat landraces and cultivars. *Journal of Crop Breeding*, 9(22), 168-177 (In Farsi).
3. Alipour, H., Bihamta, M. R., Mohammadi, V., Peyghambari, S. A., Bai, G., & Zhang, G. (2017). Genotyping-by-sequencing (GBS) revealed molecular genetic diversity of Iranian wheat landraces and cultivars. *Frontiers in plant science*, 8, 1293.
4. Amin, K. P., & Robert, F. P. (2006). Evaluation of seedling and adult plant resistance to leaf rust in European wheat cultivars. *Euphytica*, 149(3), 327-342
5. Bamdadian, A. (1993). *Evaluation of physiological race of rusts of grass and their modification in Iran. Institute of Evaluation Pests and Plant Disease*, Evin, Iran, 10p (In Farsi).
6. Bonman, J. M., Babiker, E. M., Cuesta-Marcos, A., Esvelt-klos, K., Brown-Guedira, G., Chao, S., See, D., Chen, J., Akhunov, E., Zhang, J., Bockelman, H. E. & Gordon, T.C. (2015). Genetic diversity among wheat accessions from the USDA national small grains collection. *Crop Science*, 55(3), 1243-1253.
7. Chen, X. M. (2013). Review article: High-temperature adult-plant resistance, key for sustainable control of stripe rust. *American Journal of Plant Sciences*, 4, 608-627.
8. Dadrezaie, S. T., Afshari, F., & Patpoor, M. (2015). Evaluation of phenotypic resistance to rusts in some Iranian wheat genotypes in greenhouse and field conditions. *Seed and Plant Improvement Journal*. 1(31), 531-546 (In Farsi).
9. Dehghan, M. A., Malhipour, A., & Khodarahmi, M. (2017). Evaluation of resistance of selected bread wheat genotypes of cereal research department of seed and plant institutes to fusarium head blight in field conditions. *Journal of Applied Plant Protection*, 6(1), 35-53 (In Farsi).

10. Draz, I. S., Abou-Elseoud, M. S., Kamara, A. E. M., Alaa-Eldein, O. A. E., & El-Bebany, A. F. (2015). Screening of wheat genotypes for leaf rust resistance along with grain yield. *Annals of Agricultural sciences*, 60(1), 29-39.
11. Dvorak, J., & Knott, D. R. (1990). Location of a *Triticum speltoides* chromosome segment conferring resistance to leaf rust in *Triticum aestivum*. *Genome*, 33(6), 892-897.
12. Dyck, P. L. (1979). Identification of the gene for adult-plant leaf rust resistance in Thatcher. *Canadian journal of plant science*, 59(2), 499-501.
13. Dyck, P. L., & Samboraski, D. J. (1979). Adult plant leaf rust resistance in PI 250413, an introduction of common wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 59(2), 329-332.
14. Dyck, P. L., Kerber, E. R. & Lukow, O. M. (1987). Chromosome location and linkage of a new gene (*Lr33*) for reaction to *Puccinia recondita* in common wheat. *Genome*, 29(3), 463-466.
15. Dyck, P. L., Samboraski, D. J., & Anderson, R. G. (1966). Inheritance of adult plant leaf rust resistance derived from the common wheat varieties Exchange and Frontana. *Canadian Journal of Genetics and Cytology*, 8(4), 665-671.
16. Ebrahimyan, M., Nasrollahnezhad Ghomi, A., Null, K., & Ramezanpour, S. (2019). Evaluation of resistance to leaf rust at adult stage in some bread wheat cultivars. *Journal of Plant Production Research*. 26(3), 89-102 (In Farsi).
17. Esfandeiari, A. (1948). The rusts of grass in Iran. *Journal of Pests and Plant Disease*, 4, 76-77 (In Farsi).
18. Hei, N. B. (2017). Evaluation of wheat cultivars for slow rusting resistance to leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks) in Ethiopia. *African Journal of Plant Science*, 11(2), 23-29.
19. Hei, N., Shimelis, H. A., Laing, M., & Admassu, B. (2015). Assessment of Ethiopian wheat lines for slow rusting resistance to stem rust of wheat caused by *Puccinia graminis* f. sp. tritici. *Journal of Phytopathology*, 163(5), 353-363.
20. Huerta-Espino, J., Singh, R., Crespo-Herrera, L., Villaseñor-Mir, H., Rodriguez-Garcia, M., Dreisigacker, S., Barcenas-Santana, D., & Lagudah, E. (2020). Adult plant slow rusting genes confer high levels of resistance to rusts in bread wheat cultivars from Mexico. *Frontiers in Plant Science*, 11:824, doi: 10.3389/fpls.2020.00824.
21. Johnson, R. 1988. Durable resistance to yellow (stripe) rust in wheat and its implications in plant breeding: *Breeding strategies for resistance to the rusts of wheat*. (pp. 63-75). CIMMYT: Mexico.
22. Kolmer, J. (2013). Leaf rust of wheat: pathogen biology, variation and host resistance. *Forests*, 4(1), 70-84.
23. Li, G., Xu, X., Bai, G., Carver, B. F., Hunger, R., & Bonman, J. M. (2017). Novel sources of leaf rust resistance in winter wheat. *Crop Science*, 57(2), 865-876.
24. McIntosh, R. A., Dubcovsky, J., Rogers, W. J., Morris, C., Appels, R., Xia, X. C., & AZUL, B. (2013). Catalogue of gene of symbols for Wheat: 2013-2014. In *Proceedings of the 12th International Wheat Genetics Symposium*, 7 September, Yokohama, Japan.
25. McIntosh, R. A., Wellings, C. R., & Park, R. F. (1995). *Wheat Rusts: an atlas of resistance genes*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 220pp.
26. Mojerlou, S. H., Safaei, N., Abbasi\_Moghaddam, A., & Shams Bakhsh, M. (2013). Evaluation of some Iranian wheat landraces resistance against stem rust resistance at seeding stage in the greenhouse. *Plant Protection Journal*, 35(4), 69-82 (In Farsi).
27. Nemati, Z., Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, R., Dadkhodaie, A., Mehrabi, R., & Steffenson, B. J. (2020). Virulence of leaf rust physiological races in Iran from 2010 to 2017. *Plant disease*, 104(2), 363-372.
28. Parlevliet, J., & Ommeren, A. (1975). Partial resistance of barley to leaf rust, *Puccinia hordei*. Relationship between Field Trails, Micro Plot Tests and Latent Period. *Euphytica*, 24(2), 293-303.
29. Peterson, R. F., Campbell, A. B., & Hannah, A. E. (1948). A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. *Canadian journal of research*, 26(5), 496-500.
30. Qureshi, N., Bariana, H., Kumran, V. V., Muruga, S., Forrest, K. L., Hayden, M. J., & Bansal, U. (2018). A new leaf rust resistance gene *Lr79* mapped in chromosome 3BL from the durum wheat landrace Aus26582. *Theoretical and Applied Genetics*, 131(5), 1091-1098.
31. Roelfs, A. P., Singh, R. P., & Saari, E. E. (1992). *Rust disease of wheat: Concepts and Methods of Disease Management*. CIMMIT, Mexico, 81pp.

32. Safavi, S. A., Ahari, A., Afshari, F., Arzanlou, M. (2013). Slow rusting resistance in Iranian barley cultivars to *Puccinia striiformis* f. sp. hordei. *Journal of Plant Protection Research*, 53(1): 6-11.
33. Safavi, S. A., Malhipour, A. (2020). Partial resistance of some wheat cultivars and candidate lines against stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. tritici). *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 43(1), 31-53 (In Farsi).
34. Sapkota, S., Hao, Y., Johnson, J., Buck, J., Aoun, M., & Mergoum, M. (2019). Genome-wide association study of a worldwide collection of wheat genotypes reveals novel quantitative trait loci for leaf rust resistance. *The Plant Genome*, 12(3), 1-14.
35. Soliman, A. S., Heyne, E. G., & Johnston, C. O. (1963). Resistance to leaf rust in wheat derived from Chinese *Aegilops umbellulata* translocation lines 1. *Crop Science*, 3(3), 254-256.
36. Sthapit, J., Newcomb, M., Bonman, J. M., Chen, X., and See, D. R. (2014). Genetic diversity for stripe rust resistance in wheat landraces and identification accessions with resistance to stem rust and stripe rust. *Crop Science*, 54(5), 2131-2139.
37. Torabi, M., Nazari, K., & Afshari, F. (2001). Genetic of pathogenicity of *Puccinia recondita* f.sp. tritici, the causal agent of leaf rust of wheat. *Iranian Journal Agricultural Science*, 32(3), 625-635 (In Farsi).
38. Tsilo, T. J., Jin, Y., & Anderson, J. A. (2010). Identification of flanking markers for the stem rust resistance gene *Sr6* in wheat. *Crop science*, 50(5), 1967-1970.
39. Winzeler, M., Winzeler, H., & Keller, B. (1995). Endopeptidase polymorphism and linkage of the Ep-D1c null allele with the *Lrl9* leaf-rust-resistance gene in hexaploid wheat. *Plant breeding*, 114(1), 24-28.
40. Xu, X., Bai, G., Carver, B. F., Shaner, G. E., & Hunger, R. M. (2005). Molecular characterization of slow leaf-rusting resistance in wheat. *Crop science*, 45(2), 758-765.
41. Zahravi, M., Afshari, F., Ebrahimnejad S. (2019). Study of genetic diversity of resistance to yellow rust in bread wheat, *Modern Genetics Journal*, 14(3), 263-274.
42. Zhang, P., Li, X., Gebrewahid, T. W., Liu, H., Xia, X., He, Z., Li, Z. & Liu, D. (2019). QTL mapping of adult plant resistance to leaf and stripe rust in wheat cross SW8588/Thatcher using the wheat 55K SNP array. *Plant Disease*, 103(2), 3041-3049.