

ارزیابی مزرعه‌ای مقاومت تدریجی (Slow rusting) نسبت به بیماری زنگ زرد در برخی از

ارقام گندم دیم

صفر علی صفوی^{۱*}، مظفر روستائی^۲

۱. دانشار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

۲. دانشیار بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۲۳)

چکیده

زنگ زرد گندم با عامل *Puccinia striiformis f. sp. tritici* یکی از مهمترین بیماری‌های گندم می‌باشد که تولید گندم را در جهان تهدید می‌کند. مقاومت میزبانی، اقتصادی‌ترین و سالم‌ترین روش مدیریت زنگ زرد است و مقاومت تدریجی که نوعی مقاومت غیر اختصاصی - نژاد یا مقاومت کمی است، در مقایسه با مقاومت گیاهچه‌ای (اختصاصی - نژاد) مقاومت پایداری گزارش شده است. در این مطالعه، پارامترهای مقاومت تدریجی (Slow rusting) شامل ضریب آلودگی (CI)، شدت نهائی بیماری (FRS)، مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC) و نرخ آلودگی ظاهری (r) برای ۲۱ ژنوتیپ گندم دیم همراه با شاهد حساس طی دو سال از ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۷ ارزیابی شدند. این مطالعه در ایستگاه تحقیقات کشاورزی آلاروق اردبیل تحت شرایط آلودگی طبیعی و مصنوعی انجام شد. آلودگی مصنوعی ژنوتیپ‌ها با استفاده از جمعیت نژادی زنگ زرد که دارای پرازاری بر روی ژن‌های مقاومت *Yr1, Yr2, Yr6, Yr7, Yr9, Yr17, Yr22, Yr23, Yr24, Yr25, Yr26, Yr27, Yr31, Yr32, YrSU* بود، انجام شد. واکنش گیاهچه‌ای نیز تحت شرایط مزرعه‌ای ارزیابی شد. نتایج ارزیابی‌ها برای پارامترهای مقاومت نشان داد که ارقام سرداری، اوحدی، هما همراه با شاهد حساس موروکو بالاترین مقادیر *FRS, CI, r* و *rAUDPC* را داشتند، و بنابراین به عنوان ارقام حساس گروه‌بندی شدند. شش رقم در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه بالغ مقاوم یا نیمه مقاوم بودند. ارقام چهل‌دانه و سیلان در مرحله گیاهچه‌ای مقاوم یا نیمه‌مقاوم و در مرحله گیاه بالغ واکنش متوسط (MR, M) نشان دادند. نه رقم شامل ارقام الوند، باران، ریژاو، زاگرس، دهدشت، زردک، صدرا، سائین و ساجی در مرحله گیاهچه‌ای حساس ولی در مرحله گیاه بالغ واکنش متوسط (MR, M, MS) نشان دادند. بنابراین، این ارقام با داشتن مقادیر پایین پارامترهای مختلف مقاومت به احتمال زیاد دارای درجات متفاوتی (سطح مطلوب تا متوسط) از مقاومت تدریجی یا HTAP (مقاومت غیر اختصاصی - نژاد یا پایداری) می‌باشند. بقیه ارقام سطح پایینی از مقاومت تدریجی داشتند. تجزیه خوشه‌ای بر اساس واکنش گیاهچه‌ای و گیاه بالغ، ارقام را در گروه‌های مختلفی قرار داد که این حالت نیز بیانگر تنوع بالای ارقام از نظر واکنش نسبت به بیماری زنگ زرد بود. ژنوتیپ‌های دارای سطح مطلوب و متوسط مقاومت تدریجی که در این مطالعه تشخیص داده شدند، می‌توانند به جای ارقام حساس کشت شده و یا در برنامه‌های به‌نژادی گندم نسبت به زنگ زرد استفاده شوند.

واژه‌های کلیدی: گندم دیم، مقاومت تدریجی، مقاومت گیاهچه‌ای، *Puccinia striiformis f. sp. tritici*

Field-based assessment of slow rusting resistance against yellow rust in some dryland wheat cultivars

Safarali Safavi^{1*}, M. Roustaei²

1- Assistant Professor of Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ardabil, Iran,

2- Associate Professor of Department of Cereal Research, Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Maragheh, Iran

(Received: April 12, 2020 - Accepted: October 14, 2020)

ABSTRACT

Yellow rust caused by *Puccinia striiformis f. sp. tritici* is an important disease that threatens wheat production in the world. Host resistance is the most economical and safe strategy to manage wheat stripe rust; and slow rusting resistance, a kind of quantitative resistance, has been reported to be more durable than other kind of resistances. Slow rusting parameters including final rust severity (FRS), apparent infection rate (r), relative area under disease progress curve (rAUDPC), and coefficient of infection (CI) were evaluated in a set of twenty-one dryland wheat genotypes along with susceptible control in 2017 and 2018 growing seasons. This study was conducted in field plots at Ardabil and Agricultural Research Stations under natural and artificial infection conditions. Artificial inoculation was carried out by yellow rust inoculum containing virulent genes against *Yr1, Yr2, Yr6, Yr7, Yr9, Yr17, Yr21, Yr22, Yr23, Yr24, Yr25, Yr26, YrA, YrSU, Yr27, Yr31, and Yr32*. Seedling reaction was also evaluated under field conditions. Results of evaluations for resistance parameters showed that cultivars Sardari, Ohadi, Homa along with susceptible check (Morocco) had the highest values of FRS, CI, r, and rAUDPC, therefore they were mined as susceptible cultivars. Six cultivars were resistant or moderately resistant both at the seedling and adult plant stages, two cultivars including Sabalan and Cheheldaneh, showed resistant or moderately resistant reactions at seedling, but moderate or moderately susceptible reactions at the adult plant stage. Nine cultivars; Alvand, Rijaw, Baran, Zagrou, Dehdasht, Zardak, Sadra, Saein and Saji were susceptible at the seedling and had moderate (MR, M, or MS) reactions at the adult plant stages. Hence, these cultivars with a low level of different parameters supposed to be having gene/s for varying degrees (good or moderate level) of slow rusting resistance or high-temperature adult plant (HTAP) resistance. The remaining cultivars/lines had low level of slow rusting resistance. Cluster analysis of different cultivars/lines based on adult plant resistance parameters and seedling infection types revealed different groups/clusters which indicate considerable diversity for a level of resistance of these wheat genotypes. Genotypes with good and moderate levels of slow rusting resistance that have been identified in this study can be cultivated instead of susceptible cultivars or used in wheat breeding programs for yellow rust.

Key words: Dryland wheat, slow rusting resistance, seedling resistance, *Puccinia striiformis f. sp. tritici*

* Corresponding author E-mail: safaralisafavi@yahoo.com

مقدمه

در طول تاریخ، گندم (*Triticum aestivum* L.) به عنوان مهم‌ترین منبع اصلی تامین کننده مواد غذایی برای بشر شناخته شده است و در مناطق مختلف آب و هوایی کشت می‌گردد. این گیاه قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین محصول غذایی است که از ۱۰۰۰۰-۸۰۰۰ سال قبل از میلاد مورد کشت قرار گرفته است (Orth and Shllenberger, 1988).

زنگ‌های غلات شامل زنگ سیاه، زنگ قهوه‌ای و زنگ زرد همچنان به عنوان عوامل اصلی و مهم محدودکننده تولید گندم در قسمت‌های مختلف جهان به شمار می‌روند (Singh et al., 2011). زنگ زرد *Puccinia striiformis* Westend. f. sp. شایع‌ترین بیماری گندم است و نسبت به سایر زنگ‌ها نیازمند درجه حرارت بهینه پایین‌تری جهت رشد و نمو می‌باشد (Roelfs et al., 1992). با این وجود بررسی‌های اخیر نشان می‌دهند که عامل بیماری زنگ زرد به درجه حرارت‌های بالاتر نیز سازگاری یافته است (Hovmoller et al., 2016).

بیماری زنگ زرد در صورت عدم کنترل با قارچکش‌ها یا ارقام مقاوم باعث کاهش عملکرد چشمگیری می‌شود. کاهش عملکرد ناشی از زنگ زرد در بیشتر نواحی گندم‌خیز دنیا ۷۰٪-۱۰ تخمین زده می‌شود (Chen, 2005). این بیماری در کشورهای آسیای مرکزی از اواخر ۱۹۹۰ و اوایل ۲۰۰۰ بیماری غالب محسوب می‌گردید و در سال ۱۹۹۹-۲۰۰۰ باعث کاهش ۴۰٪-۲۰ محصول گندم شد (Morgonov et al. 2004). در اثر زنگ زرد در آمریکا در منطقه مونتانا کاهش محصول برابر ۲۳-۸۰٪ بر روی ارقام نیمه‌حساس تا حساس گزارش شده است (McNeal and Sharp, 1963). ماندی (Mundy, 1973) شکسته شدن مقاومت گیاه بالغ (Adult Plant Resistance) در رقم Joss Cambier و کاهش محصول ۳۴٪ را در انگلستان در اثر زنگ زرد روی ارقام نیمه حساس تا حساس گزارش کرد.

در صورت ظهور زود هنگام بیماری و ادامه آن در طی فصل رشد و به شرط کشت ارقام حساس، بیماری می-

تواند تا ۱۰۰٪ نیز خسارت بزند (Afzal et al., 2007). در کشور ایران نیز زنگ زرد خسارت بیشتری نسبت به سایر زنگ‌ها روی محصول گندم ایجاد می‌کند و ظهور هر چند سال یکبار نژادهای جدید عامل بیماری زنگ زرد، با توجه به نزدیکی به کانون‌های ایجاد نژادهای جدید زنگ‌ها (شمال شرقی آفریقا و کشور یمن) دور از انتظار نیست (Yahyaoui et al., 2002). در ایران زنگ زرد مهم‌ترین بیماری گندم می‌باشد به طوری که کاهش محصول گندم در اثر این بیماری در سال زراعی ۷۲-۱۳۷۱، حدود ۳۰٪ محصول کل کشور گزارش شده است (Torabi et al., 1995).

امروزه کنترل بیماری زنگ زرد با قارچکش‌های جدید و موثری امکان پذیر شده است (Chen, 2005). با وجود این، کشت ارقام مقاوم موثرترین، اقتصادی‌ترین و از لحاظ محیطی سالم‌ترین روش کنترل بیماری است (Singh et al., 2005). مقاومت تک‌ژنی از نوع واکنش فوق حساسیت (Hypersensitive resistance)، که در برخی منابع آن را با مقاومت کیفی (Qualitative resistance)، گیاهچه‌ای (Seedling resistance)، عمودی (Vertical resistance) یا اختصاصی- نژاد (Race-specific resistance) معادل می‌دانند (Chen, 2013)، توسط بیمارگر شکسته می‌شود (Singh et al., 2005; 2011). به همین دلیل به‌نژادگران به دنبال استفاده از انواع دیگری از مقاومت هستند که به نظر پایدارتر می‌رسند، از آن جمله می‌توان مقاومت تدریجی (Slow rusting resistance) یا مقاومت نسبی (Partial resistance) را نام برد. این نوع مقاومت عمدتاً با کاهش نرخ توسعه همه‌گیری همراه است که از کاهش نرخ رشد جوش‌های زنگ، اسپور تولیدی کمتر و طولانی بودن دوره نهفتگی (Latent period) ناشی می‌گردد. مقاومت پایدار (Durable resistance)، که در برخی منابع از آن به عنوان مقاومت کمی (Quantitative resistance)، مقاومت افقی (Horizontal resistance)، مقاومت گیاه بالغ (Adult plant resistance)، یا غیر اختصاصی- نژاد (Non-race specific resistance) نام برده می‌شود (Chen, 2013)، توسط چندین ژن که اثرات افزایشی

به طور گسترده‌ای مطالعه و بررسی گردیده‌اند (Line, 2002). در بسیاری از پاتوسیستم‌های زنگ-غلات، مفاهیم کمی مقاومت ارقام تشریح گردیده و مقادیر آن در مرحله گیاه بالغ با اندازه‌گیری شدت نهائی بیماری زنگ (Final Rust Severity=FRS) در مرحله مشخصی از رشد گیاه، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (Area Under Disease Progress Curve= AUDPC)، نرخ آلودگی ظاهری (Apparent infection rate) و ضریب آلودگی (CI Coefficient of Infection= Mitiku *et al.*, 2018; Pathan & Park, 2006). محققین مختلفی با استفاده از این پارامترها مقادیر کمی مقاومت ارقام و لاین‌ها را در سطح مزرعه مشخص کرده‌اند (Sandoval-Islas *et al.*, 2007; Ali *et al.*, 2009; Shah *et al.*, 2014; Safavi and Afshari, 2012). در بررسی‌های این محققین، همبستگی بالای پارامترهای شدت نهائی بیماری، ضریب آلودگی و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری با یکدیگر مشخص گردیده است. در زمینه ارزیابی مقاومت ارقام و لاین‌های گندم نسبت به زنگ زرد از سال‌ها پیش تاکنون تحقیقات متعددی در ایران انجام گرفته است. سعیدی و همکاران (Saidi *et al.*, 1998) در ارزیابی مقاومت ۳۸ لاین و رقم پیشرفته نسبت به سه نژاد زنگ زرد در مرحله گیاهچه‌ای از اجزای مقاومت یادداشت برداری نمودند که بر این اساس اغلب لاین‌ها مقاومت خوبی نسبت به نژادهای مورد استفاده نشان دادند. این ارقام از نظر تیپ آلودگی و دوره نهان آلودگی تفاوت معنی‌داری با هم داشتند و تعدادی از این لاین‌ها مقاومت بالایی را نسبت به این سه نژاد که از نظر پرازاری (Virulence) متفاوت بودند، نشان دادند. در تحقیق دیگری مقاومت کمی ۲۹ لاین امیدبخش گندم اقلیم سرد با اندازه‌گیری پارامترهای مختلف تحت شرایط آلودگی مصنوعی و طبیعی در اردبیل بررسی شد و مشخص گردید که لاین‌های C-86-1، C-86-2، C-87-1 و C-87-3 همراه با شاهد حساس بیشترین مقدار شدت نهائی بیماری و ضریب آلودگی را داشتند. لاین‌های C-86-3، C-86-9، C-87-2، C-87-6، C-87-6، C-

(Additive effects) دارند، کنترل می‌شود (Johnson, 1988; Milus and Line, 1986; Sharp and Fuchs, 1982). در زمینه مقاومت تدریجی در گندم تحقیقات وسیعی صورت گرفته است (Hei *et al.*, 2015; Singh *et al.*, 2017; Saleem *et al.*, 2015).

اگرچه تصور می‌شود مقاومت برخی ارقام غیر اختصاصی- نژاد است، اما تغییر در نژادهای بیمارگر موجب شکسته شدن مقاومت بسیاری از ارقام نسبت به زنگ زرد شده است که نشان دهنده ناپایداری مقاومت می‌باشد (Roelfs *et al.*, 1992). ناپایداری مقاومت در ارقام، متخصصین به نژادی را در جهت جستجوی مقاومت تدریجی در برنامه به نژادی تشویق کرده است (Singh *et al.*, 2011). مقاومت تدریجی که به نظر می‌رسد مقاومت غیر اختصاصی- نژاد و پایدار باشد، در گندم پیدا شده است و تلاش در جهت یافتن ارقام دارای این نوع مقاومت در طی چندین سال گذشته ادامه داشته است (Shah *et al.*, 2014; Ali *et al.*, 2011; Tabassum, 2011).

تا سال ۲۰۱۸ تعداد ۷۹ ژن *Yr* برای مقاومت به زنگ زرد گندم شناسائی و به کار گرفته شده‌اند (Feng *et al.*, 2018). با وجود این، بیشتر این ژن‌ها اختصاصی- نژاد بوده و در کنترل جمعیت‌های بیمارگر در نتیجه ظهور نژادهای جدید غیر موثر خواهند شد. میانگین طول عمر ژن‌های مقاومت اختصاصی- نژاد در سطح جهانی پنج سال برآورد می‌گردد (Kilpatrick, 1975). برای مثال، ژن‌های مقاومت *Yr2*، *Yr3*، *Yr4*، *Yr6*، *Yr7*، *Yr9* و *YrA* به طور وسیعی در برنامه‌های به نژادی سیمیت (CIMMYT) بکار گرفته شده‌اند (Badebo *et al.*, 1990)، اما هیچ یک از این ژن‌ها در سطح جهانی موثر نیستند (Broers *et al.*, 1996; Sharma-Poudyal *et al.*, 2013). اخیراً در برخی از کشورهای اروپایی، آسیایی و آمریکای شمالی پرازاری برای ژن‌های مقاومت *Yr1*، *YrTr1*، *Yr8*، *Yr76*، *Yr17* و *Yrsp* نیز مشاهده شده است و ارقام حاوی این ژن‌ها کارایی خود را از دست داده‌اند (Wang *et al.*, 2018).

دو نوع از مقاومت کمی یعنی مقاومت تدریجی و مقاومت گیاه بالغ در درجه حرارت بالا (High Temperature Adult Plant Resistance =HTAPR)

(شاهد) کشت گردید. آزمایش گیاهچه‌ای در سه تکرار انجام شد. مایه‌زنی مصنوعی خزانه در زمان دو برگی با مخلوطی از اسپورهای نژادهای زنگ زرد گندم جمع‌آوری شده از سال قبل (از خزانه زنگ زرد گندم در اردبیل) و پودر تالک (به نسبت ۱ به ۲۰) به کمک گردپاش و در هنگام غروب انجام گردید. در زمان ظهور علائم روی رقم حساس (در حد تیپ آلودگی ۷ یا بالاتر) یادداشت‌برداری انجام شد. واکنش گیاهچه‌ای بر اساس معیار ۹-۰ به روش لاین و قیوم (Line and Qayoum, 1992) انجام شد. در این روش تیپ‌های آلودگی ۷ یا بیشتر به عنوان حساس و تیپ‌های آلودگی ۶-۴ متوسط و تیپ‌های آلودگی کمتر از ۴ به عنوان مقاوم در نظر گرفته شدند.

ارزیابی واکنش مزرعای

در بررسی مزرعای، پارامترهای مختلف مقاومت تدریجی (Slow rusting) شامل ضریب آلودگی (Coefficient of Infection=CI)، شدت نهائی بیماری (Final Rust severity=FRS)، مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (relative Area Under Disease Progress Curve= rAUDPC) و نرخ آلودگی ظاهری (Apparent infection rate) ارزیابی شد. هر کدام از ارقام به میزان ده گرم روی دو خط یک متری با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از همدیگر روی یک پشته کاشته شدند و بعد از هر ده رقم و نیز در کل حاشیه آزمایش روی دو خط یک متری (یک پشته) رقم شاهد حساس (موروکو) کشت گردید. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام و در طول فصل زراعی عملیات داشت شامل آبیاری غرقابی، وجین علف‌های هرز و کودپاشی انجام شد. مایه‌زنی مصنوعی خزانه در فاصله بین زمان ساقه‌دهی تا قبل از ظهور برگ پرچم با مخلوطی از اسپورهای نژاد/نژادهای زنگ زرد جمع‌آوری شده از سال قبل و پودر تالک به کمک گردپاش و در هنگام غروب انجام گردید. این نژاد/نژادهای قارچ عامل بیماری بر روی ژن‌های *Yr23, Yr22, Yr17, Yr9, Yr7, Yr6, Yr2, Yr1* ژن‌های *Yr32, Yr31, Yr21, YrA, Yr27, Yr26, Yr25, Yr24*

87-8، 87-11 و C-87-18 در مرحله گیاهچه‌ای حساس و در مرحله گیاه کامل مقادیر پایین آلودگی نشان دادند و به عنوان لاین‌های دارای مقاومت تدریجی انتخاب شدند (Safavi and Afshari, 2012). سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) معیار کمی از کل مقاومت بوده و تمام مولفه‌های مقاومت نظیر فراوانی آلودگی، دوره نهان آلودگی، اندازه اوریدینیوم و اسپورزائی را در یک سطح مشخص می‌سازد (Milus and Line, 1986). علت مطالعه پارامترهای یاد شده در شرایط مزرعای، همبستگی پایین ($r=0.5$) برخی مولفه‌های مقاومت تدریجی در شرایط گلخانه‌ای (گیاهچه‌ای) با مولفه‌های مذکور در شرایط گیاه بالغ است (Sandoval-Islands *et al.*, 2007). از طرف دیگر از آنجا که بیان ژن‌های مقاومت غیر اختصاصی- نژاد (مانند مقاومت تدریجی) در مرحله گیاه بالغ انجام می‌گیرد (Singh *et al.*, 2011)، لذا در بررسی حاضر نیز پارامترهای مقاومت تدریجی در مرحله گیاه بالغ همراه با واکنش گیاهچه‌ای در تعدادی از ارقام گندم دیم در شرایط مزرعای مطالعه شدند.

مواد و روش‌ها

ارزیابی واکنش گیاهچه‌ای

بدلیل فراهم بودن شرایط آلودگی طبیعی طی فصل بهار در اردبیل، بر اساس روش زینق و همکاران (Zeng *et al.*, 2014) بررسی واکنش گیاهچه‌ای ۲۱ رقم گندم دیم (دریافتی از موسسه تحقیقات دیم کشور) تحت شرایط مزرعای و در برابر جمعیت نژادی زنگ زرد (مخلوط نژادها) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل (واقع در فاصله ۱۵ کیلومتری جنوب غربی جاده اردبیل-خلخال با طول جغرافیای ۴۸ درجه و ۲۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۲ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۳۹ متر) انجام شد. هر رقم به میزان سه گرم روی دو خط ۲۰ سانتی‌متری با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از همدیگر روی یک پشته کاشته شد و بعد از هر ۱۰ رقم و نیز در کل حاشیه آزمایش روی دو خط یک متری (یک پشته) رقم حساس موروکو

برداری و x_1 و x_2 شدت بیماری یادداشت شده در زمان‌های مذکور می‌باشد. به منظور مقایسه بهتر ارقام، وزن هزار دانه هر یک از ارقام (با برداشت ده خوشه تصادفی از هر کرت) در زمان برداشت اندازه‌گیری شد. گروه‌بندی ارقام بر اساس مقادیر مختلف مقاومت تدریجی به روش علی و همکاران (Ali et al., 2007) و پاتان و پارک (Patahn and Park, 2006) انجام شد. همچنین گروه‌بندی نمونه‌ها با تجزیه خوشه‌ای به کمک نرم افزار SPSS (نسخه ۱۸) انجام گرفت.

نتیجه و بحث

نتایج واکنش گیاهچه‌ای

بر اساس نتایج بررسی واکنش گیاهچه‌ای به روش لاین و قیوم (Line and Qayoum, 1992)، ۲۱ رقم مختلف گندم در در سه گروه متفاوت قرار گرفتند (جدول ۱). ارقام تک آب، کریم، کوه‌دشت، گردیش، چهل دانه و لاین ۳۰-۶۱ با تیپ‌های آلودگی کمتر از ۴ به عنوان گروه مقاوم در نظر گرفته شدند. فقط یک رقم (سبلان) با داشتن تیپ آلودگی ۶-۴ به عنوان گروه دارای مقاومت گیاهچه‌ای متوسط و ۱۴ رقم دیگر همراه با شاهد حساس با تیپ‌های آلودگی ۷ یا بیشتر به عنوان گروه حساس دسته‌بندی شدند.

نتایج واکنش گیاه بالغ

بر اساس نتایج بررسی واکنش گیاه بالغ طی دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷، ارقام در گروه‌های مختلفی قرار گرفتند (جدول ۱). ارقام تک آب، کریم، کوه‌دشت، گردیش و لاین ۳۰-۶۱ واکنش مقاومت یا نیمه-مقاومت (R/MR) با آلودگی جزئی، و ارقام سبلان، ریژاو، زاگرس، دهدشت، چهل دانه، صدرا و ساجی هم واکنش نیمه‌مقاومت یا متوسط (MR/M) نشان دادند. در حالیکه فقط تعداد چهار رقم (الوند، باران، زردک و سائین) واکنش متوسط یا نیمه‌حساسیت (M/MS) داشتند، تعداد پنج رقم (سرداری، آذر ۲، اوحدی، رصد و هما) نیز همراه با رقم شاهد موروکو دارای تیپ آلودگی نیمه‌حساس تا حساس (MSS) و یا حساس (S) بودند.

و *YrSU* دارای پرازاری می‌باشد (Safavi et al., 2013; Safavi, 2019). یادداشت‌برداری از شدت بیماری زنگ زرد در سه تا چهار نوبت و به فاصله هر ۸-۷ روز یکبار از زمان ظهور برگ پرچم (Gs47) تا مرحله گلدهی (Gs69) براساس مقیاس اصلاح شده کاب پیشنهادی پترسون و همکاران (Peterson et al., 1948) انجام شد. همچنین از واکنش گیاه (تیپ آلودگی) بر اساس روش رولفز و همکاران (Roelfs et al., 1992) یادداشت‌برداری گردید. سپس داده‌های مربوط به شدت بیماری و واکنش میزبان با هم ترکیب شده و از ترکیب آنها ضریب آلودگی محاسبه شد. ضریب آلودگی از ضرب شدت بیماری در ثابت مربوط به واکنش میزبان (immune=0.0, R=0.2, MR=0.4, Stubbs et al., 1986) بدست آمد (M=0.6, MS=0.8, S=1).

سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) نیز بر اساس روش پاندی و همکاران (Pandy et al., 1989) مطابق با فرمول زیر:

$$AUDPC = ((N_1 (X_1 + X_2) / 2) + (N_2 (X_2 + X_3) / 2))$$

محاسبه شد که در این فرمول:

$$AUDPC = \text{سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری}$$

$$N_1 = \text{فاصله اولین یادداشت‌برداری با دومین}$$

یادداشت‌برداری به روز

$$N_2 = \text{فاصله دومین یادداشت‌برداری با سومین}$$

یادداشت‌برداری

$$X_1, X_2, X_3 = \text{بترتیب ضریب آلودگی اولین، دومین و سومین یادداشت‌برداری می‌باشند.}$$

همچنین برای محاسبه مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC) از فرمول زیر استفاده شد:

AUDPC رقم حساس / (AUDPC هر لاین) × ۱۰۰ = rAUDPC =

$$rAUDPC =$$

نرخ آلودگی ظاهری نیز مطابق روش واندرپلانک

(Van der Plank, 1968) براساس فرمول زیر برای هر

رقم محاسبه شد:

$$r = 1/\Delta t [(\ln(x_2/1-x_2)) - (\ln(x_1/1-x_1))]$$

که در آن t_1 و t_2 زمان‌های یادداشت-

جدول ۱- نتایج بررسی مزرعه‌ای پارامترهای مقاومت تدریجی و واکنش گیاهچه‌ای در ارقام گندم دیم نسبت به بیماری زنگ زرد
Table 1. Results of field-based assessment of slow rusting resistance parameters and seedling infection types against yellow rust in dry-land wheat cultivars

No.	Cultivars	Seedling Infection Type ¹	Adult Plant Infection type ²	Mean values of slow rusting parameters ³					Thousands kernel weight
				FRS	CI	AUDPC	rAUDPC	r	
1	Sardari	8	MSS/S	88	84	998	88	0.176	22
2	Sabalan	4	M	25	15	242	21	0.084	42
3	Azar- 2	8	MS/MSS	65	55	709	62	0.107	39
4	Ohadi	8	MSS	90	81	1018	89	0.178	24
5	Rasad	8	MS/MSS	57	48	530	46	0.118	34
6	Alvand	7	MS	41	33	459	40	0.082	42
7	Homa	8	MSS	85	77	990	87	0.173	28
8	Tak-Ab	2	R/MR	13	4	151	13	0.061	39
9	Baran	8	M/MS	53	37	533	46	0.099	38
10	Rijaw	7	M	35	21	313	27	0.090	40
11	Karim	2	R/MR	15	5	211	18	0.062	45
12	Zagrou	7	M	17	10	246	21	0.079	46
13	Kohdasht	2	R/MR	9	3	96	8	0.055	47
14	Dehdasht	7	MR/M	35	18	324	28	0.097	45
15	Zardak	8	MS	42	34	398	35	0.081	42
16	Gherdish	2	R/MR	10	3	113	10	0.048	43
17	61-30	2	R/MR	17	5	197	17	0.036	41
18	Cheheldaneh	2	MR	30	9	345	30	0.071	47
19	Sadra	7	M	40	24	503	43	0.094	43
20	Saein	7	M/MS	40	28	503	43	0.094	44
21	Saji	7	M	30	18	285	24	0.090	45
22	Morocco	9	S	100	100	1167	100	0.322	15

۱- تیپ‌های آلودگی گیاهچه‌ای بر اساس روش لاین و قیوم (Line and Qayoum, 1992).

1-Seedling infection types based on Line and Qayoum (1992).

۲- تیپ آلودگی بر اساس روش رولفز و همکاران (Roelfs *et al.*, 1992): مقاوم (R) - بدون اسپورزائی، نیمه مقاوم- با آلودگی جزئی (TMR)، نیمه مقاوم (MR) - با جوش‌های کوچک احاطه شده با نواحی نکروزه، نیمه مقاوم تا نیمه حساس (M)، نیمه حساس (MS) - با جوش‌های متوسط دارای نواحی کلروزه ولی بدون نکروزه، نیمه حساس تا حساس (MSS) - با جوش‌های متوسط تا بزرگ بدون نواحی کلروزه و نکروزه، حساس (S) - با جوش‌های بزرگ بدون نواحی کلروزه و نکروزه.

2- Infection types based on Roelfs *et al.* (1992); MR= moderately resistant; small pustules surrounded by necrotic areas. M= moderately resistant to moderately susceptible. MS= moderately susceptible; medium-sized pustules, no necrosis, but some chlorosis possible. MSS= moderately susceptible to susceptible; medium to large sized pustules without chlorosis or necrosis. S= susceptible; large pustules, no necrosis or chlorosis.

۳- پارامترهای مقاومت تدریجی شامل: تیپ آلودگی (IT)، شدت نهائی زنگ (FRS)، ضریب آلودگی (CI)، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC)، مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC)، نرخ آلودگی ظاهری (r)

3-Slow rusting parameters including: FRS= Final rust severity, CI=Coefficient of Infection, AUDPC= Area under disease progress curve, rAUDPC= relative Area under disease progress curve, r= Apparent infection rate

حساس، مقاوم و دارای سطوح مختلف مقاومت تدریجی قرار داده شدند (جدول ۱ و شکل ۳). علاوه بر این، با ارزیابی واکنش گیاهچه‌ای، ارقام دارای مقاومت

نتایج ارزیابی پارامترهای مقاومت تدریجی بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی‌های گیاهچه‌ای و گیاه بالغ نسبت به زنگ زرد، ارقام درگروه‌های مختلف

(واکنش R) در مرحله گیاه بالغ و واکنش مقاومت در مرحله گیاهچه‌ای، حتماً دارای ژن/ژن‌های مقاومت اختصاصی - نژاد هستند اما از طرف دیگر، از آنجا که ژن‌های مقاومت غیر اختصاصی - نژاد توسط ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای پوشیده می‌مانند (Chen, 2005) لذا برای اثبات مقاومت تدریجی آنها نیاز به مطالعات تکمیلی است.

تعدادی از ارقام به علت داشتن ضریب آلودگی بین ۴۰-۲۱، به عنوان ارقام دارای سطح متوسط مقاومت تدریجی گروه‌بندی شدند (جدول ۱). برخی از ارقام به علت دارا بودن ضریب آلودگی بالا (۶۰-۴۱)، دارای سطح پایین مقاومت تدریجی بودند. در این مطالعه تنها لاین‌های ارقام سرداری، اوحدی، هما همراه با رقم حساس موروکو ضریب آلودگی بالایی نشان دادند که به عنوان گروه حساس در نظر گرفته شدند.

با توجه به مقادیر ضریب آلودگی روی رقم حساس (جدول ۱) فشار بیماری طی سال‌های بررسی بالا بود. بعد از رقم حساس، بیشترین مقدار ضریب آلودگی ثبت شده در بین ارقام مورد مطالعه، مربوط به گروهی بود که در گروه دارای سطح پایین مقاومت نسبی قرار داشتند. براساس این نتایج نژاد/نژادهای زنگ زرد گندم اردبیل روی بیشتر ارقام ارزیابی شده دارای قدرت پرآزاری و بیماری‌زایی می‌باشند (جدول ۱).

توجه به این نکته ضروری است که ارقام دارای مقاومت نژاد-اختصاصی اغلب در عرض پنج سال بعد از معرفی حساس می‌شوند. این حالت به علت تکامل (وفق دادن به میزبان و محیط) سریع نژادهای پرآزار بیمارگر است (Chen, 2005; Singh et al., 2011). بنابراین در خصوص ارقام دارای واکنش مقاومت کامل در مرحله گیاه بالغ، برای تشخیص اجزاء مقاومت آن‌ها به مطالعه ژنتیکی با استفاده از نشانگرهای مولکولی نیاز دارند. ارقامی که دارای تیپ‌های آلودگی MS یا MR هستند ممکن است ژن‌های مقاومت از نوع پایدار را حمل کنند (Brown et al., 2001; Singh et al., 2005). بنابراین ارقام دارای سطح پایین ضریب آلودگی و مولفه‌های دیگر مقاومت کمی به احتمال زیاد دارای ژن‌های مقاومت نسبی (مانند HTAPR

گیاهچه‌ای در برابر مخلوط نژادهای مورد استفاده در مزرعه نیز مشخص شدند (جدول ۱). نتایج ارزیابی‌ها برای پارامترهای مقاومت نشان داد که ارقام سرداری، اوحدی، هما همراه با رقم حساس موروکو بالاترین مقادیر FRS, CI, r² و rAUDPC را داشتند، و بنابراین به عنوان ارقام حساس گروه‌بندی شدند. شش رقم در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه بالغ مقاوم یا نیمه مقاوم بودند. دو رقم در مرحله گیاهچه‌ای مقاوم یا نیمه مقاوم و در مرحله گیاه کامل واکنش متوسط (MR, M) نشان دادند. نه رقم (شماره های ۶، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۹، ۲۰ و ۲۱) در مرحله گیاهچه‌ای حساس ولی در مرحله گیاه بالغ واکنش متوسط (MR, MS) نشان دادند. بنابراین، این ارقام با داشتن مقادیر پایین پارامترهای مختلف مقاومت به احتمال زیاد دارای درجات متفاوتی (سطح مطلوب تا متوسط) از مقاومت تدریجی یا HTAP (مقاومت غیر اختصاصی - نژاد یا پایدار) می‌باشند. بقیه ارقام سطح پایینی از مقاومت تدریجی داشتند. تجزیه خوشه‌ای بر اساس واکنش گیاهچه‌ای و گیاه بالغ، ارقام را در گروه‌های مختلفی قرار داد که این حالت نیز بیانگر تنوع بالای ارقام از نظر واکنش نسبت به بیماری زنگ زرد بود (شکل ۳).

روش مقایسه ضریب آلودگی به علت همبستگی با کاهش محصول در اثر آلودگی به زنگ‌های غلات به- عنوان یکی از روش‌های مناسب ارزیابی ذکر شده است (McIntosh et al., 1995; Ochoa and parlevliet, 2007; Safavi, 2015). به منظور محاسبه ضرایب آلودگی، ترکیب داده‌های شدت بیماری و واکنش میزبان استفاده شدند. براساس روش علی و همکاران (Ali et al., 2007) و پاتان و پارک (Patahn and Park, 2006) ارقام یا لاین‌هایی با مقادیر ضریب آلودگی ۲۰-۰، ۴۰-۲۱، ۶۰-۴۱ به ترتیب دارای سطح بالا، متوسط و پایین مقاومت تدریجی در نظر گرفته می‌شوند. در این بررسی ۴۳ درصد از ارقام در دسته اول (گروه دارای سطح بالای مقاومت تدریجی) قرار گرفتند (جدول ۱). برخی از ارقام هر چند در گروه اول قرار گرفته‌اند، ولی به دلیل داشتن تیپ آلودگی پایین

شدند. بر اساس داده‌های شدت نهایی بیماری و مطابق روش علی و همکاران (Ali *et al.*, 2008) و هی و همکاران (Hei *et al.*, 2015) ارقام ارزیابی شده در این مطالعه در سه گروه دارای مقاومت تدریجی بالا، متوسط و پایین قرار گرفتند که به ترتیب مقادیر شدت نهایی بیماری در آن‌ها ۳۰-۱٪، ۵۰-۳۱٪ و ۷۰-۵۱٪ بود. ارقام شماره‌های ۸، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۶، ۱۸، و ۲۱ مقادیر پایین FRS (۳۰-۱٪) را نشان دادند و بنابراین در گروه دارای سطح مطلوب مقاومت تدریجی قرار می‌گیرند. در حالی که ژنوتیپ‌های شماره‌های ۶، ۱۰، ۱۴، ۱۹ و ۲۰ با مقادیر شدت نهایی بیماری ۵۰-۳۱٪ سطح متوسط مقاومت تدریجی را نشان دادند. شکل ۲، منحنی پیشرفت بیماری بر اساس شدت بیماری یادداشت‌برداری شده در تاریخ‌های مختلف را نشان می‌دهد. در این شکل به وضوح تفاوت گروه‌های مختلف از نظر سطح مقادیر مقاومت تدریجی مشخص است به طوری که در گروه‌های دارای سطح بالا و متوسط مقاومت تدریجی مقدار نهایی شدت بیماری بسیار پایین‌تر از گروه‌های دیگر است. طبق نظر محققین مختلف، ژنوتیپ‌های این گروه می‌توانند درجات مختلف مقاومت پایدار را دارا باشند و می‌توانند به عنوان والدین خوبی برای به‌نژادی به کار گرفته شوند (Hei *et al.*, 2015; Singh *et al.*, 2017). بنابراین ارقام این گروه به طور بالقوه‌ای در برنامه‌های به‌نژادی مفید هستند. در بررسی واکنش ارقام و لاین‌های مختلف گندم نسبت به زنگ‌های زرد یا سیاه، محققین دیگری مانند سالم و همکاران (Saleem *et al.*, 2015)، آلو و همکاران (Alo *et al.*, 2018) و صفوی و افشاری (Safavi and Afshari, 2017) نیز از ارزیابی مزرعه‌ای مقاومت نسبی یا تدریجی استفاده نمودند. این محققین دریافتند که مقاومت ارقام یا لاین‌ها بر اساس پارمترهای مختلف مقاومت کمی (نسبی یا تدریجی) از سطح خیلی پایین تا سطح خیلی بالا متغیر بودند. ژنوتیپ‌هایی که تیپ آلودگی متوسط (با واکنش‌های MR، MS و M) و درصد آلودگی پایینی دارند، چنین ارقام یا لاین‌هایی به احتمال زیاد دارای ژن‌های کوچک‌اثر بوده و به صورت افزایشی عمل می‌کنند

یا Slow rusting) می‌باشند و مقاومت آنها می‌تواند برای مدت طولانی‌تری دوام یابد. زیرا این نوع مقاومت بوسیله بیش از یک ژن کنترل می‌شود که اصطلاحاً مقاومت چندژنی نامیده می‌شوند (Singh *et al.*, 2005). ارقام یا لاین‌های دارای مقاومت تدریجی (Slow rusting) به عنوان ارقام دارای سطوح مختلف مقاومت پایدار در نظر گرفته می‌شوند (Singh *et al.*, 2011).

ارقامی که دارای درجه قابل قبولی از مقاومت تدریجی هستند، سرعت پیشرفت بیماری را کاهش داده و بطور مستقیم روی تغییر نژادها اثر گذار نیستند. با وجود این، مقاومت این ارقام توسط چندین ژن کوچک‌اثر (Minor genes) کنترل می‌شود، که غلبه بر آن در مزرعه زمان طولانی‌تری را خواهد گرفت. زنگ‌های غلات توانایی تغییر توسط عوامل مختلفی نظیر جهش، مهاجرت در مسافت‌های طولانی، نو ترکیبی غیرجنسی و فشار انتخابی ژنوتیپ میزبان روی بیمارگر را دارند (Hovmoller *et al.*, 2011). با توجه به این توانایی بیمارگر در تغییر پرآزاری، محققین بایستی مقاومت غیر اختصاصی - نژاد یا ترکیب مقاومت غیر اختصاصی - نژاد با مقاومت اختصاصی - نژاد را به جای استفاده تنها از مقاومت اختصاصی - نژاد به کار گیرند. البته به این نکته بایستی توجه داشت که تایید مقاومت پایدار در یک رقم مستلزم ارزیابی آن رقم در یک منطقه وسیع، و یک برهه زمانی طولانی، تحت شرایط مساعد برای بروز، استقرار و توسعه زنگ می باشد (Johnson, 1988).

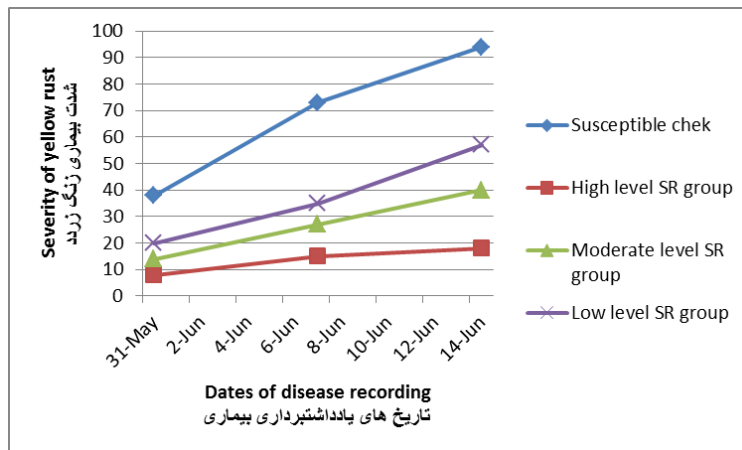
داده‌های شدت نهایی بیماری (FRS) در ۲۱ ژنوتیپ همراه با شاهد حساس (موروکو) در جدول ۱ نشان داده شده است. فشار بالای شدت بیماری در محل اجرای این پژوهش برای ژنوتیپ‌های مورد آزمایش (شکل ۱)، نشان داد که بیشترین آن ۱۰۰ درصد مربوط به شاهد حساس و رقم اوحدی (با ۹۰ درصد شدت آلودگی) بود. برای ارقام سرداری و هما نیز به ترتیب ۸۸٪، و ۸۵٪ برآورد شد که در کنار دو رقم دیگر به عنوان ژنوتیپ‌های حساس گروه‌بندی

مقاومت‌ها به دلیل اثر افزایشی ژن‌ها مدت زمان زیادی پایدار می‌مانند (Singh *et al.*, 2011; Chen, 2013)، بنابراین بایستی بیشتر مورد توجه محققین غلات قرار گیرند.

در این ژنوتیپ‌ها (Chen, 2013; Singh *et al.*, 2005). احتمال وجود ژن‌های کنترل کننده مقاومت نسبی یا تدریجی (مانند *Y18* همراه با ژن‌های دیگر مقاومت تدریجی مانند *Yr36*) و یا ژن‌های مقاومت گیاه کامل در دمای بالا (HTAPR) زیاد است. از آنجا که این نوع



شکل ۱ - سمت چپ: واکنش گیاهچه‌ای در رقم‌های گندم مقاوم و حساس نسبت به زنگ زرد تحت شرایط مزرعه‌ای در اردبیل
سمت راست: مقایسه بذور حاصل از رقم‌های حساس و مقاوم نسبت به زنگ زرد در اردبیل
Fig 1. Left; seedling reaction in resistant and susceptible cultivars under field conditions of Ardabil.
Right; comparison of seeds in resistant and susceptible cultivars



شکل ۲: منحنی پیشرفت بیماری در گروه‌های مختلف گندم ارقام حساس (رنگ آبی)، دارای سطح مطلوب (رنگ قرمز)، متوسط (سبز) و پایین (بنفش) مقاومت تدریجی نسبت به زنگ زرد در سه تاریخ مختلف یادداشت‌برداری بیماری
Fig 2: Disease progress curve in different groups of cultivars; Susceptible (blue color), high level (red), moderate level (green) and low level (purple) slow rusting (partial) resistant groups against yellow rust in different dates of disease recording.

آلودگی (CI) با شدت نهایی آلودگی (FRS)، مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC)، و نرخ آلودگی ظاهری (r) به ترتیب با مقادیر ضریب همبستگی ۹۹، ۹۸، ۸۹ درصد مشاهده شد (جدول ۲). بیشترین ضریب همبستگی بین FRS با CI به

همبستگی واکنش گیاهچه‌ای و پارامترهای مقاومت تدریجی

در این بررسی همبستگی بین واکنش گیاهچه‌ای و پارامترهای مقاومت تدریجی نیز مورد مطالعه قرار گرفت. رابطه مثبت و معنی‌داری بین مقادیر ضریب

بالاترین آن با نرخ ظاهری آلودگی ($r = -0.90$) و پایینترین آن با واکنش گیاهچه‌ای ($r = -0.52$) مشاهده گردید. ضریب همبستگی بالایی بین rAUDPC و کاهش عملکرد در مطالعات محققین دیگر نیز دیده شده است (Ochoa and Parlevliet, 2007; Safavi, 2015). در این مطالعه، ضریب همبستگی واکنش گیاهچه‌ای با پارامترهای مختلف مقاومت تدریجی پایین بود. این همبستگی پایین واکنش گیاهچه‌ای با واکنش گیاه بالغ می‌تواند به علت ماهیت متفاوت بیان ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای و گیاه بالغ باشد، از طرف دیگر تغییرات در فراوانی نژادی در زمان‌های یادداشت‌برداری واکنش گیاهچه‌ای و گیاه بالغ نیز در این امر می‌تواند دخیل باشد.

دست آمد ($r = 0.99$) و پایین‌ترین مقدار همبستگی بین واکنش گیاهچه‌ای و نرخ آلودگی ظاهری مشاهده شد ($r = 0.63$). همبستگی مثبت و بالای مشاهده شده در این پژوهش با نتایج محققین دیگر در پاتوسیستم‌های غلات مطابقت داشت (Shah *et al.*, 2014; Safavi and Afshari, 2017; Sandoval-Islas *et al.*, 2007).

به عنوان مثال، می‌توان به همبستگی مثبت و معنی‌دار بین rAUDPC با پارامترهای مقاومت کمی از جمله دوره نهان آلودگی و فراوانی تولید اسپور در واحد سطح برگ اشاره کرد (Sandoval-Islas *et al.*, 2007). در بررسی حاضر همبستگی بین وزن هزار دانه با پارامترهای مقاومت، مقادیر متفاوتی نشان داد که

جدول ۲- ضرایب همبستگی خطی بین واکنش گیاهچه‌ای و پارامترهای مقاومت تدریجی نسبت به زنگ زرد و وزن هزاردانه در ارقام گندم دیم

Table 4. Linear correlation coefficients between slow rusting parameters and seedling infection type to yellow rust and thousands kernel weight (TKW) in dry land wheat cultivars

Parameters ¹	r	FRS	CI	Seedling IT	rAUDPC
FRS	**0.89	-			
CI	**0.89	**0.99	-		
Seedling IT	**0.63	**0.71	**0.71	-	
rAUDPC	**0.88	**0.98	**0.98	**0.76	-
TKW	** -0.90	** -0.88	** -0.88	* -0.52	** -0.88

۱- پارامترها شامل: شدت نهانی زنگ (FRS)، ضریب آلودگی (CI)، تب آلودگی (IT) گیاهچه‌ای، مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC)، نرخ آلودگی ظاهری (r)، واکنش گیاهچه‌ای وزن هزار دانه (TKW).

1- FRS: final rust severity, CI: coefficients of infection, Seedling infection type, rAUDPC: relative area under disease progress curve, r: apparent infection rate, and thousands kernel weight (TKW).

*, **, Significant at the $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

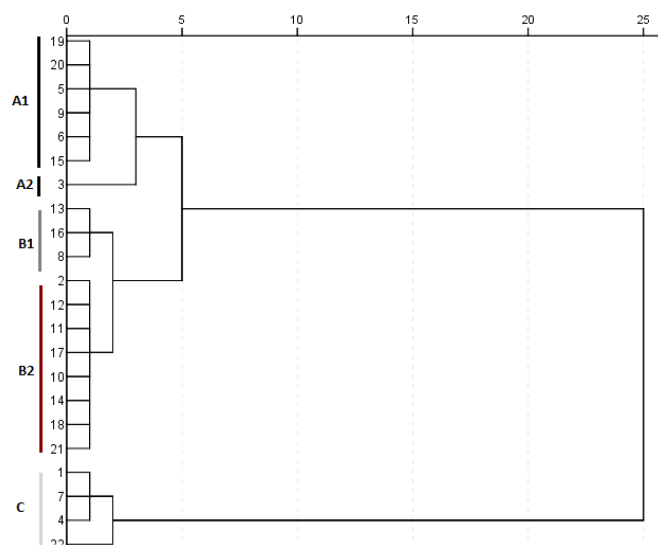
قرار گرفتند. در گروه فرعی A2 هم فقط رقم آذر ۲ قرار داشت. در گروه اصلی B نیز دو زیر گروه قرار گرفتند، در زیر گروه اول سه رقم قرار گرفتند که دارای مقادیر پایین پارامترهای مقاومت تدریجی بودند و در گروه مقاوم قرار گرفتند (گروه B1). در زیر گروه دوم نیز هشت رقم با مقادیر پایین تا متوسط داده‌های واکنش گیاه بالغ، دارای سطح مطلوب تا متوسط مقاومت تدریجی بودند (گروه B2). تنوع بین ارقام بر اساس داده‌های واکنش گیاهچه‌ای و گیاه بالغ بالا بود و تجزیه خوشه‌ای بر اساس داده‌های بیماری این تنوع را تایید کرد که اشاره به تنوع ژنتیکی بالا در بین ارقام مورد مطالعه دارد. علی و همکاران (Ali *et al.*, 2009)،

تنوع ژنتیکی بر اساس تجزیه خوشه‌ای

تجزیه خوشه‌ای ارقام که براساس داده‌های واکنش مرحله گیاه بالغ و گیاهچه‌ای انجام گرفت، سه گروه اصلی را برای ارقام مورد بررسی مشخص ساخت (شکل ۳). رقم موروکو و ارقام سرداری، اوحدی و هما با بیشترین فاصله ژنتیکی از بقیه ارقام جدا شدند و در گروه جداگانه‌ای قرار گرفتند (گروه C)، بقیه ارقام در دو گروه اصلی A و B و چهار گروه فرعی A1، A2 و B1، B2 قرار گرفتند. در گروه فرعی A1، ارقام شماره های ۵، ۶، ۱۵، ۱۹ و ۲۰ که دارای مقادیر متوسط واکنش گیاه بالغ و حساسیت مرحله گیاهچه‌ای بودند و بنابراین متوسط تا پایین مقاومت تدریجی را داشتند،

زرد جلوگیری خواهد کرد. با این اقدام و به منظور افزایش پایداری مقاومت ارقام در آینده، می‌بایست از کشت ارقامی که تنوع ژنتیکی مقاومت در میان آن‌ها پایین است خودداری نمود و تا آنجایی که امکان دارد تنوع ژنتیکی ارقام را در برنامه‌های اصلاحی به منظور پهنه‌بندی صحیح کشت ارقام در منطقه افزایش داد.

دولتخواه و همکاران (Dolatkhah et al., 2016) هم بر اساس داده‌های مختلف بیماری، تنوع بالایی را بین ارقام یا لاین‌های مورد مطالعه گندم نسبت به زنگ زرد گزارش کردند. تنوع ژنتیکی مشاهده شده در این مطالعه، می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی نسبت به زنگ زرد گندم به کار گرفته شود. این کار از کشت ارقام دارای تنوع ژنتیکی پایین در مقاومت نسبت به زنگ



شکل ۳- گروه‌بندی ارقام جدید و تجاری گندم دیم بر اساس مقادیر پارامترهای مقاومت تدریجی (Slow rusting) و واکنش گیاهچه‌ای نسبت به زنگ زرد با روش تجزیه خوشه‌ای

Fig. 3- Denderogram of cluster analysis for some of dry-land wheat cultivars based on slow rusting parameters and seedling infection type to yellow rust

پایدار) می‌باشند. بایستی توجه داشت ارقامی که دارای مقاومت تدریجی با واکنش نیمه حساسیت هستند، ممکن است مقاومت‌شان جهت حفاظت گیاه نسبت به بیماری پایین باشد که در این صورت می‌بایست برنامه مبارزه تلفیقی با بیماری را برای چنین ارقامی به کار برد. در صورت جمع شدن ۴-۵ ژن مقاومت غیر اختصاصی-نژاد، مقاومت این ارقام نزدیک به مقاومت کامل یا مصون خواهد بود.

این ارقام می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی مورد استفاده قرار گیرند. در معرفی ارقام علاوه بر تاکید بر مقاومت پایدار نسبت به زنگ زرد، بهتر است مقاومت پایدار نسبت به بیماری‌های مهم دیگر گندم نیز مد نظر قرار گیرد تا ارقام از تولید با ثبات و پایدار برخوردار شوند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ارقام مورد مطالعه واکنش‌های متنوعی نسبت به زنگ زرد نشان دادند که از کاملاً مقاوم تا حساس متغیر بود. بیشتر ارقام ارزیابی شده تحت شرایط آلودگی بالا واکنش متوسطی (نیمه‌مقاومت تا نیمه‌حساسیت) نسبت به بیماری نشان دادند. در بین ارقام بررسی شده تیپ-های مقاومت از نوع مقاومت کامل (اختصاصی-نژاد) و مقاومت تدریجی (غیر اختصاصی-نژاد) مشاهده گردید. نه رقم (شماره‌های ۶، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۹، ۲۰ و ۲۱) در مرحله گیاهچه‌ای حساس ولی در مرحله گیاه بالغ واکنش متوسط (MR, M, MS) نشان دادند، که به احتمال زیاد دارای درجات متفاوتی از مقاومت تدریجی (مقاومت غیر اختصاصی-نژاد یا

سپاسگزاری

محترم موسسه و مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل که در اجرای این تحقیق ما را یاری کردند، تشکر و قدر دانی خود را اعلام می‌کنیم.

این پژوهش با حمایت مالی موسسه تحقیقات دیم کشور تحت پروژه به شماره ۹۵۰۴۱۷-۱۶-۰۱۵-۳۷- اجرا گردیده است. بدینوسیله از کلیه همکاران

REFERENCES

1. Afzal, S. N., Haque, M. I., Ahmedani, M. S., Bashir, S. & Rattu, A.R. (2007). Assessment of yield losses caused by *Puccinia striiformis* triggering stripe rust in the most common wheat varieties. *Pakistan Journal of Botany*, 39: 2127-2134.
2. Ali, S., Shah, S. J. A. & Ibrahim, M. (2007). Assessment of wheat breeding lines for slow yellow rusting (*Puccinia striiformis* West. *tritici*). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10: 3440-3444.
3. Ali, S., Shah, S. J. A., Khalil, I. H., Rahman, H., Maqbool, K. & Ullah, W. (2009). Partial resistance to yellow rust in introduced winter wheat germplasm at the north of Pakistan. *Australian Journal of Crop Science*, 3: 37-43.
4. Ali, S., Shah, S. J. A., & Maqbool, K. (2008). Field-based assessment of partial resistance to yellow rust in wheat germplasm. *Journal of Agriculture and Rural Development*, 6: 99-106.
5. Alo, F., Al-Saaid, W., Baum, M., Alatwani H., & Amri, A. (2018). Slow rusting of bread wheat landraces to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* under artificial field inoculation. *Arab Journal of Plant Protection*, 36(2): 164-175.
6. Badebo, A., Stubbs, R. W., Van Ginkel, M., & Gebeyehu, G. (1990). Identification of resistance genes to - *Puccinia striiformis* in seedlings of Ethiopian and CIMMYT bread wheat varieties and lines. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 96: 199-210.
7. Broers, L. H. M., Cuesta-Subias, X. & Lopez-Atilano, R. M. (1996). Field assessment of quantitative resistance to yellow rust in ten spring bread wheat cultivars. *Euphytica*, 90:9-16.
8. Bux, H., Ashraf, M., Hussain, F., Rattu, A.U.R., & Fayyaz. M. (2012). Characterization of wheat germplasm for stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) resistance. *Australian Journal of Crop Science*, 6:116-120.
9. Chen, X. M. (2005). Epidemiology and control of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) on wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 27: 314-337.
10. Chen, X. M. (2013). High-temperature adult-plant resistance, key for sustainable control of stripe rust. *American Journal of Plant Sciences*, 4: 608-627.
11. Dolatkah, T., Torabi, M., & Safavi, S. A. (2016). Evaluation of partial resistance components in some promising wheat lines of cold climate zone to yellow rust disease in field condition in Ardebil, Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, 32: 347-367.
12. Feng, J., Wang, M., See, D. R., Chao, S., Zheng, Y., & Chen, X. M. (2018). Characterization of Novel Gene Yr79 and Four Additional Quantitative Trait Loci for All-Stage and High-Temperature Adult-Plant Resistance to Stripe Rust in Spring Wheat PI 182103. *Phytopathology*, 108: 737-747.
13. Hei, N., Shimelis, H. A., Laing, M., & Admassu, B. (2015). Assessment of Ethiopian wheat lines for slow rusting resistance to stem rust of wheat caused by *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. *Journal of Phytopathology*, 163: 353-363.
14. Hovmøller, M. S., Walter, S., Bayles, R. A., Hubbard, A., Flath, K., Sommerfeldt, N., Leconte, M., Czembor, P., Rodriguez-Algaba J, Thach, T., Hansen, J. G, Lassen, P., Justsen, A. F., Ali, S., & de Vallavieille-Pope, C. (2016). Replacement of the European wheat yellow rust population by new races from the centre of diversity in the near-Himalayan region. *Plant Pathology*, 65: 402-411.
15. Johnson, R. 1988. *Durable resistance to yellow (stripe) rust in wheat and its implications in plant breeding*. Pp. 63-75. In: Simmonds, N. W. and Rajaram, S. (eds.) *Breeding strategies for resistance to the rusts of wheat*. CIMMYT, Mexico, D. F.
16. Kilpatrick, R. A. (1975). New cultivars and longevity of rust resistance, 1971-1975. US Agric. Res. Serv. North-East Reg. ARS-NE, NE-64.
17. Line, R., & Qayoum, A. (1992). *Virulence, aggressiveness, evolution, and distribution of races of Puccinia striiformis (the cause of stripe rust of wheat) in North America, 1968-87*. USDA-ARS Tech. Bull. 1788. 44 pp.
18. McIntosh, R. A., Wellings, C. R., & Park, R. F. (1995). *Wheat Rusts: An Atlas of Resistance Genes*. Csiro, Australia, 200 pp.

19. Mcneal, F.H. & Sharp, E. (1963). Effect of striping wheat varieties at Bozeman motana in 1962. *Plant Disease Reporter*, 47: 763-765.
20. Milus, E.A. & Line, R.F. (1986). Gene action for inheritance of durable, high- temperature, adult plant resistances to stripe rust in wheat. *Phytopathology*, 76: 435-441.
21. Mitiku, M., Hei, NB., & Abera, M. (2018). Characterization of slow rusting resistance against stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) in selected bread wheat cultivars of Ethiopia. *Advances in Crop Science and Technology*, 6: 389.
22. Morgounov, A., Yessimbekova, M., Rsaliev, S., Baboev, S., Mumindjanov, H. & Djunusova, M. (2004). High-yielding winter wheat varieties resistant to yellow and leaf rust in Central and Asia. *Proceeding of the 11th International Cereal Rusts and Powdery Mildew Conference*. 22-27 August 2004, John Innes Centre, Norwich, UK. European and Mediterranean Cereal Rust Foundation, Wageningen, Netherlands. Cereal Rusts and Powdery Mildew Bulletin, Abstr. A2.52.
23. Mundy, E. J. (1973). The effect of yellow rust and its control on the yield of Joss Cambier winter wheat. *Plant Pathology*, 22: 171-176.
24. Ochoa, J. & Parlevliet, J. E. (2007). Effect of partial resistance to barley leaf rust, *Puccinia hordei*, on the yield three barley cultivars. *Euphytica*, 153: 309-312.
25. Orth, R. A. & Shellenberger, J. A. (1988). Origin, production, and utilization of wheat. In Y. Pomeranz, Y.(ed.) *Wheat Chemistry and Technology*, Vol. 3. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, USA.
26. Pandey, H. N., Menon, T. C. M., & Rao, M. V. (1989). A single formula for calculating area under disease progress curve. *Rachis*, 2: 38-39.
27. Parlevliet, J. E. (1979). Components of resistance that reduce the rate of epidemic development. *Annual Review of Phytopathology*, 17: 203-222.
28. Pathan, A. K. & Park, R. F. (2006). Evaluation of seedling and adult plant resistance to leaf rust in European wheat cultivars. *Euphytica*, 149: 327-342.
29. Peterson, R. F., Campbell, A. B. & Hannah, A. E. (1948). A diagrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stems of cereals. *Can. J. Res. Sect. C* 26: 496-500.
30. Roelfs, A. P., Singh, R. P., & Saari, E. E. (1992). *Rust diseases of wheat: Concepts and Methods of Diseases Management*. Mexico, D.F.CIMMYT. 81.pp.
31. Safavi, S. A. (2019). Effectiveness of resistance genes to stripe rust and virulence of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* during two years monitoring in Ardabil. *Applied Researches in Plant Protection*: 8(3). 95-107.
32. Safavi, S. A., & Afshari, F. (2017). A seven-year assessment of resistance durability to yellow rust in some wheat cultivars in Ardabil province, Iran. *Journal of Crop Protection*, 6: 409-421.
33. Safavi, S. A., & Afshari, F. (2012). Quantitative resistance of some Elite wheat lines to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 45:740-749.
34. Safavi, S. A. (2015). Effects of yellow rust on yield of race-specific and slow rusting resistant wheat genotypes. *Journal of Crop Protection*, 4: 395-408.
35. Safavi, S. A., Afshari, F., & Yazdanehpas, A. (2013). Effective and ineffective resistance genes to wheat yellow rust during six years monitoring in Ardabil. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 46: 774-780.
36. Saidi, A., Nazari, K., & Torabi, M. (1998). Seedling resistance to yellow rust in current Iranian bread wheat In: A. E. Slinkard (ed.). *Proceedings of the 9th International Wheat Genetics Symposium*, Saskatoon, Saskatchewan, Canada, pp. 308-310.
37. Saleem, K., Arshad, H. M. I., Shokat S., & Atta B. M. (2015). Appraisal of wheat germplasm for adult plant resistance against stripe rust. *Journal of Plant Protection Research*, 55: 405-414.
38. Sandoval-Islas, J. S., Broers, L.H.M., Mora-Aguilera, G., Parlevliet, J. E., Osada, K. S., & Vivar, H. E. (2007). Quantitative resistance and its components in 16 barley cultivars to yellow rust, *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*. *Euphytica*, 153: 295-308.
39. Shah, S. J. A., Hussain, S., Ahmad, M., Farhatullah, M., & Ibrahim, M. (2014). Characterization of slow rusting resistance against *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in candidate and released bread wheat cultivars of Pakistan. *Journal of Plant Pathology and Microbiology*, 5: 223. doi:10.4172/2157-7471.100022.
40. Sharma-Poudyal, D., Chen, X. M., Wan, A. M., Zhan, G. M., Kang, Z. S., Cao, S. Q., Jin, S. L., Morgounov, A., Akin, B., Mert, Z., Shah, S. J. A., Bux, H., Ashraf, M., Sharma, R. C., Madariaga, R., Puri, K. D., Wellings, C., Xi K. Q., Wanyera, R., Manninger, K., Ganzález, M. I., Koyda, M., Sanin, S., & Patzek, L. J. (2013). Virulence characterization of international collections of the wheat stripe rust pathogen, *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Plant Disease*, 97: 379-386.
41. Sharp, E. L., & Fuchs, E. (1982). Additive genes in wheat for resistance to stripe (yellow) rust (*Puccinia striiformis* Westend.). *Crop Protection*, 2: 181-189.

42. Singh, K. V., Singh, G. P., Singh, P. K. & Aggarwal, H. R. (2017). Assessment of slow rusting resistance components to stripe rust pathogen in some exotic wheat germplasm. *Indian Phytopathology*, 70: 52-57.
43. Singh, R. P., Huerta-Espino, J., Bhavani, S., Herrera-Foessel S. A., Singh, D., Singh, P. K., Velu, G., Mason, R. E., Jin, Y., Njau, P., & Crossa, J. (2011). Race non-specific resistance to rust diseases in CIMMYT spring wheats. *Euphytica*, 179: 175-186.
44. Singh, R. P., Huerta-Espino, J. & William, H. M. (2005). Genetics and breeding for durable resistance to leaf and stripe rusts in wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29: 121-127.
45. Stubbs, R. W., Prescott, J. M., Saari, E. E., & Dubin, H. J. (1986). *Cereal Disease Methodology Manual*. CIMMYT: Mexico, D. F. 46pp.
46. Tabassum, S. 2011. Evaluation of advance wheat lines for slow yellow rusting (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*). *Journal of Agricultural Science*, 3: 239-249.
47. Torabi, M., Madoukhi, V., Nazari, K., Afshari, F., Forootan, A.R., Ramai, M. A., Golzar, H. & Kashani, A. S. (1995). Effectiveness of wheat yellow rust resistance genes in different parts of Iran. *Cereal Rusts and Powdery Mildews Bulletin*, 23: 9-12.
48. Van der Plank, J. E. (1968). *Disease Resistance in Plants*. New York, Academic Press. 206 pp.
49. Wang, M., Wan, A., Li, Mingju., Maccaferri, M., Lopez, P. F., Barnes, C. W, Campana, D., & Chen, X. M. (2018). Virulence characterization of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* collections from China, Italy, Mexico, and Ecuador. *Proceeding of the International Congress of Plant Pathology (ICPP)*, July 29 - August 3, 2018, Boston, USA.
50. Yahyaoui, A. H., Hakim, M. S., El-Naimi, M., & Rbeiz, N. (2002). Evolution of physiologic races and virulences of *Puccinia striiformis* on wheat in Syria and Lebanon. *Plant Disease*, 86: 499-504.
51. Zeng, Q. D., Han, D. J., Wang, Q. L., Yuan, F. P., Wu, J. H., Zhang, L., Wang, X. J., Huang, L. L., Chen, X. M., & Kang, Z. S. (2014). Stripe rust resistance and genes in Chinese wheat cultivars and breeding lines. *Euphytica*, 196: 271-284.