شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/idaj.2025.367601.440

واکنش ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم نان (*Triticum aestivum* L.) نسبت به بیماری زنگ زرد (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) در مراحل گیاهچه‌ای و گیاه کامل

سمیه داداشی[۱]، عبدالهادی حسین‌زاده[۲*]، ناصر محمدی[۳]، محمدرضا بی‌همتا[۴]، محمدرضا نقوی[۴]

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. کرج، ایران.
۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. کرج، ایران.
۳- موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران.
۴- گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. کرج، ایران.

چکیده مبسوط

مقدمه: زنگ زرد با عامل *Puccinia striformis* f. sp. *tritici* به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین بیماری‌های گندم در جهان و ایران شناخته شده است و به طور چشمگیری سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود. در این راستا، مقاومت میزبانی به عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌های مدیریت زنگ زرد در نظر گرفته می‌شود. علاوه براین، شناسایی منابع مقاومت در مراحل گیاهچه‌ای و گیاه کامل برای دستیابی به مقاومت پایدار امری ضروری می‌باشد. هدف از این پژوهش، ارزیابی مقاومت مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم نان نسبت به جدایه‌های زنگ زرد در دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل تحت شرایط کنترل شده گلخانه و مزرعه‌ای بود.

روش شناسی پژوهش: مواد گیاهی این تحقیق ۷۱ لاین امیدبخش گندم نان دیم به همراه ۵ رقم (به عنوان شاهد بودند. ارزیابی‌های گلخانه‌ای با استفاده از جدایه‌های عامل بیماری شناسایی شده از مناطق زرقان (,6E134A+ Yr27 و ,6E130A+ Yr27)، مشهد (6E142A+, Yr27) و کرج (46E190A+, Yr27) انجام شد. آزمایش‌های مزرعه‌ای با استفاده از جمعیت نژادی زنگ زرد که دارای پرآزاری روی ژن‌های مقاومت مشخصی بود، در زرقان و اردبیل طی دو سال زراعی (۱۴۰۳-۱۴۰۱) اجرا شد. به منظور بررسی مقاومت ژنوتیپ‌ها از برخی از پارامترهای مرتبط با مقاومت مانند واکنش به بیماری ضریب آلودگی و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری استفاده شد.

یافته‌های پژوهش: نتایج این پژوهش نشان داد ۳۳، ۴۶، ۴۹ و ۵۳ درصد از ژنوتیپ‌های ارزیابی شده در مرحله گیاهچه‌ای به ترتیب نسبت به جدایه‌های 6E134A+, Yr27، 6E142A+, Yr27، 46E190A+, Yr27 و 6E130A+, Yr27 مقاوم بودند. در مرحله گیاه کامل نیز در سال اول و دوم اجرای آزمایش در اردبیل تعداد ۲۴ ژنوتیپ دارای واکنش مقاوم نسبت به بیماری بودند، در زرقان نیز تعداد ژنوتیپ‌های مقاوم به ترتیب برابر با ۲۶ و ۱۸ بود. بررسی ضرایب آلودگی در اردبیل و زرقان نشان داد به ترتیب ۳۳ و ۳۲ ژنوتیپ در هر دو سال زراعی در گروه مقاومت بالا قرار داشتند. دندروگرام تجزیه خوشه‌ای نشان داد تمامی ژنوتیپ‌های دارای واکنش مقاومت در هر دو محل ارزیابی در زیر گروه‌های مجزا قرار گرفتند. نتایج نشان داد ژنوتیپ‌های شماره ۱۲، ۱۷، ۲۱، ۲۴، ۲۵،

* نگارنده مسئول: ahzadeh@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶

۲۷، ۲۸، ۳۷ و ۷۴ در هر دو مرحله ارزیابی گلخانه‌ای و مزرعه نسبت به تمامی ایزوله‌های مورد استفاده دارای مقاومت بودند.

کلمات کلیدی: گندم، زنگ زرد، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری، ضریب آلودگی

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) به عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی متعلق به گروه غلات شناخته می‌شود و نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی در سراسر جهان دارد. بر اساس گزارش فائو میزان تولید دانه این گیاه زراعی ۷۶۰ میلیون تن برآورد شده است (FAO, 2022). بر اساس آمار و اطلاعات گزارش شده از سوی وزارت جهاد کشاورزی، سطح برداشت و تولید گندم در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ به ترتیب برابر با ۶/۹ میلیون هکتار و ۱۳/۲ میلیون تن بوده است (Anonymous, 2022). وقوع تغییرات اقلیمی در بسیاری از نقاط جهان چالش‌های فراوانی را برای پژوهشگران حوزه علوم گیاهی ایجاد کرده است، به‌نحوی که این تغییرات با بروز انواع مختلفی از تنش‌های زیستی و غیر زیستی سبب تأثیرات مخرب بر تولید محصولات کشاورزی شده است. در بین انواع تنش‌های زیستی، زنگ زرد با عامل قارچی *Puccinia striformis* f.sp. *tritici* به عنوان یکی از مخرب‌ترین بیماری‌های گندم در دنیا شناخته شده است (Line, 2002). این بیماری نسبت به سایر بیماری‌ها دارای انتشار وسیع‌تری بوده و به واسطه ظهور نژادهای مهاجم‌تر تاکنون به عنوان مهم‌ترین تهدید گندم محسوب می‌شود (Hovmoller *et al.*, 2016). بر اساس گزارش جین و همکاران (Jin *et al.*, 2010) بوته‌های زرشک به عنوان اولین میزبان این بیماری در شرایط آزمایشگاهی شناسایی شدند. در سال‌های اخیر نیز مطالعات متعددی گیاه زرشک را به عنوان میزبان واسط برای این بیماری معرفی کردند (Jin, 2011; Rodriguz-Algaba *et al.*, 2014; Rabbaninasab *et al.*, 2017). علاوه بر این، نتایج مهدی‌نیا و همکاران (Mehdinia *et al.*, 2016) نشان داد بوته‌های زرشک می‌توانند میزبان ایسیومی زنگ سیاه و زرد باشند و از این رو اظهار داشتند زنگ زرد مشابه زنگ سیاه دو میزبانه و ماکروسیکلیک می‌باشد. عامل این بیماری به سیستم تنفسی گیاه آسیب زده و از طریق تخریب اندام‌های هوایی باعث کاهش عملکرد و کیفیت دانه می‌شود. کاهش عملکرد بواسطه زنگ زرد خود به چند عامل از جمله حساسیت رقم، نرخ پیشرفت بیماری، زمان آلودگی و دوره بیماری وابسته است (Chen, 2005). به عنوان مثال، در صورت آلودگی زودهنگام و بقاء بیماری زنگ زرد می‌تواند بین ۹۰ تا ۱۰۰ درصد خسارت‌زایی داشته باشد (Afzal *et al.*, 2007).

با توجه به مقرون به صرفه نبودن کنترل شیمیایی و همچنین افزایش خطرات زیست محیطی به دلیل استفاده بی رویه از قارچ کش‌ها، استفاده از ارقام مقاوم یکی از بهترین راه‌های مبارزه با این بیماری می‌باشد (Zahravi *et al.*, 2012). به طور کلی بر اساس نظریه وندرپلانک (Vanderplank, 1978) دو نوع مقاومت عمودی[1] و افقی[2] برای این نوع بیماری وجود دارد و وجه تمایز بین این دو مقاومت کاهش نرخ آلودگی ظاهری[3] در مقاومت افقی نسبت به عمودی می‌باشد. علاوه‌براین، ساندووال-ایسلاس و همکاران (Sandoval-Islas *et al.*, 2007) دو نوع مقاومت کمی (Quantitative resistance) و کیفی (Qualitative resistance) را در چنین پاتوسیستم زنگ گزارش کردند. مقاومت کیفی از طریق نژاد

[1] Vertical resistance
[2] Horizontal resistance
[3] Apparent infection rate

اختصاصی[1] صورت گرفته و کنترل مؤثری در برابر بیماری دارد. با این‌حال، این نوع مقاومت وابسته به تشخیص اختصاصی بین فراورده و ژن مقاومت میزبان (R) و ژن غیربیماری‌زایی پاتوژن (Avr) است و منطبق بر تئوری ژن برای ژن (Flor 1956) می‌باشد. بنابراین این نوع مقاومت نمی‌تواند پایدار باشد و به زودی شکسته خواهد شد (Boyd, 2005). مقاومت کمی برخلاف کیفی غیر نژاد اختصاصی[2] بوده و توسط چندین ژن کنترل می‌شود و به‌عنوان مقاومت نسبی[3] و یا مقاومت تدریجی[4] شناخته می‌شود که غالباً پایدار است (Herrera-Fossel *et al.*, 2007). تاکنون بیش از ۸۰ ژن مقاومت برای زنگ زرد گزارش شده است و بیشتر آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی با هدف توسعه مقاومت به این بیماری در گندم مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Tahir *et al.*, 2020). بنابراین، اثر بخشی و دوام مقاومت به زنگ زرد را می‌توان از طریق هرمی کردن ژن‌های مقاومت در یک رقم افزایش داد (Pouralibaba *et al.*, 2021). با این‌حال، ظهور چالش برانگیز نژادهای جدید بیماری‌زا در برابر ژن‌های مقاومت معرفی شده منجر به افزایش تأکید بر توسعه و معرفی ارقام جدید دارای مجموعه‌ای از ژن‌های مقاومت شده تا بتوانند یک مقاومت بلند مدت نسبت به این بیماری داشته باشند (Hulbert and Pumphery, 2014).

ارزیابی مقاومت نسبی ارقام نسبت به بیماری با استفاده از معیارهای مختلفی همچون شدت بیماری[5]، نرخ آلودگی، سطح زیر منحنی توسعه بیماری[6] (AUDPC) و ضریب آلودگی[7] صورت می‌گیرد (Broers *et al.*, 1989; Parlevlient., 1988; Wilcoxson *et al.*, *1975*). شدت بیماری به عنوان یکی از معیارهای مهم بررسی واکنش گیاه نسبت به بیماری در نظر گرفته می‌شود. این معیار در واقع نسبتی از برگ است که به زنگ آلوده شده و معمولاً در اوج توسعه اپیدمی و یا مراحل مختلف اندازه‌گیری می‌شود. ضریب آلودگی نیز به عنوان یکی از رایج‌ترین معیارهای سنجش مقاومت گیاه نسبت به بیماری در نظر گرفته می‌شود و دارای همبستگی مثبتی با شدت آلودگی است (Ali *et al.*, 2007). معیار AUDPC نسبت به سایر معیارها کامل‌تر بوده و بیانگر کل مقاومت کمی گیاه می‌باشد علاوه بر این، این معیار در برگیرنده مؤلفه‌های دوره نهان آلودگی و ضریب آلودگی بوده و می‌تواند نسبت به سایر معیارها در شناسایی منابع مقاومت بهتر عمل کند (Shaner and Finney, 1980). در رابطه با ارزیابی مقاومت ارقام و لاین‌های مختلف گندم نسبت به زنگ زرد مطالعات گوناگونی در ایران انجام شده است. به عنوان نمونه صفوی و جاوید (Safavi and Mohammadzadeh 2013) واکنش ۲۲ لاین امیدبخش گندم نان را نسبت به نژاد 6E150A+,Yr27 مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند برخی از لاین‌های ارزیابی شده بر اساس مقادیر محاسبه شده شدت نهایی آلودگی و ضریب آلودگی نسبت به ارقام شاهد دارای مقاومت بالاتری بودند. در مطالعه دیگر، زهراوی و همکاران (Zahravi *et al.*, 2012) با استفاده از معیارهای ضریب آلودگی و AUDPC مقاومت نسبی مجموعه‌ای از ژرم‌پلاسم-های گندم ایران را در شرایط مزرعه‌ای مورد ارزیابی قرار دادند و اظهار داشتند نرخ آلودگی از میزان وراثت‌پذیری بالایی برخوردار است. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2023) واکنش ۴۸ ژنوتیپ گندم در شرایط دیم نسبت به نژادهای 6E142A+,Yr27، YR27 ,38E158A+ و 134E150A+, Yr27 را مورد ارزیابی قرار دادند و با توجه نتایج به دست آمده از تجزیه خوشه‌ای سه گروه هتروتیک[8] را تعیین نمودند. گزارشات ذکر شده حاکی از اهمیت بیماری زنگ زرد در دنیا و ایران بوده که می‌تواند بحث تولید گندم در کشور را به مخاطره

[1] Race-specific resistance
[2] Race-nonspecific resistance
[3] Partial resistance
[4] Slow rusting resistance
[5] Disease severity
[6] Area under disease progress curve
[7] Coefficient of infection
[8] Heterotic

اندازد. با توجه به تکامل نژادهای مختلف عامل بیماری زنگ ضروری است تا همواره مطالعات جامعی در راستای پایش ژرم پلاسم‌ها، پیش آگاهی و مدیریت این بیماری صورت گیرد. لذا این مطالعه با هدف ارزیابی پاسخ به برخی از نژادهای زنگ زرد در مراحل گیاهچه‌ای و گیاه کامل با استفاده از معیارهای مقاومت نسبی در شرایط گلخانه و مزرعه انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی مورد مطالعه در این تحقیق شامل ۷۱ لاین امیدبخش گندم نان زمستانه و بهاره موجود در بانک ژن گیاهی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور به همراه ۵ رقم (قابوس، کبیر، هور، صدرا و هشترود) به عنوان شاهد بود. در جدول ۱ شجره هر یک از لاین‌های مورد ارزیابی، ارائه شده است. ارزیابی‌های گلخانه‌ای با استفاده از جدایه‌های عامل بیماری تهیه شده از سه منطقه زرقان (6E134A+, Yr27 و 6E130A+, Yr27)، مشهد (6E142A+, YR27) و کرج (46E190A+, Yr27) با فرمول بیماری‌زایی مشخص شده (جدول ۲) انجام شد.

به منظور تولید انبوه مایه تلقیح هر یک از نژادها، بذرهای رقم حساس بولانی بصورت توده‌ای در گلدان‌های محتوی خاک معمولی کشت و پس از مدت ده روز که برگ اول گیاهچه‌ها بطور کامل ظاهر شدند ضمن مرطوب کردن برگ‌ها بوسیله آب همراه با توئین ۲۰ (به میزان یک قطره Tween 20 در یک لیتر آب)، گیاهچه‌ها به روش اسپورپاشی با سوسپانسیون اسپور در روغن صنعتی سالترول ۱۷۰ مایه‌زنی شدند. سپس مایه تلقیح مجدداً بر روی گیاهچه‌ها مه‌پاشی شده و بعد از گذاشتن درپوش‌های پلاستیکی مرطوب بر روی آن‌ها، به مدت ۴۸ ساعت در اتاق سرد (۱۰ درجه سانتی‌گراد) در تاریکی قرار داده شدند. در مرحله بعدی، گیاهچه‌ها به داخل گلخانه با شرایط دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی (۱۰ تا ۱۵ هزار لوکس) منتقل شدند. پس از ۱۵ روز از مایه-زنی، هر سه روز یک بار اسپورها جمع‌آوری شد. به منظور بررسی حساسیت/ مقاومت هر از یک لاین‌های مورد ارزیابی در مرحله گیاهچه‌ای، بذرهای هر یک از آن‌ها در گلدان‌های محتوی خاک معمولی کشت و پس از مدت ۱۰ روز (زمان ظهور برگ اول گیاهچه‌ها)، با استفاده از اسپری کوچک دستی مایه-زنی با استفاده از نژادهای مورد نظر صورت گرفت. سپس گیاهچه‌های موردنظر به محیط با شرایط استاندارد برای نفوذ و توسعه زنگ زرد (از نظر دما، نور و رطوبت) منتقل و ۱۷-۱۴ روز پس از مایه‌زنی، یادداشت‌برداری از واکنش مواد آزمایشی با استفاده مقیاس ۴-۰ و بر اساس دستورالعمل مک‌اینتاش و همکاران (McIntoch *et al.,* 1995) انجام گرفت. فرمول بیماری‌زایی نژادهای استفاده شده در این مرحله از آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.

ارزیابی مزرعه‌ای در دو ایستگاه تحقیقات کشاورزی واقع در زرقان و اردبیل طی ۰۲-۱۴۰۱ و ۰۳-۱۴۰۲ اجرا شد. در هر ایستگاه، بذور هر یک از ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی روی دو خط یک متری به صورت سیستماتیک کاشته شدند. در ازای هر ۱۰ ژنوتیپ و نیز در ابتدا و انتهای هر بلوک رقم حساس بولانی کاشته شد. علاوه بر آن در حاشیه خزانه آزمایشی و به منظور استقرار عامل بیماری، در چند ردیف دیگر نیز رقم حساس کشت شد. مایه‌زنی مصنوعی خزانه با استفاده از جدایه عامل بیماری تهیه شده از مناطق با بیماری‌زایی مشخص شده (جدول ۲) انجام شد.

جدول ۱- شجره مربوط به ژنوتیپ‌های امید بخش گندم مورد ارزیابی در این مطالعه

Code	Pedigree	Type	Code	Pedigree	Type
1	Qaboos	Spring	41	Sabalan/84.40023//Seafallah/3/…-0MA	Winter
2	WBLL1*2/4/YACO/…099TOPM-099Y-099M-0SY-4M-0WGY	Spring	42	Azar2/87Zhong291-99/4/SABALAN/4/VRZ/3/…2MA-0MA	Winter
3	MUNAL #1/FRANCOLIN #1/…-7WGY-0B	Spring	43	Azar2/87Zhong291-89/5/SABALAN/4/VRZ/3/…-6MA-0MA	Winter
4	NELOKI//SOKOLL/EXCALIBUR…M-099NJ-099NJ-25WGY-0B	Spring	44	VORONA//PRL/VEE#6/3/KAUZ*2/YACO//…-0MA-1MA-0MA	Winter
5	WAXWING/KIRITATI*2/3/…39WGY-0B	Spring	45	VORONA//PRL/VEE#6/3/KAUZ*2/YACO//…0MA	Winter
6	VORB/4/PASTOR//HXL7573/…-020Y-0B	Spring	46	VORONA//PRL/VEE#6/3/KAUZ*2/YACO//…0MA	Winter
7	NADI/COPIO//NADI-…-099M-099NJ-099NJ-37WGY-0B	Spring	47	Yr15/6*Avocot"s"/8/SN64//SKE/2*ANE/3/SX/4/BEZ/5/…0MA	Winter
8	SOKOL/PASTOR/HXL7573/2*BAU/3/KAUZ/…0G-5G	Spring	48	Azar2/78Zhong291-58//Yr15/6*Avocot"s"…0MA	Winter
9	FRANCOLIN #1//WBLL1*2/BRAMBLING/6/…-0WGY	Spring	49	Azar2/78Zhong291-58//Yr15/6*Avocot"s…0MA	Winter
10	BORL14*2/3/WBLL1*2/…-099TOPY-099M-0SY-4M-0WGY	Spring	50	SARDARI-HD84//UNKN/HATUSHA/4//Tui"s"/3/…0MA	Winter
11	BABAX/LR42//BABAX*2/3/…19M-0WGY	Spring	51	SARDARI-HD84//UNKN/HATUSHA/4/Tui"s"/3/…0MA	Winter
12	KACHU//WBLL1*2/…-9M-0WGY	Spring	52	SARDARI-HD84//UNKN/HATUSHA/4/Tui"s"/3/…0MA	Winter
13	SUP152/BAJ #1/3/…-39M-0WGY	Spring	53	SARDARI-HD84//UNKN/HATUSHA/3/…0MA	Winter
14	SUP152/BLOUK #1/3/PRL/2*PASTOR*2//…-0SY-33M-0WGY	Spring	54	Kharchia/Azar-2 IRW…0MA-1MA-0MA	Winter
15	KACHU/SAUAL/4/VARIS/MISR 2/3/…20WGY-0B	Spring	55	MS-85-12 /3/Shahi/Prl"S"//…-0MA	Winter
16	KABIR	Spring	56	MS-85-12 /3/Shahi/Prl"S"//…-0MA	Winter
17	BECARD/QUAIU #1//…99M-099NJ-099NJ-12WGY-0M	Spring	57	Azar-2/Sardari IRW 2012-034-…0MA-0MA-2MA-0MA	Winter
18	PRL/2*PASTOR*2//MISR2, EGY/3/2*BECARD//ND643/2…WGY	Spring	58	Azar-2/Sardari IRW 2012-034-…0MA-0MA-6MA-0MA	Winter
19	SUP152/BLOUK #1/3/PRL/2*PASTOR*2//…-24M-0WGY	Spring	59	Sabalan/Sardari IRW 2012-040-…0MA-0MA-0MA-7MA-0MA	Winter
20	KFA/2*KACHU*2//MISR …-099Y-099M-0SY-8M-0WGY	Spring	60	Unknown-11/Unknown-2 IRW…0MA-0MA-0MA-5MA-0MA	Winter
21	KARIM/KOUHDASHTIRBWG-2013-…0G-0G-0G-0Gn-7Gn	Spring	61	Unknown-11/Unknown-2 IRW…-0MA-0MA-0MA-7MA-0MA	Winter
22	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*…-5WGY-0B	Spring	62	F10S-1//ATAY/GALVEZ87/5/SABALAN/4/…0MA	Winter
23	NADI#1*2/3/MUTUS/AKURI #1//MUTUS…0WGY	Spring	63	F10S-1//ATAY/GALVEZ87/5/SABALAN/4/VRZ/3/	Winter
24	NADI#2*2/6/BECARD #1/5/KIRITATI/4/2*SERI.1B*2/3/…0WGY	Spring	64	F10S-1//ATAY/GALVEZ87/3/PTZ NISKA/170//…0MA	Winter
25	VEE/MJI//2*TUI/3/PASTOR/4/BERKUT/5/…0 WGY	Spring	65	Azar2/87Zhong291-99/4/SABALAN/4/VRZ/3/…0MA	Winter
26	KANCHAN*2/JUCHI//2*BORL14-CMSS12Y00797…0WGY	Spring	66	Azar2/87Zhong291-99/4/SABALAN/4/VRZ/3/OR…0MA	Winter
27	WBLL1*2/BRAMBLING//VORB/FISCAL/3/BECARD/4/…WGY	Spring	67	Azar2/87Zhong291-89/5/SABALAN/4/VRZ/3/OR …0MA	Winter
28	BORL14*2//BECARD/QUAIU #1-…0WGY	Spring	68	VORONA//PRL/VEE#6/3/KAUZ*2/YACO//…0MA	Winter
29	MUTUS*2/MUU//2*MUCUY-CMSS13Y01148T-…0WGY	Spring	69	Alvand/4/Sabalan/Tui"s"/3/Snb//Pco/…0MA	Winter
30	KACHU/BECARD//WBLL1*2/BRAMBLING*2/	Spring	70	Seafallah/3/Sbn//Trm/K253/4/…0MA	Winter
31	Chenab/4/Sabalan/Tui"s"/3/Snb//Pco/Pvn IRW…0MA	Winter	71	UN-49/6/ATTILA/3*BCN//BAV92/3/TILHI/5/…-	Winter
32	MS-85-12 /3/Shahi/Prl"S"//Fenkang15/Sefid…0MA	Winter	72	SUBEN-7/6/TAST/SPRW//ZAR/5/YUANDONG	Winter
33	MS-85-12 /3/Shahi/Prl"S"//Fenkang15/Sefid…-0MA	Winter	73	WBLL1*2/TUKURU//BILLINGS	Winter
34	MS-85-12 /3/Shahi/Prl"S"//Fenkang15/Sefid…0MA	Winter	74	Hoor	Winter
35	MS-85-12 /3/Shahi/Prl"S"//Fenkang15/Sefid…0MA	Winter	75	Sadra	Winter
36	Azar-2/Sardari IRW 2012-034…1MA-0MA	Winter	76	Hashtrood	Winter
37	Azar-2/Sardari IRW 2012-034-…-4MA-0MA	Winter			
38	Sabalan/Sardari IRW 2012-040-…-0MA-5MA-	Winter			
39	Sabalan/8/SN64//SKE/2*ANE/3/SX/4/BEZ/5/…2	Winter			
40	Ohadi/Unknown-2 IRW 2012-043-…-1MA-0MA	Winter			

جدول ۲- فرمول بیماری‌زایی نژادهای استفاده شده در مرحله گیاهچه‌ای ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم
Table 2. Avirulence/ Virulence formula of yellow races used in seedling test

Race: 6E142A+, YR27 (Mashhad isolate)
Avi/Vir: 1,3,4,5,8,10,15,17,24,32,SU,SD,CV,SP /2,6,7,9,21,25,26,27,28,31,ND,A
Race: 6E134A+, YR27 (Zarghan isolate)
Avi/Vir: 1,3,4,5,8,10,15,24,26,32,SD,SU,CV,SP,ND /2,6,7,9,17,21,25,27,28,31,A
Race: 6E130A+, Yr27 (Zarghan isolate)
Avi/Vir: 1,3,4,5,8,10,15,24,26,28,32,SD,SU,CV,SP,ND /2,6,7,9,17,21,25,27,31,A
Race: 46E190A+, Yr27 (Karaj isolate)
Avi/Vir: 1,4,5,10,15,17,24,SU,SP/2,3,6,7,8,9,21,25,26,27,28,31,32,ND,CV,SD,A

نتایج و بحث

نتایج واکنش گیاهچه‌ای در شرایط گلخانه: فرمول بیماری‌زایی هر یک از جدایه‌های مورد نظر با استفاده از بررسی واکنش ارقام افتراقی نسبت به هر کدام از این جدایه‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج مندرج در جدول ۲ تمامی ژنوتیپ‌های حامل ژن‌های *Yr1*، *Yr3*، *Yr4*، *Yr5*، *Yr8*، *Yr10*، *Yr15*، *Yr17*، *Yr24*، *Yr32*، *YrSU*، *YrSD* و *YrCV* نسبت به جدایه 6E142A+, Yr27 مقاوم هستند. ژنوتیپ‌های دارای ژن‌های *Yr1*، *Yr3*، *Yr4*، *Yr5*، *Yr8*، *Yr10*، *Yr15*، *Yr24*، *Yr26*، *Yr32*، *YrSD*، *YrSU*، *YrSP* و *YrND* نسبت به جدایه‌های 6E134A+, Yr27 و 6E130A+, Yr27 واکنش مقاومت از خود نشان می‌دهند. همچنین ژنوتیپ‌های دارای ژن‌های *Yr1*، *Yr4*، *Yr5*، *Yr10*، *Yr15*، *Yr17*، *Yr24*، *YrSU* و *YrSP* نسبت به جدایه 46E190A+, Yr27 دارای مقاومت هستند. نتایج بررسی واکنش ژنوتیپ‌های ارزیابی شده نسبت به بیماری زنگ زرد در مرحله گیاهچه‌ای مطابق روش مک‌اینتاش و همکاران (McIntoch *et al.*, 1995) در جدول ۳ ارائه شده است. به طورکلی از مجموع ژنوتیپ‌های ارزیابی شده ۳۳، ۴۶، ۴۹ و ۵۳ درصد از ژنوتیپ‌های ارزیابی شده به ترتیب نسبت به جدایه‌های 6E134A+, Yr27، 6E142A+, Yr27، 46E190A+, Yr27 و 6E130A+, Yr27 در مرحله گیاهچه‌ای مقاوم بودند (جدول ۳).

نتایج واکنش گیاه کامل در شرایط مزرعه: نتایج حاصل از بررسی واکنش ژنوتیپ‌های بررسی شده در شرایط محیطی در اردبیل و زرقان در جداول ۴ و ۵ به صورت جداگانه طی دو سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ نشان داده شده است. در سال اول ارزیابی در ایستگاه اردبیل، از مجموع ۷۶ ژنوتیپ و رقم مورد بررسی ۲۴ ژنوتیپ واکنش مقاومت (R) نشان دادند. علاوه بر این، هفت ژنوتیپ واکنش مقاوم تا نیمه مقاوم (R/MR)، شش ژنوتیپ واکنش نیمه مقاوم (MR)، دو ژنوتیپ واکنش نیمه مقاوم تا نیمه حساس (MR/MS)، ۲۷ ژنوتیپ واکنش نیمه حساس (MS) و ۱۰ ژنوتیپ واکنش حساس (S) نشان دادند. در همین سال در ایستگاه رزقان ۱۷ ژنوتیپ واکنش R، ۹ واکنش R/MR، ۱۱ ژنوتیپ MR، ۳ ژنوتیپ واکنش M، ۲۷ ژنوتیپ واکنش واکنش MS و ۹ ژنوتیپ واکنش S نشان دادند. در سال دوم اجرای آزمایش، ۲۰، ۴، ۷، ۵، ۲۹ و ۱۱ ژنوتیپ به ترتیب واکنش‌های R، R/MR، MR، M، MR/MS، MS و S را در ایستگاه اردبیل نسبت به جدایه‌های مورد نظر از خود نشان دادند. در ایستگاه زرقان نتایج متفاوت بود و در مجموع ۷ ژنوتیپ واکنش R نشان دادند. در بین ژنوتیپ‌های ارزیابی شده، ۱۱ ژنوتیپ دارای واکنش R/MR بود و ۲۲ ژنوتیپ نسبت به جدایه‌های مورد نظر دارای واکنش MR بودند.

جدول ۳- واکنش گیاهچه‌های ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم ارزیابی شده به نژادهای مختلف زنگ زرد

Table 3. Response of seedling plants against different yellow rust races

Code	6E142A+, Yr27	6E134A+, Yr27	6E130A+, Yr27	44E190A+, Yr27	Code	6E142A+, Yr27	6E134A+, Yr27	6E130A+, Yr27	44E190A+, Yr27
1	4	3	;CN	;CN	41	3	3	3	3
2	;1CN	3	;CN	;CN	42	3	3	3	3
3	4	3	;CN	3	43	3	3	3	3
4	0;	2CN	;CN	;	44	4	3	3	3
5	3	3	;CN	;	45	4	3	3	3
6	4	3	;CN	;1CN	46	4	3	3	3
7	3	3	;1CN	;CN	47	4	3	3	3
8	3	3	;1CN	3	48	;2CN	1CN	;CN	;CN
9	;CN	3	;1CN	;CN	49	0;	;CN	0;	;CN
10	2+CN	1CN	;1CN	3C	50	4	3	3	3
11	;CN	3	;1CN	;CN	51	4	3	3	3
12	;CN	2CN	;1CN	0;	52	4	3	3	3
13	0;	1CN	;1CN	0;	53	4	3	3	3C
14	2CN	1CN	;1CN	4	54	;CN	;1CN	;CN	0;
15	;CN	3C	;1CN	;1CN	55	3	4	3	3
16	3	3	;CN	3	56	3	3	3	3C
17	0;CN	;1CN	;CN	;CN	57	;1CN	;1CN	0;	0;CN
18	;CN	0;	;1CN	3	58	;CN	;CN	0;	0;CN
19	3	3	;CN	3	59	2CN	3	4	;1CN
20	0	;1CN	;CN	;CN	60	3	3	4	3C
21	0;	;1CN	0	0;	61	4	3	3	;1CN
22	;1CN	;1CN	;CN	;CN	62	4	3	3	3
23	;2CN	3C	;C	3	63	3	3	3	3
24	;2CN	2CN	;CN	;2CN	64	0;	0;	;CN	;CN
25	;1CN	0;	;CN	0;	65	3	3	3	3
26	0;	3	;CN	;CN	66	4	4	3	3
27	;1CN	2CN	;CN	0;	67	4	4	3	3
28	0;	0;	;CN	0;	68	3	3	3	3
29	4	3	;CN	0;CN	69	2CN	2+CN	3	3
30	4	3	;CN	;CN	70	4	4	3	3
31	3	3	3	3	71	4	4	3	3
32	3	4	3	3	72	4	4	3	;1CN
33	4	3	3	3	73	4	4	3	3
34	2CN	3	4	3	74	0;	0	;CN	0;
35	3	3	4	3	75	3	3	3	3
36	;1CN	;1CN	0;	0;CN	76	4	3	4	3
37	0;	0;	0;	0;					
38	4	3	3	;2CN					
39	0;	;1CN	0;	0;					
40	;1CN	3	3	0;					

1.:مصون، ;: تقریبا مصون، ۱: مقاوم ۲: نیمه مقاوم ۳: نیمه حساس ۴: حساس CN:کلروز و نکروز

علاوه بر این، ۴، ۱۷ و ۱۵ ژنوتیپ دیگر به ترتیب واکنش M، MS و S نشان دادند. با بررسی روند واکنش ژنوتیپ‌ها در مجموع دو سال در هر یک از ایستگاه‌های تحقیقاتی مشخص شد ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۷، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۸، ۲۱، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷ و ۲۹ در ایستگاه اردبیل و ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۸ و ۱۱ در ایستگاه رزقان در هر دو سال زراعی واکنش مقاومت داشتند. با این‌حال، ژنوتیپ‌های شماره ۲۴، ۲۵، ۲۶ و ۲۷ در هر دو سال زراعی در ایستگاه اردبیل و سال اول در ایستگاه رزقان نسبت به تمامی جدایه‌های مورد نظر واکنش مقاومت نشان دادند (جدول ۵).

به منظور بررسی دقیق‌تر واکنش ژنوتیپ‌های ارزیابی شده به جدایه‌های مورد نظر در شرایط مزرعه از معیارهای ضریب آلودگی و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری استفاده شد. مطابق روش هی و همکاران (Hei *et al.*, 2017) ارقام و یا ژنوتیپ‌ها ارزیابی شده در سه گروه با مقاومت بالا (دارای ضریبی بین ۰ تا ۲۰)، متوسط (دارای ضریبی بین ۲۱ تا ۴۰) و پایین (دارای ضریبی بین ۴۱ تا ۶۰) گروه‌بندی می‌شوند.

جدول ۴- آماره‌های برآورد شده بر اساس واکنش گیاه کامل ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم نسبت به زنگ زرد در اردبیل طی دو سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۱

Table 4. Estimated parameters based on adult plants response to yellow rust disease in the Ardabil during two cropping years

سال اول				سال دوم			سال اول				سال دوم		
No	IT	CI	AUPD	IT	CI	AUPD	No	IT	CI	AUPD	IT	CI	AUPD
1	20MS	16	104	5R	1	15	40	90MS	72	460	90MS	72	892
2	20MS	16	89	5R	1	15	41	90MS	72	460	90MS	72	892
3	10R	2	12	5R	1	15	42	80MS	64	408	80MS	64	804
4	5R	1	6.5	5R	1	15	43	80MS	64	408	80MS	64	804
5	40M	24	140	10MR	4	48	44	90MS	72	460	90MS	72	924
6	40M	24	144	10MR	4	25.5	45	70MS	56	364	70MS	56	744
7	10R	2	13	5R	1	15	46	90S	90	585	90S	90	1150
8	20R	4	23	10MR	4	48	47	70MS	56	356	70MS	56	684
9	10R	2	13	10MR	4	48	48	30MR	12	74	30MR	12	118
10	10R	2	12	5R	1	15	49	40MS	32	200	40MS	32	784
11	10MR	4	26	5R	1	15	50	90MS	72	460	90MS	72	496
12	5R	1	6.5	5R	1	15	51	80MS	64	416	80MS	64	864
13	10R	2	12	5R	1	15	52	80MS	64	416	80MS	64	864
14	10MR	4	26	5R	1	15	53	30MR	12	78	30MR	12	682
15	10R	2	13	5R	1	15	54	50MS	40	260	50MS	40	278
16	20MS	16	104	5R	1	15	55	100S	10	650	100S	10	1324
17	5R	1	6.5	30MR	12	134	56	100S	10	640	100S	10	1249
18	5R	1	6.5	5R	1	15	57	90MS	72	460	90MS	72	860
19	5R	1	6.5	30MR	12	106	58	70MS	56	356	70MS	56	652
20	10MS	8	52	10R	2	26	59	80MS	64	408	80MS	64	772
21	5R	1	6.5	5R	1	15	60	100S	10	650	100S	10	1292
22	40MS	32	208	5R	1	15	61	100S	10	650	100S	10	1292
23	30R	6	34	10MR	4	60	62	100S	10	650	100S	10	1292
24	20R	4	23	5R	1	15	63	50M	30	189	50M	30	333
25	10R	2	12	5R	1	15	64	70MS	56	356	70MS	56	684
26	10R	2	12	5R	1	15	65	80MS	64	408	80MS	64	772
27	10R	2	12	5R	1	15	66	100S	10	614	100S	10	990
28	10MR	4	30	5R	1	15	67	90MS	72	460	90MS	72	892
29	20R	4	23	5R	1	15	68	60M	36	228	60M	36	399
30	5R	1	6.5	5R	1	15	69	80MS	64	408	80MS	64	772
31	70MS	56	348	5R	1	15	70	70MS	56	356	70MS	56	684
32	100S	10	650	100S	10	1292	71	70MS	56	364	70MS	56	776
33	90S	90	585	90S	90	1182	72	30MR	18	111	30MR	12	164
34	90MS	72	460	90MS	72	924	73	10MR	4	26	10MR	4	60
35	100S	10	650	100S	10	1324	74	20R	4	24	20R	4	25.5
36	100S	10	640	100S	10	1153	75	80MS	64	408	80MS	64	804
37	20MR	8	52	20MR	8	120	76	80MS	64	416	80MS	64	896
38	100S	10	640	100S	10	1153							
39	70MS	56	364	70MS	56	712							

پارامترهای IT، CI و AUPDC به ترتیب بیانگر واکنش بیماری، ضریب آلودگی و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری می‌باشند.

IT, CI, and AUPDC parameters indicate infection type, coefficient of infection, and area under the progress disease curve, respectively.

جدول ۵- آماره‌های برآورد شده بر اساس واکنش گیاه کامل ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم نسبت به زنگ زرد در زرقان طی دو سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۱

Table 4. Estimated parameters based on adult plants response to yellow rust disease in the Zarghan during two cropping years

سال اول				سال دوم			سال اول			سال دوم		
No.	IT	CI	AUPDC	IT	CI	AUPDC	No.	IT	CI	AUPDC	IT	CI	AUPDC
1	5MR	2	38	5R	1	15	41	90MS	72	1120	90S	90	1080
2	5R	1	19	5R	1	15	42	10MSS	8	152	90S	90	1270
3	5R	1	19	40MR	16	162	43	90MSS	72	1088	80MS	64	960
4	10MR	4	35.5	5R	1	15	44	30MR	12	150	20MR	8	200
5	40MR	16	206	5R	1	15	45	80MS	64	904	90S	90	965
6	40MR	16	168	5R	1	15	46	100S	10	1501	80S	80	775
7	30MR	12	184	5MS	4	60	47	30M	18	294	30MR	12	180
8	5R	1	19	5R	1	15	48	40MR	16	180	40MR	16	208
9	40MR	16	180	20MR	8	62	49	60MR	24	386	40MR	16	162
10	70M	42	437	70MS	56	744	50	90MS	72	1024	70MS	56	716
11	5R	1	19	20R	4	48	51	100MS	80	1240	80MS	64	896
12	10MR	4	64	20MR	8	104	52	90MS	72	1164	60MS	48	596
13	40MR	16	256	50M	30	349	53	100S	10	1470	100S	10	1500
14	20MR	8	90	10R	2	18.5	54	70MS	56	784	30-100S	40	324
15	40MS	32	544	30MR	12	110	55	100S	10	1780	100S	10	1420
16	5R	1	19	20MR	8	104	56	90S	90	1447	90MS	72	892
17	10MR	4	49	20MR	8	96	57	80M	48	621	40MS	32	356
18	5MR	2	24.5	30MS	24	236	58	50MR	20	332	40MS	32	480
19	10MR	4	45	50MS	40	536	59	80MR	32	468	80MS	64	836
20	30MR	12	184	5MR	2	26	60	100S	10	1629	70MS	56	716
21	40MR	16	180	5MR	2	30	61	80S	80	1360	50MS	40	536
22	30MR	12	196	10MR	4	52	62	90MSS	72	1164	80MS	64	836
23	10MR	4	68	5R	1	15	63	60MR	24	354	30MR	12	118
24	10MR	4	35.5	5R	1	15	64	90M	54	760	40MS	32	480
25	5MR	2	38	5R	1	15	65	90S	90	1415	90MS	72	832
26	5MR	2	38	5R	1	15	66	100S	10	1900	50M	30	402
27	5MR	2	38	5R	1	15	67	100MS	80	1176	70MS	56	684
28	50MR	20	256	5R	1	15	68	40MR	16	304	20MR	8	180
29	5MR	2	38	40MR	16	208	69	90MSS	72	1164	90MS	72	984
30	50MR	20	294	60MR	24	282	70	100MS	80	1252	70MR	28	388
31	70-100S	56	1000	40MR	16	178	71	100S	10	1780	90MS	72	1048
32	100S	10	1780	100S	10	1500	72	20R	4	49	5R	1	15
33	80MS	64	1184	70MS	56	624	73	40MR	16	234	10MR	4	48
34	80S	80	1392	70MS	56	716	74	5MR	2	38	5R	1	15
35	100S	10	1756	90MS	72	956	75	100S	10	1900	60MS	48	596
36	90MS	72	1164	60M	36	447	76	80MS	64	1044	80MS	64	804
37	5R	1	19	20R	4	25.5							
38	80MS	64	1012	60MS	48	656							
39	80M	48	792	70MS	56	676							
40	90S	90	1320	90S	90	1040							

پارامترهای IT، CI و AUPDC به ترتیب بیانگر واکنش بیماری، ضریب آلودگی و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری می‌باشند.

IT, CI, and AUPDC parameters indicate infection type, coefficient of infection, and area under the progress disease curve, respectively.

با توجه به نتایج به دست آمده، در بین ژنوتیپ‌های ارزیابی شده، ۳۳ ژنوتیپ به صورت مشترک در هر دو سال زراعی در ایستگاه اردبیل در گره اول قرار گرفتند. با در نظر گرفتن تیپ واکنش مقاومت (R)

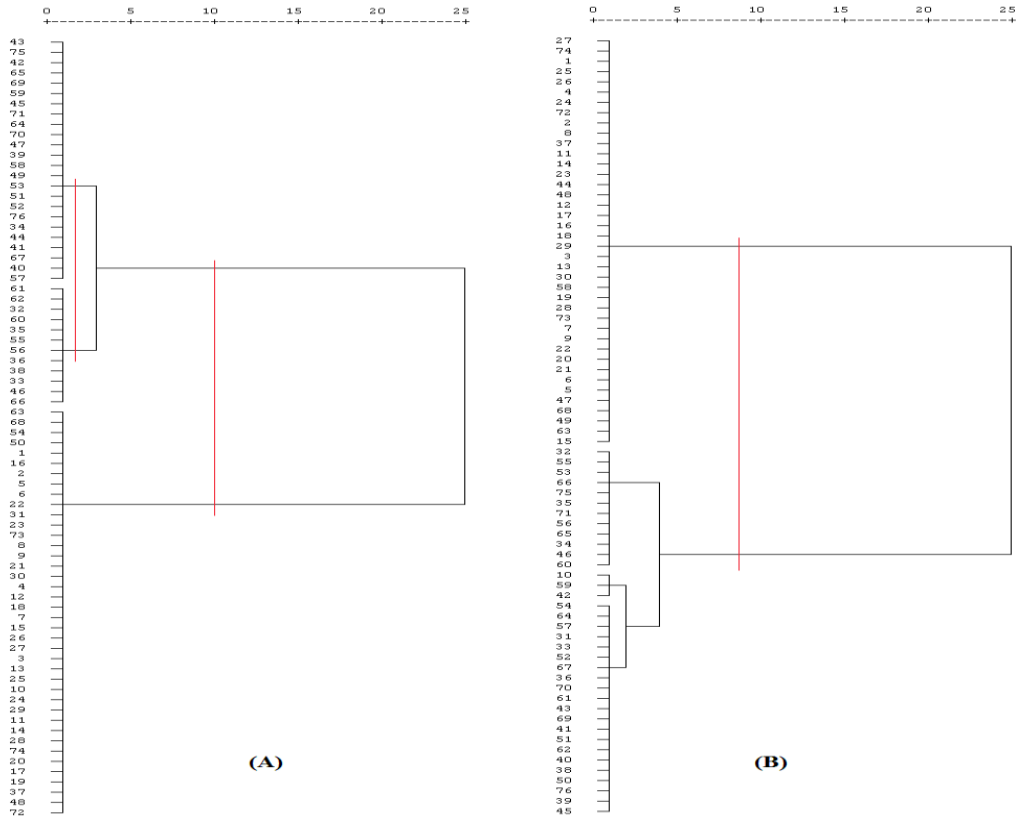
در مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل برای بیشتر ژنوتیپ‌های موجود در گروه اول می‌توان اظهار داشت این ژنوتیپ‌ها دارای ژن یا ژن‌های مقاومت نژاد-اختصاصی هستند. مک‌اینتاش و همکاران (McIntosh *et al.*, 1995) اظهار داشتند ضریب آلودگی به دلیل داشتن همبستگی قوی با کاهش محصول در اثر آلودگی به زنگ‌های غلات یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی مقاومت ارقام و ژنوتیپ-های گیاهی می‌باشد. پیش از این صفوی (Safavi 2019) نشان دادند نژاد زنگ زرد در اردبیل روی ژن-های *Yr3v*، *Yr3a*، *Yr4a*، *Yr5*، *Yr10*، *Yr15*، *Yr16*، *YrSD*، *YrCV* و *YrND* ناپرآزاری دارد و ارقام مقاوم می‌توان به صورت انفرادی یا ترکیبی از ژن‌های فوق را داشته باشند. با این‌حال حدود نیمی از ژنوتیپ‌های ارزیابی شده در شرایط محیطی اردبیل در گروه سوم (دارای ضریب آلودگی بیش از ۴۰) قرار گرفتند.

با توجه به داده‌های به دست آمده از ایستگاه زرقان، ۳۲ ژنوتیپ در هر دو سال زراعی به صورت مشترک در گروه اول قرار گرفتند. با بررسی ژنوتیپ‌های موجود در گروه اول در هر دو ایستگاه هدف مشخص شد ژنوتیپ‌های شماره ۱ (قابوس)، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۶ (کبیر)، ۱۷، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۷، ۴۸، ۷۲، ۷۳ و ۷۴ (هور) دارای ضریب آلودگی بین ۱ تا ۲۰ بودند. از این‌رو این ژنوتیپ‌ها می‌توانند به عنوان منبع مقاومت در برنامه‌های دورگ‌گیری مورد استفاده قرار گیرند (Ali *et al.*, 2009). سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) یکی از پارامترهای مهم برای ارزیابی بیماری‌های زنگ در غلات است که تحقیقات فراوانی ارتباط معنی‌دار آن با نوع واکنش به عامل بیماری‌زا و همچنین کاهش عملکرد در گیاه میزبان را به اثبات رسانیده‌اند و به عنوان یکی از بهترین معیارهای بررسی مقاومت در مرحله گیاه کامل و بازتابی از شدت و توسعه بیماری شناخته می‌شود (Thabet and Najeeb, 2017; Mabrouk *et al.*, 2019). میزان سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری برای ژنوتیپ‌های بررسی شده در آزمایش مزرعه‌ای اردبیل در سال اول بین ۱۵ تا ۱۳۲۴ و در سال دوم بین ۶/۵ تا ۶۵۰ درصد/روز بود. در ایستگاه زرقان نیز دامنه تغییرات این معیار در سال اول بین ۱۵ تا ۱۵۰۰ و در سال دوم بین ۱۹ تا ۱۹۰۰ درصد/روز متغیر بود (جداول ۴ و ۵). باتوجه به نتایج بدست آمده از داده‌های ایستگاه اردبیل، ژنوتیپ‌های ارزیابی شده بر اساس مقادیر AUDPC در چند گروه دسته بندی شدند. در سال اول، دامنه تغییرات AUDPC بین ۱۵ تا ۱۳۲۴ درصد/روز متغیر بود و ۲۶ ژنوتیپ دارای مقادیر کمتر از ۲۶ بودند و عمدتاً دارای تیپ مقاوم (R) بودند. تعداد ۱۰ ژنوتیپ با تیپ واکنش MR دارای دامنه بین ۴۸ تا ۱۶۰ درصد/روز و ۳ ژنوتیپ دارای مقادیری بین ۱۶۰ تا ۴۰۰ درصد/روز بودند. علاوه براین، ۲۵ ژنوتیپ دارای مقادیر بین ۵۰۰ تا ۹۰۰ بودند و با بررسی تیپ واکنش در گروه MS قرار داشتند. تعداد ۱۲ ژنوتیپ باقیمانده نیز با تیپ واکنش S دارای مقادیر AUDPC بین ۱۰۰۰ تا ۱۳۲۴ بودند. در سال دوم اجرای آزمایش در اردبیل، دامنه تغییرات این معیار بین ۶ تا ۶۵۰ درصد/روز متغیر بود. ۲۰ ژنوتیپ دارای مقادیری بین ۶ تا ۲۴ درصد/روز بودند و با مراجعه به واکنش این ژنوتیپ‌ها مشخص شد تمامی آن‌ها دارای واکنش R بودند. ۱۶ ژنوتیپ دارای مقادیر AUDPC بین ۲۶ تا ۱۸۰ بودند و واکنش آن‌ها در این مرحله به صورت M/MS بود. در دامنه بین ۱۸۰ تا ۴۶۰ درصد/روز تعداد ۲۸ ژنوتیپ با واکنش MS قرار گرفتند و ۱۲ ژنوتیپ باقیمانده نیز با داشتن مقادیر بالاتر از ۴۶۰ دارای تیپ واکنش S بودند.

بررسی معیار AUDPC در ایستگاه رزقان نشان داد دامنه تغییرات این معیار بین ۱۵ تا ۱۵۰۰ متغیر بود. در بین ژنوتیپ‌های ارزیابی شده، ۱۶ ژنوتیپ با واکنش R دارای مقادیری کمتر از ۲۶ بودند. ژنوتیپ-های قرار گرفته شده در دامنه بین ۳۰ تا ۴۸۰ دارای واکنش MR بودند (به استثناء چند مورد). مقدار ۴۸۰ درصد/روز به عنوان خط تمایز بین ژنوتیپ‌های

دارای واکنش MS در نظر گرفته شد و ۲۷ ژنوتیپ در این گروه قرار گرفتند. علاوه بر این، پنج ژنوتیپ نیز با تیپ واکنش S دارای مقادیر AUPDC بین ۱۰۵۰ تا ۱۵۰۰ بودند. در سال دوم روند تغییرات این معیار متفاوت بود و دامنه تغییرات آن بین ۱۹ تا ۱۹۰۰ متغیر بود. به جز یک ژنوتیپ (شماره ۷۲) تمامی ژنوتیپ‌های دارای تیپ واکنش R دارای مقادیر AUDPC کمتر از ۲۰ بودند. ژنوتیپ‌های قرار گرفته در بازه ۲۵ تا ۸۰۰ (به جز ۲ ژنوتیپ شماره ۱۵، ۴۲ و ۵۴) همگی دارای واکنش MR/M بودند. ۱۵ ژنوتیپ با مقادیری بین ۹۰۰ تا ۱۲۵۰ دارای واکنش MS و مابقی ژنوتیپ‌ها با مقادیر بالاتر از ۱۳۰۰ دارای واکنش S بودند. واکنش مصون و بروز حداقل میزان AUPDC احتمالا به دلیل دارا بودن ژن‌های مقاومت اختصاصی می‌باشد (Mabrouk *et al.*, 2019). در آزمایشی برای ارزیابی فنوتیپی مقاومت به بیماری‌های زنگ در برخی ژنوتیپ‌های گندم ایران نیز نتایجی مشابه تحقیق حاضر بدست آمد. در این پژوهش محققان میزان AUDPC زیر ۵۰۰ درصد/ روز را به عنوان مقاومت قابل قبول، ۲۵۰-۱۵۰ را نیمه مقاوم و زیر ۱۵۰ را به عنوان مقاوم در نظر گرفتند (Dadrezaei *et al.*, 2015). در تحقیقی دیگر میزان AUPDC بالاتر از ۶۰۰ به عنوان حساس معرفی شدند (Draz *et al.*, 2015).

به منظور گروه‌بندی دقیق‌تر ژنوتیپ‌های ارزیابی شده در شرایط مزرعه و تفکیک آن‌ها در گروه‌های مقاوم، نیمه مقاوم و حساس از تجزیه خوشه‌ای بر اساس مقادیر AUPDC استفاده شد. با توجه به دندروگرام به دست آمده از تجزیه خوشه‌ای بر اساس داده‌های دو ساله در ایستگاه اردبیل مشخص شد کلیه ژنوتیپ-ها به دو گروه کلی بر اساس مربع فاصله اقلیدسی به عنوان معیار تشابه تفکیک شدند (شکل A-۱). گروه نخست خود شامل دو زیر گروه بود. ژنوتیپ‌های شماره ۳۴، ۳۹، ۴۰، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۷، ۴۹، ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۵۷، ۵۸، ۵۹، ۶۴، ۶۵، ۶۷، ۶۹، ۷۰، ۷۱، ۷۵ و ۷۶ در زیر گروه اول قرار داشتند. با توجه به بررسی نحوه واکنش این ژنوتیپ‌ها نسبت به ایزوله‌های مورد استفاده در اردبیل در هر دو سال زراعی، تمامی آن‌ها دارای واکنش MS بودند. در زیر گروه دوم ژنوتیپ‌های ۳۲، ۳۳، ۳۵، ۳۶، ۳۸، ۴۶، ۵۵، ۵۶، ۶۰، ۶۱، ۶۲ و ۶۶ با تیپ S قرار داشتند. سایر ژنوتیپ‌ها به جز ژنوتیپ‌های شماره ۵۰، ۵۴، ۷۵ و ۷۶ دارای واکنش‌های MR و R بودند و در گروه دوم قرار گرفتند. با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعات قبلی (Safavi 2019) مشخص شده است نژاد زنگ زرد اردبیل روی ژن‌های *Yr3v*، *Yr3a*، *Yr4a*، *Yr4*، *Yr5*، *Yr10*، *Yr15*، *Yr16*، *YrCV*، *YrSD* و *YrND* ناپرآزاری دارد. از این‌رو، به نظر می‌رسد ژنوتیپ‌های موجود در گروه دوم به صورت انفرادی یا ترکیبی حامل این ژن‌ها یا ژن‌های ناشناخته دیگری باشند. براساس نتایج به دست آمده از دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس مقادیر AUPDC به دست آمده از ایستگاه زرقان مشخص شد تمامی ژنوتیپ‌های ارزیابی شده در دو گروه کلی تفکیک شدند. گروه اول شامل ۴۰ ژنوتیپ بود که همگی دارای واکنش M تا R بودند. گروه دوم نیز به دو زیر گروه تفیکیک شد به‌طوری که ژنوتیپ‌های موجود در هر زیر گروه ترکیبی به صورت کلی دارای واکنش MS تا S بود. با این‌وجود امکان تفکیک ژنوتیپ‌های حساس از نیمه حساس در زیر گروه‌های مجزا میسر نبود (شکل B-۱). بنابراین به نظر می‌رسد ژنوتیپ-های موجود در گروه اول مشابه الگوی به دست آمده از تجزیه خوشه‌ای بر اساس داده‌های اردبیل دارای برخی از ژن‌های مقاومت برای زنگ زرد باشند. از این‌رو استفاده از ژنوتیپ‌های موجود در این گروه‌ها برای برنامه‌های دورگ‌گیری می‌تواند مفید باشد.



شکل ۱- دندروگرام به دست آمده از تجزیه خوشه‌ای بر اساس میانگین داده‌های AUPDC در دو ایستگاه اردبیل (A) و زرقان (B).

Figure 1. Dendrogram obtained using cluster analysis based on the average values of AUPDC parameter in the Ardabil (A) and Zarghan (B) regions.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش مشخص شد ژنوتیپ‌های شماره ۱۲، ۱۷، ۲۱، ۲۴، ۲۵، ۲۷، ۲۸، ۳۷ و ۷۴ در هر دو مرحله ارزیابی گلخانه‌ای و مزرعه نسبت به تمامی ایزوله‌های مورد استفاده دارای طیف وسیعی از مقاومت (در برخی از مناطق دارای واکنش R و در برخی دیگر MR) بودند. علاوه براین، توزیع گسترده ژنوتیپ‌ها در زیر گروه‌های مختلف نیز می‌تواند بیانگر وجود سطح بالایی از تنوع ژنتیکی در جمعیت ارزیابی شده باشد. تنوع مشاهده شده در این مطالعه می‌تواند در برنامه‌های به نژادی مرتبط با افزایش مقاومت به زنگ زرد گندم همچون به کارگیری لاین‌های مقاوم در برنامه‌های دورگ‌گیری مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

Afzal SN, Haque MI, Ahmedani MS, Bashir S, Rattu AR. 2007. Assessment of yield losses caused by *Puccinia striiformis* triggering stripe rust in the most common wheat varieties. Pakistan Journal of Botany 39: 2127–2134

Ali S, Shah SJA and Ibrahim M. 2007. Assessment of wheat breeding lines for slow yellow rusting (*Puccinia striiformis* West. *tritici*). Pakistan Journal of Biological Sciences 10: 3440–3444

Ali S, Shah SJA, Khalil IH, Rahman 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: 37–43

Anonymous. 2022. Agricultural Statistics in Crop Season 2020-2021. Ministry of Jihad-e-Agriculture. Tehran, Iran. 93pp [In Persian]

Broers LHM, Parlevliet JE. 1989. Environmental stability of partial resistance in spring wheat to wheat yellow rust. Euphytica 44: 241–245

Chen XM. 2005. Epidemiology and control of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) on wheat. Canadian Journal of Plant Pathology 27: 314–337

Dadrezaei S, Afshari F, Patpour M. 2015. Evaluation of phenotypic resistance to rusts in some Iranian wheat genotypes in greenhouse and field conditions. Seed and Plant Improvement Journal 31: 531–546

Draz IS, Abou-Elseoud MS, Kamara AEM, Alaa-Eldein OAE, El-Bebany AF. 2015. Screening of wheat genotypes for leaf rust resistance along with grain yield. Annals of Agricultural Sciences 60(1): 29–39

FAO, Food and Agriculture Organizatio. 2022. Available http://www.fao.org/faostat/en/#home. Retrieved 12 October 2022

Flor HH. 1956. The complementary genetic systems in flax and flax rust. Advanced Genetics 8: 29–54

Hei N, Shimelis HA, Laing M. 2017. Appraisal of farmers wheat production constraints and breeding priorities in rust prone agro-ecologies of Ethiopia. African Journal of Agricultural Research 12: 944–952

Herrera-Fossel SA, Singh RP, Huerta-Espino J, Crossa J, Djurle A, Yuen J. 2007. Evaluation of slow rusting resistance components to leaf rust in CIMMYT durum wheats. Euphytica 155: 361-369

Hovmoller MS, Walter S, Bayles RA, Hubbard A, Flath K, et al. 2016. Replacement of the European wheat yellow rust population by new races from the center of diver sity in the near-Himalayan region. Plant Pathology 65: 402–411

Hulbert SH, Pumphrey MO. 2014. A time for more booms and fewer busts? Unraveling cereal-rust interactions. Molecular Plant Microbe Interaction 27: 207-214

Jin Y. 2011. Role of *Berberis* spp. as alternate hosts in generating new races of *Puccinia graminis* and *P. striiformis*. Euphytica 179: 105–108.

Jin Y, Szabo LJ, Carson M, 2010. Century-old mystery of *Puccinia striiformis* life history solved with the identification of *Berberis* as an alternate host. Phytopathology 100: 432–435

Line RF. 2002. Stripe rust of wheat and barley in North America: a retrospective historical review. Annual Review of Phytopathology 40: 75–118

Mabrouk OI, WM El-Orabey, SM Esmail. 2019. Evaluation of wheat cultivars for slow rusting resistance to leaf and stem rust diseases in Egypt. Egyptian Journal of Phytopathology 47: 1–19.

McIntosh RA, Wellings CR. Park RF. 1995. Wheat Rusts: An atlas of resistance genes. CSIRO, Australia, pp: 200

Mehdinia F, Alaei H, Sedaghati E, Dehghani A, 2016. Distribution and genetic diversity of aecial infection on barberry and its importance to wheat yellow rust disease in Lorestan Province. Iranian Journal of Plant Pathology 52(2): 249–266 [In Persian]

Milus EA, Line RF. 1986. Gene action for inheritance of durable, high– temperature, adult plant resistances to stripe rust in wheat. Phytopathology 76: 435–441

Mohammadi N, Safavi SA, Pouralibaba HR, Afshari F, Roustaie M, Atahoseini SM. 2023. Screening of dryland bread wheat genotypes against yellow rust through greenhouse and multi-environmental trials. Journal of Crop Protection 12: 43–53

Parlevliet JE. 1988. Resistance of the non-race-specific type. In: Roelfs AP, Bushnell WR. The Cereal Rusts, Vol II: Disease, Distribution, Epidemiology and Control. Academic Press, Orelando, USA, pp. 501-525

Peterson RF, Campbell AB, Hannah AE. 1948. A diagrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stem of cereals. Canadian Journal of Research Section C 26: 496–500

Pouralibaba HR, Mohammadi N, Afshari F, Safavi SA, Yassaie M, Atahoseini SM. 2021. GLM PCA, a method to detect informative environments and phenotypic stable resistant sources of wheat to yellow rust in multi-environmental trials. Indian Phytopathology 74(1): 145–155

Rabbaninasab H, Razavi M, Aghajaninasab MA, Abbasi M, Saeidi S, et al. 2017. Study of barberry shrubs role in transferring wheat stem rust disease agent to the next season. Journal of Applied Research in Plant Protection 6(4): 11–20

Roelfs AP, Singh RP, Saari EE. 1992. Rust diseases of wheat: concepts and methods of diseases management,.Mexico, DF CIMMYT, 81 pp

Safavi SA. 2019. Effectiveness of resistance genes to stripe rust and virulence of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* during two years monitoring in Ardabil. Journal of Applied Research in Plant Protection 8(3): 95–107

Safavi SA, Mohammadzadeh J. 2013. Race non-specific resistance to yellow rust in some promising wheat lines. Cereal Research 3: 197–209

Sandoval-Islas JS, Broers LHM, Mora-Aguilera G, Parlevliet JE, Osada KS, Vivar HE. 2007. Quatitative resistance and its components in 16 barley cultivars to yellow rust, *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*. Euphytica 153: 295–308

Shaner G, Finney RE. 1980. New sources of slow leaf rusting resistance in wheat. Phytopathology 70: 1183–1186

Stubbs RW, Prescott JM, Saari EE, Dubin HJ. 1986. Cereal Disease Methodology Manual. CIMMYT: Mexico, pp. 46

Tahir S, Zia I, Dilshad I, Fayyaz M, Noureen N, Farrakh S. 2020. Identification of stripe rust resistant genes and their validation in seedling and adult plant glass house tests. Genetic Resources and Crop Evolution 67: 1025–1036

Thabet M, Najeeb KMA. 2017. Impact of wheat leaf rust severity on grain yield losses in relation to host resistance for some Egyptian wheat cultivars. Middle East Journal of Agriculture Research 6(4): 1501–1509

Vanderplank JE. 1978. Genetics and Molecular Basis of Plant Pathogenesis. Springer-Verlag, New York, USA, pp. 167

Wilcoxson RD, Skovmand B, Atif AH. 1975. Slow rusting of wheat varieties in the field correlated with stem rust severity on detached leaves in the greenhouse. Plant Disease Reporter 58: 1085–1087

Zahravi M, Nejad Ebrahimi S, Afshari F. 2012. Evaluation of field based partial resistance and relationship between resistance components of bread wheat germplasm to yellow rust. Seed and plant improvement journal 28(4): 663–684 [In Persian]

DOI: 10.22092/idaj.2025.367601.440

Response of promising bread wheat genotypes against yellow rust at the seedling and adult plants stages

Somayeh Dadashi[1], Abdolhadi Hossein Zadeh[2*], Naser Mohammadi[3], Mohamad Reza Bihamta[4], Mohamad Reza Naghavi[4]

1- PhD Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2- Department of Agronomy and Plant Breeding, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3- Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran.
4- Department of Agronomy and Plant Breeding, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Yellow rust (*Puccinia striformis* sp. tritici) is known as one of the most destructive diseases of wheat in worldwide as well as Iran and caused a significant reduction in the grain yield. In this regard, host resistance is calculated as the most management strategies for this disease. Moreover, the identification of resistance sources at the seedling and adult stages of plant growth and development is a necessary task to achieve durable resistance. Hence, the main objective of the present study was to investigation of resistance of a set of promising bread wheat genotypes under controlled greenhouse and filed conditions.

Methodology: The plant genetic materials undertaken in this research included 71 promising bread wheat genotypes along with five local varieties as control genotypes. The greenhouse test was done using several isolates taking part from Zarghan, Mashhad, and Karaj regions. The field experiments were performed using the identified yellow rust race at the two locations including Zarghan and Aedabil during two cropping seasons (2020-2022). Several parameters such as infection type (IT), coefficient of infection (CI), and area under the disease progress curve (AUDPC) were calculated for determine the resistance rate of tested genotypes.

Research findings: Based on results, 33, 46, 49, and 53% of the total tested genotypes showed resistant against 6E134A+, Yr27, 6E142A+, Yr27, 46E190A+, Yr27, and 6E130A+, Yr27 isolates at the seedling stage, respectively. At the adult plant stage, 24 genotypes showed the resistance reaction (R and R/MR) against yellow rust disease in thee Ardabil region across two years. In the Zarghan region, 26 and 18 genotypes showed the resistance reaction in the first and second year, respectively. According to CI parameter, 33 and 32 genotypes were placed into the resistant group across two years. Moreover, the results of cluster analysis showed that all genotypes were grouped into separate clusters, and the resistant genotypes in Ardabil and Zarghan were recognized from other genotypes. In general, our findings indicated that genotypes numbers 12, 17, 21, 24, 25, 27, 28, 37, and 74 showed a relative resistance against all yellow rust isolates at the both seedling and adult plant stages.

Keywords: Area under the disease progress curve, Coefficient infection, Wheat, Yellow rust.

* Corresponding author*: ahzadeh@ut.ac.ir*
Submit date: 2024/04/28 Accept date: 2025/03/16