

فاکتورهای بیماری‌زایی جدایه‌های زنگ ساقه (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*)  
و شناسایی منابع مقاومت در ژنوتیپ‌های سیننتیک گندم سیمیت

علی عمرانی<sup>۱</sup>، سعید اهری زاد<sup>۲</sup>، رامین روح پرور<sup>۳</sup>، منوچهر خدارحمی<sup>۳</sup> و محمود توریچی<sup>۴</sup>

۱ و ۴- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات و استاد، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز  
۲- استاد، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، (نویسنده مسؤول: s.aharizad@yahoo.com)  
۳- استادیار، بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی کرج  
تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۲۷

## چکیدہ

بیماری زنگ ساقه گندم با عامل قارچی *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* یکی از مهم‌ترین بیماری‌های این محصول در جهان می‌باشد. یافتن منابع مقاومت جدید نسبت به این بیماری در ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم هگزاپلوئید به دلیل داشتن تنوع ژنتیکی بالا محتمل می‌باشد. به‌منظور آگاهی از ساختار ژنتیکی جمعیت عامل بیماری زنگ ساقه، ۱۲ جدایه تک جوش شده مربوط به مناطق گرگان و بروجرد در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ تعیین نژاد شدند، سپس مقاومت ۳۴۸ ژنوتیپ سینتتیک گندم با استفاده از صفت تیپ آلودگی در مقیاس صفر تا ۴ نسبت به چهار جدایه از ۱۲ جدایه تعیین نژاد شده در مرحله گیاهچه‌ای با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو تکرار مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل از واکنش ارقام استاندارد و افتراقی گندم ضمن شناسایی دو نژاد TKTIF و TTITF در بین تمامی جدایه‌ها، بیماری‌زایی چهار جدایه منتخب بر روی ژنوتیپ‌های حامل ژن‌های *Sr20* *Sr19* *Sr18* *Sr17* *Sr16* *Sr15* *Sr14* *Sr12* *Sr10* *Sr9g* *Sr9e* *Sr9d* *Sr9b* *Sr9a* *Sr8b* *Sr8a* *Sr7b* *Sr7a* *Sr6* *Sr5* *Sr21* *Sr22* *Sr23* *Sr28* *Sr30* *Sr34* *Sr36* *Sr37* *Sr38* *SrMcN* و *SrTmp* مشاهده گردید. تجزیه واریانس مرکب نشان داد که در مرحله گیاهچه‌ای بین ژنوتیپ‌های گندم از نظر واکنش به جدایه‌های منتخب اختلاف معنی‌داری داشتند. همچنین معنی‌دار شدن اثر متقابل جدایه × ژنوتیپ حاکی از آن بود که در برخی از ژنوتیپ‌ها مقاومت اختصاص به جدایه داشتند. واکنش اختصاص به جدایه در ۱۶ درصد از ژنوتیپ‌ها مشاهده گردید، بدین معنی که حداقل در برابر یکی از جدایه‌ها واکنش مقاومت و در برابر جدایه‌های دیگر حساسیت وجود دارد. ۶۱ درصد ژنوتیپ‌ها نسبت به هر چهار جدایه حساس (تیپ آلودگی ۳ تا ۴) و ۲۳ درصد ژنوتیپ‌ها (مثل لاین‌های ۲۲۸۴۲، ۲۲۸۵۷، ۲۲۸۶۲، ۲۲۸۶۳، ۲۲۸۶۴) نسبت به همه‌ی آن‌ها مقاوم بودند (تیپ آلودگی صفر تا ۲)، ژنوتیپ‌های مقاوم دارای ژن‌های مقاومت موثر گیاهچه‌ای بوده و می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی مقاومت به زنگ ساقه مورد استفاده قرار گیرند. نتایج این تحقیق اولین گزارش از مقاومت ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم نسبت به نژادهای غالب زنگ ساقه در ایران می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تعیین نژاد، تپ آلودگی، جدایه، مقاومت اختصاص به جدایه، *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*

## مقدمه

شدید در جنوب اتیوپی در سال ۲۰۱۴ گزارش شده است (۱۵). در ایران نیز تاکنون همه‌گیری این بیماری دو بار، سال ۱۳۴۵ در مناطق شمالی و شمال‌غرب (۲۳) و دومین بار در سال ۱۳۵۵، در مناطق جنوبی و جنوب‌شرقی کشور گزارش شده است (۴). این بیماری در سال‌های بعد در مناطق مختلف کشور خسارت‌های متفاوتی به محصول گندم وارد کرده است ولی میزان خسارت‌ها به دلیل شناسایی نژادهای فیزیولوژیک و روند تغییرات در نژادهای موجود در کشور در هر سال و انجام کارهای به‌نژادی بر اساس اطلاعات تعیین نژاد، نسبتاً قابل قبول بوده و به صورت همه‌گیری شدید که کل محصول در مزرعه از بین برود، بیماری زنگ ساقه مشاهده نشده است. در برخی سال‌ها نیز به دلیل مساعد نبودن شرایط آب و هوایی برای گسترش این بیماری خسارت در حد بسیار ناچیز بوده است (۱).

ظهور نژاد Ug99 قارچ *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* و واریت‌های جدید آن در دهه‌های اخیر از شرق و جنوب آفریقا، با شکستن اثر بخشی اکثر ژن‌های مقاومت موثر قلی موجود در ژرم پلاسما جهانی و ایجاد بیماری‌زایی در ژنوتیپ‌های گندم واقع در مسیر حرکت این نژاد امنیت غذایی را در کل کشورهای جهان به خطر انداخته است (۲۵). عامل

گندم غذای اصلی ۳۵ درصد از مردم جهان می‌باشد (۳). سطح زیر کشت گندم در سراسر جهان بیش از ۲۱۵ میلیون هکتار و برآورد تولید جهانی آن طبق آمار FAO، در حدود ۷۲۹ میلیون تن می‌باشد. سطح زیر کشت گندم در ایران حدود ۶/۳ میلیون هکتار و تولید آن در حدود ۱۴ میلیون تن می‌باشد (۲). بیماری‌های قارچی هوازی (به ویژه زنگ ساقه) از اصلی‌ترین محدودیت‌های زیستی برای تولید و پایداری عملکرد محصول گندم در جهان محسوب می‌شوند.

زنگ ساقه یا زنگ سیاه (Black or Stem rust) گندم،  
با عامل قارچی *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*، یکی از  
مخرب‌ترین بیماری‌های گندم می‌باشد و می‌تواند به از بین  
رفتن کامل محصول در مزرعه منجر شود (۲۷). زنگ ساقه به  
کرات به صورت همه‌گیری از مناطق مختلف جهان گزارش  
شده است. همه‌گیری زنگ ساقه در سال‌های ۱۹۱۹، ۱۹۲۰،  
۱۹۲۳، ۱۹۲۷، ۱۹۳۵، ۱۹۵۳ و ۱۹۵۴ در آمریکا بر روی گندم  
به وقوع پیوست (۲۰). گزارشاتی از خسارت به محصول گندم  
ناشی از همه‌گیری زنگ ساقه در کانادا (۸)، جنوب آمریکا (۶)،  
قاره اروپا، شبه قاره هند و استرالیا (۱۷)، جنوب آفریقا (۱۹)،  
شرق آفریقا (۲۸) و چین (۲۱) وجود دارد. آخرین همه‌گیری

مجموع جدایه‌های تعیین نژاد شده در این پژوهش برای تعیین واکنش مقاومت ۳۴۸ ژنوتیپ سینتیک در مرحله گیاهچه‌ای نسبت به بیماری زنگ ساقه مورد استفاده قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

#### جمع‌آوری نمونه، جداسازی، خالص‌سازی، تک جوش کردن و تکثیر جدایه‌ها

در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ از برگ و ساقه‌ی گندم‌های آلوده به زنگ ساقه در مناطق گرگان (اقلیم گرم و مرطوب شمال) و بروجرد (اقلیم معتدل) نمونه‌های آلوده جمع‌آوری شده و به گلخانه‌ی زنگ ساقه در واحد پاتولوژی بخش تحقیقات غلات (موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج) منتقل گردید. نمونه‌های جمع‌آوری شده ابتدا با آب مقطر شستشو داده شده و به مدت ۲۴ ساعت داخل پتری دیش بر روی کاغذ صافی مرطوب قرار داده شدند. یوردینیوسپورهای زنگ ساقه مستقر در جوش‌های یوردینیایی موجود در اندام‌های آلوده که با جذب رطوبت فعال می‌شوند، در گلخانه بر روی رقم حساس مک‌نیر ۷۰۱ (McNair 701) مایه‌زنی و تکثیر شدند. به‌منظور حذف یوردینیوسپورهای زنگ قهوه‌ای در بعضی از نمونه‌ها چند دوره تکثیر و خالص‌سازی انجام شده و اسپورهای خالص زنگ ساقه پس از تکثیر از روی رقم حساس جمع‌آوری و مورد استفاده قرار گرفتند.

برای تک پاستول (تک‌جوش) کردن جدایه‌ها که به‌منظور جدا کردن نژادهای احتمالی مخلوط در جدایه‌های جمع‌آوری شده یک منطقه انجام می‌شود، چند جوش به صورت تصادفی بدون در نظر گرفتن بزرگی و کوچکی جوش‌ها بر روی گیاهچه‌های حساس مایه زنی شده قبلی انتخاب شده و قطعات برگی حاوی تک جوش‌ها با قیچی جدا شدند. این قطعات پس از شستشو با آب مقطر در پتری دیش‌های جداگانه روی کاغذ صافی مرطوب در یخچال نگهداری شد. پس از ۲۴ ساعت به کمک گوش پاک‌کن اسپورها به صورت جداگانه از روی جوش‌ها بر روی گیاهچه‌های حساس مک‌نیر ۷۰۱ مایه‌زنی و تکثیر شد. برای هر یک از مناطق گرگان و بروجرد در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ یک نمونه جمع‌آوری شد و از هر نمونه، سه تک جوش به عنوان جدایه‌های مستقل جدا گردید و در مجموع ۱۲ جدایه تعیین نژاد شد.

#### تعیین نژاد جدایه‌های *Puccinia graminis f.sp. tritici*

تعیین نژاد جدایه‌های خالص‌سازی شده مربوط به مناطق گرگان و بروجرد به‌منظور تعیین بیماری‌زایی (ویرولانسی) بر روی ژن‌های مختلف مقاومت به زنگ ساقه انجام گردید. برای تعیین نژاد جدایه‌ها از دو مجموعه ارقام استاندارد و افتراقی شامل مجموعه اصلی ۲۰ ژنوتیپ آمریکایی شمالی (NA) دریافتی از سیمیت (جدول ۱) و مجموعه ۴۵ ژنوتیپ تکمیلی دریافتی از ایکاردا (جهت تایید واکنش مجموعه ۲۰ ژنوتیپ آمریکایی و تعیین واکنش سایر ژن‌ها) استفاده گردید و نام‌گذاری نژادها بر اساس مجموعه ۲۰ ژنوتیپ آمریکایی انجام شد. پس از جوانه‌زنی بذر ژنوتیپ‌های استاندارد و افتراقی در خاک مزرعه، گیاهچه‌ها هنگامی که برگ اول به رشد کامل رسیده و برگ دوم در حال ظاهر شدن بود (مرحله ۱۲ در مقیاس زادوکس) (۳۰)، با مخلوطی از یوردینیوسپور خالص تکثیر شده و روغن صنعتی سالترو ۱۷۰ مایه‌زنی شدند. سپس گیاهچه‌ها با آب مقطر مه‌پاشی گردیده و به منظور جلوگیری از اختلاط اسپور سایر نژادها در گلخانه و حفظ رطوبت با استفاده از سرپوش‌های پلاستیکی پوشانده شد و به مدت ۲۴ ساعت

بیماری به دلیل داشتن چرخه‌ی زندگی کامل، پیوسته با ایجاد نوترکیبی‌های ژنی در حال تغییر ساختار ژنتیکی خود می‌باشد و در سال‌های اخیر نژادهای جدیدی را با الگوی بیماری‌زایی متفاوت به وجود آورده است. طبق گزارشات منتشر شده در همه‌گیری‌های اخیر نژادهای دیگری به جز Ug99 با الگوی بیماری‌زایی متفاوت باعث خسارت به گندم شده است (۱۵). به کارگیری مقاومت ژنتیکی در ارقام، کم هزینه‌ترین، مطمئن‌ترین و به لحاظ زیست محیطی سالم‌ترین روش کنترل زنگ‌ها به شمار می‌رود (۵). از سال ۲۰۰۰ میلادی تلاش‌های بین‌المللی فراوانی برای کنترل زنگ ساقه از طریق وارد کردن ژن‌های مقاومت جدید در ژرم پلاسما جهانی گندم صورت گرفته است (۲۴، ۲۲). بر اساس نتایج یک پژوهش در کنیا، کاهش عملکرد ۴۰ لاین پیشرفته گندم در مزرعه آلوده به زنگ ساقه (نژاد Ug99) مورد ارزیابی قرار گرفته و سه ژنوتیپ با کاهش عملکرد پایین‌تر و عملکرد قابل قبول‌تر معرفی گردید (۲۹). در آزمایش دیگری ارزیابی ۵۰ ژنوتیپ گندم نسبت به‌نژادی از Ug99 در دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل نشان داد که شش ژنوتیپ با منشا سیمیت در هر دو مرحله و چهار ژنوتیپ نیز در مرحله گیاه کامل مقاومت قابل قبول داشتند و بقیه ژنوتیپ‌ها حساس بودند (۱۴). موجولو و همکاران (۱۲) به منظور شناسایی منابع جدید مقاومت به زنگ ساقه با ارزیابی ۶۲ ژنوتیپ گندم بومی نسبت به نژاد Ug99 در مرحله گیاهچه‌ای، ۳۹ ژنوتیپ دارای واکنش مقاومت کامل یا نیمه مقاومت را معرفی نمودند. محمدی و همکاران (۱۱) حساسیت در سطح بالا را در ارقام و لاین‌های اصلاح شده ایران نسبت به نژاد Ug99 گزارش نمودند.

عدم وجود تنوع ژنتیکی کافی در ژرم پلاسما گندم، از مشکلات اساسی به‌نژادی برای افزایش محصول در برابر تنش‌های مختلف زیستی و غیر زیستی به‌منظور تامین تقاضای روز افزون گندم و ایجاد امنیت غذایی در جهان می‌باشد. بنابراین برای روبرو شدن با انواع تنش‌های پیش رو در آینده ناگزیر به حفظ ذخایر ژنتیکی موجود و شناسایی تنوع ژنتیکی و ایجاد تنوع‌های ژنتیکی جدید در ژرم پلاسما مورد نیاز است. با توجه به روند ایجاد گندم‌های هگزاپلوئید سینتیک، این گونه ژنوتیپ‌ها با داشتن تنوع ژنتیکی بالا از مهم‌ترین مواد در برنامه‌های اصلاحی مرکز بین‌المللی اصلاح ذرت و گندم سیمیت (CIMMYT: The International Maize and Wheat Improvement Center) بوده و به‌عنوان منابع ژنتیکی ارزشمند در برنامه‌های اصلاحی گندم ایران مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌منظور به‌کارگیری این منابع ژنتیکی در برنامه‌های اصلاح برای مقاومت به بیماری بایستی وضعیت مقاومت آن‌ها نسبت به بیماری‌های مهم گندم به‌ویژه زنگ‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد.

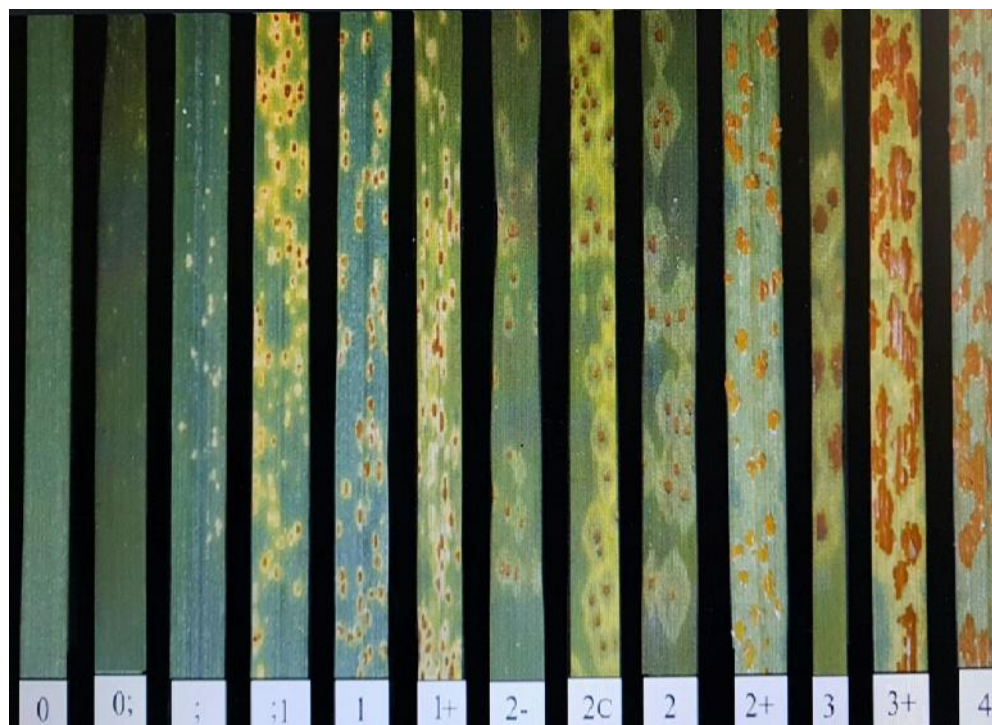
با توجه به اطلاعات ناچیز در رابطه با مقاومت ژنوتیپ‌های سینتیک گندم نسبت به نژادهای غالب عامل بیماری زنگ ساقه در ایران، در تحقیق حاضر به‌منظور تعیین بیماری‌زایی (ویرولانسی) عامل بیماری، روی ژن‌های مقاومت در جدایه‌های مناطق گرگان و بروجرد مربوط به سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ جدایه‌ها تعیین نژاد شدند. چهار جدایه از

تیپ‌های آلودگی فلک (۰): هیچ جوشی وجود ندارد اما لکه‌های فوق حساسیت کلروز و نکروز دیده می‌شود.  
 تیپ‌های آلودگی (۱): جوش‌های خیلی کوچک که توسط لکه‌های نکروز احاطه شده‌اند.  
 تیپ‌های آلودگی (۲): جوش‌های کوچک تا متوسط که توسط لکه‌های کلروز یا نکروز احاطه شده‌اند.  
 تیپ‌های آلودگی (۳): جوش‌های متوسط تا نسبتاً بزرگ که ممکن است با کلروز همراه باشد.  
 تیپ آلودگی (۴): جوش‌های خیلی بزرگ بدون کلروز و یا نکروز.

در تاریکی با دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت اشباع قرار گرفتند سپس گیاهچه‌ها به مدت ۱۴ روز به گلخانه با دمای ۲۲ درجه با دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی با شدت ۱۲۰۰۰ لوکس و ۸ ساعت تاریکی مستقل شدند. یادداشت برداری از واکنش گیاهچه‌ها بر اساس تیپ آلودگی در مقیاس صفر تا ۴ استاکمن و همکاران (۲۶) انجام گردید نام‌گذاری نژادها با استفاده از سیستم کددهی رولفز و همکاران (۲۱) صورت گرفت.  
 مقیاس صفر تا ۴ برای ثبت صفت تیپ آلودگی ژنوتیپ‌ها به صورت زیر یادداشت‌برداری شد (شکل ۱).  
 تیپ آلودگی (۰): هیچ جوش یا نشانه دیگری از عامل بیماری دیده نمی‌شود.

جدول ۱- ژنوتیپ‌های افتراقی گندم در مجموعه آمریکای شمالی مورد استفاده در شناسایی نژادهای *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*  
 Table 1. North American differential wheat genotypes used for race analysis of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*

| No. | Line             | Gene | No. | Line            | Gene    |
|-----|------------------|------|-----|-----------------|---------|
| 1   | ISr5-Ra          | Sr5  | 11  | BtSr30Wst       | Sr30    |
| 2   | CnS-T-mono-deriv | Sr21 | 12  | Combination VII | Sr17+13 |
| 3   | Vernstein        | Sr9e | 13  | ISr9a-Ra        | Sr9a    |
| 4   | ISr7b-Ra         | Sr7b | 14  | ISr9d-Ra        | Sr9d    |
| 5   | ISr11-Ra         | Sr11 | 15  | W2691Sr10       | Sr10    |
| 6   | ISr6-Ra          | Sr6  | 16  | CnsSrTnp        | SrTnp   |
| 7   | ISr8a-Ra         | Sr8a | 17  | LcSr24Ag        | Sr24    |
| 8   | CnSr9g           | Sr9g | 18  | Sr31/6*LMPG     | Sr31    |
| 9   | W2691SrTt-1      | Sr36 | 19  | VPM-1           | Sr38    |
| 10  | W2691Sr9b        | Sr9b | 20  | McNair 701      | SrMcN   |



شکل ۱- مقیاس صفر تا ۴ استاکمن و همکاران (۲۶) جهت تعیین تیپ آلودگی برای بیماری زنگ ساقه گندم  
 Figure 1. Scale of 0-4 Stakman et al (26) to determine the infection type for wheat stem rust disease

## ارزیابی ژنوتیپ‌ها در گلخانه در مرحله گیاهچه‌ای

گندم‌های هگزابلوید سیب‌تیک تولید شده در مرکز بین‌المللی اصلاح ذرت و گندم سیب‌تیک (CIMMYT) که از تلاقی بین گونه تترابلوید *Triticum turgidum* و گونه دیپلوید *Aegilops tauschii* و با دو برابر شدن کروموزوم‌ها تولید شده بودند از طریق موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر دریافت گردید. در این تحقیق واکنش مقاومت ۳۴۸ ژنوتیپ گندم که شامل ۳۴۶ ژنوتیپ سیب‌تیک و دو رقم حساس مورکو و مک‌نیر ۷۰۱ به‌عنوان شاهد نسبت به چهار جدایه عامل بیماری زنگ ساقه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو تکرار در مرحله گیاهچه‌ای ارزیابی گردید. کلیه مراحل آزمایش‌های ارزیابی ژنوتیپ‌های سیب‌تیک در گلخانه مشابه آزمایش‌های تعیین نژاد انجام شده در گلخانه بود که توضیح داده شد و صفت تیپ آلودگی گیاهچه ژنوتیپ‌های سیب‌تیک گندم نیز ۱۴ روز پس از مایه‌زنی بر اساس مقیاس صفر تا ۴ ثبت گردید.

## تجزیه داده‌های صفت تیپ آلودگی ژنوتیپ‌های گندم

آزمون نرمالیتی برای توزیع انحرافات داده‌های مربوط به تیپ آلودگی در شرایط گلخانه‌ای به وسیله نرم‌افزار Minitab انجام گرفت و داده‌ها با تبدیل جذری نرمال گردیده، سپس با استفاده از نرم‌افزار SAS در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو تکرار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. با توجه به این‌که ارزیابی ژنوتیپ‌ها نسبت به جدایه‌های مختلف در زمان‌های متفاوت انجام گرفت، شرایط گلخانه از لحاظ نور و دما در فصول مختلف سال کمی متفاوت بود، بنابراین از تجزیه واریانس مرکب برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. هر جدایه معادل مکان در طرح آزمایشی در نظر گرفته شد. جهت تجزیه واریانس مرکب طرح آزمایشی از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳ و برای آزمون نرمالیتی از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۶ استفاده گردید.

## نتایج و بحث

### شناسایی نژادها و تفاوت‌های نژادهای جمع‌آوری شده

با توجه به ارزش‌های تعیین شده برای هر یک از ارقام استاندارد و افتراقی مجموعه ۳۰ تایی آمریکایی، بر اساس مقیاس صفر تا ۴ استاکمن و همکاران (۲۶) و سیستم کددهی رولفر و همکاران (۲۱) برای تعیین نژادها مشخص شد که هر سه جدایه تک جوش شده منطقه گرگان در سال ۱۳۹۳ نژاد TKTIF می‌باشد. به‌دلیل مشابه بودن نژاد هر سه جدایه منطقه گرگان در سال ۱۳۹۳ جدایه 93-1-1 انتخاب شده و الگوی بیماری‌زایی در مجموعه تکمیلی ۴۵ تایی شامل تعداد دیگری از ژن‌های مقاومت به زنگ ساقه تعیین گردید. از سه جدایه تک جوش شده منطقه گرگان در سال ۱۳۹۴ بر اساس مجموعه ۳۰ تایی آمریکایی یکی نژاد TKTIF و دو تای دیگر نژاد TTTTF تعیین شدند. برای جدایه 94-1-2 (نژاد TTTTF) الگوی بیماری‌زایی در مجموعه تکمیلی ۴۵ تایی نیز تعیین گردید. هر سه جدایه تک جوش شده منطقه بروجرد در سال ۱۳۹۳ بر اساس مجموعه ۳۰ تایی آمریکایی شمالی نژاد TKTIF می‌باشد. به دلیل مشابهت نژادی هر سه جدایه منطقه بروجرد در سال ۱۳۹۳ نیز تنها الگوی بیماری‌زایی جدایه 93-12-1 در مجموعه تکمیلی ۴۵ تایی تعیین گردید. از سه جدایه تک جوش شده منطقه بروجرد در سال ۱۳۹۴ یک نژاد TKTIF و دو تای دیگر نژاد TTTTF بودند. برای جدایه 94-8-2 (نژاد TTTTF) سال ۱۳۹۴ الگوی بیماری‌زایی در مجموعه تکمیلی ۴۵ تایی تعیین گردید (جدول ۲).

تفاوت دو نژاد TKTIF و TTTTF در مجموعه ۳۰ تایی آمریکایی شمالی واکنش ژنوتیپ حامل ژن Sr11 می‌باشد. واکنش این ژنوتیپ نسبت به نژاد TKTIF به صورت مقاومت و نسبت به نژاد TTTTF به صورت حساسیت است. الگوی بیماری‌زایی در مجموعه تکمیلی برای دو نژاد TKTIF و TTTTF در مناطق مذکور متفاوت بود. واکنش ژنوتیپ‌های حامل ژن‌های Sr25 Sr29 و Sr32 نسبت به نژاد TKTIF به صورت مقاومت و در مقابل نژاد TTTTF به صورت حساسیت مشاهده گردید. تفاوت اصلی نژادهای منطقه گرگان با نژادهای منطقه بروجرد در واکنش ژنوتیپ حامل ژن Sr35 به صورت حساسیت نسبت به نژادهای منطقه بروجرد (هر دو نژاد TKTIF و TTTTF) و مقاومت نسبت به نژادهای منطقه گرگان مشاهده گردید. همچنین نژاد TTTTF جمع‌آوری شده از منطقه بروجرد از نژاد TTTTF مربوط به منطقه گرگان روی تعداد بیشتری از ژن‌های مقاومت به زنگ ساقه بیماری‌زایی داشتند. بر اساس نتایج آزمایش‌های تعیین نژاد، دو نژاد TKTIF و TTTTF نژادهای غالب مناطق گرگان و بروجرد تعیین گردیدند در سال ۱۳۹۳ نژاد TKTIF و در سال ۱۳۹۴ نژاد TTTTF با فراوانی ۶۷ درصد نژاد غالب در هر دو منطقه شناسایی گردید.

### شناسایی فاکتورهای بیماری‌زایی

بر اساس نتایج حاصل از واکنش ارقام استاندارد و افتراقی نسبت به چهار جدایه مناطق مورد مطالعه، بیماری‌زایی بر روی ژنوتیپ‌های افتراقی حامل ژن‌های Sr5 Sr6 Sr7a Sr7b Sr8a Sr8b Sr9a Sr9b Sr9d Sr9e Sr9g Sr10 Sr12 Sr14 Sr15 Sr16 Sr17 Sr18 Sr19 Sr20 Sr21 Sr22 Sr23 Sr28 Sr34 Sr36 Sr37 Sr38 SrTimp و SrMcN و عدم بیماری‌زایی بر روی ژنوتیپ‌های افتراقی حامل ژن‌های Sr24 Sr26 Sr27 Sr31 Sr33 و Sr39 مشاهده گردید (جدول ۲).

پاتپور و همکاران (۱۸) با بررسی نژادهای مختلف عامل بیماری زنگ ساقه در ایران، ژن‌های مقاومت Sr5 Sr6 Sr7b Sr8a Sr9b Sr9e Sr9g Sr10 Sr11 Sr21 Sr30 و SrMcN را نسبت به همه‌ی نژادها و ژن‌های Sr9a Sr9d Sr9e Sr36 و SrTimp را نسبت به اکثر نژادهای مورد بررسی بی‌اثر گزارش نمودند.

### تجزیه مرکب تیپ آلودگی ژنوتیپ‌های سیب‌تیک گندم در مقابل تمام جدایه‌های عامل بیماری زنگ ساقه

ارزیابی مقاومت گیاهچه‌ای ۳۴۸ ژنوتیپ گندم شامل ۳۴۶ ژنوتیپ سیب‌تیک گندم و دو رقم حساس مورکو و مک‌نیر ۷۰۱ با استفاده از چهار جدایه منتخب تعیین نژاد شده عامل بیماری زنگ ساقه مربوط به مناطق گرگان و بروجرد در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در شرایط گلخانه‌ای انجام گردید.

نتایج به دست آمده نشان داد که برای تیپ آلودگی اختلاف بسیار معنی‌داری بین واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به جدایه‌ها وجود دارد (جدول ۳). این امر نشان دهنده تفاوت‌های ژنتیکی در میان ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه می‌باشد. تنوع ژنتیکی در بین ژنوتیپ‌های گندم برای صفت مذکور توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (۱۶، ۷). همچنین با توجه به معنی‌دار شدن میانگین مربعات جدایه  $\times$  ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد می‌توان استنباط نمود که ژنوتیپ‌ها در مقابل جدایه‌های مختلف واکنش یکسان ندارند و میانگین صفت تیپ آلودگی در هر ژنوتیپ از جدایه‌ای به جدایه دیگر متفاوت می‌باشد. به‌عبارت دیگر بعضی از ژنوتیپ‌ها در مقابل یک یا چند جدایه مقاوم و در مقابل

جدایه‌های دیگر حساس هستند که نشان‌دهنده مقاومت اختصاصی (Specific resistance) است. این نوع مقاومت در اکثر مواقع توسط ژن‌های محدودی کنترل می‌شود (۹).

جدول ۲- واکنش ارقام استاندارد و افتراقی حامل ژن‌های مقاومت نسبت به جدایه‌های *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*  
Table 2. Reaction of standard and differential cultivars carrying resistance genes to isolates of *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*

| Code     | Race  | Location | Effective / Ineffective genes                                                                                                                                                               |
|----------|-------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TKTTF    |       |          |                                                                                                                                                                                             |
| 93-1-1*  | TKTTF | Gorgan   | <i>Sr11, 13, 24, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 33, 35, 39, 40 / Sr5, 6, 7a, 7b, 8a, 8b, 9a, 9b, 9d, 9e, 9g, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 28, 30, 34, 36, 37, 38, Tmp, McV</i>  |
| 93-1-2   | TKTTF | Gorgan   |                                                                                                                                                                                             |
| 93-1-3   | TKTTF | Gorgan   |                                                                                                                                                                                             |
| TTTTF    |       |          |                                                                                                                                                                                             |
| 94-1-1   | TKTTF | Gorgan   | <i>Sr 24, 26, 27, 31, 33, 35, 39, 40 / Sr5, 6, 7a, 7b, 8a, 8b, 9a, 9b, 9d, 9e, 9g, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 28, 29, 30, 32, 34, 36, 37, 38, Tmp, McV</i> |
| 94-1-2*  | TTTTF | Gorgan   |                                                                                                                                                                                             |
| 94-1-3   | TTTTF | Gorgan   |                                                                                                                                                                                             |
| TKTTF    |       |          |                                                                                                                                                                                             |
| 93-12-1* | TKTTF | Brojerd  | <i>Sr11, 13, 24, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 33, 39, 40 / Sr5, 6, 7a, 7b, 8a, 8b, 9a, 9b, 9d, 9e, 9g, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 28, 30, 34, 35, 36, 37, 38, Tmp, McV</i>  |
| 93-12-2  | TKTTF | Brojerd  |                                                                                                                                                                                             |
| 93-12-3  | TKTTF | Brojerd  |                                                                                                                                                                                             |
| TTTTF    |       |          |                                                                                                                                                                                             |
| 94-8-1   | TKTTF | Brojerd  | <i>Sr 13, 24, 26, 27, 31, 33, 39, 40 / Sr5, 6, 7a, 7b, 8a, 8b, 9a, 9b, 9d, 9e, 9g, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 28, 29, 30, 32, 34, 35, 36, 37, 38, Tmp, McV</i> |
| 94-8-2*  | TTTTF | Brojerd  |                                                                                                                                                                                             |
| 94-8-3   | TTTTF | Brojerd  |                                                                                                                                                                                             |

\*: جدایه‌های مورد استفاده در آزمایش‌های بررسی واکنش مقاومت ژنوتیپ‌های سینتیک گندم

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفت تیپ آلودگی ژنوتیپ‌های سینتیک گندم نسبت به جدایه‌های *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*  
Table 3. Combined analysis of variance for infection type of synthetic wheat genotypes to *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* isolates

| منابع تغییرات                     | درجه آزادی | میانگین مربعات Ms |
|-----------------------------------|------------|-------------------|
| تیپ آلودگی                        |            |                   |
| جدایه Isolate                     | ۳          | ۱۵/۱۱**           |
| تکرار در جدایه                    | ۴          | ۳/۹۱              |
| ژنوتیپ Genotype                   | ۳۴۷        | ۹۸/۷۳**           |
| جدایه × ژنوتیپ Genotype × Isolate | ۱۰۴۱       | ۴۵/۱۴**           |
| خطا Error                         | ۱۳۸۸       | ۳/۷۳              |
| درصد ضریب تغییرات CV%             |            | ۱۲/۰۲             |

\* و \*\*: به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح پنج درصد و یک درصد

### واکنش ژنوتیپ‌های سینتیک گندم نسبت به جدایه‌های عامل بیماری زنگ ساقه

در بررسی مقاومت ژنوتیپ‌های سینتیک گندم در مرحله گیاهچه‌ای نسبت به جدایه‌های مورد مطالعه‌ی تعیین نژاد شده (جدول ۴)، ۶۱ درصد ژنوتیپ‌ها (۲۱۲ عدد) تیپ آلودگی حساسیت (۳ تا ۴) داشتند. در این ژنوتیپ‌ها ژن‌های مقاومت موثر گیاهچه‌ای در برابر نژادهای TKTTF و TTTTT وجود ندارد. ۲۳ درصد ژنوتیپ‌ها (۷۹ عدد) تیپ آلودگی مقاومت (صفر تا ۲) نسبت به همه جدایه‌ها داشتند. در این ژنوتیپ‌ها احتمالاً یکی از ژن‌های مقاومت موثر گیاهچه‌ای *Sr24* داشته که توانسته‌اند در برابر نژادهای TKTTF و TTTTT که از نژادهای مهم زنگ ساقه هستند ایجاد مقاومت نماید. البته مقاومت ایجاد شده می‌تواند توسط ژن‌های مقاومتی که تا کنون شناسایی نشده است و یا ترکیب‌های آن‌ها با ژن‌های مقاومت موثر شناسایی شده

ایجاد شده باشد به دلیل اینکه یکی از والد‌های ژنوتیپ‌های سینتیک از خویشاوندان وحشی گندم می‌باشد سایر ژنوتیپ‌ها (۵۷ ژنوتیپ معادل ۱۶ درصد) با بروز واکنش‌های افتراقی مقاومت یا حساسیت نسبت به چهار جدایه مقاومت اختصاص به جدایه (Isolate-specific resistance) را نشان دادند بدین معنی که نسبت به بعضی از جدایه‌ها مقاوم و در برابر برخی دیگر حساس بودند (شکل ۲). فراوانی واکنش‌های مختلف مقاومت اختصاص به جدایه‌ها در ۵۷ ژنوتیپ سینتیک گندم در شکل ۳ قابل مشاهده است. نتایج به دست آمده نشان داد که چهار درصد این ژنوتیپ‌ها (۲ ژنوتیپ) تنها نسبت به جدایه TKTTF منطقه گرگان سال ۱۳۹۳ مقاوم بودند (گروه A) پنج درصد ژنوتیپ‌ها (۳ ژنوتیپ) در گروه C قرار گرفتند که تنها نسبت به جدایه TKTTF منطقه بروجرد سال ۱۳۹۳ مقاوم بودند، شصت و سه درصد ژنوتیپ‌ها (۳۶ ژنوتیپ) نسبت به جدایه‌های TKTTF مناطق گرگان و بروجرد سال ۱۳۹۳ مقاوم بوده (گروه AC) چهارده درصد

از نتایج تحقیق حاضر به‌عنوان اولین گزارش از مقاومت ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم در مقابل بیماری زنگ ساقه در ایران به صورت استفاده‌ی صرف از ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای شناسایی شده و یا همراه با ژن‌های مقاومت مرحله گیاه کامل می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی برای ایجاد مقاومت موثر و پایدار در برابر بیماری زنگ ساقه در کشور مورد بهره‌برداری قرار گیرد. شناسایی و ارایه ژنوتیپ‌های مقاوم به بیماری‌ها جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی یکی از راه‌هایی است که می‌تواند از طریق معرفی ارقام مقاوم منجر به تقلیل خسارت بیماری‌ها و کاهش مصرف بی‌رویه سموم در کنترل آن‌ها شود.

### تشکر و قدردانی

کلیه مراحل اجرای این پژوهش در واحد پاتولوژی بخش تحقیقات غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی) در کرج به انجام رسیده است. بدین وسیله از آقایان مهندس اسماعیل ابراهیمی، امیر کبیری، علیرضا دربندی، محسن سرهنگی، شاهین قوبیل و خانم‌های مهندس زهره حسن بیات و الهام حسنی که در فراهم آوردن امکانات لازم برای اجرای این تحقیق نهایت همکاری را به عمل آوردند، قدردانی می‌گردد.

آن‌ها (۸ ژنوتیپ) در گروه ABC جای گرفتند که نسبت به جدایه‌های TKTTF مناطق گرگان و بروجرد سال ۱۳۹۳ و جدایه TTTTF منطقه گرگان سال ۱۳۹۴ مقاوم بودند، دوازده درصد ژنوتیپ‌ها (۷ ژنوتیپ) با قرار گرفتن در گروه ACD نسبت به جدایه‌های TKTTF مناطق گرگان و بروجرد سال ۱۳۹۳ و جدایه TTTTF منطقه بروجرد سال ۱۳۹۴ مقاوم بودند و دو درصد ژنوتیپ‌ها (یک ژنوتیپ) در گروه BCD قرار گرفتند که نسبت به جدایه‌های TTTTF مناطق گرگان و بروجرد سال ۱۳۹۴ و جدایه TKTTF منطقه بروجرد سال ۱۳۹۳ مقاوم بودند. ردیابی احتمالی ژن‌های مقاومت در ژنوتیپ‌های با مقاومت اختصاص به نژاد به دلیل کم بودن نژادها و تنوع در آن‌ها میسر نیست. در همه ژنوتیپ‌های سینتتیک مورد مطالعه حتی ژنوتیپ‌های حساس در مرحله گیاهچه‌ای این احتمال وجود دارد که ژن‌های مقاومت موثر در مرحله گیاه کامل در این ژنوتیپ‌ها وجود داشته باشند. مهرایی و همکاران (۱۰)، نیز با در نظر گرفتن تنوع بالا در ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم و یافتن منابع مقاومت نسبت به بیماری لکه برگ سیپوریایی با ارزیابی مقاومت ۱۲۸ ژنوتیپ سینتتیک گندم نسبت به ۱۱ جدایه عامل بیماری لکه برگ سیپوریایی مشاهده نمودند که هر چند منابع مقاومت به این بیماری در ژنوتیپ‌های مختلف گندم در سراسر جهان بسیار کمتر از منابع مقاومت به زنگ‌ها می‌باشد، با این وجود از ۱۴۰۸ واکنش بین ژنوتیپ‌های سینتتیک و جدایه‌های عامل این بیماری، ۳۰۴ واکنش مقاومت اختصاص به جدایه ثبت گردید.

جدول ۴- واکنش ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم نسبت به جدایه‌های *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*

Table 4. Reaction of synthetic wheat genotypes to *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* isolates

| واکنش    | شماره کلکسیون | ردیف  | واکنش    | شماره کلکسیون | ردیف  | واکنش    | شماره کلکسیون | ردیف  |
|----------|---------------|-------|----------|---------------|-------|----------|---------------|-------|
| Reaction | Collection    | Entry | Reaction | Collection    | Entry | Reaction | Collection    | Entry |
| L        | 22891         | 81    | C        | 22843         | 41    | H        | 22797         | 1     |
| AC       | 22893         | 82    | H        | 22844         | 42    | H        | 22798         | 2     |
| ABC      | 22894         | 83    | C        | 22845         | 43    | H        | 22799         | 3     |
| L        | 22895         | 84    | H        | 22846         | 44    | AC       | 22800         | 4     |
| H        | 22896         | 85    | H        | 22847         | 45    | H        | 22801         | 5     |
| H        | 22899         | 86    | AC       | 22849         | 46    | H        | 22802         | 6     |
| AC       | 22900         | 87    | L        | 22850         | 47    | H        | 22803         | 7     |
| L        | 22901         | 88    | H        | 22851         | 48    | H        | 22805         | 8     |
| L        | 22902         | 89    | H        | 22852         | 49    | H        | 22808         | 9     |
| L        | 22903         | 90    | H        | 22853         | 50    | AC       | 22809         | 10    |
| H        | 22904         | 91    | H        | 22855         | 51    | H        | 22811         | 11    |
| AC       | 22905         | 92    | H        | 22856         | 52    | H        | 22812         | 12    |
| L        | 22906         | 93    | L        | 22857         | 53    | H        | 22813         | 13    |
| L        | 22907         | 94    | H        | 22858         | 54    | H        | 22815         | 14    |
| H        | 22908         | 95    | H        | 22860B        | 55    | H        | 22816         | 15    |
| H        | 22909         | 96    | ABC      | 22861A        | 56    | H        | 22817         | 16    |
| H        | 22910         | 97    | AC       | 22861B        | 57    | ABC      | 22818         | 17    |
| ACD      | 22911         | 98    | L        | 22862         | 58    | H        | 22819         | 18    |
| H        | 22912         | 99    | L        | 22863         | 59    | H        | 22820         | 19    |
| H        | 22913         | 100   | L        | 22864         | 60    | H        | 22821         | 20    |
| L        | 22914         | 101   | L        | 22865         | 61    | H        | 22822         | 21    |
| L        | 22915         | 102   | L        | 22866         | 62    | ABC      | 22823         | 22    |
| L        | 22916         | 103   | H        | 22869         | 63    | H        | 22824         | 23    |
| L        | 22917         | 104   | C        | 22870         | 64    | A        | 22825         | 24    |
| L        | 22918         | 105   | H        | 22871         | 65    | H        | 22826         | 25    |
| H        | 22919         | 106   | H        | 22873         | 66    | H        | 22827         | 26    |
| H        | 22920         | 107   | ACD      | 22874         | 67    | H        | 22828         | 27    |
| H        | 22921         | 108   | H        | 22875         | 68    | H        | 22829         | 28    |
| H        | 22922         | 109   | L        | 22876         | 69    | H        | 22830         | 29    |
| H        | 22923         | 110   | H        | 22877         | 70    | H        | 22831         | 30    |
| H        | 22924         | 111   | L        | 22878         | 71    | H        | 22832         | 31    |
| H        | 22925         | 112   | H        | 22879         | 72    | H        | 22833         | 32    |
| AC       | 22926         | 113   | H        | 22881         | 73    | A        | 22834         | 33    |
| H        | 22927         | 114   | AC       | 22882         | 74    | AC       | 22835         | 34    |
| L        | 22928         | 115   | H        | 22884         | 75    | H        | 22836         | 35    |
| L        | 22929         | 116   | H        | 22885         | 76    | H        | 22837         | 36    |
| H        | 22930         | 117   | H        | 22886         | 77    | H        | 22838         | 37    |
| H        | 22931         | 118   | H        | 22887         | 78    | H        | 22839         | 38    |
| H        | 22932         | 119   | L        | 22888         | 79    | H        | 22840         | 39    |
| H        | 22933         | 120   | AC       | 22889         | 80    | L        | 22842         | 40    |

H: ژنوتیپ در برابر همه‌ی جدایه‌های مورد استفاده حساسیت دارد

L: ژنوتیپ در برابر همه‌ی جدایه‌های مورد استفاده مقاومت دارد

A: ژنوتیپ در برابر نژاد TKTTF منطقه‌ی گرگان سال ۱۳۹۳ مقاوم می‌باشد

B: ژنوتیپ در برابر نژاد TTTTF منطقه‌ی گرگان سال ۱۳۹۴ مقاوم می‌باشد

C: ژنوتیپ در برابر نژاد TKTTF منطقه‌ی بروجرد سال ۱۳۹۳ مقاوم می‌باشد

D: ژنوتیپ در برابر نژاد TTTTF منطقه‌ی بروجرد سال ۱۳۹۴ مقاوم می‌باشد

ادامه جدول ۴

Continued Table 4.

| واکنش    | شماره کلکسیون | ردیف  | واکنش    | شماره کلکسیون | ردیف  | واکنش    | شماره کلکسیون | ردیف  |
|----------|---------------|-------|----------|---------------|-------|----------|---------------|-------|
| Reaction | Collection    | Entry | Reaction | Collection    | Entry | Reaction | Collection    | Entry |
| H        | 23026         | 211   | H        | 22982         | 166   | H        | 22934         | 121   |
| L        | 23027         | 212   | H        | 22983         | 167   | H        | 22935         | 122   |
| H        | 23028         | 213   | ACD      | 22984         | 168   | L        | 22936         | 123   |
| AC       | 23029         | 214   | H        | 22985         | 169   | L        | 22937         | 124   |
| H        | 23030         | 215   | H        | 22986         | 170   | L        | 22938         | 125   |
| L        | 23031         | 216   | H        | 22987         | 171   | H        | 22939         | 126   |
| H        | 23032         | 217   | H        | 22988A        | 172   | H        | 22940         | 127   |
| L        | 23033         | 218   | L        | 22988B        | 173   | H        | 22941         | 128   |
| H        | 23034         | 219   | H        | 22989         | 174   | H        | 22942         | 129   |
| L        | 23035         | 220   | AC       | 22990         | 175   | ABC      | 22943         | 130   |
| AC       | 23036         | 221   | L        | 22991         | 176   | H        | 22944         | 131   |
| H        | 23037         | 222   | H        | 22992         | 177   | L        | 22945         | 132   |
| L        | 23038         | 223   | AC       | 22993         | 178   | H        | 22948         | 133   |
| H        | 23039         | 224   | H        | 22994         | 179   | H        | 22949         | 134   |
| H        | 23040         | 225   | H        | 22995         | 180   | H        | 22950         | 135   |
| H        | 23041         | 226   | H        | 22996         | 181   | H        | 22951         | 136   |
| H        | 23042         | 227   | AC       | 22997         | 182   | H        | 22952         | 137   |
| H        | 23043         | 228   | H        | 22998         | 183   | H        | 22953         | 138   |
| H        | 23044         | 229   | H        | 22999         | 184   | H        | 22954         | 139   |
| L        | 23045         | 230   | L        | 23000         | 185   | H        | 22955         | 140   |
| H        | 23046         | 231   | L        | 23001         | 186   | H        | 22956         | 141   |
| H        | 23047         | 232   | L        | 23002         | 187   | L        | 22957         | 142   |
| H        | 23048         | 233   | H        | 23003         | 188   | H        | 22958         | 143   |
| H        | 23049         | 234   | H        | 23004         | 189   | L        | 22959         | 144   |
| H        | 23050         | 235   | H        | 23005         | 190   | AC       | 22960         | 145   |
| H        | 23051         | 236   | L        | 23006         | 191   | H        | 22961         | 146   |
| L        | 23052         | 237   | AC       | 23007         | 192   | AC       | 22962         | 147   |
| H        | 23053         | 238   | L        | 23008         | 193   | L        | 22963         | 148   |
| H        | 23054         | 239   | ACD      | 23009         | 194   | H        | 22965         | 149   |
| H        | 23055         | 240   | L        | 23010         | 195   | ACD      | 22966         | 150   |
| H        | 23056         | 241   | ACD      | 23011         | 196   | ABC      | 22967         | 151   |
| H        | 23057         | 242   | H        | 23012         | 197   | AC       | 22968         | 152   |
| AC       | 23058         | 243   | AC       | 23013         | 198   | H        | 22969         | 153   |
| H        | 23059         | 244   | ABC      | 23014         | 199   | H        | 22970         | 154   |
| H        | 23060         | 245   | AC       | 23015         | 200   | H        | 22971         | 155   |
| H        | 23061         | 246   | L        | 23016         | 201   | H        | 22972         | 156   |
| H        | 23062         | 247   | AC       | 23017         | 202   | H        | 22973         | 157   |
| H        | 23063         | 248   | H        | 23018         | 203   | H        | 22974         | 158   |
| L        | 23064         | 249   | H        | 23019         | 204   | H        | 22975         | 159   |
| L        | 23065         | 250   | AC       | 23020         | 205   | AC       | 22976         | 160   |
| AC       | 23066         | 251   | L        | 23021         | 206   | AC       | 22977         | 161   |
| H        | 23068         | 252   | H        | 23022         | 207   | H        | 22978         | 162   |
| H        | 23069         | 253   | H        | 23023         | 208   | H        | 22979         | 163   |
| L        | 23070         | 254   | H        | 23024         | 209   | L        | 22980         | 164   |
| H        | 23071         | 255   | H        | 23025         | 210   | AC       | 22981         | 165   |
| H        | 23148         | 320   | H        | 23107         | 288   | L        | 23072         | 256   |
| H        | 23150         | 321   | H        | 23108         | 289   | L        | 23073         | 257   |
| H        | 23151         | 322   | L        | 23109         | 290   | L        | 23074         | 258   |
| H        | 23152         | 323   | L        | 23111         | 291   | L        | 23075         | 259   |
| H        | 23154         | 324   | H        | 23112         | 292   | L        | 23076         | 260   |
| H        | 23155         | 325   | AC       | 23115         | 293   | H        | 23077         | 261   |
| H        | 23156         | 326   | L        | 23116         | 294   | H        | 23078         | 262   |
| H        | 23161         | 327   | L        | 23117         | 295   | L        | 23079         | 263   |
| H        | 23163         | 328   | H        | 23118         | 296   | L        | 23080         | 264   |
| H        | 23165         | 329   | L        | 23119         | 297   | L        | 23081         | 265   |
| AC       | 23166         | 330   | H        | 23120         | 298   | H        | 23082         | 266   |
| ABC      | 23167         | 331   | L        | 23121         | 299   | H        | 23083         | 267   |
| H        | 23168         | 332   | H        | 23122         | 300   | H        | 23084         | 268   |
| H        | 23169         | 333   | AC       | 23123         | 301   | L        | 23085         | 269   |
| L        | 23170         | 334   | H        | 23125         | 302   | H        | 23086         | 270   |
| H        | 23171         | 335   | H        | 23126         | 303   | H        | 23087         | 271   |
| AC       | 23173         | 336   | L        | 23128         | 304   | H        | 23088         | 272   |
| AC       | 23174         | 337   | H        | 23129         | 305   | L        | 23089         | 273   |
| H        | 23176         | 338   | H        | 23130         | 306   | H        | 23090         | 274   |
| H        | 23177         | 339   | H        | 23131         | 307   | H        | 23091         | 275   |
| H        | 23178         | 340   | H        | 23132         | 308   | H        | 23093         | 276   |
| L        | 23179         | 341   | H        | 23133         | 309   | BCD      | 23094         | 277   |
| H        | 23180         | 342   | L        | 23136         | 310   | L        | 23095         | 278   |
| ACD      | 23182         | 343   | H        | 23138         | 311   | L        | 23096         | 279   |
| H        | 23184         | 344   | H        | 23139         | 312   | H        | 23097         | 280   |
| H        | 23185         | 345   | H        | 23140         | 313   | H        | 23099         | 281   |
| L        | 23186         | 346   | H        | 23141         | 314   | L        | 23100         | 282   |
| H        | Morocco       | 347   | H        | 23142         | 315   | H        | 23101         | 283   |
| H        | McNair 701    | 348   | H        | 23143         | 316   | L        | 23102         | 284   |
|          |               |       | H        | 23145         | 317   | AC       | 23103         | 285   |
|          |               |       | L        | 23146         | 318   | H        | 23104         | 286   |
|          |               |       | AC       | 23147         | 319   | H        | 23105         | 287   |

L: ژنوتیپ در برابر همه‌ی جدایه‌های مورد استفاده مقاومت دارد

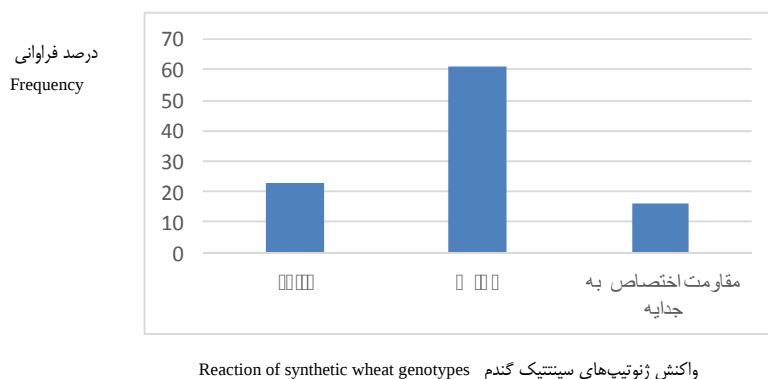
B: ژنوتیپ در برابر نژاد TTTTF منطقه‌ی گرگان سال ۱۳۹۴ مقاوم می‌باشد

D: ژنوتیپ در برابر نژاد TTTTF منطقه‌ی بروجرد سال ۱۳۹۴ مقاوم می‌باشد

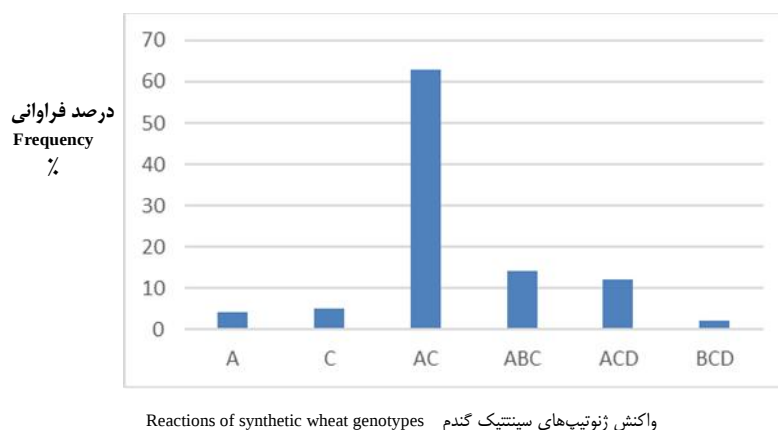
L: ژنوتیپ در برابر همه‌ی جدایه‌های مورد استفاده مقاومت دارد

A: ژنوتیپ در برابر نژاد TKTTF منطقه‌ی گرگان سال ۱۳۹۳ مقاوم می‌باشد

C: ژنوتیپ در برابر نژاد TKTTF منطقه‌ی بروجرد سال ۱۳۹۳ مقاوم می‌باشد



شکل ۲- درصد فراوانی واکنش‌های مختلف ژنوتیپ‌های سینتیک گندم نسبت به همه‌ی جدایه‌های *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*  
Figure 2. Frequency of different reactions of synthetic wheat genotypes to all *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* isolates



شکل ۳- فراوانی واکنش‌های مختلف مقاومت اختصاص به جدایه در ژنوتیپ‌های سینتیک گندم نسبت به جدایه‌های *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*  
Figure 3. Frequency of isolate specific resistance reactions in synthetic wheat genotypes to *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* isolates

## منابع

1. Afshari, F. 2013. Genetics of pathogenicity of wheat stem rust pathogen (*Puccinia graminis* f.sp. *tritici*) and reaction of wheat genotypes to the disease. Iranian journal of plant protection science, 43: 357-365.
2. Anonymous. 2016. FAOSTAT, Food and Agriculture Organization. Available at <http://www.fao.org>.
3. Anonymous. 2014. Wheat: Vital grain of civilization and food security, 2013 Annual Report, CGIAR Research Program on Wheat. Mexico, D.F.
4. Bamdadian, A. and M. Torabi. 1978. Epidemiology of wheat stem rust in southern areas of Iran in 1976. Iranian Journal of Plant Pathology, 14: 14-19 (In Persian).
5. Chen, X.M. 2005. Epidemiology and control of strip rust (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*) on wheat. Plant pathology, 27: 314-337.
6. German, S.E., A. Barcellos, M. Chaves, M. Kohli, P. Campos and D. Viedma. 2007. The situation of common wheat rusts in the Southern Cone of America and perspectives for control. Australian Journal of Agricultural Research, 58: 620-630.
7. Khodarahmi, M., S.A. Mohammadi, M.R. Bihamta, E. Majidi Heravan and M.R. Jalal Kamali. 2014. Inheritance and combining ability of yellow rust resistance in some bread wheat commercial cultivars and advanced lines. Seed and Plant Improvement Journal, 30: 531-544 (In Persian).
8. Kolmer, J.A. 2001. Early research on the genetics of *Puccinia graminis* stem rust resistance in wheat in Canada and the United States. In: Stem Rust of Wheat: From Ancient Enemy to Modern Foe. Peterson, P.D. (ed.) American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN, 51-82 pp.

9. Ma, H., R.P. Singh and A. Mujeeb-Kazi. 1995. Resistance to stripe rust in *Triticum turgidum*, *T. tauschii* and their synthetic hexaploids. *Euphytica*, 82: 117-124.
10. Mehrabi, R., S. Kamali, E. Majidi and M. Khodarahmi. 2014. Evaluation of CIMMYT synthetic hexaploid wheats for resistance to *septoria tritici blotch*. *Crop Breeding Journal*, 4: 23-33.
11. Mohammadi, M., D. Torkamaneh and M. Patpour. 2013. Seedling stage resistance of Iranian bread wheat germplasm to race Ug99 of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. *Plant Disease*, 97: 387-392.
12. Mojerlou, S.H., N. Safaie, A. Abbasi-Moghaddam and M. Shams-Bakhsh. 2013. Evaluation of some Iranian wheat landraces resistance against stem rust disease at seedling stage in the greenhouse. *Plant Protection Journal*, 35: 69-82 (In Persian).
13. Müller, C. and R.D. Robertson. 2014. Projecting future crop productivity for global economic modeling. *Agricultural Economics*, 45: 37-50.
14. Nafula Tenge, B., P.P. Okwiri Ojwang, D. Otaye and P. Njau. 2016. Assessment of advanced Kenyan selected wheat lines for resistance to the prevailing stem rust races (*Puccinia graminis* f.sp. *tritici*) in Kenya. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 8: 94-108.
15. Olivera, P., M. Newcomb, L.J. Szabo, M. Rouse, J. Johnson, S. Gale, D.J. Luster, D. Hodson, G.A. Cox, L. Burgin, M. Hort, C.A. Gilligan, M. Patpour, A.F. Justesen, M.S. Hovmoller, G. Woldeab, E. Hailu, B. Hundie, K. Tadesse, M. Pumphrey, R.P. Singh and Y. Jin. 2015. Phenotypic and genotypic characterization of race TKTF of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* that caused a wheat stem rust epidemic in southern Ethiopia in 2013–14. *Plant Disease*, 150: 917-928.
16. Omrani, A., M. Khodarahmi and F. Afshari. 2014. Reaction of some wheat cultivars and breeding lines to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* hot races in Iran. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 47: 1136-1145.
17. Park, R.L. 2007. Stem rust of wheat in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58: 558-566.
18. Patpour, M., K. Nazari, F. Ogbonnaya, S.M. Alavi and A. Mousavi. 2014. Detection of resistance sources to Iranian prevalent stem rust races in commercial wheat cultivars. *Seed and Plant Improvement Journal*, 30: 133-154 (In Persian).
19. Pretorius, Z.A., K.W. Pakendorf, G.F. Marais, R. Prins and J.S. Komen. 2007. Challenges for sustainable control of cereal rust diseases in South Africa. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58: 593-601.
20. Roelfs, A.P. 1978. Estimated losses caused by rust in small grain cereals in the United States Miscellaneous Publication No.1363, United States Department of Agriculture, Washington DC., USA, 19: 18-76.
21. Roelfs, A.P., R.P. Singh and E.E. Saari. 1992. Rust Disease of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management. CIMMIT, Mexico, 81 pp.
22. Rouse, M.N., J. Nirmala, Y. Jin, S. Chao, T.G. Fetch, Z.A. Pretorius and C.W. Hiebert. 2014. Characterization of *Sr9h*, a wheat stem rust resistance allele effective to Ug99. *Theoretical and Applied Genetics*, 127: 1681-1688.
23. Sharif, G.H., A. Bamdadian and B. Daneshpajoh. 1970. Physiological races of wheat stem rust in Iran (1965-1970). *Journal of Applied Entomology and Phytopathology*, 6: 73-100 (In Persian).
24. Singh, R.P., D.P. Hodson, Y. Jin, E.S. Lagudah, M.A. Ayliffe, S. Bhavani, M.N. Rouse, Z.A. Pretorius, L.J. Szabo, J. Huerta-Espino, B.R. Basnet, C. Lan and M.S. Hovmøller. 2015. Emergence and spread of new races of wheat stem rust fungus: Continued threat to food security and prospects of genetic control. *Phytopathology*, 105: 872-884.
25. Singh, R.P., D.P. Hodson, J. Huerta-Espino, Y. Jin, S. Bhavani, P. Njau, S. Herrera-Foessel, P.K. Singh, S. Singh and V. Govindan. 2011. The emergence of Ug99 races of the stem rust fungus is a threat to world wheat production. *Annual Review of Phytopathology*, 49: 465-481.
26. Stakman, E.C., D.M. Stewart and W.Q. Loegering. 1962. Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. U.S. Government Printing Office, Washington, DC., USA, 617 pp.
27. Szabo, L.J., A. Christina and R. Park. 2014. *Puccinia graminis*. In: Dean, R.A. et al. (eds.) *Genomics of Plant-Associated Fungi: Monocot Pathogens*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, outside the USA, pp: 177-196.
28. Wanyera, R., M.G. Kinyua, Y. Jin and R.P. Singh. 2006. The spread of stem rust caused by *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, with virulence on *Sr31* in wheat in Eastern Africa. *Plant Disease*, 90: 113-125.
29. Wairimu Gitonga, H., P.P. Okwiri Ojwang, G. Kamau Macharia and P. Njoroge Njau. 2016. Evaluation of advanced bread wheat genotypes for resistance to stem rust and yield stability. *African Journal of Plant Science*, 10: 111-120.
30. Zadoks, J.C., T.T. Chang and C.F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14: 415-21.

## Virulence Factors of Wheat Stem Rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) Isolates and Identification of Resistance Sources in CIMMYT Wheat Synthetic Genotypes

Ali Omrani<sup>1</sup>, Saeid Aharizad<sup>2</sup>, Ramin Roohparvar<sup>3</sup>, Manoochehr Khodarahmi<sup>3</sup> and Mahmoud Toorchi<sup>4</sup>

1 and 4 - Ph.D. Student of Plant Breeding and Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz

2- Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, (Corresponding Author: s.aharizad@yahoo.com)

3- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received: February 5, 2017

Accepted: November 18, 2017

### Abstract

Wheat stem rust caused by *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* (*Pgt*) is one of the most important diseases of wheat, worldwide. New sources of resistance to stem rust could be found in synthetic hexaploid wheat (SHW) genotypes due to their high genetic diversity. In order to recognize the genetic structure of the population of the stem rust, following race analysis of 12 *Pgt* isolates, resistance of 348 SHW genotypes were evaluated using the infection type on a scale of 0 to 4 ratio to the four selected isolates from Gorgan and Broujerd (in 2014 and 2015) at seedling stage using randomized complete block design with two replications. Based on the reactions of differential wheat genotypes, the *Pgt* races TKTTF and TTTTF were identified among all isolates displaying virulence on the stem rust resistance genes *Sr5*, *Sr6*, *Sr7a*, *Sr7b*, *Sr8a*, *Sr8b*, *Sr9a*, *Sr9b*, *Sr9d*, *Sr9e*, *Sr9g*, *Sr10*, *Sr12*, *Sr14*, *Sr15*, *Sr16*, *Sr17*, *Sr18*, *Sr19*, *Sr20*, *Sr21*, *Sr22*, *Sr23*, *Sr28*, *Sr30*, *Sr34*, *Sr36*, *Sr37*, *Sr38*, *SrTmp* and *SrMcN*. Combined analysis of variance showed statistical significance between SHW genotypes in seedling stage in terms of their reaction to *Pgt* isolates. Furthermore, the significant isolate × genotype interaction suggests isolate-specific resistance in some genotypes which displays resistance to at least one *Pgt* isolate. Isolate-specific resistance was observed in 16% of genotypes, whereas 61 and 23% of the SHWs (such as lines 22842, 22857, 22862, 22863, 22864) were susceptible (infection type of 3-4) and resistant (infection type of 0-2) to all four *Pgt* isolates, respectively. Results of this research as the first report of SHWs resistant to prevalent Iranian stem rust races could be exploited in breeding programs using identified resistant genotypes which carry seedling resistance genes.

**Keywords:** Infection type, Isolate, Isolate-specific resistance, *Puccinia graminis* f. sp. *Tritici*, Race analysis