

ارزیابی مقاومت برخی ارقام گندم نان بهاره ایران نسبت به بیماری زنگ سیاه در مرحله گیاهچه

Evaluation of Resistance of Some Iranian Spring Bread Wheat Cultivars to Stem Rust Disease at Seedling Stage

علی صارمی‌راد^۱، محمدرضا بی‌همتا^۲، علی ملیحی‌پور^۳، خداداد مصطفوی^۴
و هادی علی‌پور^۵

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج و باشگاه پژوهشگران و نخبگان جوان، کرج، ایران.
- ۲- استاد، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ۳- استادیار، مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران.
- ۵- استادیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۷

چکیده

صارمی‌راد، ع.، بی‌همتا، م. ر.، ملیحی‌پور، مصطفوی، خ. و علی‌پور، ه. ۱۳۹۹. ارزیابی مقاومت برخی ارقام گندم نان بهاره ایران نسبت به بیماری زنگ سیاه در مرحله گیاهچه. *مجله نهال و بذر* ۳۶: ۴۰۱-۳۸۳.

مقاومت ۵۸ رقم گندم نان بهاره نسبت به بیماری زنگ سیاه ناشی از قارچ *Puccinia graminis f. sp. tritici* در مرحله گیاهچه در سال ۱۳۹۸ در گلخانه‌های تحقیقاتی بخش تحقیقات باغلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور از چهار نژاد TTKTK، PTRTF، TTTTF و TKTF که در سال‌های اخیر از نژادهای غالب قارچ عامل بیماری زنگ سیاه گندم در ایران شناسایی شده‌اند، استفاده شد. بر اساس واکنش ارقام گندم مورد ارزیابی رقمی که در برابر تمامی نژادها دارای واکنش مقاومت باشد، مشاهده نشد و تنها سه رقم عدل، دز و افق هر یک در برابر سه نژاد مختلف از چهار نژاد مورد استفاده مقاومت نشان دادند. نتایج نشان داد که ۱۲ رقم در برابر دو نژاد TTKTK و TTTTF، ۱۰ رقم در برابر نژاد PTRTF و هفت رقم در برابر نژاد TKTF دارای واکنش مقاومت در مقیاس "0" تا "2+" بودند. تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) ارقام مورد مطالعه را در پنج گروه مختلف: مقاوم، نیمه مقاوم، متوسط، نیمه حساس و حساس برای هر یک از نژادها طبقه‌بندی کرد. بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، ارقام سیوند، پیشناز، عدل، نیک‌نژاد و افق نسبت به دو نژاد TTTTF و PTRTF و رقم کاوه نسبت به دو نژاد TTKTK و TKTF مقاومت نشان دادند. مقاومت مشاهده شده در این ارقام ممکن است ناشی از ژن‌های (های) شناسایی نشده یا ترکیبات ژنی باشد که توسط نژادهای زنگ سیاه مورد استفاده بی‌اثر نشده‌اند. اطلاعات ارائه شده در خصوص واکنش ارقام گندم بهاره در مرحله گیاهچه می‌تواند برای به‌نژادگران گندم در راستای بهبود ژرم‌پلاسم گندم نسبت به بیماری زنگ سیاه مفید باشد. بدیهی است که ارزیابی واکنش ارقام گندم نان به نژادهای عامل بیماری زنگ سیاه در مرحله گیاه کامل نیز بایستی مد نظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: گندم نان بهاره، ارقام تجاری، *Puccinia graminis f. sp. tritici*، نژاد، ژن‌های مقاومت.

مقدمه

گندم یکی از محصولات غذایی اساسی است که تقریباً ۲۰ درصد از کالری دریافتی انسان را تأمین می‌کند (Pfeifer et al., 2014). با توجه به شاخص‌های رشدی جمعیت جهان، به‌منظور تأمین نیاز تغذیه‌ای جمعیت بشری تا سال ۲۰۵۰ میلادی، مطابق پیش‌بینی‌ها، عملکرد دانه غلات باید به میزان ۵۰ درصد افزایش یابد (Godfray et al., 2010). این در حالی است که برخی عوامل، تولید و افزایش عملکرد دانه را در غلات به‌خصوص گندم به چالش می‌کشند و سبب افت محصول می‌شوند. این عوامل به دو دسته تنش‌های زیستی و غیر زیستی تقسیم می‌شوند. بیماری‌ها و آفات از جمله تنش‌های زیستی بسیار مهم هستند که سالانه حدود ۲۰ درصد عملکرد جهانی گندم را کاهش می‌دهند (Oerke, 2006).

قارچ *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* عامل بیماری زنگ سیاه یا زنگ ساقه گندم است که باعث کاهش عملکرد و کیفیت نهایی محصول می‌شود. پتانسیل خسارت این بیماری در جهان سالانه تا ۱/۱۲ میلیارد دلار برآورد شده است (Pardey et al., 2013). در واقع زنگ سیاه به‌عنوان یک تهدید بسیار جدی در مناطق عمده کشت گندم در سراسر جهان مطرح است. این بیماری که معمولاً تحت شرایط مرطوب و درجه حرارت‌های بالا در بازه ۱۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد توسعه پیدا می‌کند، خسارت‌زاترین بیماری زنگ در میان زنگ‌های

گندم است، به‌طوری‌که میزان خسارت ناشی از آن ممکن است تا نابودی کامل مزارع گندم در سطح وسیع نیز برسد (Roelfs et al., 1992; Singh et al., 2015).

قارچ عامل بیماری زنگ سیاه جزو زنگ‌های بلند چرخه (Macrocytic) است که مراحل پیکنیومی (Pycnium) و ایسیدیومی (Aecium) آن روی میزبان واسط (Alternative host) گونه‌های زرشک (*Berberis* [Barberry vulgaris L.] و مراحل اوریدیومی (Uredium) و تلیومی (Telium) آن روی گندم، جو، تریتیکاله و چند گونه نزدیک دیگر شکل می‌گیرد (Roelfs et al., 1992). قارچ عامل بیماری به دلیل داشتن میزبان واسط، از سازگار نوترکیبی جنسی برخوردار است و از این طریق سبب ایجاد نژادهای جدید بیماری می‌شود. تکامل نژاد بیماری‌زای جدید از طریق مهاجرت، جهش و فشار گزینشی در قارچ عامل بیماری نیز از عوامل ایجاد نژاد(های) جدید با قدرت بیماری‌زایی (Virulence) متفاوت به‌شمار می‌رود (Kolmer, 1996; Singh et al., 2008). بیماری زنگ سیاه در طول قرن گذشته یکی از مهم‌ترین بیماری‌های گندم بوده و همه‌گیری بزرگی از آن در بسیاری از کشورهای تولیدکننده گندم روی داده است (Esfandiari, 1947; Roelfs and Bushnell, 1985; Joshi et al., 1986; Leonard and Szabo, 2005; Hodson, 2011). در ایران، اولین گزارش در ارتباط با بیماری زنگ سیاه

این نژاد در شمال آفریقا، خاورمیانه و آسیا (به‌استثنای چین) به مساحت حدود ۵۰ میلیون هکتار گندم است، یعنی تقریباً ۲۵ درصد از کل سطح زیر کشت گندم در جهان که ۱۹ درصد تولید جهانی گندم را تشکیل می‌دهد (Reynolds and Borlaug, 2006). نژاد Ug99 در سال ۱۳۸۶ در ایران مشاهده و در سال ۱۳۸۸ وجود آن رسماً گزارش گردید (Nazari et al., 2009).

به‌منظور کنترل و مدیریت بیماری زنگ سیاه دو راهکار اساسی وجود دارد که شامل استفاده از قارچ کش ها و استفاده از ارقام مقاوم می‌باشد. استفاده از قارچ کش‌ها به دلیل هزینه بالا، عدم دسترسی همیشگی، خطر ایجاد مقاومت قارچ عامل بیماری‌زا در برابر آن و احتمال آلودگی محیط‌زیست ممکن است به شکل مستمر عملی نباشد، اما استفاده از ارقام مقاوم راهکاری مؤثر و اقتصادی جهت کنترل و مدیریت بیماری به‌شمار می‌رود (Oliver, 2014; Singh et al., 2016). در این رابطه، آگاهی از میزان تنوع ژنتیکی موجود در ارقام و لاین‌های گندم به‌منظور انتخاب دقیق ژنوتیپ‌های حاوی ژن‌های مقاومت اهمیت فراوانی دارد. دستیابی به این مهم تنها با داشتن دانش کافی در زمینه ژنتیک جمعیت عامل بیماری و شناسایی ژن‌های مقاومت مؤثر در ارقام و لاین‌های گندم اصلاح‌شده میسر می‌شود.

این پژوهش با هدف بررسی و تعیین میزان مقاومت و حساسیت ارقام گندم نان بهاره ایران در مرحله گیاهچه نسبت به چهار نژاد غالب

مربوط به سال ۱۳۱۸ می‌باشد. پس از آن وقوع چندین همه‌گیری از بیماری در مناطق عمده کشت گندم به‌ویژه در نواحی جنوبی و مناطق گرم و مرطوب شمال کشور گزارش شده است (Sharif et al., 1970; Bamdadian and Torabi, 1978). در همه‌گیری سال ۱۳۵۵ در مناطق جنوب و جنوب شرقی که به دنبال مساعد شدن شرایط اقلیمی جهت ظهور و توسعه زنگ سیاه پدید آمد، کاهش عملکرد تا ۹۰ درصد هم گزارش شد (Bamdadian and Torabi, 1978).

با ظهور نژاد جدیدی از قارچ عامل بیماری به نام نژاد Ug99 در دو دهه پیش، نگرانی‌های زیادی برای تولید گندم در مناطق مختلف جهان به دلیل حساسیت بیشتر ارقام مورد کشت در سراسر جهان (Baraibar et al., 2020) ایجاد شد و این بیماری مجدداً در کانون توجهات قرار گرفته است. این نژاد که برای اولین بار در سال ۱۹۹۹ در کشور آفریقایی اوگاندا شناسایی شد (Pretorius et al., 2000)، روی ژن مقاومت *Sr31* که به همراه چند ژن مقاوم دیگر برای بیش از ۴۰ سال مقاومت گندم در برابر این بیماری را حفظ کرده بود، بیماری‌زایی داشت. این نژاد از قارچ عامل بیماری، علاوه بر بیماری‌زایی روی ژن *Sr31* روی بسیاری از ژن‌های مقاومت موجود در ژرم‌پلاسما گندم مرکز بین‌المللی تحقیقات ذرت و گندم (CIMMYT)، اروپا، آمریکای شمالی و استرالیا نیز بیماری‌زایی دارد (Reynolds and Borlaug, 2006, Jin et al., 2007). منطقه تهدید فوری در مسیر پیشروی

بیماری های غلات بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر نگهداری می شوند، در جدول ۱ آورده شده است. طی چند سال اخیر، این نژادها به عنوان نژادهای شایع بیماری زنگ سیاه در کشور بوده اند و به صورت متداول در گلخانه های واحد بیماری های غلات جهت ارزیابی مرحله گیاهچه ای لاین های به نژادی گندم نان مورد استفاده قرار می گیرند.

قارچ عامل بیماری زنگ سیاه شناخته شده در کشور انجام شد.

مواد و روش ها

نژادهای قارچ عامل بیماری

مشخصات جدایه های قارچ *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* (Pgt) مورد استفاده در این پژوهش که در سال های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ از مناطق مختلف کشور جمع آوری شد و پس از شناسایی در واحد

جدول ۱- مشخصات نژادهای قارچ عامل بیماری زنگ سیاه مورد استفاده جهت ارزیابی ارقام گندم نان بهاره

Table 1. Detailed description of the *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* races used for evaluation of spring bread wheat cultivars

| جدایه Isolate | مکان Location | نژاد Race | ژن های مقاومت به زنگ سیاه Stem rust (Sr) resistance genes | |
|------------------|---------------------------------|--------------|---|---|
| | | | غیر مؤثر Ineffective | مؤثر Effective |
| 94-8 | Boroujerd, Lorestan, Iran | TTTTF | <i>Sr5, Sr6, Sr7a, Sr7b, Sr8a, Sr8b, Sr9a, Sr9b, Sr9d, Sr9e, Sr9g, Sr10, Sr11, Sr12, Sr13, Sr14, Sr15, Sr16, Sr17, Sr18, Sr19, Sr20, Sr21, Sr22, Sr23, Sr25, Sr28, Sr29, Sr30, Sr34, Sr35, Sr36, Sr37, Sr38, Sr40, SrTmp, and SrMcN</i> | <i>Sr24, Sr26, Sr27, Sr31, Sr33, and Sr39</i> |
| 94-15 | Kelardasht, Mazandaran, Iran | PTRTF | <i>Sr5, Sr6, Sr7b, Sr8a, Sr8b, Sr9a, Sr9b, Sr9d, Sr9e, Sr9g, Sr10, Sr11, Sr12, Sr13, Sr14, Sr15, Sr16, Sr17, Sr18, Sr19, Sr20, Sr25, Sr27, Sr28, Sr29, Sr34, Sr35, Sr36, Sr37, Sr38, Sr39, SrTmp, and SrMcN</i> | <i>Sr7a, Sr21, Sr22, Sr23, Sr24, Sr26, Sr30, Sr31, Sr32, Sr33, and Sr40</i> |
| 95-2 | Shavour, Khuzestan, Iran | TKTK | <i>Sr5, Sr6, Sr7a, Sr7b, Sr8a, Sr8b, Sr9a, Sr9b, Sr9d, Sr9e, Sr9g, Sr10, Sr11, Sr12, Sr14, Sr15, Sr16, Sr17, Sr18, Sr19, Sr20, Sr21, Sr23, Sr28, Sr29, Sr30, Sr31, Sr33, Sr34, Sr37, Sr38, SrTmp, and SrMcN</i> | <i>Sr13, Sr22, Sr24, Sr25, Sr26, Sr27, Sr32, Sr35, Sr36, Sr39, and Sr40</i> |
| 95-31 | Kelardasht, Mazandaran, Iran | TKTTF | <i>Sr5, Sr6, Sr7a, Sr7b, Sr8a, Sr8b, Sr9a, Sr9b, Sr9d, Sr9e, Sr9g, Sr10, Sr11, Sr12, Sr14, Sr15, Sr16, Sr17, Sr18, Sr19, Sr20, Sr21, Sr23, Sr28, Sr29, Sr30, Sr34, Sr35, Sr36, Sr37, Sr38, SrTmp, and SrMcN</i> | <i>Sr22, Sr24, Sr25, Sr26, Sr27, Sr31, Sr32, Sr33, Sr39, and Sr40</i> |

حساس موراکو (Morocco) و مکنیر (McNair) بودند که از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج) تهیه شدند. نام و خصوصیات این ارقام در جدول ۲ ارائه شده است.

مواد گیاهی

مواد گیاهی مورد استفاده در این پژوهش شامل ۵۸ رقم تجاری گندم نان بهاره از ارقام قدیم و جدید ایران (معرفی شده از سال ۱۳۲۱ تا ۱۳۹۱) به همراه دو رقم شاهد

جدول ۲- واکنش ارقام گندم نان بهاره در برابر نژاد های مختلف قارچ عامل بیماری زنگ سیاه در مرحله گیاهچه ای

Table 2. Reaction of spring bread wheat cultivars against different stem rust pathogen races at seedling stage

| Cultivar | رقم | سال آزاد سازی Year of release | Stem rust pathogen races reaction | | | |
|---------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|
| | | | TTTTF | PTRTF | TTKTK | TKTTF |
| Adl-1 | عدل ۱- | 1962 | 1 | 1+ | 2+ | 3+ |
| Aflak | افلاک | 2010 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| Neishabour (Akbari) | نیشابور (اکبری) | 2006 | 3+ | 3 | 4 | 4 |
| Alborz | البرز | 1978 | 2+ | 2+ | 3 | 4 |
| Arta | آرتا | 2006 | 2+ | 4 | 3+ | 4 |
| Arvand-1 | اروند-۱ | 1973 | 2+ | 3+ | 3+ | 4 |
| Atrak | اتراک | 1995 | 3 | 2- | 3 | 3+ |
| Bahar | بهار | 2007 | 4 | 4 | 2 | 4 |
| Bam | بم | 2006 | 3+ | 3+ | 3 | 3+ |
| Bayat | بیات | 1976 | 3 | 3+ | ;1 | 3+ |
| Bistoon | بیستون | 1980 | 3+ | 3+ | 3+ | 4 |
| Chamran | چمران | 1997 | 3+ | 3+ | 3 | 4 |
| Chamran-2 | چمران ۲- | 2013 | 4 | 4 | 3+ | 4 |
| Darab-1 | داراب ۱- | 1980 | 3+ | 3+ | 3+ | 3 |
| Darab-2 | داراب ۲- | 1995 | 3+ | 3+ | 2 | 3+ |
| Darya | دریا | 2006 | 3+ | 4 | 3 | 4 |
| Dastjerdi | دستجردی | 1960 | 4 | 4 | 3+ | 3+ |
| Dayhim | دیهیم | 1968 | 3 | 3+ | 3 | 4 |
| Dez | دز | 2002 | 4 | 2+ | 1 | 2+ |
| Falat | فلات | 1990 | 4 | 3+ | 2 | 2+ |
| Gahar | گهر | 1996 | 4 | 3 | 2- | 2+ |
| Golestan | گلستان | 1986 | 4 | 3+ | 3+ | 2+ |
| Hamoon | هامون | 2002 | 4 | 3 | 3+ | 4 |
| Inia 66 | ینیا ۶۶ | 1968 | 3+ | 2+ | 3+ | 3 |
| Karim | کریم | 2011 | 2C | 4 | 3+ | 4 |
| Kaveh | کاوه | 1980 | 3 | 3+ | ; | 1 |
| Kavir | کوبر | 1997 | 4 | 4 | 3 | 3+ |
| Khazar-1 | خزر ۱- | 1973 | 4 | 3+ | 3+ | 4 |
| Kohdasht | کوهدهشت | 2000 | 3+ | 4 | 3 | 4 |
| Mahdavi | مهدوی | 1995 | 4 | 3+ | 4 | 4 |
| Maroon | مارون | 1991 | 4 | 3 | 3+ | 4 |
| Marvdasht | مرودشت | 1999 | 3+ | 3+ | 2- | 3+ |
| Morvarid | مروارید | 2009 | 3 | 3 | 2 | 3+ |
| Moghan-1 | مغان ۱- | 1973 | 4 | 3+ | 3+ | 3 |
| Moghan-2 | مغان ۲- | 1974 | 4 | 4 | 3 | 3+ |
| Moghan-3 | مغان ۳- | 2006 | 3+ | 3+ | 3+ | 3+ |
| Naz | ناز | 1978 | 4 | 4 | 3 | 4 |
| Niknezhad | نیک نژاد | 1995 | 2 | 1 | 3+ | 3+ |
| Ofogh | افق | 2012 | 2 | 2- | 3 | 2+ |
| Panjamo T 62 | پنجامو تی ۶۲ | 1968 | 3+ | 4 | 3+ | 3+ |
| Parsi | پارسی | 2009 | 4 | 4 | 2+ | 4 |
| Pishtaz | پشتاز | 2002 | 1 | 1+ | 3 | 4 |
| Qaboos | قابوس | 2013 | 2 | 3+ | 3+ | 4 |
| Ghods | قدس | 1989 | 4 | 4 | ;1 | 3 |
| Reyhani | ریحانی | 1942 | 4 | 3+ | 3+ | 4 |
| Roshan | روشن | 1958 | 3+ | 3+ | 3 | 3+ |
| Sepahan | سپاهان | 2006 | 3+ | 4 | 4 | 3+ |
| Shanghai | شانگهای | 2002 | 3+ | 3+ | 3 | 3+ |
| Shiraz | شیراز | 2002 | 3 | 3+ | 3 | 4 |
| Shiroudi | شیرودی | 1997 | 3+ | 2+ | 3 | 3+ |
| Sirvan | سیروان | 2011 | 3+ | 3 | 3+ | 4 |
| Sistan | سیستان | 2006 | 2 | 3 | 3+ | 4 |
| Sivand | سیوند | 2009 | 1 | 1 | 3+ | 4 |
| Tajan | تجن | 1995 | 3+ | 3+ | 3+ | 4 |
| Tobari F 66 | توباری اف ۶۶ | 1969 | 2+ | 3 | 4 | 4 |
| Vee/Nac | ویری ناک | 1997 | 3+ | 3+ | 3 | 1 |
| Zagros | زاگرس | 1997 | 4 | 4 | 3 | 4 |
| Morocco | موراکو | - | 3+ | 4 | 3 | 4 |
| McNair | مک نایر | - | 3+ | 4 | 4 | 3+ |

مایه‌زنی و ارزیابی بیماری

ارزیابی مقاومت ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه نسبت به بیماری زنگ سیاه در سال ۱۳۹۸ در گلخانه‌های بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج) انجام شد. برای این منظور، در داخل گلدان‌هایی با ارتفاع و قطر ۱۰ سانتی‌متری حاوی مخلوط خاک معمولی، پیت ماس و خاک برگ به نسبت ۱:۱:۲ بذر چهار رقم آزمایشی به فاصله مساوی از هم و از هر کدام از آن‌ها تعداد ۱۰ بذر به صورت کپه‌ای کشت شد. سپس مواد آزمایشی کشت شده در دمای ۲۵-۲۲ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

پس از سپری شدن ۸ تا ۱۰ روز، زمانی که برگ اول گیاهچه‌ها به خوبی گسترش یافت و به مرحله ۱۲ رشد و نمو فنولوژیکی بر اساس مقیاس زادوکس (باز شدن کامل برگ اول و ظاهر شدن برگ دوم) (Zadoks et al., 1974) رسیدند، اسپورهای چهار نژاد شایع زنگ سیاه جمع‌آوری شده از مناطق مختلف کشور (جدول ۱) به‌طور جداگانه روی مواد گیاهی مورد بررسی مایه‌زنی شدند. از سوسپانسیون اسپور نژاد مورد نظر در روغن صنعتی سالترول ۱۷۰ (Soltröl® 170) جهت آلوده‌سازی مواد گیاهی استفاده گردید. به‌منظور اطمینان از صحت داده‌های جمع‌آوری شده، برای هر دسته از مواد آلوده شده با هر جدایه، دو تکرار در نظر گرفته شد. گیاهان مایه‌زنی شده به مدت ۲۴ ساعت در

اتاقک تاریک با شرایط دمایی 18 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نزدیک به اشباع با هدف نفوذ قارچ عامل بیماری به بافت برگ از طریق روزنه‌ها، نگهداری شدند و سپس به گلخانه با شرایط دمایی 22 ± 2 درجه سانتی‌گراد و فتوپریود ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انتقال یافتند. چهارده روز پس از مایه‌زنی، تیپ آلودگی گیاهچه‌ها با استفاده از مقیاس ۰-۴ که توسط استاکمن و همکاران (Stakman et al., 1962) معرفی و توسط مکینتاش و همکاران (McIntosh et al., 1995) تکمیل شده است، یادداشت برداری انجام شد. ارقامی که دارای واکنش "0"، "0"، "0؛"، "1"؛"، "1"؛"، "1+"، "2-"، "2C"، "2" یا "2+" بودند، به عنوان ارقام با واکنش مقاومت و ارقامی که واکنش "3"، "3+" یا "4" نشان دادند، به‌عنوان ارقام با واکنش حساسیت شناسایی شدند.

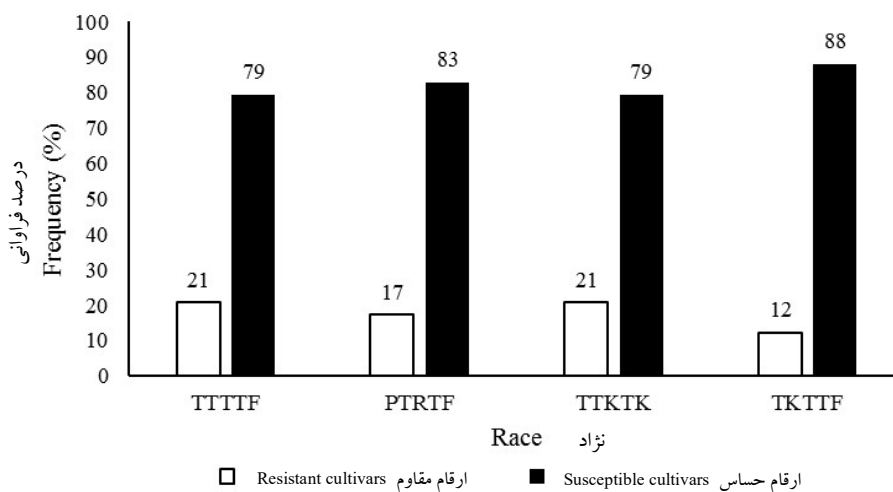
به‌منظور انجام تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تیپ آلودگی تغییر یافته استاکمن و همکاران (Stakman et al., 1962) به مقیاس خطی تبدیل شد، به‌طوری که "0"، "0؛"، "1"؛"، "1"؛"، "1+"، "2-"، "2C"، "2"، "2+"، "3"، "3+" و "4" به ترتیب به‌صورت ۱۳ تا یک کدگذاری شدند. گروه‌بندی ارقام بر اساس روش Ward و با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. محاسبه میانگین خوشه‌ها و درصد انحراف از میانگین گروه‌ها در روش تجزیه خوشه‌ای برای هر یک

نژادهای مختلف قارچ عامل بیماری زنگ سیاه نشان داد که ارقام مورد مطالعه در این پژوهش از نظر واکنش در برابر این نژادها متفاوت بودند (شکل ۱). از نظر واکنش در برابر نژاد TTTTF، حدود ۷۹ درصد از ارقام مورد بررسی حساس و حدود ۲۱ درصد دیگر از آنها شامل ارقام عدل، البرز، آرتا، اروند، کریم، نیک نژاد، افق، پیشتاز، قابوس، سیستان، سیوند و توباری دارای واکنش مقاومت بودند.

از نژادهای بیماری زنگ سیاه با استفاده از پردازشگر Excel انجام شد. برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و رسم نمودارهای چندمتغیره از نرم‌افزار Minitab استفاده شد.

نتایج و بحث

واکنش ارقام گندم مورد استفاده در بررسی حاضر در برابر نژادهای مختلف بیماری زنگ سیاه در جدول ۲ ارائه شده است. بررسی فراوانی حساسیت/مقاومت ارقام در برابر



شکل ۱- فراوانی ارقام مقاوم و حساس از نظر واکنش به نژادهای قارچ عامل بیماری زنگ سیاه در مرحله گیاهچه ای

Fig. 1. Frequency of resistant and susceptible cultivars their reaction to different stem rust pathogen races at seedling stage

Sr34, *Sr30*, *Sr29*, *Sr28*, *Sr25*, *Sr23*, *Sr35*, *Sr36*, *Sr37*, *Sr38*, *Sr40*, *SrTmp* و *SrMcN* این ژن‌ها نمی‌توانند در بروز مقاومت این ارقام در برابر آن دخالت داشته و مقاومت مشاهده شده در آنها باید از ژن‌های مقاومت

با توجه به بیماری‌زایی این نژاد روی ژن‌های مقاومت *Sr5*, *Sr6*, *Sr7a*, *Sr7b*, *Sr8a*, *Sr8b*, *Sr9a*, *Sr9b*, *Sr9d*, *Sr9e*, *Sr9g*, *Sr10*, *Sr11*, *Sr12*, *Sr13*, *Sr14*, *Sr15*, *Sr16*, *Sr17*, *Sr18*, *Sr19*, *Sr20*, *Sr21*, *Sr22*

قدس واکنش مقاومت نشان دادند. با توجه به بی‌اثر شدن ژن‌های مقاومت $Sr5$ ، $Sr6$ ، $Sr7a$ ، $Sr7b$ ، $Sr7c$ ، $Sr7d$ ، $Sr7e$ ، $Sr7f$ ، $Sr7g$ ، $Sr7h$ ، $Sr7i$ ، $Sr7j$ ، $Sr7k$ ، $Sr7l$ ، $Sr7m$ ، $Sr7n$ ، $Sr7o$ ، $Sr7p$ ، $Sr7q$ ، $Sr7r$ ، $Sr7s$ ، $Sr7t$ ، $Sr7u$ ، $Sr7v$ ، $Sr7w$ ، $Sr7x$ ، $Sr7y$ ، $Sr7z$ ، $Sr8a$ ، $Sr8b$ ، $Sr8c$ ، $Sr8d$ ، $Sr8e$ ، $Sr8f$ ، $Sr8g$ ، $Sr8h$ ، $Sr8i$ ، $Sr8j$ ، $Sr8k$ ، $Sr8l$ ، $Sr8m$ ، $Sr8n$ ، $Sr8o$ ، $Sr8p$ ، $Sr8q$ ، $Sr8r$ ، $Sr8s$ ، $Sr8t$ ، $Sr8u$ ، $Sr8v$ ، $Sr8w$ ، $Sr8x$ ، $Sr8y$ ، $Sr8z$ ، $Sr9a$ ، $Sr9b$ ، $Sr9c$ ، $Sr9d$ ، $Sr9e$ ، $Sr9f$ ، $Sr9g$ ، $Sr9h$ ، $Sr9i$ ، $Sr9j$ ، $Sr9k$ ، $Sr9l$ ، $Sr9m$ ، $Sr9n$ ، $Sr9o$ ، $Sr9p$ ، $Sr9q$ ، $Sr9r$ ، $Sr9s$ ، $Sr9t$ ، $Sr9u$ ، $Sr9v$ ، $Sr9w$ ، $Sr9x$ ، $Sr9y$ ، $Sr9z$ ، $Sr10$ ، $Sr11$ ، $Sr12$ ، $Sr13$ ، $Sr14$ ، $Sr15$ ، $Sr16$ ، $Sr17$ ، $Sr18$ ، $Sr19$ ، $Sr20$ ، $Sr21$ ، $Sr22$ ، $Sr23$ ، $Sr24$ ، $Sr25$ ، $Sr26$ ، $Sr27$ ، $Sr28$ ، $Sr29$ ، $Sr30$ ، $Sr31$ ، $Sr32$ ، $Sr33$ ، $Sr34$ ، $Sr35$ ، $Sr36$ ، $Sr37$ ، $Sr38$ ، $Sr39$ ، $Sr40$ و $SrMcN$ در برابر نژاد TTKTK، مسلماً این ژن‌ها نمی‌توانند در بروز مقاومت در ارقام مورد آزمایش مؤثر بوده باشند و مقاومت مشاهده در این ۱۲ رقم باید از ژن‌های مقاومت $Sr13$ ، $Sr22$ ، $Sr24$ ، $Sr25$ ، $Sr26$ ، $Sr27$ ، $Sr32$ ، $Sr35$ ، $Sr36$ ، $Sr39$ یا $Sr40$ و یا از ژن‌های مقاومت ناشناخته ناشی شده باشد.

بررسی واکنش ارقام آزمایشی در برابر نژاد TKTF نیز نشان داد که واکنش حدود ۸۸ درصد ارقام مورد مطالعه حساسیت و بقیه آن‌ها یعنی ارقام دز، فلات، گهر، گلستان، کاوه، افق و ویری/ناک مقاومت بود. با توجه به عدم کارایی ژن‌های مقاومت $Sr5$ ، $Sr6$ ، $Sr7a$ ، $Sr7b$ ، $Sr7c$ ، $Sr7d$ ، $Sr7e$ ، $Sr7f$ ، $Sr7g$ ، $Sr7h$ ، $Sr7i$ ، $Sr7j$ ، $Sr7k$ ، $Sr7l$ ، $Sr7m$ ، $Sr7n$ ، $Sr7o$ ، $Sr7p$ ، $Sr7q$ ، $Sr7r$ ، $Sr7s$ ، $Sr7t$ ، $Sr7u$ ، $Sr7v$ ، $Sr7w$ ، $Sr7x$ ، $Sr7y$ ، $Sr7z$ ، $Sr8a$ ، $Sr8b$ ، $Sr8c$ ، $Sr8d$ ، $Sr8e$ ، $Sr8f$ ، $Sr8g$ ، $Sr8h$ ، $Sr8i$ ، $Sr8j$ ، $Sr8k$ ، $Sr8l$ ، $Sr8m$ ، $Sr8n$ ، $Sr8o$ ، $Sr8p$ ، $Sr8q$ ، $Sr8r$ ، $Sr8s$ ، $Sr8t$ ، $Sr8u$ ، $Sr8v$ ، $Sr8w$ ، $Sr8x$ ، $Sr8y$ ، $Sr8z$ ، $Sr9a$ ، $Sr9b$ ، $Sr9c$ ، $Sr9d$ ، $Sr9e$ ، $Sr9f$ ، $Sr9g$ ، $Sr9h$ ، $Sr9i$ ، $Sr9j$ ، $Sr9k$ ، $Sr9l$ ، $Sr9m$ ، $Sr9n$ ، $Sr9o$ ، $Sr9p$ ، $Sr9q$ ، $Sr9r$ ، $Sr9s$ ، $Sr9t$ ، $Sr9u$ ، $Sr9v$ ، $Sr9w$ ، $Sr9x$ ، $Sr9y$ ، $Sr9z$ ، $Sr10$ ، $Sr11$ ، $Sr12$ ، $Sr13$ ، $Sr14$ ، $Sr15$ ، $Sr16$ ، $Sr17$ ، $Sr18$ ، $Sr19$ ، $Sr20$ ، $Sr21$ ، $Sr22$ ، $Sr23$ ، $Sr24$ ، $Sr25$ ، $Sr26$ ، $Sr27$ ، $Sr28$ ، $Sr29$ ، $Sr30$ ، $Sr31$ ، $Sr32$ ، $Sr33$ ، $Sr34$ ، $Sr35$ ، $Sr36$ ، $Sr37$ ، $Sr38$ ، $Sr39$ و $SrMcN$ در برابر این نژاد، مقاومت مشاهده شده در ارقام مقاوم باید از ژن‌های مؤثر در برابر این نژاد شامل $Sr22$ ، $Sr24$ ، $Sr25$ ، $Sr26$ ، $Sr27$ ، $Sr31$ ، $Sr32$ ، $Sr33$ ، $Sr35$ یا $Sr40$ و یا از

مؤثر در برابر این نژاد یعنی $Sr24$ ، $Sr26$ ، $Sr27$ ، $Sr31$ ، $Sr33$ یا $Sr39$ و یا از ژن‌هایی ناشناخته ناشی شده باشد.

در خصوص واکنش ارقام آزمایشی نسبت به نژاد PTRTF، تعداد ۱۰ رقم شامل ارقام عدل، البرز، اترک، دز، اینیا، نیک نژاد، افق، پشتاز، شیرودی و سیوند در برابر این نژاد واکنش مقاومت و سایر ارقام که در حدود ۸۲ ارقام مورد بررسی بودند، واکنش حساسیت نشان دادند (شکل ۱). با توجه به مشخصات این نژاد و شکسته شدن ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای $Sr5$ ، $Sr6$ ، $Sr7b$ ، $Sr7c$ ، $Sr7d$ ، $Sr7e$ ، $Sr7f$ ، $Sr7g$ ، $Sr7h$ ، $Sr7i$ ، $Sr7j$ ، $Sr7k$ ، $Sr7l$ ، $Sr7m$ ، $Sr7n$ ، $Sr7o$ ، $Sr7p$ ، $Sr7q$ ، $Sr7r$ ، $Sr7s$ ، $Sr7t$ ، $Sr7u$ ، $Sr7v$ ، $Sr7w$ ، $Sr7x$ ، $Sr7y$ ، $Sr7z$ ، $Sr8a$ ، $Sr8b$ ، $Sr8c$ ، $Sr8d$ ، $Sr8e$ ، $Sr8f$ ، $Sr8g$ ، $Sr8h$ ، $Sr8i$ ، $Sr8j$ ، $Sr8k$ ، $Sr8l$ ، $Sr8m$ ، $Sr8n$ ، $Sr8o$ ، $Sr8p$ ، $Sr8q$ ، $Sr8r$ ، $Sr8s$ ، $Sr8t$ ، $Sr8u$ ، $Sr8v$ ، $Sr8w$ ، $Sr8x$ ، $Sr8y$ ، $Sr8z$ ، $Sr9a$ ، $Sr9b$ ، $Sr9c$ ، $Sr9d$ ، $Sr9e$ ، $Sr9f$ ، $Sr9g$ ، $Sr9h$ ، $Sr9i$ ، $Sr9j$ ، $Sr9k$ ، $Sr9l$ ، $Sr9m$ ، $Sr9n$ ، $Sr9o$ ، $Sr9p$ ، $Sr9q$ ، $Sr9r$ ، $Sr9s$ ، $Sr9t$ ، $Sr9u$ ، $Sr9v$ ، $Sr9w$ ، $Sr9x$ ، $Sr9y$ ، $Sr9z$ ، $Sr10$ ، $Sr11$ ، $Sr12$ ، $Sr13$ ، $Sr14$ ، $Sr15$ ، $Sr16$ ، $Sr17$ ، $Sr18$ ، $Sr19$ ، $Sr20$ ، $Sr21$ ، $Sr22$ ، $Sr23$ ، $Sr24$ ، $Sr25$ ، $Sr26$ ، $Sr27$ ، $Sr28$ ، $Sr29$ ، $Sr30$ ، $Sr31$ ، $Sr32$ ، $Sr33$ ، $Sr34$ ، $Sr35$ ، $Sr36$ ، $Sr37$ ، $Sr38$ ، $Sr39$ و $SrMcN$ توسط آن، مقاومت مشاهده شده در این ۱۰ رقم در برابر این نژاد نمی‌تواند به دلیل حضور این ژن‌ها باشد. بلکه، مقاومت موجود در آن‌ها ممکن است توسط ژن‌های مقاومت مؤثر در برابر این نژاد شامل $Sr7a$ ، $Sr21$ ، $Sr22$ ، $Sr23$ ، $Sr24$ ، $Sr26$ ، $Sr30$ ، $Sr31$ ، $Sr32$ ، $Sr33$ یا $Sr40$ و یا از ژن‌های مقاومتی که ناشناخته هستند، ناشی شده باشد.

از نظر واکنش در برابر نژاد TTKTK که متعلق به گروه نژادی Ug99 می‌باشد، حدود ۷۹ درصد از ارقام مورد مطالعه، واکنش حساسیت و بقیه یعنی ارقام عدل، بهار، بیات، داراب ۲، دز، فلات، گهر، کاوه، مرو دشت، مروارید، پارسی و

"2"، "2-" و "2+" نشان داد و در برابر نژاد TTKTK واکنش حساسیت با تیپ آلودگی "3" داشت. با توجه به بی‌اثر شدن مقاومت ژن‌های *Sr5*، *Sr6*، *Sr7a*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr8b*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr11*، *Sr12*، *Sr13*، *Sr14*، *Sr15*، *Sr16*، *Sr17*، *Sr18*، *Sr19*، *Sr20*، *Sr21*، *Sr22*، *Sr23*، *Sr25*، *Sr27*، *Sr28*، *Sr29*، *Sr30*، *Sr34*، *Sr35*، *Sr36*، *Sr37*، *Sr38*، *Sr39*، *Sr40* توسط نژادهای *SrMcN* و *SrTmp* می‌توان نتیجه‌گیری نمود که مقاومت مشاهده شده در برابر این نژادها در رقم افق، به حضور ژن‌های مقاومت نامبرده ارتباطی ندارد.

تعداد ژن‌هایی که تاکنون شناسایی شده‌اند و مقاومت در برابر نژاد TTKTK را سبب می‌شوند، محدود به ژن‌های *Sr2*، *Sr22*، *Sr24*، *Sr25*، *Sr26*، *Sr36*، *Sr39* و *SrCad* می‌باشند (Jin and Singh, 2006). علاوه بر این ژن‌ها، مناطق ژنومی کنترل‌کننده مقاومت دیگری نیز شناسایی شده است که تنها تعداد معدودی از آنها مقاومت خود را در برابر گروه نژادی Ug99 حفظ کرده‌اند (Baraibar et al., 2020). نظر به این که در بررسی گیاهچه‌ای حاضر رقم افق در برابر نژاد TTKTK واکنش حساسیت نشان داد، عدم حضور این ژن‌ها و مناطق ژنومی به غیر از ژن *Sr2* نیز در رقم افق به اثبات می‌رسد. تمامی این ژن‌ها به جز ژن *Sr2* مقاومت گیاهچه‌ای را به

ژن‌های مقاومت ناشناخته ناشی شده باشد. براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، هیچ‌یک از ارقام مورد مطالعه در مرحله گیاهچه‌ای دارای واکنش مقاومت در برابر تمامی نژادهای مورد بررسی نبود. رقم عدل در برابر سه نژاد PTRTF، TTTTF و TTKTK به ترتیب واکنش‌های مقاومت "1"، "1+" و "2+" اما در برابر نژاد TKTTF واکنش حساسیت در مقیاس "3+" نشان داد. در میان ژن‌های مقاومتی که تاکنون شناسایی شده‌اند، ژن‌های مقاومت *Sr22*، *Sr24*، *Sr25*، *Sr26*، *Sr27*، *Sr31*، *Sr32*، *Sr33*، *Sr39* و *Sr40* در ایجاد مقاومت ژنوتیپ‌های گندم در برابر نژاد TKTTF مؤثر هستند. اما با توجه به اینکه این نژاد روی رقم عدل بیماری‌زایی داشت و باعث بروز واکنش حساسیت شد، بنابراین می‌توان اذعان نمود که این ژن‌ها در رقم عدل حضور ندارند. رقم دز نسبت به سه نژاد PTRTF، TTKTK و TKTTF واکنش مقاومت به ترتیب با تیپ‌های آلودگی "2+"، "1" و "2+" و نسبت به نژاد TTTTF با بروز تیپ آلودگی "4" واکنش حساسیت نشان داد. با توجه به مؤثر بودن ژن‌های مقاومت *Sr24*، *Sr26*، *Sr27*، *Sr31*، *Sr33* و *Sr39* در برابر نژاد TTTTF و نظر به حساسیت رقم دز در برابر این نژاد، به احتمال قوی این رقم فاقد ژن‌های مقاومت مذکور است.

رقم افق در برابر سه نژاد PTRTF، TTTTF و TKTTF واکنش مقاومت در مقیاس‌های

با نتایج حاصل از آزمایش افشاری (Afshari, 2012) مطابقت داشت. علت مغایرت‌های مشاهده شده ممکن است ناشی از متفاوت بودن نژادهای عامل بیماری مورد استفاده از لحاظ توان بیماری‌زایی و قدرت تهاجمی آن‌ها باشد.

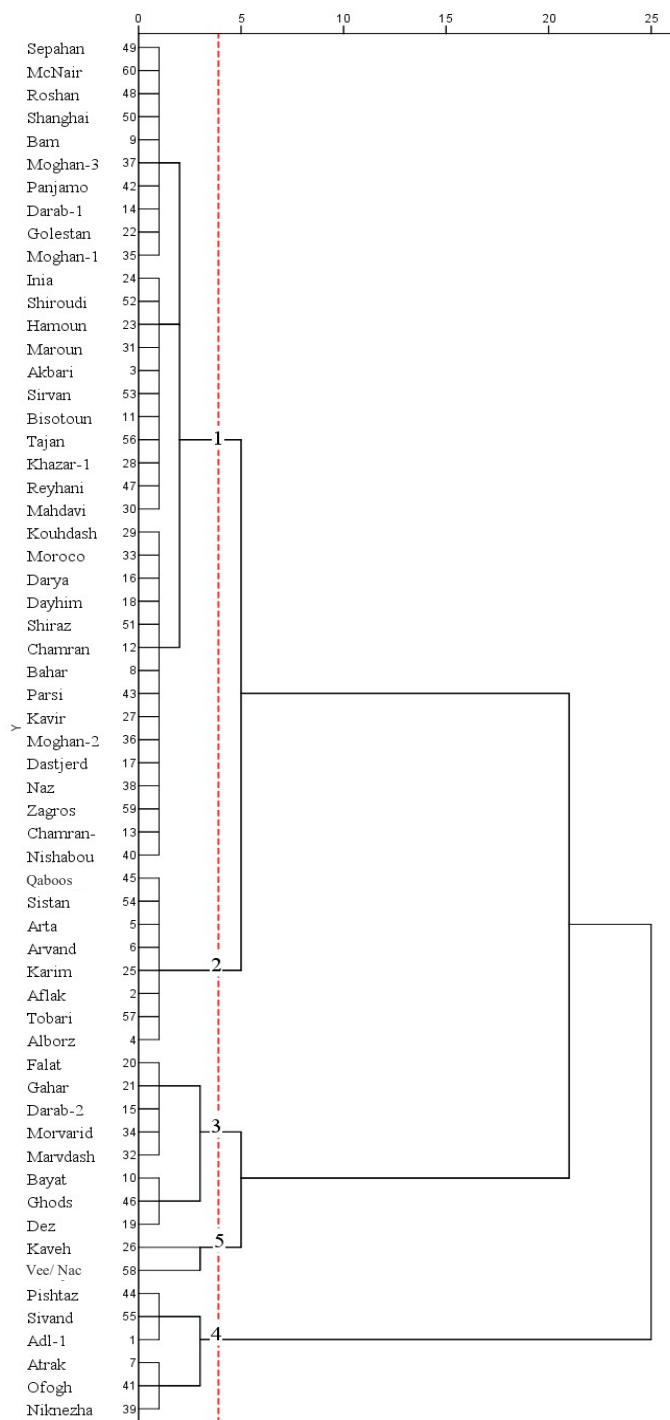
گروه‌بندی ارقام بر اساس تجزیه خوشه‌ای

تجزیه خوشه‌ای به‌عنوان یکی از کاراترین روش‌های آماری چند متغیره است که برای گروه‌بندی مشاهده‌ها بر پایه چند متغیر استفاده می‌شود (Sharma, 1996). در این پژوهش برای گروه‌بندی ارقام بر اساس تیپ آلودگی به نژادهای عامل بیماری زنگ سیاه مورد استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) استفاده شد (Patpour et al., 2014). نمودار درختی حاصل از این تجزیه در شکل ۲ ارائه شده است.

همانطوری که در شکل ۲ مشاهده می‌شود ارقام مورد بررسی در این پژوهش بر اساس تجزیه خوشه‌ای نوع واکنش آن‌ها به نژادهای قارچ عامل بیماری زنگ سیاه در پنج گروه مختلف دسته‌بندی شدند. میانگین گروه‌ها و درصد انحراف از میانگین کل برای هر یک از نژادهای بیماری تحت مطالعه با توجه به نمودار درختی حاصل از تجزیه خوشه‌ای محاسبه گردید (جدول ۳). بر اساس نتایج مندرج در این جدول، در صورتی که میانگین تیپ آلودگی در یک گروه بیش از میانگین کل باشد، درصد انحراف از میانگین کل مثبت خواهد بود.

همراه دارند و از خویشاوندان وحشی و یا چاودار زراعی به گندم انتقال یافته‌اند که امروزه مسئولیت مقاومت پایدار نسبت به بیماری زنگ سیاه را در سطح بین‌المللی دارا می‌باشند (Jin and Singh, 2006). ژن *Sr2* غیراختصاصی نژاد (Non race-specific) می‌باشد و مقاومت تدریجی (Slow rusting) در مرحله گیاه کامل ایجاد می‌کند و برای بررسی حضور این ژن باید ارزیابی در مرحله گیاه کامل انجام شود. تعدادی از ژن‌های کوچک اثر دیگری وجود دارند که با ژن *Sr2* همراه شده و کمپلکس *Sr2* (*Sr2*-Complex) را تشکیل می‌دهند که در مقاومت نقش دارند (Singh et al., 2006).

بیشتر ژن‌های مقاومت به بیماری زنگ سیاه به صورت نژاد اختصاصی می‌باشند و مقاومت را از مرحله گیاهچه‌ای تا گیاه کامل حفظ می‌نمایند (McIntosh et al., 1995). ارقام البرز، نیک‌نژاد، پیش‌تاز و سیوند از واکنش مقاومت در برابر دو نژاد PTRTF و TTTTF و واکنش حساسیت در برابر TTKTK و TKTTF برخوردار بودند. در مقابل ارقام فلات، گهر و کاوه نسبت به نژادهای TTKTK و TKTTF دارای واکنش مقاوت و نسبت به نژادهای PTRTF و TTTTF دارای واکنش حساسیت بودند. نتایج به دست آمده از این پژوهش برای تعداد اندکی از ارقام تا حدودی مغایر با یافته‌های پاتپور و همکاران (Patpour et al., 2014) بود، اما تاحدی



شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه ای برای ارقام گندم بر اساس واکنش آنها به نژادهای مختلف قارچ عامل بیماری زنگ سیاه در مرحله گیاهچه ای با استفاده از روش Ward

Fig. 2. Dendrogram from cluster analysis of the reaction of spring bread wheat cultivars to different stem rust pathogen races at seedling stage using ward method

جدول ۳- میانگین خوشه‌ها و انحراف از میانگین کل برای هر نژاد قارچ عامل بیماری زنگ سیاه برای ارقام گندم نان بهاره

Table 3. Clusters mean and deviation from grand mean of stem rust pathogen races for spring bread wheat cultivars

| Group | گروه | نژاد قارچ عامل زنگ سیاه | | | |
|-------------------------------|---------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|
| | | Stem rust pathogen race | | | |
| | | TTTTF | PTRTF | TKTK | TKTTF |
| First group | گروه اول | 1.61 | 1.81 | 2.42 | 1.56 |
| Deviation from grand mean (%) | درصد انحراف از میانگین کل | -21.59 | -18.06 | -14.45 | -12.14 |
| Second group mean | میانگین گروه دوم | 4.38 | 2.38 | 1.88 | 1.00 |
| Deviation from grand mean (%) | درصد انحراف از میانگین کل | 9.85 | -1.00 | -5.48 | -6.50 |
| Third group | گروه سوم | 1.63 | 2.38 | 7.25 | 2.88 |
| Deviation from grand mean (%) | درصد انحراف از میانگین کل | -4.72 | -1.10 | 17.03 | 6.32 |
| Fourth group | گروه چهارم | 8.20 | 8.40 | 3.20 | 2.20 |
| Deviation from grand mean (%) | درصد انحراف از میانگین کل | 16.49 | 20.97 | -1.09 | 0.26 |
| Fifth group | گروه پنجم | 2.50 | 2.00 | 7.00 | 9.00 |
| Deviation from grand mean (%) | درصد انحراف از میانگین کل | -0.02 | -0.75 | 4.00 | 12.05 |
| Grand mean | میانگین کل | 2.52 | 2.58 | 3.18 | 1.95 |

بودند و درصد انحراف از میانگین منفی بالایی نیز داشتند (جدول ۳).

گروه دوم متشکل از ارقام قابوس، سیستان، آرتا، اروند، کریم، افلاک، توباری و البرز بود (شکل ۲). به جز تیپ آلودگی نژاد TTTTF سایر تیپ‌های آلودگی نژادهای مورد بررسی، میانگین پایین تری نسبت به میانگین کل داشتند و از درصد انحراف از میانگین کل منفی برخوردار بودند (جدول ۳). ارقام تشکیل دهنده این گروه نسبت به TTTTF دارای واکنش نیمه مقاوم و نسبت به سه نژاد دیگر دارای واکنش نیمه حساس بودند. ارقام فلات، گهر، داراب ۲، مروارید، مرودشت، بیات، قدس و دز در گروه سوم قرار گرفتند (شکل ۲) و به ترتیب در برابر نژادهای TTTTF و PTRTF واکنش نیمه

مثبت شدن درصد انحراف از میانگین کل مبین ارزش بالای آن گروه نسبت به میانگین کل ارقام می‌باشد.

ارقام سپاهان، مکنیر، روشن، شانگهای، بم، مغان ۳، پنجامو، داراب ۱، گلستان، مغان ۱، اینیا، شیرودی، هامون، مارون، اکبری، سیروان، بیستون، تجن، خزر ۱، ریحانی، مهدوی، کوه‌دشت، موراکو، دریا، دیهیم، شیراز، چمران، بهار، پارسی، کویر، مغان ۲، دستجردی، ناز، زاگرس، چمران ۲ و نیشابور به عنوان ژنوتیپ‌های حساس در برابر همه نژادهای مورد بررسی، در گروه اول قرار گرفتند (شکل ۲). این ارقام از لحاظ تیپ آلودگی ایجاد شده توسط هر یک از نژادهای مورد استفاده، نسبت به میانگین کل، از میانگین کمتری برخوردار

TKTK و TTKTK برخوردار بودند. پاپتور و همکاران (Patpour et al 2014) با استفاده از روش Ward ارقام گندم بهاره و بینابین را گروه‌بندی کردند و بیان نمودند که ارقام چناب، مغان ۲، نوید و آرتا در یک زیرگروه دورتر از ارقام دیگر در گروه اول قرار گرفتند و با توجه به واکنش گیاهچه‌ای آن‌ها که به تمام نژادهای مورد استفاده حساس و تنها در برابر نژاد TKTTC مقاوم بودند، احتمال حضور ژن *Str11* در این ارقام وجود دارد.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر روی تیپ آلودگی چهار نژاد عامل بیماری زنگ سیاه مورد بررسی بر روی ۵۸ رقم گندم نان بهاره به همراه دو شاهد حساس به بیماری در جدول ۴ ارائه شده است. دو مؤلفه اول که مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک داشتند و ۸۰ درصد از تغییرات مشاهده شده را شامل شدند به‌عنوان مؤلفه‌های تأثیرگذار انتخاب گردیدند. مؤلفه اول با توضیح ۴۰ درصد از تغییرات کل، دارای ضرایب مثبت

حساس، در برابر نژاد TTKTK و نژاد TKTTF واکنش مقاوم و نیمه مقاوم بروز دادند. چون این ارقام از لحاظ تیپ آلودگی دو نژاد TTKTK و TKTTF از میانگین بالاتر و درصد انحراف از میانگین کل مثبت برخوردار بودند (جدول ۳) به‌عنوان ژنوتیپ‌های با واکنش مقاوم و نیمه مقاوم شناخته شدند.

شش رقم پیشتاز، سیوند عدل، اترک، افق و نیک نژاد بر اساس طبقه‌بندی در گروه چهارم دسته‌بندی شدند (شکل ۲). این گروه برای کلیه نژادها بجز نژاد TTKTK دارای میانگین بیش‌تر از میانگین کل بود و به همین دلیل درصد انحراف از میانگین کل مثبت شد (جدول ۳). ارقام این گروه دارای واکنش مقاومت نسبت به نژادهای TTTTF و PTRTF و نیز دارای واکنش متوسط نسبت به دو نژاد TTKTK و TKTTF بودند. گروه پنجم که از دو ژنوتیپ کاوه و ویری/ناک تشکیل شد (شکل ۲)، به ترتیب از واکنش متوسط، متوسط، نیمه مقاوم و مقاوم در برابر نژادهای PTRTF، TTTTF،

جدول ۴- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تیپ‌های آلودگی نژادهای قارچ عامل بیماری زنگ سیاه مورد مطالعه در ارقام گندم نان بهاره

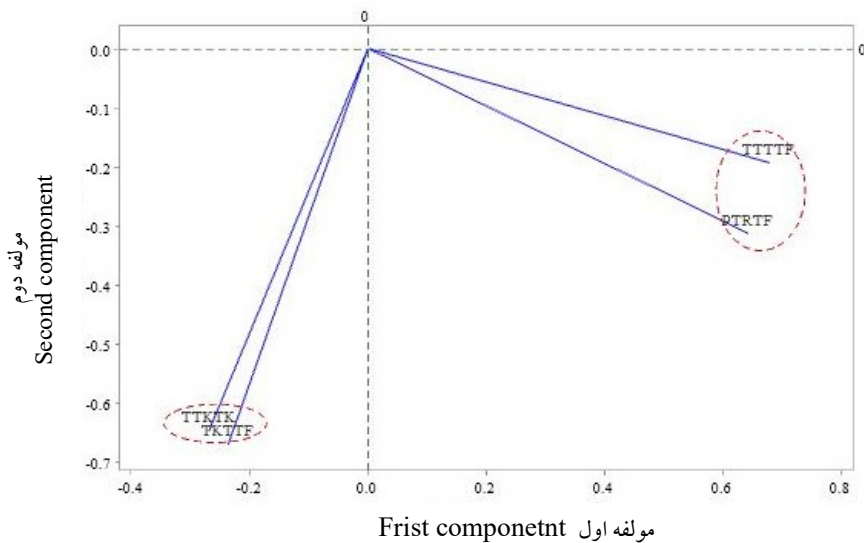
Table 4. Principal component analysis of infection type of studied stem rust pathogen races in spring bread wheat cultivars

| مؤلفه اصلی Principal component | نژاد عامل بیماری زنگ سیاه Stem rust pathogen race | | | | مقادیر ویژه Eigenvalue | واریانس تبیین شده Proportion of variance | |
|-----------------------------------|--|-------|-------|-------|---------------------------|--|------|
| | TTTTF | PTRTF | TKTK | TKTTF | | واریانس تبیین شده تجمعی Cumulative variance | |
| مؤلفه اول PC1 | 0.68 | 0.64 | -0.27 | -0.24 | 1.74 | 0.44 | 0.44 |
| مؤلفه دوم PC2 | -0.19 | -0.31 | -0.65 | -0.67 | 1.46 | 0.36 | 0.80 |

رابطه بین نژادهای بیماری مورد مطالعه و نیز همبستگی میان آنها را بر اساس مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم نمایان می‌سازد. در واقع کسینوس زاویه بین بردارها مؤید میزان همبستگی میان نژادها با مؤلفه‌های اول و دوم و نیز نژادها با یکدیگر است. هنگامی که زاویه بین بردارهای نژادهای عامل بیماری زنگ سیاه مورد مطالعه، کوچک تر از ۹۰ درجه باشد، همبستگی مثبت است. زاویه ۹۰ درجه بین بردارها نشانگر این موضوع است که میان نژادها و محور مؤلفه‌ها همبستگی وجود نداشته و مستقل می‌باشند و در صورتی که زاویه بین بردارها بیش از ۹۰ درجه باشد، به معنای همبستگی منفی بین آنها است.

و معنی‌دار برای دو نژاد PTRTF و TTTTF بود و بنابراین به‌عنوان مؤلفه گزینشی ارقام مقاوم برای نژادهای PTRTF و TTTTF نامیده شد. این مؤلفه توانایی تفکیک ارقام با مقاومت بالا برای این دو نژاد را دارا بود. دومین مؤلفه با توضیح ۳۶ درصد از تغییرات کل، دارای ضرایب منفی و معنی‌دار برای دو نژاد TTKTK و TKTF بود و به نام مؤلفه گزینشی ارقام مقاوم برای نژادهای TTKTK و TKTF معرفی شد.

روابط بین نژادهای مختلف به صورت نمودار دوبعدی مؤلفه‌های اول و دوم در شکل ۳ به نمایش گذاشته شده است. زاویه بین بردارهای نژادها در نمودار دوبعدی تصویر واضحی از



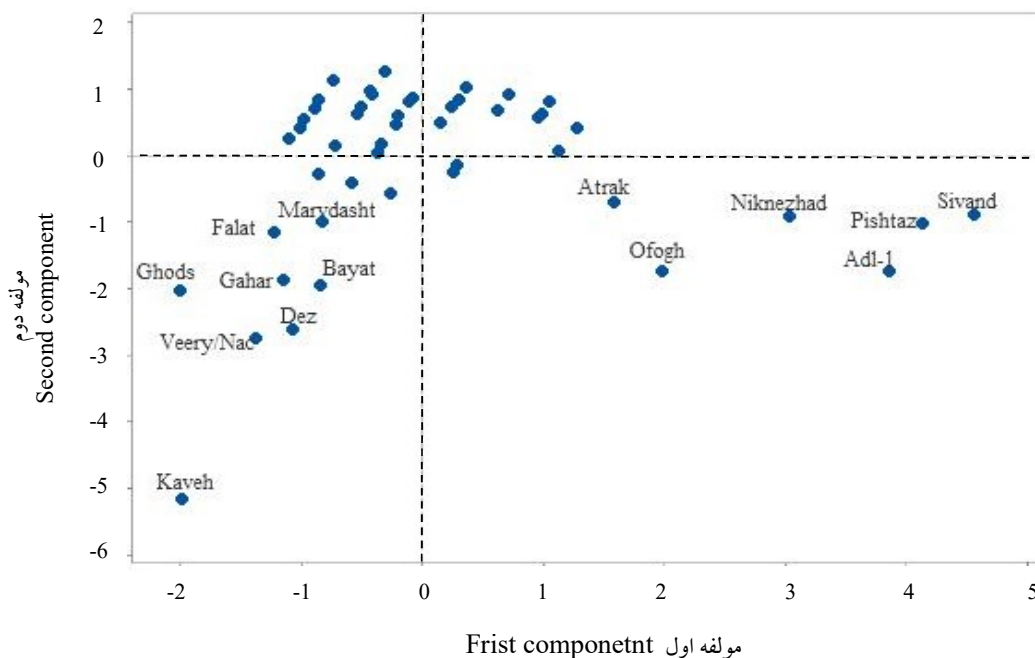
شکل ۳- نمودار مؤلفه‌های اول و دوم برای نژادهای قارچ عامل بیماری زنگ سیاه مورد مطالعه در ارقام گندم نان بهاره

Fig. 3. Diagram of the first and second components for stem rust pathogen races in spring bread wheat cultivars

نژاد PTRTF با TKTTF نشانگر عدم تشابه این جفت نژادها از لحاظ تیپ آلودگی بیماری است. به بیان دیگر ژنوتیپ‌ها در این جفت‌های نژادی روند آلودگی مستقلی را داشتند.

پراکنش ارقام بر اساس مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم در شکل ۴ نشان داده شده است. ارقامی که نزدیک به محل تقاطع دو محور (نزدیک به صفر) باشند دارای کمترین سطح مقاومت به کلیه نژادهای قارچ عامل بیماری زنگ سیاه می‌باشند و در گروه حساس قرار می‌گیرند. بر این اساس، اکثریت ارقام از مقاومت کم‌تری برخوردار بودند و در برابر نژادهای مورد مطالعه واکنش حساسیت

با در نظر گرفتن این موضوع و نیز با توجه به شکل ۳ بین نژادهای PTRTF و TTTTF (گروه اول) و نیز بین دو نژاد TTKTK و TKTTF (گروه دوم) همبستگی مثبت و بالایی وجود دارد که این نشان‌دهنده پاسخ تقریباً مشابه ارقام در هر یک از گروه‌های نژاد قارچ عامل بیماری زنگ سیاه است. از این امر چنین استنباط می‌شود که میان رتبه تیپ آلودگی این ارقام تفاوت چندانی وجود ندارد. وجود همبستگی نزدیک به صفر (با توجه به کسینوس زاویه ۹۰ درجه میان جفت نژادهای مذکور) بین نژادهای TTTTF و TKTTF، TTTTF و PTRTF، TTKTK و نیز بین دو



شکل ۴- نمودار پراکنش ارقام گندم نان بهاره مورد مطالعه بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم

Fig. 4. Distribution diagram of spring bread wheat cultivars based on the

first and second components

جدایه‌های قارچ عامل بیماری زنگ سیاه، بالاترین مقاومت را داشتند.

نتایج این پژوهش نشان داد که بیشتر ارقام گندم نان بهاره مورد آزمایش در مرحله گیاهچه‌ای در برابر چهار نژاد از قارچ عامل بیماری حساس بودند. البته ۱۲ تا ۲۱ درصد از ارقام آزمایشی در برابر این چهار نژاد از قارچ عامل بیماری زنگ سیاه مقاومت گیاهچه‌ای قابل قبولی نشان دادند. با توجه به مؤثر بودن دو ژن مقاومت *Sr24* و *Sr26* در برابر هر چهار نژاد مورد استفاده و کارآیی هفت ژن مقاومت *Sr22*، *Sr27*، *Sr31*، *Sr32*، *Sr33*، *Sr39* و *Sr40* در برابر سه نژاد از چهار نژاد مذکور، ممکن است یک یا چند ژن از بین آن‌ها در بروز مقاومت در این ارقام گندم نان نقش داشته باشند. علاوه بر آن، احتمال دخالت برخی ژن‌های مقاومت ناشناخته نیز در بروز مقاومت این ارقام می‌تواند مدنظر قرار گیرد.

براساس نتایج حاصل از تحقیق حاضر، ارقام فلات، گهر، داراب ۲، مروارید، مرودشت، بیات، قدس، دز، پشتاز، سیوند، عدل، اترک، افق، نیک‌نژاد، کاوه و ویری/ناک حداقل در برابر دو نژاد از چهار نژاد قارچ عامل بیماری زنگ سیاه مورد آزمایش واکنش مقاوم یا نیمه مقاوم داشتند. انتظار این است که این ارقام در مناطق شیوع این نژادها در کشور در مرحله گیاه کامل نیز مقاومت قابل قبول داشته باشند.

استفاده از ارقام مقاوم گندم مؤثرترین و کاراترین روش برای کنترل و مدیریت بیماری

داشتند. با توجه به این که دو نژاد TTTTF و PTRTF دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با مؤلفه اول بودند، ارقامی که دارای مقادیر مؤلفه اول مثبت و مؤلفه دوم پایین باشند، نسبت به این نژادها مقاوم هستند. بر این اساس، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که به ترتیب ارقام سیوند، پشتاز، عدل، نیک‌نژاد و افق دارای مقاومت اختصاصی در برابر دو نژاد TTTTF و PTRTF می‌باشند.

با توجه به اینکه دو نژاد TTKTK و TKTTF دارای مقادیر مؤلفه دوم منفی بودند، ارقامی که در جهت منفی محور عمودی قرار گرفتند نسبت به قسمت مثبت این محور مقاومت بیشتری دارند. یعنی با حرکت از قسمت منفی محور عمودی به سمت قسمت مثبت، مقاومت ارقام نیز به تدریج در برابر این دو نژاد کاهش می‌یابد. با بررسی اطلاعات شکل ۴ مشخص می‌شود که رقم کاوه در برابر هر دو نژاد TTKTK و TKTTF در مقایسه با سایر ارقام از سطح مقاومت بالایی برخوردار بود. ملیحی‌پور و همکاران (Malhipour et al., 2020) واکنش ژنوتیپ‌های گندم اقلیم سرد کشور را نسبت به یک جدایه از نژاد PTRTF، دو جدایه از نژاد TTTTF و سه جدایه از نژاد TKTTF مورد آزمایش قرار دادند و بیان داشتند که سه رقم MV-17، پیشگام و گاسکون، چهار لاین در دست نامگذاری C-88-7، C-88-14، C-89-7 و CD-89-10 و لاین امیدبخش C-94-6 با دارا بودن پایین‌ترین تیپ‌های آلودگی در برابر

عضو هیات علمی بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به خاطر شناسایی جدایه‌های قارچ عامل بیماری زنگ سیاه گندم مورد استفاده در این پژوهش و در اختیار گذاشتن اطلاعات مربوط به آنها، آقای مهندس اسمعیل ابراهیمی میمند، خانم مهندس زهره بیات و سایر همکاران گلخانه‌های تحقیقاتی واحد بیماری‌های غلات بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به خاطر کمک در اجرای این پژوهش صمیمانه سپاسگزاری می‌کنند.

زنگ سیاه است. بنابراین نتایج به دست آمده از این پژوهش در خصوص واکنش ارقام گندم نان بهاره می‌تواند برای به‌نژادگران گندم در راستای تولید ارقام مقاوم نسبت به نژادهای قارچ عامل بیماری زنگ سیاه غالب در کشور مفید واقع شود. بدیهی است که اگر نتایج حاصله با نتایج ارزیابی در مرحله گیاه کامل همراه شود، در شناسایی ارقام گندم با مقاومت متنوع و پایدار مؤثرتر خواهد بود.

سپاسگزاری

نگارندگان از آقای دکتر رامین روح‌پرور

References

- Afshari, F. 2012.** Genetics of pathogenicity of wheat stem rust pathogen (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) and reaction of wheat genotypes to the disease. Iranian Journal of Plant Protection Science 43: 357-365 (in Persian).
- Bamdadian, A., and Torabi, M. 1978.** Epidemiology of wheat stem rust in southern areas of Iran in 1976. Iranian Journal of Plant Pathology 14 (1/4): 20-19.
- Baraibar, S., García, R., Silva, P., Lado, B., Castro, A., Gutiérrez, L., Kavanová, M., Quincke, M., Bhavani, S., and Randhawa, M. S. 2020.** QTL Mapping of resistance to Ug99 and other stem rust pathogen races in bread wheat. Molecular Breeding 40 (8): 1-16.
- Esfandiari, E. 1947.** Cereal rusts in Iran. Entomology and Phytopathology Journal 4: 67-76 (in Persian).
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., and Toulmin, C. 2010.** Food security: the challenge of feeding 9 billion people. Science 327 (5967): 812-818.
- Hodson, D. 2011.** Shifting boundaries: challenges for rust monitoring. Euphytica 179 (1): 93-104.
- Jin, Y., and Singh, R. P. 2006.** Resistance in US wheat to recent Eastern African isolates of *Puccinia graminis* f. Sp. *tritici* with virulence to resistance gene *Sr31*.

- Plant Disease 90 (4): 476-480.
- Jin Y., Singh, R. P., Ward, R. W., Wanyera, R., Kinyua, M., Njau, P., Fetch, T., Pretorius, Z. A., and Yahyaoui, A. 2007.** Characterization of seedling infection types and adult plant infection responses of monogenic *Sr* gene lines to race TTKS of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. Plant Disease 91: 1096–1099.
- Joshi, L. M., Singh, D., and Srivastava, K. D. 1986.** Problems and progress of wheat pathology in South Asia. Malhotra Publishing House. 401 pp.
- Kolmer, J. 1996.** Genetics of resistance to wheat leaf rust. Annual Review of Phytopathology 34 (1): 435-455.
- Leonard, K. J., and Szabo, L. J. 2005.** Stem rust of small grains and grasses caused by *Puccinia graminis*. Molecular Plant Pathology 6 (2): 99-111.
- Malhipour, A., Ebrahimi-Meymand, E., and Mostafavi, Kh. 2020.** Investigation on effectiveness of wheat stem rust resistance genes in iran and the latest response of wheat genotypes from the cold agro-climatic zone to the disease. Iranian Journal of Plant Pathology 56 (1): 69-97.
- McIntosh, R. A., Wellings, C. R., and Park, R. F. 1995.** Wheat rusts: an atlas of resistance genes. CSIRO Publications, Victoria, Australia. 200 pp.
- Nazari, K., Mafi, M., Yahyaoui, A., Singh, R. P., and Park, R. F. 2009.** Detection of wheat stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) race TTKSK (Ug99) in Iran. Plant Disease 93: 317.
- Oerke, E. C. 2006.** Crop losses to pests. Journal of Agricultural Science 144: 31-43.
- Oliver, R. P. 2014.** A Reassessment of the risk of rust fungi developing resistance to fungicides. Pest management science 70 (11): 1641-1645.
- Pardey, P. G., Beddow, J., Kriticos, D., Hurley, T., Park, R., Duveiller, E., Sutherst, R., Burdon, J., and Hodson, D. 2013.** Right-sizing stem-rust research. Science 340 (6129): 147-148.
- Patpour, M., Nazari, K., Alavi, S. M., and Mousavi, A. 2014.** Detection of resistance sources to iranian prevalent stem rust races in commercial wheat cultivars. Seed and Plant Improvement Journal 30 (1): 133-154.
- Pfeifer, M., Kugler, K. G., Sandve, S. R., Zhan, B., Rudi, H., Hvidsten, T. R., Mayer, K. F., Olsen, O.-A., and Consortium, I. W. G. S. 2014.** Genome interplay in the grain transcriptome of hexaploid bread wheat. Science 345 (6194):
- Pretorius, Z. A., Singh, R. P., Wagoire, W. W., and Payne, T. S. 2000.** Detection of virulence to wheat stem rust resistance gene *Sr31* in *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Uganda. Plant Disease 84: 203.

- Reynolds, M. P., and Borlaug, N. 2006.** Impacts of breeding on international collaborative wheat improvement. *The Journal of Agricultural Science* 144: 3-17.
- Roelfs, A. P., and Bushnell, W. R. 1985.** The cereal rusts. Academic Press Orlando, FL. 592 pp.
- Roelfs, A.P., Singh, R. P., and Saari, E. E. 1992.** Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. CIMMYT, Mexico D.F., Mexico. 81 pp.
- Sharif, G., Bamdadian, A., and Daneshpajoh, B. 1970.** Physiological races of wheat stem rust in Iran (1965-1970). *Applied Entomology and Phytopathology* 6: 73-100 (in Persian).
- Sharma, S. 1996.** Applied multivariate techniques. John Wiley and Sons Inc. USA. 512 pp.
- Singh, R. P., Hodson, D. P., Huerta-Espino, J., Jin, Y., Njau, P., Wanyera, R., Herrera-Foessel, S. A., and Ward, R. W. 2008.** Will stem rust destroy the world's wheat crop? *Advances in Agronomy* 98: 271-309.
- Singh, R. P., Hodson, D. P., Jin, Y., Huerta-Espino, J., Kinyua, M. G., Wanyera, R., Njau, P., and Ward, R. W. 2006.** Current status, likely migration and strategies to mitigate the threat to wheat production from race Ug99 (TTKS) of stem rust pathogen. *CAB Reviews: Perspectives In Agriculture, Veterinary Science, Nutrition And Natural Resources* 1 (54): 1-13.
- Singh, R. P., Hodson, D. P., Jin, Y., Lagudah, E. S., Ayliffe, M. A., Bhavani, S., Rouse, M. N., Pretorius, Z. A., Szabo, L. J., and Huerta-Espino, J. 2015.** Emergence and spread of new races of wheat stem rust fungus: continued threat to food security and prospects of genetic control. *Phytopathology* 105 (7): 872-884.
- Singh, R. P., Singh, P. K., Rutkoski, J., Hodson, D. P., He, X., Jørgensen, L. N., Hovmøller, M. S., and Huerta-Espino, J. 2016.** Disease impact on wheat yield potential and prospects of genetic control. *Annual Review of Phytopathology* 54: 303-322.
- Stakman, E. C., Stewart, D., and Loegering, W. 1962.** Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. USDA Washington. 54 pp.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., and Konzak, C. F. 1974.** A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research* 14 (6): 415-421.