

مقاله پژوهشی

بررسی کارایی ژن‌های مقاومت به زنگ سیاه گندم و آخرین واکنش ژنوتیپ‌های گندم اقلیم سرد کشور نسبت به بیماری

علی ملیحی‌پور^{۱*}، اسمعیل ابراهیمی میمند^۲ و خداداد مصطفوی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۲۲)

چکیده

زنگ سیاه گندم ناشی از قارچ *Puccinia graminis f.sp. tritici*، خسارت‌زاترین بیماری در میان زنگ‌های گندم است. در تحقیق حاضر، علاوه بر تعیین کارایی ژن‌های مقاومت به بیماری، واکنش ارقام تجاری، لاین‌های در دست نامگذاری و لاین‌های امیدبخش گندم اقلیم سرد در سال ۱۳۹۴ (ERWYT-C-94) در برابر بیماری تعیین گردید. مقادیر بیماری مشاهده شده بر روی ارقام افتراقی حامل ژن‌های مقاومت به بیماری در مزرعه نشان‌دهنده پرازاری روی ۳۱ ژن مقاومت بود. پرازاری روی ژن *Sr31* برای اولین بار از کلاردشت و روی دو ژن *Sr1RSAmigo* و *SrSatu* اولین بار از کشور گزارش می‌شود. براساس نتایج مربوط به واکنش ژنوتیپ‌های آزمایشی در مرحله گیاهچه در گلخانه، 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 بروز پایین‌ترین تیپ‌های آلودگی در برابر جدایه‌های قارچ عامل بیماری، بالاترین مقاومت را داشتند. نتایج واکنش ژنوتیپ‌های مورد بررسی در مرحله گیاه کامل در مزرعه نشان داد که لاین در دست نامگذاری CD-89-10، با داشتن واکنش 20R، به عنوان مقاوم‌ترین لاین از بین ۴۸ ژنوتیپ مورد بررسی می‌باشد. همچنین، دو لاین در دست نامگذاری CD-90-4 و CD-90-8 علاوه بر داشتن مقاومت بالاتر در برابر اکثر جدایه‌های قارچ در مرحله گیاهچه، در مرحله گیاه کامل نیز به‌ترتیب با داشتن واکنش‌های 20MR و 40MR از مقاومت خوبی در برابر بیماری برخوردار بودند. با توجه به حساسیت اکثر ژنوتیپ‌های آزمایشی اقلیم سرد به‌ویژه لاین‌های امیدبخش، انتقال ژن‌های مقاومت به بیماری به ارقام گندم مورد کاشت در این اقلیم به منظور افزایش مقاومت آنها ضروریست.

کلیدواژه: گندم، اقلیم سرد، زنگ سیاه، *Puccinia graminis f.sp. tritici*، مقاومت

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a.malihipour@areeo.ac.ir

۱. استادیار بخش تحقیقات غلات، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز.
۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی کرج، کرج، البرز.
۳. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.

Investigation on Effectiveness of Wheat Stem Rust Resistance Genes and the Latest Response of Wheat Genotypes from the Cold Agro-climatic Zone of Iran to the Disease

A. Malihipour^{1*}, E. Ebrahimi-Meymand², and K. Mostafavi³

(Received: 16.2.2020; Accepted: 11.5.2020)

Abstract

Wheat stem rust, caused by *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, is the most destructive rust of wheat. In this study, in addition to determining the effectiveness of rust resistance genes, the responses of 48 wheat genotypes from the cold agro-climate zone of Iran, including commercial cultivars, candidate lines, and the lines of ERWYT-C-94 were determined to the disease. Disease score of differential cultivars carrying resistance genes to stem rust under field conditions showed the presence of virulence on 31 resistance genes. In this regard, virulence on Sr31 was new for Kelardasht and on Sr1RSAmigo and SrSatu for the whole country. Seedling evaluations of wheat genotypes in the greenhouse showed that three commercial cultivars including MV-17, Pishgam, and Gascogne, four candidate lines including C-88-7, C-88-14, C-89-7, and CD-89-10, and the elite line C-94-6 displayed the lowest infection types to different isolates of *P. graminis* f.sp. *tritici*. Adult-plant evaluations under field conditions showed that the candidate line CD-89-10, showing the response of 20R, was the most resistant line among all genotypes tested. Two candidate lines CD-90-4 and CD-90-8, displaying low infection types to most of the isolates, were also among the genotypes with good level of resistance to the disease at seedling stage. These lines, with the responses of 20MR and 40MR, respectively, had also acceptable levels of resistance at adult-plant stage. Considering high frequency of susceptible genotypes to stem rust in cold zone, especially the promising lines, transferring effective stem rust resistance genes to wheat cultivars for this zone is necessary.

Keywords: Wheat, cold agro-climate zone, stem rust, *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*, resistance

*Corresponding author's E-mail: a.malihipour@areeo.ac.ir

1. Assistant professor, Cereal Research Department, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), AREEO, Karaj, Alborz, Iran.
2. Former M.Sc. student of Plant Breeding, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Karaj Islamic Azad University, Karaj, Alborz, Iran.
3. Associate Professor,, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

مقدمه

گزارش گردید (Esfandiari 1947). طبق گزارشات موجود، زنگ سیاه از آن زمان در کشور ما اهمیت زیادی داشته و در برخی مناطق کشور خسارت وارد می‌کرده است. وقوع چندین اپیدمی بیماری در مناطق عمده کشت گندم به خصوص در نواحی جنوبی و شمالی کشور گزارش شده است (Bamdadian & Torabi 1978, Sharif et al. 1970). همچنین، به دنبال مساعد شدن شرایط اقلیمی برای ظهور و توسعه بیماری در سال ۱۳۵۵ اپیدمی دیگری از بیماری در مناطق جنوب و جنوب شرقی کشور به وقوع پیوست که تا ۹۰٪ به محصول گندم این مناطق خسارت وارد کرد (Bamdadian & Torabi 1978). در نتیجه اقدامات انجام شده برای کنترل زنگ سیاه، این بیماری از اواخر دهه ۱۹۵۰ در ایالات متحده آمریکا و

گندم اصلی‌ترین و مهم‌ترین ماده غذایی مورد مصرف مستقیم انسان بوده و در بسیاری از کشورها سرانه مصرف آن از هر غذای دیگری بیشتر است. گیاه گندم هر ساله در اثر ابتلا به بیماری‌های مختلف متحمل خسارت زیادی می‌شود. بیماری زنگ سیاه ناشی از قارچ *Puccinia graminis* Pers. f.sp. *tritici* Eriks. & Henn. در شرایط مرطوب و درجه حرارت‌های بالا توسعه پیدا می‌کند، خسارت‌زاترین زنگ گندم بوده و میزان خسارت ناشی از آن ممکن است تا نابودی کامل مزارع گندم نیز برسد (Pardey et al. 2013, Roelfs et al. 1992, Singh et al. 2008b). عمده خسارت ناشی از این بیماری، در اثر آلودگی ساقه‌ها و قبل از پرشدن کامل دانه ایجاد می‌شود (شکل ۱). آلودگی ساقه گندم به بیماری باعث صدمه به سیستم انتقال مواد غذایی به دانه، کاهش تعداد دانه، کاهش وزن هزاردانه و در آلودگی‌های شدید باعث شکسته شدن ساقه و از بین رفتن ماده خشک گیاه می‌گردد. دانه‌های تولید شده در گیاهان آلوده، از نظر اندازه کوچک بوده، معمولاً چروکیده هستند، و کیفیت آرد و ارزش غذایی آنها پایین است (Agrios 2005, Roelfs et al. 1992).

این بیماری طی دوره‌های مختلف تاریخی در آمریکا و کانادا (Kolmer 2001)، نواحی جنوبی آمریکای جنوبی (German et al. 2007)، قاره اروپا، شبه قاره هند، استرالیا (Park 2007)، آفریقای جنوبی (Pretorius et al. 2007)، آفریقای شرقی (Wanyera et al. 2006) و چین (Knott 1989, Roelfs et al. 1992) به گندم خسارت وارد کرده است. زنگ سیاه که مسلماً از زمان‌های قدیم در ایران وجود داشته است، برای اولین بار در سال ۱۳۲۶ از ایران



شکل ۱- علایم آلودگی گندم به بیماری زنگ سیاه در منطقه کلاردشت در مازندران

Fig 1. Symtoms of infection to stem rust in Kelardasht, Mazandaran, Iran

(Singh et al. 2009) و سودان و یمن (Admassu et al. 2009) به اثبات رسید. جالب است گفته شود که پرازاری روی ژن *Sr31* و به تبع آن وجود چنین نژادی در ایران هم‌زمان با گزارش آن از اوگاندا و سایر کشورهای جهان، در سال ۱۳۷۷ توسط نصرالهی (Nasrollahi 1998) گزارش شده بود، اما بعد از گزارش آن از اوگاندا و سپس جنجال زیادی که در سطح جهان در رابطه با خطر همه‌گیر شدن بیماری زنگ سیاه ایجاد شد، این بیماری در ایران نیز مورد توجه مجدد قرار گرفت و به دنبال آن، نژاد Ug99 در سال ۱۳۸۶ در ایران مشاهده و در سال ۱۳۸۸ وجود آن رسماً توسط نظری و همکاران (Nazari et al. 2009) گزارش گردید. در هر حال، پیدایش این نژاد از قارچ عامل بیماری در دو دهه اخیر نگرانی‌های زیادی را ایجاد کرده و این بیماری را مجدداً در کانون توجه قرار داده است. طی دو دهه اخیر، جوهرهایی (Variants) از نژاد اولیه و کلاسیک Ug99 یعنی TTKSK در مناطق مختلف جهان شناسایی و گزارش شده‌اند که از نظر پرازاری یا عدم پرازاری روی یک یا چند ژن از بین ژن‌های مقاومت *Sr9h*, *Sr21*, *Sr24*, *Sr30*, *Sr31*, *Sr36* یا *SrTmp* با TTKSK تفاوت دارند. به همین علت، پیشنهاد شده است هر کدام از این جوهرها به نام نژاد (Race) و مجموع آنها به نام گروه نژادی Ug99 (Ug99 race group) نامیده شوند (Singh et al. 2015). در ایران، جدای از موضوع پیدایش نژاد Ug99، در سال‌های اخیر وقوع بیماری زنگ سیاه در برخی مناطق کشور رو به گسترش بوده و درصد قابل توجهی از ارقام و لاین‌های گندم ایران در برابر برخی نژادهای محلی قارچ عامل بیماری حساسیت بالایی داشته‌اند.

برای کنترل این بیماری روش‌های مختلفی شامل روش‌های زراعی، شیمیایی و استفاده از ارقام مقاوم ذکر

سایر کشورهای آمریکای شمالی تحت کنترل بوده است (Singh et al. 2015). آنچه که در کنترل بیماری زنگ سیاه و جلوگیری از اپیدمی شدن آن در این مدت نقش داشته معرفی و کشت ارقام گندم دارای ترکیبی از ژن‌های مقاومت به بیماری و ریشه‌کنی میزبان واسط قارچ عامل بیماری یعنی زرشک (*Berberis vulgaris*) موجود در کنار مناطق کشت گندم بوده است (Kolmer et al. 1991). در هر حال، این بیماری در اواخر فصل رشد، در ارقام گندم دیر کاشت و دیررس و در مناطق دارای ارتفاع کمتر، همیشه اهمیت داشته است (Agrios 2005, Roelfs et al. 1992). در ایران نیز با وجود عدم خسارت جدی ناشی از این زنگ از اواسط دهه ۱۳۵۰ به بعد، این بیماری در بسیاری از مناطق کشور به صورت اندمیک (بوم‌گیر) وجود داشته و در برخی سال‌ها در اواخر فصل رشد گندم به‌ویژه روی ارقام محلی به‌صورت پراکنده و گاه با خسارت جزئی تا متوسط قابل مشاهده بوده است.

در سال ۱۹۹۹ یک نژاد مخرب از زنگ سیاه از کشور اوگاندا گزارش شد که بر روی ژن مقاومت *Sr31* پرازاری (Virulence) داشت (Pretorius et al. 2000). ژن *Sr31* ژن بسیار مهمی است که به همراه چند ژن دیگر برای مدت حدود ۳۰ سال مقاومت گندم در برابر این بیماری را حفظ کرده بود (Singh et al. 2008a, 2008b). نژاد جدید از قارچ عامل زنگ سیاه که در آن زمان به نام نژاد Ug99 نامیده شد، بعداً با استفاده از ارقام افتراقی آمریکای شمالی برای تعیین نژاد زنگ سیاه، به نام TTKSK تعیین نام گردید (Jin et al. 2007). برخی مدارک نشان می‌دهند که این نژاد از سال ۱۹۹۳ در کشور هم‌جوار اوگاندا یعنی کنیا وجود داشته است (Singh et al. 2008a). به هر حال، بعداً وجود این نژاد در سال ۲۰۰۴ از کنیا (Wanyera et al. 2006) و در سال ۲۰۰۶ از اتیوپی

شده‌اند. تولید و استفاده از ارقام مقاوم از نظر اقتصادی و حفظ محیط زیست مهم‌ترین روش برای کنترل این بیماری به شمار می‌رود. دستیابی به این هدف تنها از طریق شناخت کامل جمعیت قارچ عامل بیماری و تغییرات نژادی آن در زمان و مکان، درک ماهیت ژنتیکی مقاومت و شناسایی ژن‌های دخیل در مقاومت به بیماری در گندم و انتقال مقاومت به ارقام جدید گندم امکان‌پذیر است. تاکنون حداقل ۶۰ ژن مقاومت به زنگ سیاه در گندم شناسایی شده است که از بین آنها به استثنای چند ژن مقاومت شامل *Sr2*, *Sr55*, *Sr56*, *Sr57* و *Sr58* که از نوع ژن‌های مقاومت گیاه کامل بوده و در زمان بلوغ گیاه فارغ از نژادهای قارچ عامل بیماری باعث ایجاد مقاومت می‌شوند، مابقی ژن‌ها از نوع ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای بوده و دارای ماهیت اختصاصی نژاد (Race-specific) هستند (Singh et al. 2015). بسته به اهداف و نوع برنامه‌های به‌نژادی گندم می‌توان نسبت به انتقال نوع ژن‌های موردنظر به ارقام موردنظر تصمیم‌گیری نمود. در هر حال، با توجه به احتمال بروز و توسعه زنگ سیاه در مناطق بیشتری از کشور، لازم است ضمن آنالیز ژنتیکی ارقام و لاین‌های گندم کشور، برنامه انتخاب والدین و تلاقی‌های مربوطه به‌گونه‌ای طراحی شوند که حداقل دو تا سه ژن مقاومت مؤثر به ارقام جدید انتقال داده شوند.

در پژوهش حاضر، در راستای اهداف بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر برای معرفی ارقام گندم با عملکرد بالا و مقاوم به زنگ سیاه برای اقلیم سرد کشور، کارایی و مؤثر بودن ژن‌های مقاومت به زنگ سیاه از طریق کاشت خزانه تله (Trap nursery) در منطقه کلاردشت مورد بررسی قرار گرفت. علت انتخاب این منطقه جهت این بررسی، علاوه بر نمایندگی از اقلیم سرد کشور، فراوانی میزبان واسط قارچ

عامل بیماری (زرشک) در این منطقه است که به‌علت طی شدن بخش‌های مهمی از مرحله جنسی این قارچ روی آن، می‌تواند شانس نوترکیبی، احتمال تولید نژادهای جدید و به‌دنبال آن در هم شکستن ژن‌های مقاومت به بیماری را در پی داشته باشد. همچنین، در این بررسی، با هدف کمک به جایگزینی ارقام حساس به بیماری، در اقلیم سرد با ارقام مقاوم جدید، واکنش ارقام گندم تجاری، لاین‌های در دست نامگذاری و لاین‌های مربوط به آزمایش مقایسه عملکرد یکنواخت امیدبخش اقلیم سرد کشور در سال ۱۳۹۴ در مراحل گیاهچه (گلخانه) و گیاه کامل (کلاردشت) نسبت به بیماری تعیین گردید. نوآوری پژوهش انجام شده و مطالب مقاله حاضر، پایش پرآزاری روی ژن‌های مقاومت به زنگ سیاه، ارائه آخرین اطلاعات از وجود ژن‌های مقاومت مؤثر در برابر بیماری و بررسی آخرین واکنش ژنوتیپ‌های گندم اقلیم سرد کشور نسبت به بیماری زنگ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

بررسی کارایی ژن‌های مقاومت به بیماری

در تحقیق حاضر، به منظور بررسی کارایی ژن‌های مقاومت به زنگ سیاه، تعداد ۴۸ رقم گندم موسوم به ارقام افتراقی که هر کدام حامل یک و در مواردی چند ژن مقاومت به زنگ سیاه بودند، به همراه رقم موراکو (Morocco) به‌عنوان شاهد حساس به بیماری مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۱). در این راستا، اواخر پاییز ۱۳۹۵ هر کدام از ارقام مذکور به میزان حدود ۷ گرم بذر روی یک خط یک متری به فاصله ۳۰ سانتی‌متری از رقم دیگر در شرایط مزرعه در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کلاردشت واقع در استان مازندران کاشته شد و عملیات رایج زراعی به منظور رساندن آنها به مرحله گیاه کامل

جدول ۱. مشخصات ارقام افتراقی زنگ سیاه مورد استفاده در تحقیق حاضر و واکنش آنها نسبت به بیماری در مرحله گیاه کامل در منطقه کلاردشت
Table 1. Characteristics of the stem rust differential wheat cultivars used in the present study and their reaction to the disease at adult-plant stage in Kelardasht, Mazandaran, Iran

شماره	رقم افتراقی	شجره	ژن‌های مقاومت	میزان بیماری
Number	Differential cultivar	Pedigree	Resistance gene(s)	Disease score
1	ISr5-Ra	Thatcher/Chinese Spring (CI 14159)	Sr5	100S
2	ISr6-Ra	Red Egyptian/Chinese Spring (CI 14163)	Sr6	100S
3	Na 101/6*Marquis	Na 101/6*Marquis	Sr7a	100S
4	ISr7b-Ra	Hope/Chinese Spring (CI 14165)	Sr7b	100S
5	CI 14167/9*LMPG-6 DK04	Red Egyptian/Chinese Spring (CI 14167)	Sr8a	100S
6	Barleta Benvenuto	Barleta Benvenuto	Sr8b	100S
7	ISr9a-Ra	Red Egyptian/Chinese Spring (CI 14169)	Sr9a	100S
8	Kenya 117A	Prelude*4/2/Marquis*6/Kenya 117A	Sr9b	50MS
9	ISr9d-Ra	Hope/Chinese Spring (CI 14177)	Sr9d	50MS
10	Vernstein	Little Club//3*Gabo/2*Charter/3/3*Steinwedel/CI 7778	Sr9e	30MS
11	A Selection from Kubanka	Chinese Spring*7/Marquis 2B (CI 1516)	Sr9g	40MS
12	W2691Sr10	Marquis*4/Egypt NA95/2/2*W2691 (CI 17388)	Sr10	100S
13	Lee	Lee/6*LMPG-6 DK37 (CI 12488)	Sr11	80MS
14	Chinese Spring*5/Thatcher 3B	Chinese Spring*5/Thatcher 3B	Sr12	100S
15	Prelude*4/2/Marquis*6/Khapstein	Prelude*4/2/Marquis*6/Khapstein	Sr13	10MS
16	W2691*2/Khapstein	W2691*2/Khapstein	Sr14	40MR
17	Prelude*2/Norka	Prelude*2/Norka	Sr15	60S
18	Thatcher/Chinese Spring (CI 14173)	Thatcher/Chinese Spring (CI 14173)	Sr16	80S
19	Esp 518/9	Prelude/8*Marquis*2/2/Esp 518/9	Sr17	80S
20	Little Club/Sr18Mq Marquis "A"	Little Club/Sr18Mq Marquis "A"	Sr18	60S
21	94A 236-1 Marquis "B"	-	Sr19	40S
22	94A 237-1 Marquis "C"	-	Sr20	60S
23	Einkorn	T. monococcum/8*LMPG-6 DK13 (CI 2433)	Sr21	60S
24	Mq*6/Stewart*3/RL 5244	Mq*6/Stewart*3/RL 5244	Sr22	80S
25	Exchange	Exchange	Sr23	TMR
26	LcSr24Ag	Little Club/Agent (CI 13523)	Sr24	50MR
27	Agatha (CI 14048)/9*LMPG-6	Agatha (CI 14048)/9*LMPG-6 DK16	Sr25	90S
28	Eagle Sr26 McIntosh	-	Sr26	50MR

جدول ۱. مشخصات ارقام افتراقی زنگ سیاه مورد استفاده در تحقیق حاضر و ... (ادامه)

Table 1. Characteristics of the stem rust differential wheat cultivars used in the ... (Continue)

شماره	رقم افتراقی	شجره	دژن‌های مقاومت	میزان بیماری
Number	Differential cultivar	Pedigree	Resistance gene(s)	Disease score
29	WRT 238-5 (1984) Roelfs	-	Sr27	80S
30	Kota RL471	-	Sr28	60S
31	Prelude/8*Marquis/2/Etirole de Choisy	Prelude/8*Marquis/2/Etirole de Choisy	Sr29	80S
32	A Selection from Webster F3:F4 #6	Webster (CI 3780)	Sr30	80S
33	Benno (Sr31)	Sr31 (Benno)/6*LMPG-6 DK42	Sr31	80S
34	ER5155	-	Sr32	60MS
35	RL 5405 (1192) Kerber	-	Sr33	80S
36	RL 6098 (1997) Dyck	-	Sr34	100S
37	RL 6099 (1995) Dyck	-	Sr35	100S
38	W2691SrTt-1	<i>Triticum timopheevii</i>	Sr36	80MS
39	Prelude*4/Line W (W3563)	Prelude*4/Line W (W3563)	Sr37	70S
40	Trident	Spear*4/VPM (PI 519303)	Sr38	30S
41	RL 5711 Kerber	-	Sr39	80MS
42	RL 6087 Dyck	-	Sr40	70MS
43	McNair 701	-	SrMcN	100S
44	CsSSrTmp	VA 2001 Increase	SrTmp	100S
45	TAM 107	08 Aberdeen Inc. Source: 06 AB YJ	SrIRS ^{Amigo}	60S
46	BtSrWld	Hard red winter	SrWld-1	80S
47	Satu	Waldron	SrSatu	60S
48	SrNin	-	SrNin	5MS
49	Morocco (Susceptible check)	-	-	80S

انجام گردید. با توجه به هدف این تحقیق که شکار پاتوتایپ‌های زنگ سیاه موجود در منطقه و بررسی پرازاری آنها روی ژن‌های مقاومت موجود در ارقام افتراقی بود، این آزمایش در شرایط آلودگی طبیعی منطقه انجام شد. در هر حال، با توجه به اجرای آزمایش‌های دیگری در این ایستگاه که در آنها از مایه‌زنی مصنوعی استفاده می‌شد، احتمال انتقال اسپورهای مذکور روی این گیاهان وجود داشت. البته مایه اولیه این اسپورها نیز قبلاً از این ایستگاه جمع‌آوری شده و پس از تکثیر در گلخانه جهت استفاده در برخی آزمایشات مجدداً به ایستگاه مذکور آورده شده بودند. یادداشت‌برداری از شدت بیماری در اواخر مرحله خمیری نرم که ساقه‌ها از رنگ سبز به رنگ کاهی می‌گراییدند (اواخر خرداد ۱۳۹۶)، با توجه به درصد پوشیده شدن ساقه توسط جوش‌های زنگ سیاه بر اساس مقیاس اصلاح شده کاب (The modified Cobb scale) (Peterson et al. 1948) در مقیاس ۱۰۰-۰ انجام گردید. همزمان، یادداشت‌برداری از واکنش گیاه به آلودگی یعنی تعیین تیپ‌های آلودگی مقاومت (R)، نیمه مقاومت (MR)، نیمه حساسیت (MS) و حساسیت (S) بر اساس روش رالفز و همکاران (Roelfs et al. 1992) انجام گردید. در این بررسی، بروز تیپ آلودگی S با شدت ۵۰ یا بالاتر به معنای وجود پرازاری قارچ عامل بیماری برای ژن یا ژن‌های مقاومت موجود در گیاه و دلیل بر عدم کارایی ژن یا ژن‌های مقاومت مذکور در برابر قارچ عامل بیماری در نظر گرفته شد.

بررسی مقاومت ارقام و لاین‌های آزمایشی در مرحله گیاهچه

در بررسی حاضر تعداد ۴۸ ژنوتیپ گندم مربوط به اقلیم سرد کشور متشکل از ۱۲ رقم تجاری مورد کاشت،

۲۴ لاین در دست نامگذاری و ۱۲ لاین مربوط به آزمایش مقایسه عملکرد یکنواخت امیدبخش این اقلیم در سال ۱۳۹۴ (ERWYT-C-94) به منظور تعیین واکنش آنها در برابر بیماری در نظر گرفته شدند. در همه این موارد، گندم رقم موراگو به عنوان شاهد حساس به بیماری مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات و شجره مواد آزمایشی مورد استفاده در این بررسی در جدول ۲ آورده شده‌اند.

به منظور انجام مایه‌زنی‌ها در بررسی حاضر، شش جدایه از قارچ عامل بیماری که از مناطق مختلف کشور جمع‌آوری شده و در واحد پاتولوژی بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر نگهداری می‌شدند، مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۳). از شش جدایه مذکور، یک جدایه از نژاد PTRTF، دو جدایه از نژاد TTTTF و سه جدایه از نژاد TKTTF بودند. از نظر محل جمع‌آوری جدایه‌ها، یک جدایه از هر یک از مناطق بروجرد، پارس‌آباد و گرگان و سه جدایه از منطقه کلاردشت جمع‌آوری شده بودند. این جدایه‌ها و محل‌های جمع‌آوری آنها، عمده نژادهای شایع کشور و بیشتر مناطقی را که زنگ سیاه در آنها شایع است پوشش می‌دهند. همچنین، با توجه به اهمیت ایستگاه تحقیقات کشاورزی کلاردشت از نظر بیماری زنگ سیاه و اجرای آزمایشات مزرعه‌ای در این ایستگاه، هر سه نژاد شایع در این ایستگاه جهت بررسی‌های گیاهچه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند. یکی از این سه نژاد یعنی نژاد TTTTF علاوه بر کلاردشت در بسیاری از مناطق دیگر کشور هم شایع است. شایان ذکر است که سیستم نامگذاری فعلی نژادهای قارچ عامل بیماری زنگ سیاه که به سیستم نامگذاری آمریکای شمالی معروف است، براساس واکنش ۲۰ رقم افتراقی که هر کدام دارای یک ژن مقاومت هستند استوار بوده و بنابراین تعداد زیادی ژن از بین بیش از ۶۰ ژن مقاومت شناخته‌شده به

جدول ۲. اسامی، شجره و منشأ ژنوتیپ‌های گندم مورد استفاده در تحقیق حاضر

شماره	ژنوتیپ	شجره	منشأ
Number	Genotype	Pedigree	Origin
A. Commercial cultivars			
1	MV-17	SLAVIA/MV-TF//BARANJK	Hungary
2	Alvand	1-27-6275/CF-1770	Iran
3	Zarrin	NAINARI-60/HEINES-VII//BUCKBUCK/3/F-59-71/GOSHAWK	IWWIP ¹
4	Shahryar	KAVKAZ/TANORI-71/3/MAYA-74(SIB)//BLUEBIRD/INIA-66/4/KARAJ-2/5/ANZA/3/PITIC-62/NARINO-59/HYSLOP	Iran
5	Pishgam	BKT/90-ZHONG87	Iran
6	Soissons	IEA(JENA)/(HYBRIDE-NATUREL)JHN-35	France
7	Gascogne	TJB-990-8/MARENGO	France
8	Gaspard	ARMINDA/FD-71036	France
9	C-94-1 (Oroum)	Alvand//NS732/Her	Iran
10	C-94-2 (Zareh)	130-L1-11//F35-70/MOCHIS-73/4/Y AMHILL//TOBARI-66//MCDERMID/3/LIRA	Iran
11	C-94-3 (Milhan)	BKT/90-ZHONG87	Iran
12	C-94-4 (Haydari)	GHK"S"/BOW"S"/90ZHONG87/3/SHIROODI	Iran
B. Candidate lines			
13	C-87-11	BASSWOOD/MV-17	Iran
14	C-87-12	BASSWOOD/MV-17	Iran
15	C-88-4	GASCOGNE/COL.NO.3625//ALAMOOT	Iran
16	C-88-7	RSH*2/10120//ZAGROS	Iran
17	C-88-13	QDS/4/ANZA/3/PI/NAR//HYS/5/VEE/NAC/6/GASCOGNE/7/ZARRIN	Iran
18	C-88-14	QDS/4/ANZA/3/PI/NAR//HYS/5/VEE/NAC/6/GASCOGNE	Iran
19	C-89-6	FDO 2062	Iran
20	C-89-7	ZARRIN*2/GASPARD	Aras-bazr Company, Iran
21	C-89-15	FDO 4085	Iran
22	CD-89-10	TX71C8130R/TX81V6610/3/RI6010/6*INIA60//KAUZ	Aras-bazr Company, Iran
23	CD-89-11	PYN*2/CO725052/3/KAUZ*2YACO//KAUZ	?
24	CD-89-15	308.02.2/WEAVER//F362K2.121	15 th FAWWON-IR ²
25	C-90-11	EUDIELE	15 th FAWWON-IR
26	CD-90-4	ALMT/3/ALVAD//ALDAN"S"/IAS58/4/ALMT/GASPARD	France
27	CD-90-7	OWL/KAVIR/3/OWL//VEE/NAC	Iran

ب- لاین‌های در دست نامگذاری

جدول ۲. اسامی، شجره و منشأ ژنوتیپ‌های گندم مورد استفاده ... (ادامه)

شماره	ژنوتیپ	Pedigree	شجره	منشأ
Number	Genotype	Origin		
28	CD-90-8	SHI4414/CROW"S"/V82187/T.AEST/5/TI/4/LA/3/FR/KAD//GH/6/2*BLOUDAN/3/BB/2*7C//Y50E/KAL*3	France	Iran
29	CD-90-11	FDO 2026		
30	CD-90-12	STRELETZ		
31	C-91-4	ZRN/SHIROODI/6/ZRN/5/OMID/4/BB/KAL//ALD/3/Y50E/KAL*3//EMU	Iran	16 th FAWWON-IR ³
32	CD-91-8	JAGGER(SIB)/3/LAGOS-7//GUIMATLI 2/17		
33	CD-91-11	ZANDER//ATTILA/3*BCN(-0SE-0YC-0YE-3YE-0YE-2YE-0YE)		
34	CD-91-12	SOLH		
35	CD-92-5	HK1/6/NVSR3/5/BEZ/TVR/5/CFN/BEZ//SU92/CII13645/3NAI60		
36	CD-92-6	Lufet-1/Kinaci97	(ERWYT-C-94) ۱۳۹۴	18 th FAWWON-IR
C. Elite lines of cold agro-climate zone in 2015 (ERWYT-C-94)				
37	C-94-5	JI5418/MARAS//SHARK/F4105W2.1		
38	C-94-6	CHARGER/OWL 85224*-3H-*O-*HOH//ALVD		
39	C-94-7	SHARK-1/3/AGRI/BJY//VEE/4/SHARK/F4105W2.1		
40	C-94-8	BLUEGIL-2/BUCUR//SIRENA	Iran	16 th IWWT-IR
41	C-94-9	OR2071681		
42	CD-94-4	4WON-IR-257/5/YMH/HYS//HYS/TUR3055/3/DGA/4/VPM/MOS		
43	CD-94-5	GA961565-27-6/LA95283CA-78-1-2	Iran	16 th FAWWON-IR
44	CD-94-6	ALD"S"/SNB"S//ZRN*2/3/YACO/PARUS//PARUS		
45	CD-94-8	SHARK-1/3/AGRI/BJY//VEE/4/SHARK/F4105W2.1		
46	CD-94-9	ZARRIN/SHIROODI/6/ZARRIN/5/OMID/4/BB/KAL//ALD/3/Y50E/KAL*3//EMU	Iran	16 th IWWT-IR
47	CD-94-10	TURKOAZ		
48	CD-94-11	GASPARD/3/ALD/SNB//ZRN		

۱- برنامه بین‌المللی اصلاح گندم زمستانه، ۲- پانزدهمین خزانه مشاهده‌ای گندم اختیاری و زمستانه برای مناطق با کشت‌های آبی، ۳- شانزدهمین خزانه مشاهده‌ای گندم اختیاری و زمستانه برای مناطق با کشت‌های آبی، ۴- دهمین آزمایش مقایسه عملکرد گندم‌های زمستانه و اختیاری برای آسیای مرکزی و غربی، ۵- هجدهمین خزانه مشاهده‌ای گندم اختیاری و زمستانه برای مناطق با کشت‌های آبی، ۶- شانزدهمین آزمایش مقایسه عملکرد بین‌المللی گندم زمستانه برای مناطق با کشت‌های آبی و ۷- بیستمین خزانه مشاهده‌ای گندم اختیاری و زمستانه برای مناطق با کشت‌های آبی، همگی دریافت شده از برنامه بین‌المللی اصلاح گندم زمستانه ترکیه/سیمیت/ایکاردا (TURKEY/CIMMYT/ICARDA).

1. International Winter Wheat Improvement Program, 2. 15th Facultative and Winter Wheat Observation Nursery for Irrigated Environments, 3. 16th Facultative and Winter Wheat Observation Nursery for Irrigated Environments, 4. 10th Central and West Asia Winter and Facultative Yield Trial, 5. 18th Facultative and Winter Wheat Observation Nursery for Irrigated Environments, 6. 16th International Winter Wheat Yield Trial for Irrigated Environments, and 7. 20th Facultative and Winter Wheat Observation Nursery for Irrigated Environments, all received from TURKEY/CIMMYT/ICARDA International Winter Wheat Improvement Program.

جدول ۳. مشخصات جدایه‌های قارچ *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* مورد استفاده در بررسی واکنش ژنوتیپ‌های گندم نسبت به زنگ سیاه در مرحله گیاهچه

Table 3. Characteristics of the *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* isolates used to study the reactions of wheat genotypes to stem rust at seedling stage

کد جدایه	نام نژاد	محل جمع‌آوری	ژن‌های مقاومتی که ایزوله/نژاد قارچ عامل بیماری روی آنها دارای پرازاری بود
Isolate code	Race	Place of collection	The resistance genes that the stem rust isolate/race had virulence on them
94-8	TTTTF	Boroujerd, Lorestan	Sr5, Sr6, Sr7b, Sr8a, Sr9a, Sr9b, Sr9d, Sr9e, Sr9g, Sr10, Sr11, Sr17, Sr21, Sr30, Sr36, Sr38, SrMcN, SrTmp
94-32	TTTTF	Kelardasht, Mazandaran	Sr5, Sr6, Sr7b, Sr8a, Sr9a, Sr9b, Sr9d, Sr9e, Sr9g, Sr10, Sr11, Sr17, Sr21, Sr30, Sr36, Sr38, SrMcN, SrTmp
94-15	PTRTF	Kelardasht, Mazandaran	Sr5, Sr6, Sr7b, Sr8a, Sr9a, Sr9b, Sr9d, Sr9e, Sr9g, Sr10, Sr11, Sr17, Sr36, Sr38, SrMcN, SrTmp
95-31	TKTTF	Kelardasht, Mazandaran	Sr5, Sr6, Sr7b, Sr8a, Sr9a, Sr9b, Sr9d, Sr9e, Sr9g, Sr10, Sr17, Sr21, Sr30, Sr36, Sr38, SrMcN, SrTmp
94-1-1	TKTTF	Gorgan, Golestan	Sr5, Sr6, Sr7b, Sr8a, Sr9a, Sr9b, Sr9d, Sr9e, Sr9g, Sr10, Sr17, Sr21, Sr30, Sr36, Sr38, SrMcN, SrTmp
94-52	TKTTF	Parsabad, Ardabil	Sr5, Sr6, Sr7b, Sr8a, Sr9a, Sr9b, Sr9d, Sr9e, Sr9g, Sr10, Sr17, Sr21, Sr30, Sr36, Sr38, SrMcN, SrTmp

بیماری در آن دخالت دارند. با توجه به این امر، جدایه‌های مختلف قارچ عامل بیماری که متعلق به یک نژاد مشخص هستند ممکن است از نظر پرازاری یا عدم پرازاری روی ژن‌های دیگری که در این سیستم نامگذاری امکان دخالت دادن آنها وجود ندارد، با هم تفاوت داشته باشند. به همین علت، در بررسی حاضر، جدایه‌های مختلفی از این قارچ که از مناطق مختلف جمع‌آوری شده و همه از نظر نام نژاد یکسان هستند، ممکن است تفاوت‌های زیادی با هم داشته باشند.

برای انجام این بررسی، ۱۰ تا ۱۵ بذر از هر ژنوتیپ در گلدان‌های آزمایشی به قطر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر که در آن‌ها مخلوط خاک معمولی و پیت ماس (به نسبت ۷۰٪ خاک معمولی و ۳۰٪ پیت ماس) ریخته شده بود، کاشته شدند. بذور شاهد حساس موراگو نیز به همین ترتیب در گلدان‌های مربوطه کاشته شدند. بعد از گذشت مدت ۸ تا ۱۰ روز، زمانی که برگ اول گیاهچه‌ها به خوبی توسعه یافت، اقدام به مایه‌زنی جداگانه آنها با اسپورهای جدایه‌های قارچ عامل بیماری گردید. برای انجام مایه‌زنی، از سوسپانسیون اسپور جدایه مورد نظر در حلال سالترول ۱۷۰ (Soltrol® 170) در دز ۱۰ میلی‌گرم اسپور در ۱۰ میلی‌لیتر روغن استفاده گردید. به منظور اطمینان از درستی داده‌های مورد جمع‌آوری، برای هر دسته از مواد مایه‌زنی شده با هر جدایه، دو تکرار در نظر گرفته شد. گیاهچه‌های مایه زنی شده به مدت ۲۴ ساعت در اتاقک تاریک با شرایط دمایی $18 \pm 2^{\circ}\text{C}$ و رطوبت نزدیک اشباع نگه داشته شدند. سپس گیاهچه‌ها به گلخانه با شرایط دمایی $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ و ۱۶ ساعت روشنایی منتقل شدند. چهارده روز پس از مایه‌زنی، از تیپ آلودگی گیاهچه‌ها با استفاده از یک مقیاس ۰-۴ که توسط استاکمن و همکاران (Stakman et al. 1962) معرفی و توسط مک‌ایتاش و

انجام شد. در هر حال، در اینجا ضمن توجه به مفهوم تیپ‌های مختلف آلودگی، تیپ آلودگی S با شدت ۴۰ یا بالاتر، نامناسب برای انتخاب ژنوتیپ‌های آزمایشی در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

کارایی ژن‌های مقاومت به بیماری

بر اساس این بررسی، ارقام افتراقی حامل ژن‌های مقاومت به زنگ سیاه واکنش‌های متفاوتی از بیماری از TMR تا 100S را بروز دادند (جدول ۱). میزان بیماری مشاهده شده روی رقم حساس موراگو نیز در حد 80S بود. مقادیر بیماری مشاهده شده بر روی ارقام افتراقی نشان دهنده وجود پرازاری بر روی ۳۱ ژن مقاومت به زنگ سیاه با نام‌های *Sr5*, *Sr6*, *Sr7a*, *Sr7b*, *Sr8a*, *Sr8b*, *Sr9a*, *Sr10*, *Sr12*, *Sr15*, *Sr16*, *Sr17*, *Sr18*, *Sr20*, *Sr21*, *Sr22*, *Sr25*, *Sr27*, *Sr28*, *Sr29*, *Sr30*, *Sr31*, *Sr33*, *Sr34*, *Sr35*, *Sr37*, *SrMcN*, *Sr1RS^{Amigo}*, *SrTmp* و *SrWld-1* بود و این ژن‌ها در ارقام افتراقی و یا نظیر آنها در ارقام تجاری گندم در منطقه کلاردشت و هر منطقه دیگری که نژادهای مشابه این منطقه در آن شایع باشند فاقد کارایی در برابر بیماری زنگ سیاه خواهند بود. قبلاً در بررسی‌های انجام شده توسط محققان دیگر کشور نیز پرازاری قارچ عامل بیماری روی این ژن‌ها به استثنای دو ژن *Sr1RS^{Amigo}* و *SrSatu* از برخی مناطق ایران گزارش شده است (Afshari 2012, Malihipour et al. 2019, Mojerlou et al. 2012, Nasrollahi 1998, Nazri & Mafi 2013, Nazari et al. 2009, Omrani et al. 2017, Patpour et al. 2014a, Safavi & Afshari 2018). پرازاری روی ژن *Sr31* نیز تاکنون از کلاردشت گزارش نشده بود. بنابراین، در این مقاله پرازاری روی ژن *Sr31*

همکاران (McIntosh et al. 1995) اصلاح گردیده است، یادداشت‌برداری شد. مطابق این مقیاس، تیپ‌های آلودگی 0 (مصون)، ۱ (نیمه‌مصون)، ۲ (خیلی مقاوم) و ۳ (مقاوم) به معنای تیپ‌های آلودگی پایین (Low infection types) و نشان دهنده مقاومت در گیاه و تیپ‌های آلودگی ۴ (نیمه‌حساس) و ۵ (حساس) به معنای تیپ‌های آلودگی بالا (High infection types) و نشان دهنده حساسیت گیاه نسبت به بیماری در نظر گرفته می‌شوند.

بررسی مقاومت ارقام و لاین‌های آزمایشی در مرحله گیاه کامل

سه دسته مواد آزمایشی مربوط به اقلیم سرد کشور علاوه بر مرحله گیاهچه در مرحله گیاه کامل نیز در برابر بیماری ارزیابی شدند. این مواد همانند روش گفته شده در قسمت بررسی کارایی ژن‌های مقاومت به بیماری، اواخر پاییز ۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کلاردشت کاشته شدند و عملیات رایج زراعی به منظور رساندن آنها به مرحله گیاه کامل انجام گردید. برای انجام این بررسی، یکی از نژادهای شایع در ایستگاه یعنی نژاد TTTTF که قبلاً از این ایستگاه جمع‌آوری شده و در گلخانه تکثیر شده بود، جهت انجام مایه‌زنی مورد استفاده قرار گرفت. مقدار اسپور مورد استفاده، یک گرم اسپور در یک کیلوگرم پودرتالک بود. مایه‌زنی اوایل سنبله‌دهی اکثریت بوته‌های گندم در عصرگاه و نزدیکی‌های غروب از طریق یک پودرپاش پستی موتوردار انجام شد طوری که از پاشیده شدن مخلوط اسپور و پودر تالک روی گیاهان جهت ایجاد یک پوشش یکنواخت اطمینان حاصل شد. یادداشت‌برداری از واکنش ارقام و لاین‌های آزمایشی نسبت به بیماری شامل شدت و تیپ آلودگی همانند روش گفته شده در قسمت بررسی کارایی ژن‌های مقاومت به بیماری

برای اولین بار از کلاردشت و پرآزاری روی دو ژن *Sr1RS^{Amigo}* و *SrSatu* برای اولین بار از ایران گزارش می‌شود.

ژن مقاومت *Sr31* که منشأ آن چاودار رقم پتکوس (Petkus) بوده و در گندم روی جابجا شدگی کروموزومی *1BL.1RS* قرار دارد (McIntosh et al. 1995)، به همراه چند ژن دیگر شامل *Sr24*، *Sr26*، *Sr36* و *Sr38* در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ نقش مهمی در کاهش زنگ سیاه گندم در کشورهای مختلف جهان داشته است (Singh et al. 2008a). این ژن از دهه ۱۹۸۰ در سطح وسیعی در برنامه‌های به‌نژادی گندم‌های بهاره، اختیاری و زمستانه در سرتاسر جهان از جمله سیمیت (CIMMYT) وارد شده و منجر به معرفی چندین رقم گندم پرتطرفدار در کشورهای مختلف گردید (Singh et al. 2008a). گندم رقم فلات از جمله این ارقام است که اواخر دهه ۱۳۶۰ در ایران معرفی شد و تا سال‌ها در بسیاری از مناطق کشور کشت گردید. گرچه پرآزاری روی ژن مقاومت *Sr31* برای اولین بار در سال ۱۳۷۷ از دو منطقه بروجرد و دورود در استان لرستان گزارش شده بود (Nasrollahi 1998)، بررسی‌های بیشتر در این ارتباط در سال ۱۳۸۸، علاوه بر گزارش وجود پرآزاری روی آن در دو منطقه بروجرد و همدان، شناسایی و گزارش نژاد Ug99 (TTKSK) برای اولین بار در کشور را در پی داشت (Nazari et al. 2009). بعداً در سال ۱۳۹۱ پرآزاری روی این ژن از دشت آزادگان (Afshari 2012) و سپس در سال ۱۳۹۵ از اردبیل (Safavi & Afshari 2016) نیز گزارش گردید. ژن *Sr1RS^{Amigo}* که دارای منشأ چاودار بوده و در گندم روی جابجا شدگی کروموزومی *1RS.1AL* قرار دارد (McIntosh et al. 1995)، در برابر نژاد Ug99 (TTKSK) مؤثر است (Jin et al. 2007). این ژن به همراه چند ژن دیگر در برخی از کشورهای جهان جهت ایجاد

مقاومت در برابر زنگ سیاه وارد گندم شده و براساس نتایج یکی از بررسی‌های انجام شده در ایالات متحده آمریکا، ۷٪ از ۷۷۶ لاین مورد بررسی در این کشور آن را داشته‌اند (Olson et al. 2010). ژن *SrSatu* که منشأ آن تریتیکاله رقم ساتو (Satu) است، با ژن *Sr27* موجود در تریتیکاله رقم کورانگ (Coorong) حالت اللی دارد (McIntosh et al. 1995). از این امر نتیجه‌گیری شده است که بسیاری از ارقام تریتیکاله تولید شده در مرکز بین‌المللی تحقیقات ذرت و گندم (CIMMYT) باید دارای ژن *SrSatu* یا *Sr27* باشند (Singh & McIntosh 1988). در هر حال، به نظر نمی‌رسد این ژن تاکنون در به‌نژادی گندم جهت افزایش مقاومت در برابر زنگ سیاه نقش مهمی داشته باشد.

در تحقیق حاضر، روی ۱۷ ژن مقاومت با نام‌های *Sr19*، *Sr14*، *Sr13*، *Sr11*، *Sr9g*، *Sr9e*، *Sr9d*، *Sr9b*، *Sr23*، *Sr24*، *Sr26*، *Sr32*، *Sr36*، *Sr38*، *Sr39*، *Sr40* و *SrNin* پرآزاری مشاهده نشد گرچه قبلاً پرآزاری روی همه آنها به استثنای ژن مقاومت *SrNin* اقلأً از یکی از مناطق کشور گزارش شده است (Afshari 2012, Mojerlou et al. 2012, Nasrollahi 1998, Nazri & Mafi 2013, Omrani et al. 2018, Patpour et al. 2014a). البته از نظر نگارندگان مقاله حاضر، پرآزاری گزارش شده روی برخی از ژن‌های مقاومت از قبیل *Sr24* و *Sr39* خیلی نادر و در مواردی مشکوک بوده و جهت تأیید پرآزاری روی آنها ممکن است نیاز به بررسی‌های بیشتری باشد. همچنین، فراوانی پرآزاری روی برخی دیگر، از این ژن‌ها شامل *Sr26*، *Sr27*، *Sr31*، *Sr33* و *Sr40* در کشور پایین بوده و پرآزاری روی آنها فقط در محدود مناطقی از کشور گزارش شده است. ژن *SrNin* که در بررسی حاضر پرآزاری روی آن مشاهده نشد، دارای منشأ

لایین‌های گندم ممکن است لازم باشد از آزمایشات مختلفی شامل بررسی با استفاده از پاتوتایپ‌های متعدد عامل بیماری (Multipathotype testing)، آنالیز نالیسومیک (Nullisomic analysis)، تعیین شجره (Pedigree analysis) و نشانگرهای مولکولی (Molecular markers) استفاده شود.

واکنش ارقام تجاری نسبت به بیماری

بررسی واکنش ارقام تجاری در مرحله گیاهچه در شرایط گلخانه (جدول ۴) نشان داد که گندم رقم MV-17 با بروز تیپ‌های آلودگی "؛" در برابر دو جدایه مورد آزمایش از قارچ عامل بیماری، "2" یا "2+" در برابر سه جدایه و "3-" در برابر یکی از جدایه‌های مورد بررسی، در مقایسه با سایر ارقام مورد آزمایش پایین‌ترین تیپ‌های آلودگی را داشته و بنابراین از آلودگی کمتری در برابر جدایه‌های زنگ سیاه مورد بررسی برخوردار بود. در این تحقیق، رقم پیشگام نیز با بروز تیپ‌های آلودگی "؛1" تا "1+" در برابر سه جدایه از قارچ عامل بیماری، "2-" در برابر یکی از جدایه‌ها و "3-" در برابر دو جدایه دیگر از آلودگی کمتری در برابر بیماری برخوردار بود. همچنین، رقم گاسکون (Gascogne) با بروز تیپ‌های آلودگی "2" یا "2+" در برابر هر شش جدایه موردنظر، در مقایسه با باقی ارقام دارای آلودگی کمتری بود. هیچ یک از سه رقم گفته شده، در برابر هیچ یک از جدایه‌های مورد بررسی واکنشی در حد تیپ‌های آلودگی "3" یا "4" نشان ندادند. برعکس، نه رقم میهن، سواسون (Soissons)، شهریار، زرین، اروم، حیدری، الوند، زارع و گاسپارد (Gaspard) در برابر یک یا چند جدایه مورد بررسی، واکنش نیمه‌حساس یا حساس نشان دادند. از میان اینها، ارقام میهن، سواسون و شهریار در برابر یک جدایه، دو رقم زرین و اروم در برابر

تریتیکاله بوده و در لاین‌های تریتیکاله با منشأ سیمیت دارای فراوانی بالایی است. به نظر می‌رسد که این ژن تاکنون در به‌نژادی گندم زیاد مورد استفاده قرار نگرفته است. علت عدم مشاهده پرازاری روی ژن‌های مقاومت گفته شده در بالا قطعاً به قابلیت و توانایی نژاد یا نژادهایی مربوط می‌شود که در زمان انجام تحقیق حاضر در منطقه کلاردشت شایع بوده‌اند.

ژن مقاومت گیاهچه‌ای *Sr24* به همراه چند ژن مقاومت گیاهچه‌ای دیگر شامل *Sr31*، *Sr36* و *Sr38* و نیز ژن مقاومت گیاه کامل *Sr2* که همگی از خویشاوندان وحشی گندم یا چاودار به گندم منتقل شده‌اند، نقش مهمی در مقاومت گندم در برابر زنگ سیاه در جهان ایفا کرده‌اند (Singh et al. 2015). در هر حال، با ظهور نژادهای مختلف زنگ سیاه از جمله گروه نژادی Ug99 در مناطق مختلف جهان از اوایل قرن بیستم، بسیاری از ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای از جمله *Sr24*، *Sr31*، *Sr36* و *Sr38* در بسیاری از مناطق جهان کارایی خود را در برابر بیماری از دست داده‌اند. از آنجایی که این ژن‌ها تاکنون وارد خیلی از ارقام گندم شده و همچنان در برابر بسیاری از نژادهای معمولی و شایع قارچ عامل بیماری زنگ سیاه دارای مقاومت هستند، پرازاری روی آنها توسط گروه نژادی Ug99 حایز اهمیت زیادی است (Singh et al. 2015). شایان گفتن است که نژاد Ug99 گزارش شده از ایران فاقد پرازاری روی دو ژن مقاومت *Sr24* و *Sr36* بوده اما روی دو ژن *Sr31* و *Sr38* پرازاری دارد.

ژن‌های مقاومت به زنگ سیاه در بسیاری از ژنوتیپ‌های گندم ناشناخته است. با توجه به این امر، مشاهده مقاومت در ارقام افتراقی گندم ممکن است به یک یا ترکیبی از ژن‌های مقاومت موجود در آنها نسبت داده شود. جهت شناسایی دقیق‌تر ژن‌های مقاومت موجود در ارقام و

جدول ۴. واکنش ارقام تجاری گندم مورد کاشت در اقلیم سرد کشور نسبت به بیماری زنگ سیاه در مراحل گیاهچه و گیاه کامل

Table 4. Responses of the commercial wheat cultivars from the cold agro-climate zone of Iran to stem rust at seedling and adult- plant stages

نام رقم	واکنش گیاهچه‌ای نسبت به ایزوله‌های مختلف قارچ عامل بیماری Seedling responses to different isolates/races of <i>Puccinia graminis</i> f.sp. <i>tritici</i>						واکنش گیاه کامل (کلاردشت-۱۳۹۶)
Name of the cultivar	94-8	94-32	94-15	95-31	94-52	94-1-1	Adult-plant response (Kelardasht-2017)
	(TTTTF)	(TTTTF)	(PTRTF)	(TKTTF)	(TKTTF)	(TKTTF)	
MV-17	;	2	2+	3-	;	2	40S
Pishgam	3-	1+	3-	2-	;1	1	60S
Gascogne	2+	2	2+	2+	2+	2+	60S
Mihan	2+	3-	2-	3	;1	1	50S
Soissons	3	2+	2+	2	2+	2	100S
Shahryar	3-	3-	3-	3	2	2+	-
Zarrin	2+	3	2C	3	2+	2	100S
Oroum	3	-	2+	3	2	2+	70S
Haydari	3	3	2-	3	2+	;1	60S
Alvand	3+	3	2-	3	2-	2-	80S
Zareh	3+	3	3	3	3	3-	60S
Gaspard	3+	3	3	3+	3+	3	50S
Morocco (Susceptible check)	3+	3	3	3	3	3+	80S

نسبت به بیماری حساسیت کمتری داشته است. برعکس، دو رقم آزمایشی سواسون و زرین با داشتن واکنش 100S حتی از شاهد حساس موراکو نیز که میزان بیماری و واکنش آن 80S بود، حساسیت بیشتری نسبت به بیماری نشان دادند.

مشخصات جدایه‌های قارچ *Puccinia graminis* f.sp. مورد استفاده در بررسی واکنش ژنوتیپ‌های گندم *tritici* نسبت به زنگ سیاه در تحقیق حاضر (جدول ۳) نشان می‌دهد که این جدایه‌ها در کل بر روی ۱۸ ژن مقاومت گیاهچه‌ای با نام‌های *Sr9b*, *Sr9a*, *Sr8a*, *Sr7b*, *Sr6*, *Sr5*, *Sr30*, *Sr21*, *Sr17*, *Sr11*, *Sr10*, *Sr9g*, *Sr9e*, *Sr9d*, *Sr36*, *Sr38* و *SrTnp* پرازار هستند. بنابراین، ژن‌های مذکور در برابر این جدایه‌ها غیرمؤثر بوده و حتی در صورت موجود بودن در ژنوتیپ‌های گندم مورد بررسی، نمی‌توانند آنها را در برابر این جدایه‌ها محافظت

دو جدایه، ارقام حیدری و الوند در برابر سه جدایه و رقم زارع در برابر پنج جدایه دارای واکنش "3" یا بالاتر و در برابر سایر جدایه‌ها واکنش‌های پایین‌تری داشتند. همچنین، رقم گاسپارد بیشترین حساسیت به بیماری را داشته و همانند شاهد حساس موراکو در برابر هر شش جدایه مورد بررسی در تحقیق حاضر، تیپ‌های آلودگی "3" یا "3+" را نشان داد.

در بررسی واکنش ارقام گفته شده در بالا نسبت به بیماری زنگ سیاه در مرحله گیاه کامل در منطقه کلاردشت، با توجه به اینکه به‌علت از بین رفتن رقم شهریار در مزرعه امکان یادداشت‌برداری از آن وجود نداشت، نتایج بررسی واکنش ۱۱ رقم دیگر نسبت به بیماری نشان داد که این ارقام با داشتن واکنش‌های 40S تا 100S کمابیش در برابر بیماری حساس هستند (جدول ۴). با این وجود، رقم MV-17 با دارا بودن واکنش 40S

کرده و سبب ایجاد مقاومت شوند. با توجه به این امر، سطح کمتر بیماری در ارقام گندم MV-17، پیشگام و گاسکون در برابر نژادهای مختلف قارچ عامل بیماری در مرحله گیاهچه در تحقیق حاضر، ممکن است از ژن‌هایی غیر از این ژن‌ها ایجاد شده باشد.

مقاومت گیاهچه‌ای که وجود آن در گیاه معمولاً باعث محافظت از گیاه در برابر زنگ‌ها تا پایان زندگی آن می‌شود، از نظر وراثت در گیاه دارای ماهیت کیفی بوده، به صورت اختصاصی نژاد عمل می‌کند و در اثر فعالیت قارچ عامل بیماری به آسانی شکسته می‌شود (McDonald & Linde 2002). در هر حال، در تحقیق حاضر، با وجود سطح پایین بیماری در ارقامی از قبیل پیشگام و گاسکون در مرحله گیاهچه، این ارقام در مرحله گیاه کامل در شرایط مزرعه در کلاردشت حساسیت نسبتاً بالایی داشته‌اند (جدول ۴). در باره رقم MV-17 نیز با وجود آنکه این رقم در مرحله گیاه کامل در شرایط مزرعه در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های مورد آزمایش، بیماری کمتری داشته است (جدول ۴)، اما با توجه به مقاومت گیاهچه‌ای بالای این رقم در برابر بیماری، شاید میزان بالاتری از مقاومت این رقم در مرحله گیاه کامل مورد انتظار بود. جهت انجام بررسی‌های گیاهچه‌ای در شرایط گلخانه، سه جدایه جمع‌آوری شده از کلاردشت یعنی جدایه‌های 94-32 (نژاد TTTTF)، 94-15 (نژاد PTRTF) و 95-31 (نژاد TKTTF) استفاده شدند و جدایه اول جهت انجام مایه‌زنی‌های مزرعه‌ای کلاردشت نیز مورد استفاده قرار گرفت. در هر حال، برخی ارقام آزمایشی در شرایط مزرعه واکنشی حساس‌تر از واکنش خود در شرایط گلخانه در برابر هر کدام از این جدایه‌ها از جمله جدایه 94-32 (نژاد TTTTF) بروز دادند. علت تفاوت‌های مشاهده شده در مقاومت‌های گیاهچه و گیاه کامل، ممکن است به وجود و

شیوع نژاد یا نژادهایی در کلاردشت مربوط باشد که در بررسی‌های گلخانه‌ای مورد استفاده نبوده‌اند. چنین نژاد یا نژادهایی ممکن است در زمان جمع‌آوری جدایه‌ها جهت بررسی‌های گلخانه‌ای به‌طور اتفاقی خارج از دسترس بوده و بعداً در زمان آزمایشات مزرعه‌ای در سال ۱۳۹۶ ظاهر شده و در آن منطقه شایع شده باشند. ممکن است وجود چنین نژاد یا نژادهایی در مزرعه به تنهایی یا همراه با نژاد مورد استفاده جهت مایه‌زنی مصنوعی، در افزایش حساسیت ارقام آزمایشی دخالت داشته باشند.

گندم زمستانه Martonvasari-17 معروف به MV-17 که برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ در مجارستان معرفی شده است، از سال ۱۳۷۲ (۱۹۹۳) وارد ایران شده و در برخی مناطق کشور از جمله اردبیل کشت می‌شود. همچنین، این رقم از سال ۱۹۹۰ در ترکیه و از سال ۱۹۹۳ در اوکراین وارد برنامه‌های تولید گندم این کشورها شده است. مشخص شده است که گندم MV-17 دارای ژن مقاومت *Sr31* (Balla et al. 1992, Purnhauser et al. 2011) ولی فاقد ژن *Sr36* می‌باشد (Purnhauser et al. 2011). این رقم علاوه بر زنگ سیاه، در برابر زنگ زرد گندم (ناشی از قارچ *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) نیز مقاومت بالایی داشته و وجود چند ژن مقاومت به این بیماری از جمله ژن *Yr9*، که در حال حاضر مقاومت آن شکسته شده است، در آن به اثبات رسیده است (Balla et al. 1992). همچنین، این رقم در برابر زنگ قهوه‌ای گندم (ناشی از قارچ *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*) از مقاومت مطلوبی برخوردار بوده و وجود چندین ژن مقاومت به زنگ قهوه‌ای از جمله *Lr1* (Anonymous 2010)، *Lr26* (Dadrezai et al. 2013)، *Lr34* و (Balla et al. 1992) در آن به اثبات رسیده‌اند. رقم MV-17 علاوه بر زنگ‌ها، در برابر بیماری

رقم گندم پیشگام و گاسکون نیز از نظر واکنش در برابر نژادهای قارچ عامل بیماری زنگ سیاه در مرحله گیاهچه تا حدی شبیه رقم MV-17 و در مرحله گیاه کامل اندکی حساستر از آن عمل کردند (جدول ۴). رقم پیشگام که در سال ۱۳۸۷ جهت کشت در مناطق دارای زمستان سرد و طولانی در شرایط آبیاری معمول و کم‌آبیاری آخر فصل معرفی شد (Mahfouzi et al. 2009)، به‌علت ویژگی‌های خوب زراعی از جمله پتانسیل عملکرد بسیار بالا و مقاومت به بیماری زنگ زرد همچنان مطلوب تولید کنندگان گندم بوده و در بسیاری از مناطق سرد کشور کشت می‌شود. رقم گاسکون نیز که در سال ۱۹۹۱ در فرانسه معرفی شده است، از حدود یک دهه پیش وارد ایران شده و در برخی مناطق سرد کشور کشت می‌گردد. اطلاعات بیشتری در رابطه با این رقم در دست نیست.

با توجه به بروز تیپ آلودگی "3" نسبت به جدایه 95-31 (نژاد TKTTF) در دو رقم میهن و شهریار در تحقیق حاضر (جدول ۴) و با دانستن این امر که این جدایه روی ۱۷ ژن مقاومت با نام‌های *Sr5*, *Sr6*, *Sr7b*, *Sr8a*, *Sr9a*, *Sr9b*, *Sr9d*, *Sr9e*, *Sr9g*, *Sr10*, *Sr17*, *Sr21*, *Sr30*، *Sr36*, *Sr38*، *SrMcN* و *SrTmp* پرآزار است (جدول ۳)، می‌توان گفت که این ارقام فقط حامل یک یا چند ژن از این ۱۷ ژن مقاومت غیرمؤثر بوده و یا اساساً فاقد هر گونه ژن مقاومت در برابر این جدایه هستند. از طرف دیگر، با توجه به بروز مقاومت نسبی این دو رقم در برابر پنج جدایه دیگر از قارچ عامل بیماری (جدول ۴) و با دانستن این امر که این جدایه‌ها روی ۱۷ ژن گفته‌شده در بالا و نیز ژن مقاومت *Sr11* پرآزار هستند (جدول ۳)، باید ژن یا ژن‌های مقاومت دیگری غیر از این ۱۸ ژن باعث بروز مقاومت این دو رقم در برابر این جدایه‌ها شده باشند. همچنین، با توجه به بروز تیپ آلودگی "3" نسبت به

سفیدک سطحی (ناشی از قارچ *Blumeria graminis* f. *tritici* sp.) نیز از مقاومت بالایی برخوردار بوده و وجود چندین ژن مقاومت به این بیماری از جمله *Pm2* (Limpert et al. 1994, Svec et al. 2002)، *Pm5* (Limpert et al. 1994)، *Pm6* (Svec et al. 2002) و *Pm8* (Balla et al. 1992, Limpert et al. 1994, Svec et al. 2002) در آن به اثبات رسیده‌اند. طی بررسی‌هایی که اخیراً در باره وجود ژن‌های مقاومت به زنگ‌ها در ارقام مختلف گندم در ایران انجام شده است، وجود دو جایگاه ژنی *Sr31/Yr9/Lr26* و *Lr34/Yr18/Pm38* در گندم -MV-17 مورد تأیید قرار گرفته است (Bakhtiar et al. 2015). در هر حال، با توجه به وجود نژاد Ug99 در برخی از مناطق ایران و پرآزاری آن روی ژن مقاومت *Sr31*، ممکن است این رقم کارایی خود را در برابر زنگ سیاه اقلاد در مناطقی از کشور که نژاد Ug99 در آنجا شایع است، از دست داده باشد. بررسی‌های مزرعه‌ای روی این رقم در مناطقی از کنیا نیز که نژاد Ug99 شایع است، حساسیت بالای این رقم نسبت به بیماری (تا 60S) را در سال ۲۰۱۶ نشان داده است (S. Bhavani, personal communication). با توجه به پرآزاری نژادهای قارچ عامل بیماری زنگ زرد شایع در ایران بر روی ژن *Yr9* (Afshari et al. 2005b) و پرآزاری نژادهای عامل بیماری زنگ قهوه‌ای روی ژن‌های *Lr1* و *Lr26* (Afshari et al. 2005a)، این ژن‌ها نمی‌توانند در ایجاد مقاومت این رقم در برابر این دو زنگ دخالت داشته باشند و احتمالاً ژن‌های دیگری غیر از این ژن‌ها در این امر مشارکت دارند. علاوه بر آن، با توجه به وجود پرآزاری روی دو ژن *Pm5* و *Pm6* در ایران (Zahravi et al. 2017)، باید ژن‌های دیگری غیر از این دو در بروز مقاومت این رقم به سفیدک سطحی در ایران نقش داشته باشند. در بررسی حاضر، دو

جدایه 8-94 (نژاد TTTTF) و تیپ‌های آلودگی پایین‌تر در برابر سایر جدایه‌ها در رقم سواسون (جدول ۴)، چنین توضیحی در باره این رقم نیز صادق بوده و با دانستن این امر که جدایه مذکور روی ۱۸ ژن مقاومت گفته شده پرازار است (جدول ۳)، حساسیت این رقم در برابر این جدایه باید از نبود هر گونه ژن مقاومت مؤثر در برابر آن بوده و مقاومت نسبی آن در برابر پنج جدایه دیگر از وجود ژن یا ژن‌های مقاومت دیگری غیر از ۱۸ ژن مذکور ناشی شده باشد. با وجود مقاومت نسبی این ارقام در برابر پنج جدایه از قارچ عامل بیماری در مرحله گیاهچه، واکنش آنها در مرحله گیاه کامل بالا بود (جدول ۴). این امر ممکن است از تفاوت جدایه‌های مورد استفاده جهت ارزیابی بیماری در مرحله گیاهچه با جدایه‌های شایع و مورد استفاده در مایه‌زنی مزرعه ایجاد شده باشد. رقم میهن که در سال ۱۳۸۹ عمدتاً به علت عملکرد دانه بالا و مقاومت به زنگ زرد جهت کشت در مناطق سرد استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل، همدان، کردستان، زنجان، مرکزی، تهران، خراسان، اصفهان، چهارمحال و بختیاری، فارس، لرستان، کرمان، کرمانشاه و کهگیلویه و بویراحمد در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی پس از مرحله گلدهی معرفی شد (Yazdansepas et al. 2011a)، همچنان در گستره بزرگی از اقلیم سرد کشور کشت می‌شود. رقم شهریار نیز که در سال ۱۳۸۱ با ویژگی عملکرد دانه بالا و مقاومت به زنگ زرد جهت کشت آبی در مناطق سرد کشور معرفی شد (۱. یزدان‌سپاس، مکاتبه شخصی)، در حال حاضر به دلیل شکسته شدن مقاومت آن در برابر زنگ زرد به‌طور محدود در بعضی مناطق کشور کشت می‌شود. رقم فرانسوی سواسون که در سال ۱۹۸۷ در این کشور معرفی شده است، از حدود یک دهه پیش وارد ایران شده و همچنان در برخی مناطق کشور کشت می‌شود. وجود ژن

مقاومت *Sr30* و چند ژن دیگر برای مقاومت به زنگ سیاه قبلاً در این رقم به اثبات رسیده است (Singh et al. 2008a). با توجه به اینکه اکثر نژادهای موجود در ایران از جمله نژادی که در کلاردشت شایع بوده و برای مایه‌زنی مصنوعی خزانه بیماری مورد استفاده قرار گرفت بر روی ژن مقاومت *Sr30* پرازار هستند، احتمالاً به همین دلیل بوده است که این ژن نتوانسته است در مراحل گیاهچه و گیاه کامل حفاظت از این رقم در برابر بیماری را انجام دهد و این رقم بسیار حساس ظاهر شده است. وجود ژن مقاومت *Lr14a* برای القای مقاومت به زنگ قهوه‌ای (Błaszczyk et al. 2004, Goyeau & Park, 1997) و ژن مقاومت *Pm3g* جهت ایجاد مقاومت در برابر سفیدک سطحی (Bougot et al. 2002, McIntosh et al. 2008) نیز در این رقم به اثبات رسیده است. همچنین، ثابت شده است که این رقم دارای مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله (Kosová et al. 2009) و لکه‌پوشه سپتوریایی (*Septoria glume blotch*) (Tommasini et al. 2007) هم می‌باشد.

با توجه به بروز تیپ آلودگی "3" نسبت به دو جدایه 32-94 (نژاد TTTTF) و 31-95 (نژاد TKTTF) در رقم زرین و بروز همین تیپ آلودگی نسبت به دو جدایه 8-94 (نژاد TTTTF) و 31-95 در رقم اروم و با دانستن این امر که هر کدام از این دو جدایه روی ۱۸ ژن مقاومت گفته شده در پاراگراف‌های قبلی پرازار هستند (جدول ۳)، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این دو رقم فاقد هر گونه ژن مقاومت در برابر این جدایه‌ها بوده و یا اینکه فقط یک یا چند ژن از ۱۸ ژن مذکور را داشته‌اند که البته به‌علت غیرمؤثر بودن آنها در برابر این جدایه‌ها، واکنش مقاومت در برابر آنها مشاهده نشده است. از طرفی، با توجه به بروز مقاومت نسبی این دو رقم در برابر چهار جدایه دیگر از

قارچ عامل بیماری که آنها هم روی ۱۸ ژن مقاومت گفته شده قبلی پرآزار هستند (جدول ۳)، باید ژن یا ژن‌های مقاومت دیگری غیر از این ژن‌ها باعث مقاومت این ارقام در برابر این جدایه‌ها شده باشند. با وجود مقاومت نسبی این دو رقم در برابر چهار جدایه از قارچ عامل بیماری در مرحله گیاهچه، این ارقام در مرحله گیاه کامل به‌ترتیب با دارا بودن واکنش‌های 100S و 70S نسبت به بیماری، حساسیت شدیدی از خود به نمایش گذاشتند (جدول ۴). این امر هم ممکن است از تفاوت جدایه‌های مورد استفاده جهت ارزیابی بیماری در مرحله گیاهچه با جدایه‌های شایع و مورد استفاده در مایه‌زنی ژنوتیپ‌های آزمایشی در آزمایش مرحله گیاه کامل در شرایط مزرعه ایجاد شده باشد. گندم رقم زرین که در سال ۱۳۷۴ عمدتاً به‌علت عملکرد دانه بالا و مقاومت به زنگ زرد جهت کشت آبی در مناطق سرد کشور با سرمای ملایم به‌خصوص استان‌های آذربایجان غربی و کردستان و مناطق سرد استان تهران، حوالی کرج و قزوین معرفی شد (۱. عطاری، مکاتبه شخصی)، علی‌رغم شکسته شدن مقاومتش در برابر زنگ زرد همچنان در برخی مناطق کشور به‌صورت محدود مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. رقم اروم نیز که در سال ۱۳۸۹ جهت کشت آبی در مناطق سرد استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل، همدان، کردستان، زنجان، مرکزی، تهران، خراسان، اصفهان، چهارمحال و بختیاری، فارس، لرستان، کرمان، کرمانشاه و کهگیلویه و بویراحمد کشور معرفی شد (Yazdansepas et al. 2011c)، همچنان در سطح نسبتاً بالایی از اقلیم سرد کشت می‌شود. این رقم در زمان معرفی، علاوه بر دارا بودن پتانسیل عملکرد بالا، در برابر زنگ زرد مقاوم و در برابر زنگ قهوه‌ای نیمه‌حساس تا مقاوم بوده است (Yazdansepas et al. 2011c).

در ارتباط با واکنش دو رقم گندم حیدری و الوند در برابر بیماری در مرحله گیاهچه در بررسی حاضر، با توجه به واکنش بالای این ارقام (تیپ‌های آلودگی "3" یا "3+") در برابر سه جدایه از قارچ عامل بیماری (جدول ۴) و با توجه به اینکه این جدایه‌ها روی ۱۸ ژن مقاومت گفته شده در پاراگراف‌های قبلی پرآزار هستند (جدول ۳)، به‌طور منطقی این ارقام یا فاقد هر گونه ژن مقاومت در برابر این جدایه‌ها بوده و یا اینکه فقط یک یا چند ژن از ۱۸ ژن مذکور را داشته‌اند که به‌علت غیرمؤثر بودن در برابر این جدایه‌ها، قادر به ایجاد مقاومت در برابر آنها نبوده‌اند. از طرف دیگر، با توجه به بروز مقاومت نسبی این دو رقم در برابر سه جدایه دیگر از قارچ عامل بیماری که آنها هم روی ۱۸ ژن مقاومت گفته شده قبلی پرآزار هستند (جدول ۳)، به‌نظر می‌رسد که ژن یا ژن‌های مقاومت دیگری غیر از این ژن‌ها باعث مقاومت این ارقام در برابر این جدایه‌ها شده باشند. با وجود مقاومت نسبی این دو رقم در برابر سه جدایه از قارچ عامل بیماری در مرحله گیاهچه، این ارقام در مرحله گیاه کامل به‌ترتیب با دارا بودن واکنش‌های 60S و 80S در برابر بیماری، حساسیت شدیدی از خود نشان دادند (جدول ۴). این امر هم ممکن است از تفاوت جدایه‌های مورد استفاده جهت ارزیابی بیماری در مرحله گیاهچه با جدایه‌های شایع و مورد استفاده در مایه‌زنی مزرعه ایجاد شده باشد. گندم رقم حیدری که در سال ۱۳۹۴ با ویژگی عملکرد دانه بالا و مقاومت به زنگ زرد جهت کشت در شرایط آبی و تنش خشکی آخر فصل زراعی در اقلیم سرد کشور در استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل، همدان، کردستان، زنجان، مرکزی، تهران، خراسان، اصفهان، چهارمحال و بختیاری، فارس، لرستان، کرمان، کرمانشاه و کهگیلویه و بویراحمد معرفی شد (۱. یزدان‌سپاس، مکاتبه شخصی)، در این اقلیم مورد

رقم در زمان معرفی، علاوه بر دارا بودن پتانسیل عملکرد بالا، در برابر زنگ زرد مقاوم و در برابر زنگ قهوه‌ای نیمه-حساس تا مقاوم بوده است (Yazdansepas et al. 2011b).

با توجه به اینکه در این بررسی رقم گاسپارد در مرحله گیاهچه در برابر همه جدایه‌ها و نژادهای مورد استفاده بالاترین واکنش (تیپ‌های آلودگی "3" یا "3+") را داشته و از هیچ مقاومتی در برابر آنها برخوردار نبود (جدول ۴)، به نظر می‌رسد که این رقم فاقد هر گونه ژن مقاومت در برابر جدایه‌های مورد استفاده بوده و یا فقط ممکن است یک یا چند ژن از ۱۷ ژن مقاومت گفته شده در پاراگراف قبل یا ژن *Sr11* را که همگی در برابر این جدایه‌ها غیرمؤثر هستند، داشته است. رقم گاسپارد در مرحله گیاه کامل نیز همانند مرحله گیاهچه در برابر بیماری زنگ سیاه حساس بوده و واکنش آن 50S به‌دست آمد (جدول ۴). این رقم که در سال ۱۹۹۲ در فرانسه معرفی شده است، از حدود یک دهه پیش وارد ایران شده و در برخی مناطق سرد کشت می‌گردد. در هر حال، اطلاعات بیشتری در باره این رقم موجود نیست.

قبلاً بررسی‌های دیگری بر روی مقاومت ارقام تجاری مورد کاشت در اقلیم سرد نسبت به بیماری زنگ سیاه انجام و نتایج مربوطه منتشر شده است. افشاری (Afshari 2012) در بررسی مقاومت گیاهچه‌ای این ارقام نسبت به یک جدایه جمع‌آوری شده از کلاردشت که تعیین نژاد نشده بود، در مورد ارقام MV-17، پیشگام، گاسکون، شهریار، الوند و گاسپارد نتایجی مشابه نتایج واکنش این ارقام نسبت به جدایه 94-32 کلاردشت (نژاد TTTTF) به-دست آمده در تحقیق حاضر و در مورد دو رقم سواسون و زرین نتایجی متفاوت مشاهده کرده است. علت این تفاوت ممکن است به تفاوت در نژاد قارچ مورد استفاده در دو

توجه تولید کنندگان گندم قرار گرفته و کشت آن رو به گسترش است. همچنین، این رقم در زمان معرفی در برابر زنگ سیاه نیمه-حساس و در برابر زنگ قهوه‌ای نیمه-حساس تا نیمه-مقاوم بوده است. رقم الوند که در سال ۱۳۷۴ به‌علت عملکرد دانه بالا و مقاومت نسبی در برابر زنگ زرد جهت کشت آبی در مناطق سرد کشور به‌خصوص استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل، کردستان، همدان، زنجان، و چهارمحال و بختیاری معرفی شده است (۱. عطاری، مکاتبه شخصی)، علی‌رغم شکسته شدن مقاومتش در برابر زنگ زرد همچنان در برخی مناطق کشور کشت می‌شود.

در تحقیق حاضر، رقم زارع در برابر پنج جدایه از قارچ عامل بیماری تیپ‌های آلودگی "3" یا "3+" و فقط در برابر جدایه 94-1-1 (نژاد TKTTF) تیپ آلودگی پایین‌تر نشان داد (جدول ۴). با توجه به این امر و با توجه به ژن‌هایی که این جدایه روی آنها پرازار است، در بروز مقاومت به بیماری در برابر آن باید ژن‌هایی به‌غیر از ۱۷ ژن غیرمؤثر *Sr5*, *Sr6*, *Sr7b*, *Sr8a*, *Sr9a*, *Sr9b*, *Sr9d*, *Sr9e*, *Sr10*, *Sr17*, *Sr21*, *Sr30*, *Sr36*, *Sr38* و *SrMcN* و *SrTnp* دخالت داشته باشند. از نظر مقاومت مرحله گیاه کامل در شرایط مزرعه، این رقم با داشتن واکنش 60S حساسیت بالایی در برابر بیماری از خود نشان داد. رقم زارع که در سال ۱۳۸۹ جهت کشت در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی پس از مرحله گلدهی در مناطق سرد کشور در استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل، همدان، کردستان، زنجان، مرکزی، تهران، خراسان، اصفهان، چهارمحال و بختیاری، فارس، لرستان، کرمان، کرمانشاه و کهگیلویه و بویراحمد معرفی شد (Yazdansepas et al. 2011b)، همچنان در سطح نسبتاً بالایی از اقلیم سرد کشور کشت می‌شود. این

واکنش لاین‌های در دست نامگذاری و امیدبخش

بررسی واکنش لاین‌های گندم در دست نامگذاری و امیدبخش اقلیم سرد کشور در برابر شش جدایه از قارچ عامل بیماری در مرحله گیاهیچه در شرایط گلخانه (جدول ۵) نشان داد که چهار لاین در دست نامگذاری C-88-14، CD-89-10، C-88-7، C-89-7 و یک لاین امیدبخش با نام C-94-6 با بروز تیپ‌های آلودگی "؛" تا "2" در برابر همه این جدایه‌ها، برترین لاین‌ها از نظر مقاومت به بیماری در مرحله گیاهیچه به‌شمار می‌روند. با توجه به اینکه جدایه‌های قارچ مورد استفاده در این بررسی بر روی ۱۸ ژن مقاومت با نام‌های *Sr5*، *Sr6*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr11*، *Sr17*، *Sr21*، *Sr30*، *Sr36*، *Sr38*، *SrMcN* و *SrTmp* پرازار هستند (جدول ۳)، مقاومت لاین‌های گفته شده در برابر نژادهای مورد بررسی، باید از ژن‌هایی غیر از این ژن‌ها ایجاد شده باشد. لاین آزمایشی CD-89-10 علاوه بر مقاومت در مرحله گیاهیچه، با داشتن واکنش 20R در مرحله گیاه کامل در شرایط مزرعه، مقاوم‌ترین لاین در بین پنج لاین بالا و همه لاین‌های در دست نامگذاری در بررسی حاضر محسوب می‌شود. وضعیت لاین C-88-14 با واکنش 40S نیز در مقایسه با سایر لاین‌های آزمایشی اندکی بهتر بوده است. مشخص نیست که آیا سطح پایین‌تر بیماری در این لاین‌ها ناشی از ژن‌های مقاومت گیاهیچه‌ای است که سبب القای مقاومت در آنها در شرایط گلخانه هم شده بودند یا اینکه مستقل از آن از فعالیت احتمالی ژن‌های مقاومت گیاه کامل ناشی شده‌اند. برعکس دو لاین گفته شده، سه لاین آزمایشی دیگر با بروز واکنش‌های 50S تا 70S در مرحله گیاه کامل حساسیت بیشتری نسبت به بیماری نشان دادند. در دسته دوم از لاین‌های آزمایشی در بررسی حاضر،

تحقیق مذکور باشد. پاتپور و همکاران (Patpour et al. 2014a) نیز در بررسی مقاومت شش رقم MV-17، گاسکون، سواسون، زرین، الوند و گاسپارد نسبت به جدایه 94-8 بروجرد (نژاد TTTTF)، در مورد سه رقم MV-17، الوند و گاسپارد نتایجی مشابه نتایج واکنش این ارقام نسبت به همین جدایه در تحقیق حاضر و در مورد سه رقم دیگر نتایج متفاوتی به‌دست آورده‌اند. علت تفاوت مشاهده شده در این دو تحقیق مشخص نیست و بنابراین تکرار مجدد آزمایش ممکن است به فهم بیشتر موضوع کمک کند. از نظر مقایسه نتایج به‌دست آمده از بررسی مقاومت گیاه کامل در شرایط مزرعه در تحقیق حاضر با نتایج سایر محققان، در مواردی که برای ارقام آزمایشی داده قابل مقایسه وجود دارد، نتایج به‌دست آمده در بررسی‌های مختلف لزوماً همخوانی ندارند. به‌عنوان مثال، واکنش سه رقم MV-17، گاسکون و الوند در تحقیق حاضر، با نتایج بررسی انجام شده توسط افشاری (Afshari 2012) متفاوت ولی با نتایج به‌دست آمده توسط پاتپور و همکاران (Patpour et al. 2014a) تا حد زیادی مشابه است. همچنین، واکنش سه رقم سواسون، زرین و گاسپارد در تحقیق حاضر بسیار بالاتر از واکنش آنها در هر دو تحقیق گفته شده بود. این تفاوت‌ها در نتایج ممکن است از تفاوت در نژادهای غالب و شایع در منطقه کلاردشت در سال‌های مختلف، اثر محیط بر روی واکنش ارقام و حتی برخی تفاوت‌ها در یادداشت‌برداری و نحوه امتیازدهی توسط محققان مختلف ناشی شده باشند. در ارتباط با واکنش رقم پیشگام نسبت به بیماری، ظاهراً به‌غیر از نتیجه تحقیق حاضر، آنچه که از واکنش آن در دسترس است، همان است که توسط افشاری (Afshari 2012) منتشر شده است. نتایج به‌دست آمده از هر دو بررسی مشابه هم بوده و واکنش 40S-60S را برای این رقم نشان داده‌اند.

جدول ۵. واکنش لاین‌های گندم در دست نامگذاری و امیدبخش اقلیم سرد کشور نسبت به بیماری زنگ سیاه در مراحل گیاهچه و گیاه کامل

Table 5. Responses of the wheat candidate and elite lines from the cold agro-climate zone of Iran to stem rust at seedling and adult-plant stages

نام لاین Name of the candidate/elite line	واکنش گیاهچه‌ای نسبت به ایزوله‌های مختلف قارچ عامل بیماری Seedling responses to different isolates/races of <i>Puccinia graminis</i> f.sp. <i>tritici</i>						واکنش گیاه کامل (کلاردشت-۱۳۹۶) Adult-plant response (Kelardasht-2017)
	94-8	94-32	94-15	95-31	94-52	94-1-1	
	(TTTTF)	(TTTTF)	(PTRTF)	(TKTTF)	(TKTTF)	(TKTTF)	
C-88-14	;	;1	;	1+	;1	;	40S
CD-89-10	1	;1	;	1+	;1	1	20R
C-88-7	1	1	1+	1	;1	1	50S
C-89-7	1+	1+	1+	1	;1	1	70S
C-94-6	2	2	2	2	2-	1+	60S
CD-94-8	2-	3+	1+	1	1	1	60S
C-94-8	2+	2-	1+	3	2	1+	40S
CD-94-6	2+	2-	2-	3	1	2-	70MS
C-90-11	2	2+	2-	3	2-	2-	70S
CD-90-8	3	3-	2-	3-	2C	2-	40MR
CD-90-4	3-	3-	2+	3	2-	2	20MR
C-94-5	3-	3-	3-	3-	3	2	70S
C-91-4	2+	3	3-	3	2C	2+	50S
CD-94-10	2+	3-	3-	3	3	3-	60S
C-94-7	X	3+	1+	3	3	1+	80S
CD-92-6	3+	3	2-	3	1	2-	20S
CD-91-11	3	3	2-	3	2C	2	-
CD-89-15	3	3	3-	3	2-	2	60S
C-88-13	2	3	2+	3	3	2	70S
CD-91-12	3	4	2+	3	2-	2+	30S
CD-94-9	2+	3	3	3	2	2+	60S
C-88-4	3	3	2+	3+	2+	2	40S
C-87-12	3+	3-	3-	3	3	2+	60S
CD-94-11	2+	3-	3-	3	3	3	60S
CD-91-8	3	3+	2+	3+	3	2	30S
CD-89-11	3	3	2+	3	3	2+	40S
C-87-11	3	3	3-	3+	2+	3	-
CD-94-4	3+	3-	3	3	3	2+	60S
C-94-9	3+	3+	3+	3	3	2+	70S
CD-94-5	3	2+	3+	3	4	3+	60S
CD-90-12	3	3	3	3	3	3-	60S
CD-92-5	3	3+	3-	3	3	3	20S
C-89-15	3	3	3	3+	3	3	60S
CD-90-7	3	3	3	3+	3+	3	40S
C-89-6	3	3	3	3+	3	3	-
CD-90-11	3	4	4	3	3	3	50S
Morocco (Susceptible check)	3+	3+	4	3+	3+	3+	90S

هفت لاین در دست نامگذاری یا امیدبخش با نام‌های ۹۰-۸، CD-90-4 و C-94-5 قرار داشتند که در برابر یکی آزمایشی CD-، C-90-11، CD-94-6، C-94-8، CD-94-8 از جدایه‌ها دارای تیپ آلودگی "3" یا "3+" و در برابر

پنج جدایه دیگر واکنش‌هایی پایین‌تر و مقاوم‌تر نشان دادند (جدول ۵). با توجه به اینکه هر کدام از این لاین‌ها در برابر یکی از جدایه‌های قارچ عامل بیماری تیپ آلودگی بالا داشته‌اند، به‌نظر می‌رسد که این لاین‌ها فاقد ژن مقاومت در برابر جدایه‌های مربوطه بوده یا فقط دارای ژن(های) مقاومتی بوده‌اند که این جدایه‌ها روی آنها پرازار هستند. از طرف دیگر، با توجه به اینکه پنج جدایه‌ای که این لاین‌ها در برابر آنها نسبتاً مقاوم بودند، بر روی ۱۸ ژن مقاومت گفته شده در پاراگراف قبل پرازار هستند (جدول ۳)، مقاومت این لاین‌ها در برابر این جدایه‌ها باید از ژن‌هایی غیر از این ژن‌ها ایجاد شده باشد. از بین هفت لاین آزمایشی مورد بحث در اینجا، دو لاین در دست نامگذاری CD-90-4 و CD-90-8 به‌ترتیب با داشتن واکنش‌های 20MR و 40MR در مرحله گیاه کامل، در این مرحله نیز از مقاومت بالایی در برابر بیماری برخوردار بودند. همچنین، لاین امیدبخش C-94-8 با واکنش 40S در شرایط مزرعه، در مقایسه با سایر لاین‌های آزمایشی از مقدار بیماری پایین‌تری برخوردار بود.

در دسته سوم از مواد مورد بررسی، لاین‌های در دست نامگذاری C-91-4 و امیدبخش CD-94-10 قرار گرفتند که در مرحله گیاهچه در برابر دو جدایه از قارچ عامل بیماری تیپ آلودگی "3" و در برابر چهار جدایه دیگر واکنش بهتری نشان دادند (جدول ۵). با توجه به بروز تیپ آلودگی "3" نسبت به دو جدایه از قارچ عامل بیماری و با دانستن این امر که این دو جدایه روی ۱۸ ژن مقاومت گفته شده در بخش‌های قبل پرازار هستند (جدول ۳)، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این لاین فاقد هر گونه ژن مقاومت در برابر این جدایه‌ها بوده و یا اینکه فقط یک یا چند ژن از ۱۸ ژن غیر مؤثر مذکور را داشته‌اند. از طرف دیگر، با توجه به مقاومت نسبی این لاین در برابر چهار

جدایه از قارچ عامل بیماری و با توجه به اینکه این جدایه‌ها بر روی ۱۸ ژن مقاومت گفته شده در بالا پرازار هستند، باید ژن‌هایی غیر از این ژن‌ها در بروز مقاومت این لاین نسبت به آنها دخالت داشته باشند. چنین توضیحاتی در باره لاین CD-94-10 نیز صادق است با این تفاوت که با توجه بروز تیپ آلودگی بالا در این لاین در برابر دو جدایه 95-31 و 94-52 (نژاد TKTTF) و پرازاری این دو جدایه روی ۱۷ ژن مقاومت ———— *Sr5*, *Sr6*, *Sr7b*, *Sr8a*, *Sr9a*, *Sr9b*, *Sr9d*, *Sr9e*, *Sr9g*, *Sr10*, *Sr17*, *Sr21*, *Sr30*, *Sr36*, *Sr38*, *SrMcN* و *SrTnp* (جدول ۳)، نقش این ژن‌ها در بروز مقاومت در برابر بیماری منتفی خواهد بود. در بررسی مقاومت گیاه کامل در شرایط مزرعه، لاین‌های گفته شده در بالا به‌ترتیب با واکنش‌های 50S و 60S حساسیت بالایی در برابر بیماری از خود نشان دادند.

در بررسی حاضر، دسته دیگری از لاین‌های آزمایشی که متشکل از ده لاین در دست نامگذاری یا امیدبخش با نام‌های C-94-7, C-92-6, CD-91-11, CD-89-15, C-88-13, CD-91-12, CD-94-9, C-88-4, C-87-12 و CD-94-11 بودند، در برابر سه جدایه از قارچ عامل بیماری تیپ‌های آلودگی "3" یا بالاتر و در برابر سه جدایه دیگر واکنش‌های پایین‌تری نشان دادند (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد که هر کدام از این لاین‌ها فاقد هر گونه ژن مقاومت در برابر جدایه‌های مربوط به خود بوده‌اند و یا فقط دارای ژن‌های مقاومتی بوده‌اند که این جدایه‌ها روی آنها بیماری‌زا هستند. با توجه به مقاومت نسبی لاین‌های آزمایشی C-94-7, C-88-13, CD-94-9, C-87-12 و CD-94-11 در برابر تعدادی از جدایه‌های قارچ عامل بیماری و با دانستن این موضوع که این جدایه‌ها روی ۱۸ ژن مقاومت گفته شده در بخش‌های قبل پرازار هستند (جدول ۳)، این ژن‌ها نمی‌توانند در ایجاد مقاومت این لاین‌ها در

برابر آنها مؤثر بوده باشند. به همان ترتیب و براساس مقاومت نسبی لاین‌های آزمایشی CD-91-11، CD-92-6، CD-89-15، CD-91-12 و C-88-4 در برابر تعدادی دیگر از جدایه‌ها، ۱۷ ژن مقاومت غیرمؤثر گفته شده در پاراگراف قبل نباید در ایجاد مقاومت این لاین‌ها دخالت داشته باشند. در این تحقیق، از بین ده لاین آزمایشی گفته شده در بالا، سه لاین آزمایشی CD-92-6، CD-91-12 و C-88-4 به ترتیب با داشتن واکنش‌های 30S، 20S و 40S در شرایط مزرعه در مقایسه با سایر لاین‌های آزمایشی از سطح پایین‌تری از بیماری برخوردار بودند.

دسته پنجم از لاین‌های آزمایشی در این تحقیق شامل چهار لاین آزمایشی CD-91-8، CD-89-11، C-87-11 و CD-94-4 بودند که در برابر چهار جدایه از قارچ عامل بیماری تیپ‌های آلودگی "3" یا "3+" و در برابر سایر جدایه‌ها واکنش‌هایی پایین‌تر و مقاوم‌تر نشان دادند (جدول ۵). در اینجا هم با توجه به جدایه‌هایی که این لاین‌ها در برابر آنها نسبتاً مقاوم هستند و با توجه به توضیحات قبلی در رابطه با پرآزاری این جدایه‌ها روی ژن‌های مقاومت موجود در لاین‌های آزمایشی، ۱۸ ژن مقاومت گفته شده در بخش‌های قبلی نمی‌توانند در بروز مقاومت سه لاین گفته شده دخالت داشته باشند. با توجه به داده‌های مزرعه-ای به دست آمده برای سه لاین از چهار لاین گفته شده، مشخص شد که دو لاین CD-91-8 و CD-89-11 به ترتیب با داشتن واکنش‌های 30S و 40S در برابر بیماری، به‌طور نسبی از آلودگی کمتری نسبت به بیماری برخوردار بوده‌اند.

در دسته ششم از مواد مورد بررسی، چهار لاین آزمایشی CD-94-9، CD-94-5، CD-90-12 و CD-92-5 قرار گرفتند که در برابر پنج جدایه از قارچ عامل بیماری تیپ‌های آلودگی "3" یا "3+" و فقط در برابر یک جدایه

تیپ آلودگی پایین‌تر نشان دادند (جدول ۵). از بین این دو لاین، لاین اول در برابر جدایه 94-1-1 (نژاد TKTF) و لاین دوم در برابر جدایه 94-15 (نژاد PTRTF) میزان آلودگی کمتری داشتند. با توجه به این امر و با توجه به ژن‌هایی که این جدایه‌ها روی آنها پرآزار هستند، احتمالاً در بروز مقاومت به بیماری در لاین اول، ژن‌هایی به غیر از ژن‌های مقاومت *Sr5*، *Sr6*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr17*، *Sr21*، *Sr30*، *Sr36*، *Sr38*، *SrMcN* و *SrTmp* و در بروز مقاومت در لاین دوم، ژن‌هایی به غیر از ژن‌های *Sr5*، *Sr6*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr11*، *Sr17*، *Sr36*، *Sr38*، *SrMcN* و *SrTmp* دخالت داشته‌اند. از نظر مقاومت گیاه کامل در شرایط مزرعه، به غیر از لاین آزمایشی CD-92-5 که واکنش آن در برابر بیماری پایین و در حد 20S بود، سایر لاین‌های آزمایشی با داشتن واکنش‌های 60S تا 70S حساسیت بالایی در برابر بیماری از خود نشان دادند. در بررسی حاضر، چهار لاین آزمایشی CD-89-15، C-90-7، C-89-6 و CD-90-11 با دارا بودن تیپ‌های آلودگی "3"، "3+" یا "4" در برابر هر شش جدایه موردنظر، با رقم حساس موراگو در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۵). با توجه به توضیحات قبلی، به نظر می‌رسد این دو لاین فاقد هر گونه ژن مقاومت در مرحله گیاهچه بوده و یا فقط ممکن است یک یا چند ژن از ژن‌های مقاومت *Sr5*، *Sr6*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr11*، *Sr17*، *Sr21*، *Sr30*، *Sr36*، *Sr38*، *SrMcN* و *SrTmp* را داشته‌اند که در برابر این نژادها غیر مؤثر هستند. از این چهار لاین، برای لاین C-89-6 داده مزرعه‌ای وجود نداشت ولی مقدار بیماری سه لاین دیگر به ترتیب 60S، 40S و 50S بود.

با توجه به این نتایج، می‌توان از بین لاین‌های در دست

نامگذاری اقلیم سرد کشور لاین‌هایی را انتخاب کرد که بتوانند در برابر اپیدمی‌های بیماری زنگ سیاه دوام بیاورند. میزان بیماری و واکنش ۱۱ لاین از بین ۲۴ لاین در دست نامگذاری مورد بررسی در اینجا، در حد 40S یا کمتر به-دست آمد. تعدادی از این لاین‌ها در مرحله گیاهچه در شرایط گلخانه نیز مقاومت قبولی در برابر چندین نژاد از قارچ عامل بیماری نشان دادند. اخیراً یکی از این لاین‌ها یعنی لاین C-91-4 مجوز نامگذاری دریافت کرده و با نام رقم زرینه در سطح این اقلیم معرفی گردید. دو لاین CD-91-12 و CD-92-6 نیز قرار است بزودی نامگذاری شده و معرفی شوند. برعکس لاین‌های در دست نامگذاری، لاین-های امیدبخش این اقلیم در سال ۱۳۹۴ (ERWYT-C-94) در برابر بیماری حساسیت بالایی داشته و این امر ممکن است در آینده امکان معرفی ارقام مقاوم در سطح اقلیم سرد را دچار مشکل کند. برای رفع این مشکل لازم است ضمن انتخاب والد‌های مقاوم و انجام تلاقی‌های مناسب، لاین-هایی برای ورود به آزمایش‌های امیدبخش انتخاب شوند که از مقاومت کافی و قابل قبول در برابر این بیماری برخوردار باشند.

نتیجه‌گیری کلی

بررسی تغییرات سالیانه نژادهای قارچ عامل بیماری، اطلاع از پرآزاری روی ژن‌های مقاومت به بیماری، تعیین کارایی ژن‌های مقاومت و درک ماهیت ژنتیکی مقاومت در ارقام تجاری و لاین‌های در دست معرفی گندم از جمله اهداف و برنامه‌های ضروری در افزایش و پایداری تولید گندم به‌شمار می‌روند. اجرای اصول صحیح زراعی در مزارع، به‌کارگیری ارقام متنوع از نظر ژنتیکی، پهنه‌بندی مناسب از ارقام به‌منظور افزایش طول عمر آنها در مناطق مختلف و در صورت ضرورت مبارزه شیمیایی مؤثر و به

موقع با بیماری نیز از جمله اقدامات مهم در راستای موفقیت در مدیریت تلفیقی بیماری می‌باشند. ژن مقاومت *Sr24* که جز یک مورد تأیید نشده تاکنون پرآزاری روی آن از هیچ منطقه از کشور گزارش نشده است و در برابر نژاد Ug99 گزارش شده از ایران (TTKSK) نیز مؤثر است، یکی از ژن‌هایی است که می‌تواند جهت انتقال به ارقام گندم به منظور افزایش مقاومت آن در برابر زنگ سیاه مدنظر قرار گیرد. بررسی‌های انجام شده به‌منظور شناسایی ژن‌های مقاومت موجود در ارقام و لاین‌های گندم ایران، جز در یک مورد که وجود این ژن را در یکی از لاین‌های گندم امیدبخش نشان داده است (Dadrezai & Nazari 2015)، در هیچ مورد دیگری اثری از وجود آن را در ارقام و لاین‌های گندم ایرانی نشان نداده‌اند (Mehrabi et al. 2014, Mohammadi et al. 2013, Omrani et al. 2017, Patpour et al. 2014b). این ژن به‌ویژه اگر در ترکیب با ژن‌های مقاومت گیاه کامل از قبیل *Sr56*، *Sr55*، *Sr2*، *Sr58* و *Sr57* به گندم انتقال داده شود از نظر افزایش مقاومت آن در برابر بیماری موفقیت بیشتری به‌دست خواهد آمد. همانطوری‌که قبلاً نیز گفته شد با وجود گزارش پرآزاری روی ژن‌های مقاومت *Sr27*، *Sr26*، *Sr31*، *Sr33*، *Sr39* و *Sr40*، با ملاحظه این امر که پرآزاری مشاهده شده روی این ژن‌ها فراوانی بالایی نداشته است، استفاده از آنها همچنان می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی گندم به منظور استفاده از آنها حداقل در بخش‌هایی از کشور مفید باشد. همچنین، استفاده از ژن‌های کمتر شناخته شده‌ای از قبیل ژن‌های *Sr1RS^{Amigo}*، *SrSatu* که پرآزاری روی آنها در ایران بسیار محدود بوده و ژن *SrNin* که تاکنون در ایران پرآزاری برای آن گزارش نشده است، ممکن است جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی قابل توصیه باشد. علاوه بر این، حدود ۲۰ ژن مقاومت دیگر نیز که به‌علت نبود ارقام

افتراقی مشخص جهت بررسی پرازاری روی آنها در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار نگرفته‌اند و نیز تعدادی ژن دیگر که تاکنون رسماً نامگذاری نشده‌اند ممکن است در برنامه‌های بهنژادی گندم جهت افزایش مقاومت آن در برابر بیماری قابل استفاده باشند. نهایت اینکه دستیابی به مقاومت پایدار که از ترکیبی از ژن‌های مقاومت کمی و کیفی در یک رقم به دست می‌آید، می‌بایست به عنوان یک ضرورت مهم در برنامه‌های اصلاحی گندم در نظر گرفته شود.

سپاسگزاری

از آقایان دکتر امیر یزدان سپاس استاد بازنشسته مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر بخاطر در اختیار قرار

منابع

دادن بذره‌های آزمایشی، دکتر رامین روح‌پرور استادیار مؤسسه به‌خاطر فراهم نمودن تعدادی از ایزوله‌های قارچی، مهندس علی ناظری و مهندس فرنو ملک‌پور به ترتیب رییس و کارشناس ایستگاه تحقیقات کشاورزی کلاردشت به‌خاطر کمک در اجرای آزمایشات مزرعه‌ای در آن ایستگاه و خانم مهندس زهره حسن‌بیات کارشناس مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به‌خاطر کمک در اجرای آزمایشات گلخانه‌ای در کرج سپاسگزاری می‌شود. هزینه‌های اجرای این تحقیق از محل اعتبارات پروژه مصوب شماره ۹۴۲۶۳-۰۳-۰۳-۲ مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تأمین شده است.

- Admassu, B., Lind, V., Friedt, W., and Ordon, F. 2009. Virulence analysis of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* populations in Ethiopia with special consideration of Ug99. *Plant Pathology* 58: 362-369.
- Afshari, F. 2012. Genetics of pathogenicity of wheat stem rust pathogen (*Puccinia graminis* f.sp. *tritici*) and reaction of wheat genotypes to the disease. *Iranina Journal of Plant Protection Science* 43: 357-365 (In Farsi with English abstract).
- Afshari, F., Torabi, M., Kia, S., Dadrezaei, S.T., Safavi, S.A., Chaichi, M., Karbalaee-Khiavi, H., Zakeri, A., Bahrami-Kamangar, S., Nasrollahi, M., Patpour, M., and Ebrahimnejad, S. 2005a. Monitoring of virulence factors of *Puccinia triticina* Eriksson, the causal agent of wheat leaf rust in Iran during 2002-2004. *Seed and Plant* 21: 485-500 (In Farsi with English abstract).
- Afshari, F., Torabi, M., Nazari, K., Malihipour, A., Rajaei, S., Dadrezaei, S.T., Dehghan, M.A., Hooshyar, R., Nasrollahi, M., Chaichi, M., Safavi, S.A., Karbalaee-Khiavi, H., Ahmadian-Moghaddam, M.S., Mardoukhi, V., and Oghnum. 2005b. Virulence factors of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* Westend., the causal agent of wheat yellow rust in some regions of Iran during 2002-2004. *Seed and Plant* 21: 357-372 (In Farsi with English abstract).
- Agrios, G.N. 2005. *Plant Pathology*. Fifth edition. Elsevier Academic Press, Burlington, MA, USA. 922 pp.
- Anonymous. 2010. Items from Hungary. *Annual Wheat Newsletter* 56: 52-54.
- Bakhtiar, F., Farshadfar, E., Aghaee-Sarbarzeh, M., Ghazvini, H., and Afshari, F. 2015. Study on the presence of yellow and stem rust resistance genes in doubled haploid lines of bread wheat using molecular markers. *Crop Biotechnology* 10: 41-56 (In Farsi with English abstract).
- Balla, L., Bedő, Z., Szunics, L., Lang, L., Szunics, L., Karsai, I., and Vida, G. 1992. Items from Hungary. *Annual Wheat Newsletter* 38: 109-111.
- Bamdadian, A. and Torabi, M. 1978. Epidemiology of wheat stem rust in southern areas of Iran in 1976. *Iranian Journal of Plant Pathology* 14: 14-19 (In Farsi).
- Błaszczyk, L., Goyeau, H., Huang, X.Q., Röder, M., Stepień, L., and Chelkowski, J. 2004. Identifying leaf rust resistance genes and mapping gene *Lr37* on microsatellite map of wheat. *Cellular and Molecular Biology Letters* 9: 869-878.

- Bougot, Y., Lemoine, J., Pavoine, M.T., Barloy, D., and Doussinault, G. 2002. Identification of a microsatellite marker associated with *Pm3* resistance alleles to powdery mildew in wheat. *Plant Breeding* 121: 325-329.
- Dadrezaei, S.T. and Nazari, K. 2015. Detection of wheat rust resistance genes in some Iranian wheat genotypes by molecular markers. *Seed and Plant Improvement Journal* 31: 163-187 (In Farsi with English abstract).
- Dadrezaei, S.T., Nazari, K., Afshari, F., and Goltapeh, E. 2013. Phenotypic and molecular characterization of wheat leaf rust resistance gene *Lr34* in Iranian wheat cultivars and advanced lines. *American Journal of Plant Sciences* 4: 1821-1833.
- Esfandiari, E. 1947. Cereal rusts in Iran. *Entomologie et Phytopathologie Applique* 4: 67-76 (In Farsi with English abstract).
- German S., Barcellos A., Chaves M., Kohli M., Campos P., and Viedma L. 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.
- Goyeau, H. and Park, R.F. 1997. Postulation of resistance genes to wheat rust at the seedling stage in bread wheat cultivars grown in France. Pages 14-28 In: *Proceedings of the Conference "Approaches to improving disease resistance to meet future needs: Airborne pathogens of wheat and barley"*. Praha, Czech Republic.
- 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.
- Jin, Y., Szabo, L.J., Pretorius, Z.A., Singh, R.P., Ward, R., and Fetch, T. 2008. Detection of virulence to resistance gene *Sr24* within race TTKS of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. *Plant Disease* 92: 923-926.
- Knott, D.R. 1989. *The Wheat Rusts-Breeding for Resistance*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Kolmer J.A., Dyck P.L., and Roelfs A.P. 1991. An appraisal of stem and leaf rust resistance in North American hard red spring wheats and the probability of multiple mutations to virulence in populations of cereal rust fungi. *Phytopathology* 81: 237-239.
- Kosová, K., Chrpová, J., and Šíp, V. 2009. Cereal resistance to Fusarium head blight and possibilities of its improvement through breeding. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* 45: 87-105.
- Limpert, E., Lutz, J., Remlein, E.I., Sutka, J., and Zeller, F.J. 1994. Identification of powdery mildew resistance genes in common wheat (*Triticum aestivum* L). III. Hungarian and Croatian cultivars. *Journal of Genetics and Breeding* 48: 107-112.
- Mahfouzi, S., Akbari, A., Chaichi, M., Sanjari, A.G., Nazeri, S.M., Abedi-Oskooee, S., Aminzadeh, G., and Rezaie, M. 2009. Pishgam, a new bread wheat cultivar for normal irrigation and terminal stage deficit irrigation conditions of cold regions of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal* 25: 513-516 (In Farsi with English abstract).
- McDonald, B.A. and Linde, C. 2002. The population genetics of plant pathogens and breeding strategies for durable resistance. *Euphytica* 124: 163-180.
- McIntosh, R.A., Wellings, C.R., and Park, R.F. 1995. *Wheat Rusts: An Atlas of Resistance Genes*. CSIRO Publications, Victoria, Australia. 200 pp.
- McIntosh, R.A., Yamazaki, Y., Dubcovsky, J., Rogers, J., Morris, C., Somers, D.J., Appels, R., and Devos, K.M. 2008. Catalogue of gene symbols for wheat. (<http://www.shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/download.jsp>. Accessed 11 Sept 2014). Committee for the National BioResource Project (NBRP)/KOMUGI, Japan.
- Mehrabi, R., Sarhangi, M., Ala- Hassani, E., Ghazvini, H., and Afshari, F. 2014. Study on the presence of resistance gene loci to yellow, stem and leaf rust diseases using molecular markers in prereleased wheat lines. *Journal of Crop Biotechnology* 7: 49-58 (In Farsi with English abstract).
- Melinda, T. 2012. Identification and utilization of PCR-based molecular markers in breeding wheat for leaf rust resistance. Ph.D. Thesis. Szent István University, Gödöllő, Hungary. 21 pp.
- Mohammadi, M., Torkamaneh, D., and Patpour, M. 2013. Seedling stage resistance of Iranian bread wheat germplasm to race Ug99 of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. *Plant Disease* 97: 387-392.
- Mojerlou, Sh., Safaei, N., Abasi Moghadam, A., and Shamasbakhsh, M. 2012. Evaluation of some Iranian wheat landraces resistance against stem rust disease at seedling stage in the greenhouse. *Journal of Plant Protection* 35: 69-82 (In Farsi with English abstract).
- Nasrollahi, M. 1998. Virulence factors of stem rust and responses of some advanced wheat genotypes to isolates

- of the pathogen at seedling stage. M.Sc. thesis. Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran (In Farsi with English abstract).
- Nazari, K. and Mafi, M. 2013. Physiological races of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Iran and evaluation of seedling resistance to stem rust in Iranian wheat cultivars. *Phytopathologia Mediterranea* 52: 110-122.
- 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.
- Newcomb, M., Olivera, P.D., Rouse, M.N., Szabo, L.J., Johnson, J., Gale, S., Luster, D.G., Wanyera, R., Macharia, G., Bhavani, S., Hodson, D., Patpour, M., Hovmoller, M.S., Fetch, T., and Jin, Y. 2016. Kenyan isolates of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* from 2008 to 2014: Virulence to *SrTnp* in the Ug99 race group and implications for breeding programs. *Phytopathology* 106: 729-736.
- Olson, E.L., Brown-Guedira, G., Marshall, D.S., Jin, Y., Mergoum, M., Lowe, I., and Dubcovsky, J. 2010. Genotyping of U.S. wheat germplasm for presence of stem rust resistance genes *Sr24*, *Sr36*, and *SrIRS^{Amigo}*. *Crop Science* 50: 668-675.
- Omran, A., Aharizad, S., Roohparvar, R., Khodarahmi, M., and Toorchi, M. 2017. Identification of stem and leaf rust resistance genes in some promising wheat lines using molecular markers. *Crop Biotechnology* 15-25 (In Farsi with English abstract).
- Omran, A., Aharizad, S., Roohparvar, R., Khodarahmi, M., and Toorchi, M. 2018. Virulence factors of wheat stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) isolates and identification of resistance sources in CIMMYT wheat synthetic genotypes. *Journal of Crop Breeding* 10: 84-93 (In Farsi with English abstract).
- Pardey, P.G., Beddow, J.M., Kriticos, D.J., Hurley, T.M., Park, R.F., Duveiller, E., Sutherst, R.W., Burdon, J.J., and Hodson, D. 2013. Right-Sizing Stem-Rust Research. *Science* 340: 147-148.
- Park, R.F. 2007. Stem rust of wheat in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 58: 558-566. DOI: 10.1071/AR07117.
- Patpour, M., Nazari, K., Alavi, S.M., and Mousavi, A. 2014a. Detection of resistance sources to Iranian prevalent stem rust races in commercial wheat cultivars. *Seed and Plant Improvement Journal* 30: 133-154 (In Farsi with English abstract).
- Patpour, M., Nazari, K., Ogbonnaya, F., Alavi, S.M., and Mousavi, A. 2014b. Phenotypic and molecular characterization of resistance to stem rust in wheat cultivars and advanced breeding lines from Iran and Syria. *Crop Breeding Journal* 4: 1-14.
- Peterson, R.F., Campbell, A.B., and Hannah, A.E. 1948. A diagrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stem of cereals. *Canadian Journal of Research, Section C. Botanical Sciences* 26: 496-500.
- Pretorius, Z.A., Pakendorf, K.W., Marais, G.F., Prins, R. and Komen, J.S. 2007. Challenges for sustainable cereal rust control in South Africa. *Australian Journal of Agricultural Research* 58: 593-601.
- 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.
- Purnhauser, L., Bona, L., and Lang, L. 2011. Identification of *Sr31* and *Sr36* stem rust resistance genes in wheat cultivars registered in Hungary. *Cereal Research Communications* 39: 53-66.
- Roelfs, A.P. 1982. Effects of Barberry Eradication on Stem Rust in the United States. *Plant Disease* 66: 177-181. DOI: 10.1094/PD-66-177.
- Roelfs, A.P., Singh, R.P., and Saari, E.E. 1992. *Rust Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management*. Mexico, D.F. CIMMYT. 81 pp.
- Safavi, S.A. and Afshari, F. 2016. First report of breakdown of resistance gene *Sr31* in Ardabil by the stem rust pathogen (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*). *Entomology and Phytopathology* 84: 207-208 (In Farsi with English abstract).
- Safavi, S.A. and Afshari, F. 2017. First report of virulence to resistance gene *Sr25* by the stem rust pathogen (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) in Ardabil, North West of Iran. *Iranian Journal of Plant Pathology* 53: 119-122 (In Farsi with English abstract).
- Sharif, Gh., Bamdadian, A., and Daneshpajoh, B. 1970. Physiological races of wheat stem rust in Iran (1965-1970). *Journal of Applied Entomology and Phytopathology* 6: 73-100 (In Farsi with English abstract).
- Singh, D., Park, R.F., McIntosh, R.A., and Bariana, H.S. 2008a. Characterisation of stem rust and stripe rust seedling resistance genes in selected wheat cultivars from the United Kingdom. *Journal of Plant Pathology* 90:

553-562.

- Singh, R.P., Hodson, D.P., Huerta-Espino, J., Jin, Y., Njau, P., Wanyera, R., Herrera-Foessel, S.A and Ward, R.W. 2008b. Will stem rust destroy the world's wheat crop? *Advances in Agronomy* 98: 272-309.
- 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., Huerta-Espino, J., Basnet, B.R., Lan, C., and Hovmöller, M.S. 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.
- Stakman, E.C., Stewart, D.M., and Loegering, W.Q. 1962. Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. Agricultural Research Service E617. United States Department of Agriculture, Washington DC., USA.
- Svec, M., Szunics, L., Miklovicova, M., Slovakova, T., Tisova, V., and Hauptvogel, P. 2002. Identification of genes for resistance to wheat powdery mildew in Hungarian, Polish and Slovak wheat cultivars. *Plant Protection Science* 38: 64-72.
- Tommasini, L., Schnurbusch, T., Fossati, D., Mascher, F., and Keller, B. 2007. Association mapping of Stagonospora nodorum blotch resistance in modern European winter wheat varieties. *Theoretical and Applied Genetics* 115: 697-708.
- Vida, G., Gál, M., Uhrin, A., Veisze, O., Wang, Z., Kiss, T., Karsai, I., and Bedő, Z. 2010. Application of molecular markers in breeding for leaf rust resistance in wheat. Pages 65-71 In: Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft ehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning, Austria aumberg-Gumpenstein, Irdning, Austria.
- Wanyera, R., Kinyua, M.G., Jin, Y., and Singh, R.P. 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.
- Yazdansepar, A., Akbari, A., Sanjari, A., Rezaie, M., Chaichi, M., Babaie, T., Aminzadeh, G., Zareh-Fayzabadi, A., Ezzatahmadi, M., Ashouri, S., Najafi-Mirak, T., Ghodsi, M., Soltani, R., Abedi-Oskouei, M.S., Nazeri, M., Razavi, S.A., Salehi, P., Hosseini-Bai, S.K., Afshari, F., Safavi, S.A., and Pirayeshfar, B. 2011a. Mihan, a new bread wheat cultivar for irrigated and post-anthesis drought stress conditions in cold regions of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal* 27: 631-634 (In Farsi with English abstract).
- Yazdansepar, A., Khodarahmi, M., Rezaie, M., Nazeri, M., Pedram, A., Chaichi, M., Razavi, A., Koucheiki, A., Najafi-Mirak, T., Babaie, T., Sanjari, A., Ezzatahmadi, M., Ghodsi, M., Ashouri, S., Soltani, R., Aminzadeh, G., Abedi-Oskouei, M.S., Salehi, P., Hosseini-Bai, S.K., Afshari, F., Houshyar, R., Pirayeshfar, B., Malihipour, A., Aghnum, R., Safavi, S.A., and Zareh-Fayzabadi, A. 2011b. Zareh, a new bread wheat cultivar for irrigated and post-anthesis drought stress conditions in cold regions of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal* 27: 635-638 (In Farsi with English abstract).
- Yazdansepar, A., Najafi-Mirak, T., Golkari, S., Rezaie, M., Ashouri, S., Nazeri, M., Ghodsi, M., Razavi, A., Ezzatahmadi, M., Chaichi, M., Babaie, T., Sanjari, A., Aminzadeh, G., Safavi, S.A., Abedi, M.S., Salehi, P., Hosseini-Bai, S.K., Afshari, F., Soltani, R., Pedram, A., Koucheiki, A., Houshyar, R., Seif, I., Malihipour, A., Pirayeshfar, B., and Aghnum, R. 2011c. Oroum, a new bread wheat cultivar for irrigated condition in cold regions of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal* 27: 445-448 (In Farsi with English abstract).
- Zahravi, M., Azimi, H., Dehghan, M.A., Allahyari, N., Alitabar, R., Pourmoghaddam, H. 2017. Determinaton of resistance sources to powdery mildew (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*) in Iranian bread wheat germplasm. *Seed and Plant Improvement Journal* 33: 45-65 (In Farsi with English abstract).