ارزیابی اجزاء مقاومت تدریجی در تعدادی از لاین‌های امیدبخش گندم اقلیم معتدل نسبت به بیماری زنگ زرد در شرایط مزرعه‌ای در اردبیل

Evaluation of slow rusting resistance components in some promising wheat lines of moderate climate zones to yellow rust in field conditions in Ardebil

طاهره دولت‌خواه اجیرلو[۱]، محمد ترابی[۲] و صفرعلی صفوی[۳]

دریافت: ۱۳۹۳/۲/۲۶ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۲۰

چکیده

در این پژوهش بیست لاین امیدبخش گندم مربوط به اقلیم معتدل همراه با دو رقم شاهد حساس بولانی و موروکو در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به منظور تعیین مقاومت تدریجی آن‌ها نسبت به زنگ زرد در شرایط مزرعه در اردبیل ارزیابی شدند. اجزا مختلف مقاومت تدریجی شامل ضریب آلودگی (CI)، شدت نهائی بیماری (FRS)، مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC) و نرخ آلودگی ظاهری (r) در مراحل گیاه کامل و گیاهچه‌ای اندازه‌گیری شدند. اندازه جوش و تراکم جوش در واحد سطح برگ در دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل نیز اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد لاین‌های M-91-17 و M-91-4 در مرحله گیاهچه‌ای نیمه‌حساس و یا حساس اما در مرحله گیاه کامل مقاوم و یا مصون بودند بیانگر وجود مقاومت گیاه کامل در آن‌ها است، لاین‌های M-91-18، M-91-20، M-91-5، M-91-6 و M-91-7 در مرحله گیاهچه‌ای نیمه‌مقاوم اما در مرحله گیاه کامل سطح مطلوبی از مقاومت تدریجی را نشان دادند. لاین‌های M-91-13، M-91-14، M-91-12 و M-91-8 در مرحله گیاهچه‌ای حساس و در مرحله گیاه کامل سطح مطلوبی از مقاومت تدریجی را نشان دادند. بنابراین به نظر می‌رسد این لاین‌ها دارای ژن‌های مقاومت گیاه کامل هستند. ارقام شاهد حساس بولانی و موروکو بالاترین مقادیر r، CI، FRS، rADPC، تراکم جوش و اندازه جوش را در واحد سطح را داشتند. به جز M-91-2، M-91-9، M-91-16، M-91-15، M-91-3، M-91-11 و M-91-10، بقیه لاین‌ها مقاومت تدریجی بالا تا متوسطی را براساس مقادیر FRS، CI، rAUDPC، تراکم جوش و اندازه جوش نشان دادند. ضریب همبستگی بین شدت نهایی آلودگی (FRS) با مقادیر ضریب آلودگی (CI)، rAUDPC و نرخ آلودگی ظاهری به ترتیب ۹۸، ۹۷ و ۹۷ بود.

واژگان کلیدی: زنگ زرد گندم، مقاومت تدریجی، مقاومت گیاهچه‌ای، مقاومت گیاه کامل.

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استاد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین پیشوا، دانشکده کشاورزی، گروه بیماری‌شناسی گیاهی، ورامین

۳- استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، اردبیل

نویسنده مسئول مکاتبات: m_torabi28@yahoo.com

مقدمه

در طول تاریخ، گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان مهم‌ترین منبع اصلی تامین کننده مواد غذای برای بشر شناخته شده است و در مناطق مختلف آب وهوایی 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). گندم مهم‌ترین محصول غذایی درجهان است که تقاضا برای آن درسال ۲۰۲۰ میلادی به مقدار ۴۰ درصد بیش از سطح فعلی پیش‌بینی شده است. این درحالی است که منابع دردسترس برای تولید گندم با محدودیت مواجه است. با توجه به این چشم‌انداز، درحال حاضر در کشورهای درحال توسعه تلاش زیادی برای افزایش تولید گندم به عمل می‌آید که از نظر اهمیت همانند کوشش‌های سه دهه پیش و دوران آغاز انقلاب سبز است (Anonymous, 2005). زنگ زرد با نام علمی *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* 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 سازگاری یافته است (Millus and Line, 1986). زنگ زرد یکی از بیماری‌های مهم این محصول در سراسر دنیا می‌باشد (Roelfs *et al*., 1992). کاهش محصول گندم در اثر این بیماری در سال زراعی ۷۲-۱۳۷۱، حدود ۳۰٪ محصول کل کشور گزارش شده است (Torabi *et al*., 1995). در ایران ۸۰ درصد از کل زمین‌های زیر کشت گندم یعنی ۴/۴ میلیون هکتار استعداد همه‌گیری زنگ زرد دارند (Singh *et al*., 2004) . در آمریکا در منطقه مونتانا در اثر همه‌گیری زنگ زرد روی ارقام نیمه‌حساس تا حساس کاهش محصول برابر ۸۰-۲۳٪ گزارش شده است (McNeal and Sharp, 1963). ماندی (Mundy, 1973) شکسته شدن مقاومت گیاه کامل (Adult Plant Resistance) در رقم Joss Cambier در اثر زنگ زرد روی ارقام نیمه‌حساس تا حساس را در انگلستان عامل کاهش محصول ۳۴٪ گزارش کرد. در کشور ایران زنگ‌زرد خسارت بیش‌تری نسبت به سایر زنگ‌ها روی محصول گندم ایجاد می‌کند. ظهور نژادهای جدید عامل بیماری زنگ زرد در کشور ایران، با توجه به نزدیکی به منطقه و کانون ایجاد نژادهای جدید زنگ‌ها در شمال شرقی افریقا هر چند سال یک بار دور از انتظار نیست (Yahyaoui *et al*., 2004). مقاومت تک ژنی از نوع فوق حساسیت به آسانی توسط بیمارگر شکسته می‌شود. به همین دلیل به‌نژادگران مقاومت گیاهچه‌ای (ژن‌های اختصاصی) به دنبال استفاده از انواع دیگری از مقاومت هستند که به نظر پایدارتر می‌رسند از آن جمله می‌توان مقاومت تدریجی یا مقاومت نسبی را نام برد. این نوع مقاومت عمدتا با کاهش نرخ توسعه همه‌گیری همراه است که از کاهش نرخ رشد جوش‌های زنگ، اسپور تولیدی کم‌تر و طولانی بودن دوره نهفتگی ناشی می‌گردد و از نوع کمی بوده که توسط چندین ژن کنترل می‌شود (Johnson, 1988; Milus and Line, 1986; Sharp and Fuchs, 1982). در زمینه مقاومت تدریجی و مقاومت کمی در گندم تحقیقات وسیعی صورت گرفته است (Shaner and Finney, 1980; Ali *et al*., 2007). اگرچه تصور می‌شود مقاومت برخی ارقام غیراختصاصی است، اما تغییر در نژادهای بیمارگر موجب شکسته شدن مقاومت بسیاری از ارقام نسبت به زنگ زرد شده است که نشان‌دهنده ناپایداری مقاومت می‌باشد (Roelfs *et al*., 1992). ناپایداری مقاومت در ارقام، متخصصین به‌نژادی را در جهت جستجوی مقاومت تدریجی در برنامه به‌نژادی تشویق کرده است (Wiese, 1987). مقاومت تدریجی که به نظر می‌رسد مقاومت غیراختصاصی 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 et*., 2010; Ali *et al*., 2007; Safavi *et al*., 2010).

ترابی و نظری (Torabi and Nazari, 1998) در ارزیابی واکنش ۲۵ رقم و لاین پیشرفت گندم در مراحل گیاهچه‌ای و گیاه کامل نشان دادند که تعدادی از ژنوتیپ‌ها دارای مقاومت گیاهچه‌ای و تعدادی دارای مقاومت در گیاه کامل بودند. مرادی و همکاران (۱۳۷۸) نیز در بررسی مقاومت ژنتیکی لاین‌های دابل هاپلوئید به زنگ زرد، صفات تیپ آلودگی، دوره کمون، اندازه جوش و تعداد جوش را مورد ارزیابی قرار دادند و با استفاده از تجزیه خوشه‌ای دو گروه حساس و مقاوم را شناسایی نمودند. صفوی و همکاران (۱۳۸۶) بیست ژنوتیپ از لاین‌های گندم

امیدبخش اقلیم سرد به همراه شاهد حساس را در اردبیل ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که بین ارقام مورد بررسی از نظر مقاومت به بیماری زنگ‌زرد تفاوت معنی‌دار وجود داشت و بیش‌ترین سطح مقاومت در لاین‌های C-80-3، C-80-4، C-80-5، C-80-11، C-80-16 و C-80-20 مشاهده گردید، درحالی که لاین‌های C-80-2، C-80-13، C-80-18 و C-80-21 و رقم شاهد حساس‌ترین بودند و بقیه لاین‌ها حدواسط بین دو گروه قرار گرفتند. صفوی و محمدزاده (۱۳۹۲) به منظور ارزیابی مقاومت غیراختصاصی نژادی، واکنش گیاهچه‌ای و گیاه کامل ۲۲ لاین امیدبخش گندم را همراه با شاهد حساس ارزیابی کردند. واکنش گیاهچه‌ای در شرایط گلخانه‌ای با استفاده از نژاد+6E150A، *Yr27* و واکنش گیاه کامل با اندازه‌گیری شدت نهایی بیماری (FRS) و ضریب آلودگی (CI) در شرایط طبیعی با دو بار آلودگی مصنوعی با استفاده از نژاد +6E150A، *Yr27* ارزیابی شد. که لاین‌های S-90-16، S-90-14، S-90-1، S-90-17، S-90-20، S-90-21 و S-90-22 در مرحله گیاهچه‌ای حساس و در مرحله گیاه کامل مقادیر پایین FRS و CI را نشان دادند، بنابراین این لاین‌ها براساس نتایج این پژوهش و اطلاعات شجره‌ای آن‌ها، دارای درجات متفاوتی از مقاومت تدریجی (مقاومت غیراختصاصی – نژادی یا پایدار) بودند و به‌عنوان لاین‌های نیمه‌مقاوم یا مقاوم انتخاب شدند. با توجه به شکسته شدن مقاومت اکثر ارقام تجاری مقاوم به زنگ‌زرد در سال‌های جاری در ایران و با توجه به این که این ارقام دارای مقاومت اختصاصی بودند، هدف از انجام این تحقیق شناسائی منابع مقاومت تدریجی به این بیماری بود تا با توجه به پایدارتر بودن این نوع مقاومت بتوان از آن‌ها برای معرفی ارقام جدید با مقاومت پایدارتر استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، دو آزمایش جداگانه اجرا شد تا واکنش لاین‌ها در مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل ارزیابی شود.

ارزیابی در مرحله گیاهچه‌ای

این بررسی در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی 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) به منظور ارزیابی مقاومت ۲۰ لاین امیدبخش اقلیم معتدل به همراه دو رقم شاهد حساس (بولانی و موروکو) به اجرا در آمد.

هر لاین به میزان ده گرم بذر روی دو خط یک متری با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از هم‌دیگر روی یک پشته کاشته شد. و بعد از هر ده لاین و نیز در کل حاشیه آزمایش‌ها روی دو خط یک متری (یک پشته) رقم حساس بولانی کاشته شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شدو در طول فصل زراعی عملیات داشت شامل آبیاری (یک بار در فصل پاییز و شش بار در فصل بهار با فاصله هر ده روز یک‌بار)، وجین علف‌های هرز و کودپاشی انجام شد. تمام لاین‌های و شاهدها در اوایل بهار پس از برطرف شدن سرما کاشته شدند و موقعی که گیاهچه‌ها دو تا سه برگی شدند به وسیله اسپور زنگ زرد مایه‌زنی شدند. قبل‌از مایه‌زنی گیاهچه‌ها مزرعه ابتدا گیاهچه‌ها را با استفاده از محلول روغن توین ۲۰ (Tween-20) و آب به نسبت یک در هزار محلول‌پاشی شدند تا سطح برگ مرطوب و برای جوانه‌زنی اسپور زنگ‌زرد آماده شوند. اسپورپاشی با استفاده از مخلوط پودر تالک و اسپور جمیعت نژادهای زنگ زرد که دارای بیماری‌زایی روی گیاهان حامل ژن‌های *Yr2*، *Yr6*، *Yr7*، *Yr9*، *Yr22*، *Yr23*، *Yr24*، *Yr25*، *Yr267*، *YrA* و *YrSU* بود به نسبت ۱ به ۴ به صورت پودرپاشی و به‌طور یکنواخت انجام شد. در زمان ظهورحداکثر علایم روی رقم حساس (در حد تیپ آلودگی ۷ یا بالاتر) یادداشت برداری انجام گردید. واکنش گیاهچه‌ای براساس معیار ۹-۰به روش لاین و گیوم (Line and Qayoum, 1992) انجام شد. در این روش گیاهان دارای تیپ‌های آلودگی ۷ یا بیش‌تر به‌عنوان حساس، تیپ‌های آلودگی ۶-۴ نیمه‌حساس یا نیمه‌مقاوم و تیپ‌های آلودگی کم‌تر از ۴ به‌عنوان مقاوم درنظر گرفته شدند. قبل از خشک شدن برگ‌ها (برگ‌های دو و سوم) از هر لاین

۲۰-۱۰ برگ به‌طور تصادفی جمع‌آوری و تراکم جوش و اندازه جوش‌ها نیز زیر میکروسکوپ اندازه‌گیری شد. نتایج این یادداشت‌برداری‌ها شامل تیپ آلودگی، تراکم جوش در واحد سطح و اندازه جوش (میلی‌متر مربع) براساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی محاسبه و تجزیه واریانس انجام و میانگین‌ها با روش دانکن مقایسه شدند. درنهایت اجزای مقاومت تدریجی برای هر لاین مشخص و لاین‌هائی که دارای تراکم جوش کم‌تر، اندازه جوش کوچک‌تر و تیپ و شدت آلودگی کم‌تر بودند به عنوان لاین‌های دارای مقاومت نسبی شناسائی شدند (Parlevliet, 1985).

ارزیابی در مرحله گیاه کامل

عملیات مایه‌زنی مصنوعی با اسپورهای جمیعت نژادهای زنگ زرد که دارای بیماری‌زایی روی گیاهان حامل ژن‌های *Yr2*، *Yr6*، *Yr7*، *Yr9*، *Yr22*، *Yr23*، *Yr24*، *Yr25*، *Yr267*، *YrA* و *YrSU* بود در خزانه در فاصله بین زمان ساقه‌دهی و قبل از ظهور برگ پرچم (Gs 36) با مخلوط اسپور زنگ زرد و پودر تالک به کمک دستگاه گردپاش و در هنگام غروب به صورت اسپورپاشی انجام شد. زادمایه مورد نظر برای مایه‌زنی مصنوعی در شرایط مزرعه از جمیعت اسپور زنگ زرد که از مزارع گندم در منطقه اردبیل در بهار سال ۱۳۹۲ به مقدار زیاد جمع‌آوری و به صورت فریز در دمای -80^0C نگهداری شده بود استفاده شد. یک روز قبل از اسپورپاشی اسپورها به مقدار لازم از فریز بیرون آورده شد و در معرض شوک حرارتی به مدت ده دقیقه در دمای 40^0C قرار داده شدند سپس اسپورها در دسیکاتور در شرایط مرطوب (تقریبا۸۰٪ رطوبت) به مدت ۲ تا ۴ ساعت نگهداری شدند. اسپورها پس از این مرحله به حالت طبیعی درآمدند و برای مایه‌زنی آماده شدند.

یادداشت‌برداری از شدت بیماری زنگ زرد در سه نوبت از زمان ظهور بیماری تا سطح ۴۰ درصد روی رقم حساس براساس مقیاس اصلاح شده کاب پیشنهادی پیترسون 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 انجام شد. داده‌های مربوط به شدت بیماری و تیپ آلودگی میزبان با هم ترکیب شده و از ترکیب آن‌ها ضریب آلودگی (CI) محاسبه شد. ضریب آلودگی از ضرب شدت بیماری در عدد ثابت مربوط به عکس‌العمل میزبان (S=1، MS=0.75، M=0.5 ، MR=0.25 و R=0.1) به دست می‌آید (Pathan and Park, 2006).

محاسبه سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) با فرمول زیر:

$$AUDPC= \{[N_1 (X_1+X_2)/2] + [N_2 (X_2+X_3)/2]\}$$

انجام شد. که در این فرمول: AUDPC: سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری، N_1: فاصله اولین یادداشت‌برداری با دومین یادداشت‌برداری به روز، N_2: فاصلهٔ دومین یادداشت‌برداری با سومین یادداشت‌برداری، X3, X2 ,X1 به ترتیب ضریب آلودگی اولین، دومین و سومین یادداشت‌برداری هستند (Millus and Line, 1986).

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

$$rAUDPC= \frac{\text{AUDPC هرلاین}\times 100}{\text{AUDPC رقم حساس}}$$

نرخ آلودگی ظاهری نیز مطابق روش واندرپلانک (VanderPlank, 1963) براساس فرمول زیر برای هر رقم محاسبه شد:

$$1/t_2\text{-}t_1[(\ln(x_2/1\text{-}x_2)) - (\ln(x_1/1\text{-}x_1))] = r$$

که در آن t_1 و t_2 زمان‌های یادداشت‌برداری و x_1 و x_2 شدت نهائی آلودگی یادداشت شده در زمان‌های مذکور می‌باشد. داده‌های به دست آمده از ضریب آلودگی، شدت نهائی آلودگی، rAUDPC و نرخ آلودگی ظاهری (Apparent infection rate) بااستفاده از نرم افزار MSTAT-C تجزیه آماری گردیده و مقایسه میانگین آن‌ها با آزمون دانکن انجام شد. علاوه بر مقایسه میانگین داده‌ها گروه‌بندی لاین‌ها براساس روش علی و همکاران (Ali *et al.*, 2007) و پاتان و پارک (Pathan and Park, 2006) و براساس مقادیر ضریب آلودگی، شدت نهائی آلودگی و rAUDPC نیز انجام شد. تجزیه همبستگی بین صفات نیز بین داده‌های مختلف با استفاده از برنامه MS-Excel

انجام شد و به کمک نرم افزار SPSS (نسخه ۱۸)گروه‌بندی لاین‌ها با تجزیه خوشه‌ای براساس روش Ward و با در نظر گرفتن حداقل فاصله اقلیدسی بین نمونه‌ها انجام شد. علاوه بر پارامترهای فوق اجزای دیگر مقاومت یعنی تراکم جوش روی برگ، اندازه جوش و تیپ آلودگی هم یادداشت‌برداری شد. یادداشت‌برداری از تیپ آلودگی به روش مکنیل و همکاران (McNeal *et al*., 1971) ۱۹-۱۷ روز پس از مایه‌زنی انجام شد. به منظور اندازه‌گیری دو صفت تراکم جوش و اندازه جوش پس از یادداشت‌برداری تیپ آلودگی قسمتی از برگ که نشان دهنده تراکم کل سطح برگ بود با قیچی جدا و سپس به قطعات دو سانتی‌متری بریده شدند. قطعات برگی، در داخل شیشه‌های حاوی الکل اتیلیک واسید استیک به نسبت ۳:۱ و به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند تا ضمن رنگ‌زدایی جوش‌ها نیز تثبیت شوند. قطعات برگی پس از شستشو با آب مقطر به منظور نگهداری طولانی مدت در شیشه‌ای حاوی محلول لاکتوفنل قرار گرفتند. اندازه‌گیری این دو صفت با استفاده از میکروسکوپ چشمی و در درشت‌نمایی 10X انجام شد. برای اندازه‌گیری مساحت جوش‌ها، ابعاد پنج جوش (برای هر نمونه برگ در هر تکرار تعداد ۲۵ جوش به طور کل) با استفاده از نرم افزار Tsview اندازه‌گیری و مساحت آن‌ها را از فرمول زیر محاسبه و در نهایت میانگین‌گیری شد.

طول×عرض×¼π = اندازه جوش

که در آن ۳/۱۴۴ =**π** است.

برای شمارش تعداد جوش‌ها در سانتی‌متر مربع سطح برگ ،ابتدا تعداد جوش در بیست زمینه دید میکروسکوپ شمارش و سپس تعداد جوش در واحد سطح محاسبه شد. چون اعداد مربوط به تعداد جوش‌ها در واحد سطح برگ از توزیع پویسون پیروی می‌کرد، داده‌های آزمایش در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند (تراکم جوش و اندازه جوش در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل اندازه‌گیری شد).

نتایج و بحث

نام و مشخصات لاین‌های پیشرفته گندم که در این تحقیق ارزیابی شدند در جدول۱ آمده است.

جدول ۱- شجره لاین‌های امیدبخش گندم برای ارزیابی مقاومت تدریجی

Table 1. Pedigree of wheat lines for evaluation of slow rusting resistance

کد لاین Line code	شجره Pedigree
M-91-1	Parsi
M-91-2	Sirvan
M-91-3	KAUZ/PASTOR
M-91-4	KAUZ//ALTAR 84/AOS/3/PASTOR
M-91-5	Shuha-8/Byt
M-91-6	Tui//CMH 76-252/Pvn "s"/3/Flt
M-91-7	Tui//CMH 76-252/Pvn "s"/3/Flt
M-91-8	Bow"s"/Vee"s"//1-60-3/3/Suweon 220
M-91-9	PRL/2*PASTOR/4/CHOIX/STAR/3/HE1/3*CNO79//2*SERI
M-91-10	PRL/2*PASTOR/4/CHOIX/STAR/3/HE1/3*CNO79//2*SERI
M-91-11	PRL/2*PASTOR/4/CHOIX/STAR/3/HE1/3*CNO79//2*SERI
M-91-12	WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1
M-91-13	SERI.1B*2/3/KAUZ*2/BOW//KAUZ/4/VARIS
M-91-14	SERI.1B*2/3/KAUZ*2/BOW//KAUZ/4/PBW343*2/KHVAKI
M-91-15	PRL/2*PASTOR/4/CHOIX/STAR/3/HE1/3*CNO79//2*SERI
M-91-16	ATTILA*2/PBW65//BERKUT
M-91-17	SOKOLL//W15.92/WBLL1
M-91-18	PASTOR//SITE/MO/3/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//BCN/4/WBLL1
M-91-19	ATTILA*2/PBW65//BERKUT
M-91-20	KS82W418/SPN/3/CHEN/AE.SQ//2*OPATA/4/FRET2

نتایج حاصل از تجزیه واریانس برای صفات تیپ آلودگی و تراکم جوش در مرحله گیاهچه‌ای تفاوت معنی‌داری در بین لاین‌ها در سطح احتمال ۵٪ و برای صفت اندازه جوش تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ نشان داد (جدول ۲). مقایسه میانگین تیپ آلودگی در مرحله گیاهچه‌ای نشان داد که از ۲۰ لاین بررسی شده، لاین‌های M-91-1 و M-91-7 با تیپ آلودگی ۴-۰ مقاوم یا مصون بودند، لاین‌های M-91-5، M-91-6، M-91-17، M-91-18 و M-91-20 با تیپ آلودگی ۶-۴ نیمه‌مقاوم تا نیمه‌حساس و بقیه لاین‌ها با تیپ آلودگی ۹-۷ حساس بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین تراکم‌جوش در واحد سطح و اندازه جوش نشان داد که لاین‌های M-91-1 و M-91-7 بدون هیچ آلودگی مقاوم و یا مصون بودند، لاین‌های M-91-5، M-91-6، M-91-17، M-91-8 و M-91-20 باداشتن اندازه و تراکم متوسطی از جوش مقاومت تدریجی داشتند و بقیه لاین‌ها با داشتن بزرگ‌ترین اندازه جوش و بیش‌ترین تراکم جوش در واحد سطح برگ حساس بودند (جدول ۲).

گروه‌بندی لاین‌ها براساس کلیه صفات (تیپ آلودگی، تراکم جوش و اندازه جوش) مورد ارزیابی در مرحله گیاهچه‌ای با روش تجزیه خوشه‌ای انجام شد و لاین‌ها در سه گروه اصلی قرار گرفتند. گروه اول شامل لاین‌های M-91-1 وM-91-7 با توجه به تمام صفات ارزیابی شده مقاوم یا مصون و گروه دوم شامل لاین‌های M-91-5، M-91-6، M-91-17، M-91-18 و M-91-20 نیمه‌مقاوم تا نیمه‌حساس بودند. گروه سوم به سه زیرگروه تقسیم شدند و شامل لاین‌های M-91-12، M-91-14، M-91-4، M-91-15، M-91-13، M-91-2، M-91-9، M-91-8، M-91-16، M-91-3، M-91-11، M-91-19، M-91-10، بولانی و موروکو بودند و واکنش حساسیت نشان دادند (شکل ۱).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات تراکم جوش، اندازه جوش و تیپ آلودگی لاین‌های گندم در مرحله گیاهچه‌ای

Table 2. Variance analysis of infection type, pustule size and pustule density of wheat lines at seedling stage

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی	MS میانگین مربعات		
			تراکم جوش	اندازه جوش	تیپ آلودگی
		df.	Pustule density	Pustule size	Infection type
Treatments	تیمارها	21	9.48*	14.12**	10.25
Replication	تکرار	2	2.58	3.08	1.74
Error	خط	44	13.87	8.87	9.10
CV %	درصد ضریب تغییرات	-	13.00	9.00	10.00

**و *: به ترتیب اثر معنی‌دار در سطح احتمال۱ درصد و ۵ درصد.

** and * : Significant difference at 1% and 5% probability levels, respectively.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس برای صفات rAUDPC، ضریب آلودگی، نرخ آلودگی ظاهری، شدت نهایی آلودگی و اندازه جوش در مرحله گیاه کامل در بین لاین‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ و برای صفت تراکم جوش در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری در بین لاین‌ها نشان داد (جدول‌های ۴ و ۵).

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) براساس روش علی و همکاران (۲۰۰۷) و پاتان و پارک (۲۰۰۶) ارقام یا لاین‌هایی با ضرایب آلودگی ۲۰-۰، ۴۰-۲۱، ۶۰-۴۱ به ترتیب دارای سطح بالا، متوسط و پایین مقاومت تدریجی در نظر گرفته می‌شوند. در همه لاین‌های مورد ارزیابی ضریب آلودگی کم‌تر از

۲۰٪ بود در نتیجه این لاین‌ها دارای مقاومت تدریجی بالا بودند. و بیش‌ترین مقدار ضریب آلودگی ثبت شده در بین لاین‌ها برای شاهدهای حساس بولانی و موروکو با ضریب آلودگی ۱۰۰٪ بود (جدول ۶).

براساس مقایسه میانگین داده‌های rAUDPC، لاین‌ها از نظر این صفت اختلاف معنی‌داری داشتند براساس روش علی و همکاران (۲۰۰۷) لاین‌هائی که مقدار rAUDPC آن‌ها کم‌تر از ۳۰درصد باشد دارای سطح بالای مقاومت تدریجی و لاین‌هائی که مقدار rAUDPC آن‌ها بیش از ۳۰درصد باشد سطح پایینی از مقاومت تدریجی را دارند. در لاین‌های دسته اول ابتدا بیماری زنگ شروع به اسپورزائی می‌کند اما در پایان نوارهای نکروتیک و کلروتیک (تیپ‌های آلودگی MS یا MR یا هر دو) در برگ دیده می‌شوند. بنابراین، پیشرفت بیماری کند شده و محدود می‌گردد. لاین‌های M-91-10، M-91-11 و M-91-12 مقادیر rAUDPC بیش‌تراز ۳۰درصد داشتند و به عنوان لاین‌های دارای سطح متوسط یا پایین‌تر مقامت تدریجی بودند. مقدار نسبی rAUDPC ارقام شاهد بولانی و موروکو به ترتیب ۱۰۰ و ۹۳/۸۷ درصد بود که به عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. در بقیه لاین‌ها مقادیر rAUDPC کم‌تراز ۳۰درصد بود و به‌عنوان لاین‌های دارای سطح مطلوب مقاومت تدریجی بودند (جدول ۶).

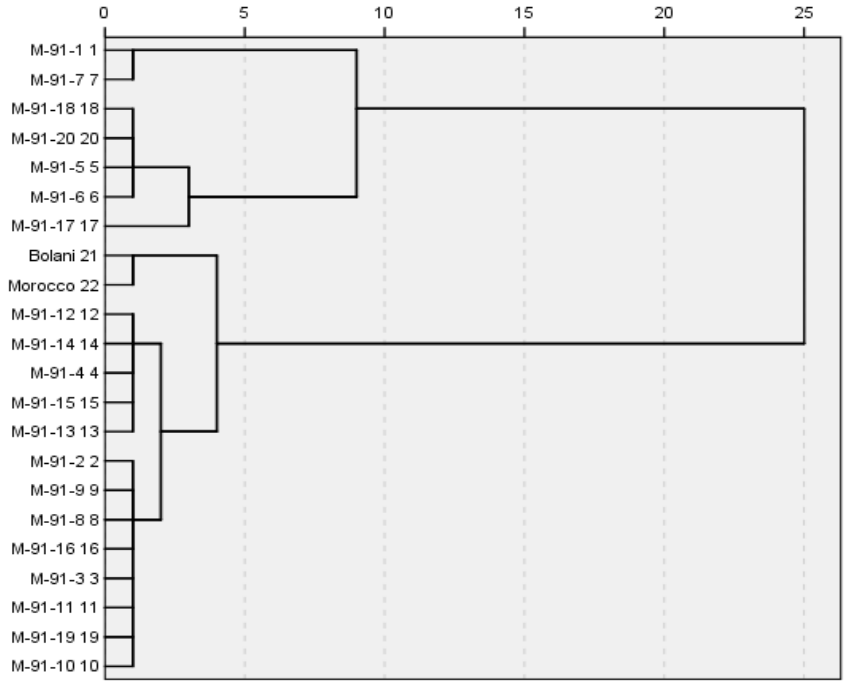
جدول ۳- مقایسه میانگین صفت‌های تیپ آلودگی ، تراکم جوش و اندازه جوش در لاین‌های گندم

Table 3. Mean comparison of infection type, pustule size and pustule density of wheat lines at seedling stage

لاین Line	تراکم جوش Pustule density	اندازه جوش Pustule size	تیپ الودگی Infection type
M-91-1	000.00 m	0.000 d	1.00 f
M-91-2	460 .00bc	0.048 b	7.00 ab
M-91-3	389.86 ef	0.045 bc	7.00 ab
M-91-4	378.33 f	0.060 ab	6.66 bc
M-91-5	177.22 i	0.045 bc	4.33 de
M-91-6	118.45 k	0.033 c	3.00 e
M-91-7	0.00 m	0.000 d	1.00 f
M-91-8	404.55 de	0.048 b	5.33 cd
M-91-9	457.93 bc	0.048 b	7.66 a
M-91-10	437.66 c	0.058 ab	8.33 a
M-91-11	421.71 cd	0.068 a	7.66 a
M-91-12	325.30 g	0.058 ab	8.33 a
M-91-13	353.00 fg	0.062 a	7.66 a
M-91-14	325.22 g	0.068 a	5.66 cd
M-91-15	373.00 f	0.063 a	7 .00ab
M-91-16	403.32 de	0.065 a	7.33 ab
M-91-17	240.10 h	0.043 bc	4.33 de
M-91-18	156.26 i	0.038 c	5.66 cd
M-91-19	424.40 cd	0.059 ab	7.33 ab
M-91-20	155.18 i	0.018 c	3.00 e
Bolani	499.30 ab	0.078 a	7.00ba
Morocco	517.79 a	0.069 a	7.66 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری با آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ در صد اختلاف معنی‌دارای ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different at 5% probability level by Duncan's multiple range test.



شکل ۱- گروه‌بندی لاین‌های گندم بر اساس تجزیه کلاستر برای تمام صفات واکنش گیاهچه‌ای به روش Ward

Fig 1. Classification of wheat lines based on all seedling characteristics using Ward's cluster analysis method

جدول ۴- تجزیه واریانس ضریب آلودگی، rAUDPC و نرخ آلودگی ظاهری لاین‌های گندم در مرحله گیاه کامل

Table 4. Variance analysis for apparent infection rate , rAUDPC and coefficient of infection of wheat lines at adult plant stage

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df.	میانگین مربعات MS		
			ضریب آلودگی	سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری	نرخ آلودگی ظاهری
			Coefficient of infection	rAUDPC	Apparent infection rate
Treatments	تیمارها	21	12.12*	10.45*	10.42*
Replication	تکرار	2	1.21	7.52	4.02
Error	خط	44	8.21	12.54	3.28
CV (%)	درصدضریب تغییرات	-	10.00	11.00	10.00

*: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

*: Significant difference at 5 % probability level.

براساس روش پیشنهادی توسط علی و همکاران (Ali *et al*., 2009) لاین‌هائی که شدت نهائی آلودگی آن‌ها ۳۰-۱٪، ۵۰-۳۱٪ و ۷۰-۵۱٪ باشد به ترتیب دارای مقاومت تدریجی بالا، متوسط و پایین هستند. در این تحقیق

همه لاین‌های مورد ارزیابی شدت نهایی آلودگی کم‌تر از ۲۰٪ بود در نتیجه این لاین‌ها دارای مقاومت تدریجی بالا بودند. بروئرز و همکاران (Broers *et al*., 1996) و علی و همکاران (۲۰۰۹) نیز برای گروه‌بندی ارقام و لاین‌ها از ارزیابی مزرعه‌ای مقاومت کمی استفاده نمودند. این محققین دریافتند که مقاومت ارقام یا لاین‌ها براساس شدت نهائی آلودگی و صفات دیگر از سطح خیلی پایین تا سطح خیلی بالا متغیر بودند. تای و همکاران (Taye *et al*., 2014) مقاومت تدریجی در یازده رقم گندم نان را همراه با شاهد حساس بررسی کردند و نتایج حاصل از مقایسه میانگین شدت نهایی آلودگی، AUDPC و rAUDPC نشان داد که، ارقام PBW343، Kabas، Hawi و Galema همراه با شاهد حساس بیش‌ترین مقدار شدت نهایی آلودگی، AUDPC و rAUDPC را داشتند، ارقام Shormia، Dandaa، Kakaba، ET13A2 و Digalu با شدت نهایی آلودگی متوسط واکنش نیمه‌مقاوم تا نیمه‌حساس و رقم ETBW5496 هیچ گونه آلودگی نداشت و به‌عنوان رقم مقاوم یا مصون انتخاب شد که با نتایج یافته‌های این پژوهش مطابقت داشت. بعد از ارقام شاهد حساس (بولانی و موروکو) بالاترین نرخ آلودگی ($r = 0.07$) برای لاین M-91-5 ثبت گردید. ریس و همکاران (Rees *et al*., 1979 a,b) روش‌های متفاوت را مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که r پارامتر چندان مناسبی در تشریح مقاومت تدریجی نیست. آن‌ها علت این امر را این گونه ذکر کردند که r نه تنها به مقاومت نسبی بلکه به مرحله توسعه اپیدمی نیز وابسته است. شانر و فینی (Shaner and Finney, 1980) نیز مشاهده کردند که AUDPC معیار بهتری نسبت به r برای ارزیابی مقاومت نسبی است. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اندازه جوش و تراکم جوش در واحد سطح برگ نشان داد لاین‌های M-91-1، M-91-4 و M-91-17 بدون هیچ آلودگی مقاوم و یا مصون بودند و بقیه لاین‌ها با داشتن آلودگی و تراکم جوش‌ها در واحد سطح و در اندازه‌های مختلف، مقاومت تدریجی متوسط تا پایینی را نشان دادند (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس تراکم جوش، اندازه جوش و شدت نهایی آلودگی در مرحله گیاه کامل

Table 5. Variance analysis of final infection severity, pustule density and pustule size at adult plant stage

			MS		مجموع مربعات
		درجه آزادی	تراکم جوش	اندازه جوش	شدت نهایی آلودگی
S.O.V	منابع تغییرات	df.	Pustule density	Pustule size	Final infection severity
Treatments	تیمارها	21	18.87*	35.12*	10.87*
Replication	تکرار	2	6.18	1.87	2.10
Error	خط	44	7.98	7.98*	8.65
CV ٪	درصد ضریب تغییرات	-	13.00	9.00	12.00

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

** and * Significant difference at 1% and 5% probability levels, respectively.

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات تراکم جوش، اندازه جوش، شدت آلودگی، ضریب آلودگی، rAUDPC و نرخ آلودگی ظاهری (r) لاین‌های امیدبخش گندم در مرحله گیاه کامل

Table 6. Mean comparison of pustule density, pustule size, final infection severity, coefficient of infection, rAUDPC and apparent infection rate in wheat lines at adult plant stage

لاین Line	تراکم جوش Pustule density/cm^2	اندازه جوش Pustule size (mm^2)	شدت نهائی آلودگی Final infection severity	ضریب الودگی Coefficient of infection	مقدارنسبی سطح زیرمنحنی پیشرفت بیماری rAUDPC	نرخ آلودگی ظاهری Apparent infection rate
M-91-1	000.00 n	0.000 k	1.00 e	0.10 fe	10.39 gi	0.040 c
M-91-2	306.00 efg	0.030 de	16.60 b	5.85 bc	24.54 cd	0.060 b
M-91-3	377.27 cd	0.042 bc	21.60 b	14.58 b	20.09 cde	0.036 c
M-91-4	000.00 n	0.000 k	1.00 e	0.1 0fe	1.89 k	0.000 d
M-91-5	323.30 e	0.013 gi	21.60 b	14.58 b	29.63 bc	0.070 b
M-91-6	287.40g	0.030 de	11.60 bc	2.91 d	17.48 ef	0.058 b
M-91-7	151.02 m	0.008 i	7.00 cd	1.70 de	10.79 gi	0.040 c
M-91-8	227.30 i	0.030 de	12.00 bc	7.11 bc	18.82 def	0.036 c
M-91-9	302.80 fg	0.044 bc	20.00 b	6.60 bc	19.62 de	0.063 b
M-91-10	353.00 d	0.062 a	13.33 bc	3.33 cd	32.08 b	0.061 b
M-91-11	391.40 bc	0.050 ab	21.60 b	11.16 b	38.33 b	0.058 b
M-91-12	253.30 h	0.033 d	26.60 b	11.25 b	32.00 b	0.053 bc
M-91-13	182.45 k	0.025 ef	7.00 cd	1.70 de	10.39 gi	0.040 c
M-91-14	211.12 i	0.027 ef	16.60 b	7.50 bc	24.25 cd	0.056 bc
M-91-15	316.70 ef	0.035 d	16.60 b	4.16 cd	19.62 de	0.061 b
M-91-16	307.30 efg	0.033 d	20.00 b	5.00 bc	29.32 bc	0.055 bc
M-91-17	000.00 n	0.000 k	1.00 e	0.90 e	6.34 i	0.020 cd
M-91-18	220.37 i	0.020 fg	4.00 de	2.50 de	14.84 fg	0.060 b
M-91-19	289.00 g	0.036 cd	20.00 b	5.00bc	29.32 bc	0.057 bc
M-91-20	183.39 k	0.030 de	18.38 b	4.58 cd	26.06 c	0.053 bc
Bolani	418.40 ab	0.066 a	100.00 a	100.00 a	100.00 a	0.430 a
Morocco	442.30 a	0.063 a	100.00 a	100.00 a	93.78 a	0.430 a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری با آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ در صد اختلاف معنی‌داری ندارند.

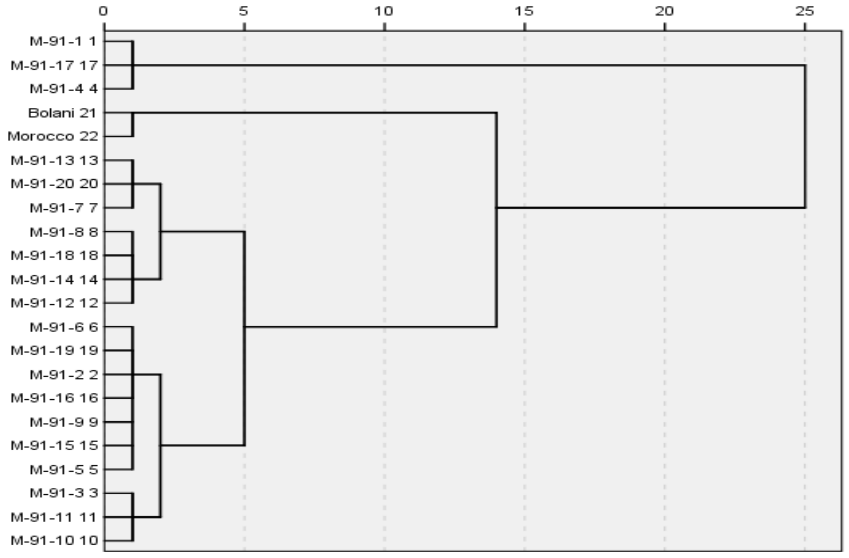
Means followed by the same letters in each column are not significantly different at 5% probability level by Duncan's multiple range test.

گروه‌بندی لاین‌های گندم براساس تجزیه خوشه‌ای برای تمام صفات (ضریب آلودگی، شدت نهایی بیماری، rAUDPC، نرخ آلودگی ظاهری، اندازه جوش و تراکم جوش) اندازه‌گیری شده در مرحله گیاه کامل لاین‌ها را در چهار گروه اصلی قرار داد. گروه اول شامل لاین‌های M-91-1، M-91-17 و M-91-4 بود که با توجه به تمام صفات ارزیابی شده مقاوم و یا مصون بودند، گروه دوم شامل شاهدهای حساس بولانی و موروکو بود. گروه سوم شامل لاین‌های M-91-13، M-91-20، M-91-7، M-91-8، M-91-18، M-91-14 و M-91-12 نیمه‌مقاوم (یا سطح متوسطی از مقاومت تدریجی) و گروه چهارم و شامل لاین‌های M-91-6، M-91-19، M-91-2، M-91-16، M-91-9، M-91-15، M-91-5، M-91-3، M-91-11 و M-91-10 نیمه‌حساس تا حساس (و یا دارای مقاومت تدریجی پایین) بودند (شکل ۲).

از آن جا که گروه‌بندی لاین‌ها براساس تک‌تک میانگین داده‌های مقاومت تدریجی نتایج متفاوتی بین لاین‌های مورد ارزیابی نشان داد. لذا گروه‌بندی لاین‌ها براساس کلیه صفات مورد بررسی هم در مرحله گیاهچه‌ای و هم گیاه کامل با روش تجزیه خوشه‌ای انجام شد. در این گروه‌بندی نه گروه مشخص شد گروه اول شامل لاین‌های M-91-2، M-91-9، M-91-16، M-91-19، M-91-15، M-91-3، M-91-11 و M-91-10 بود که در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل حساس بودند. گروه دوم شامل لاین‌های M-91-13، M-91-14، M-91-12 و M-91-8 در مرحله گیاهچه‌ای حساس و در مرحله گیاه کامل نیمه‌مقاوم و یا نیمه‌حساس بودند. گروه سوم شامل ارقام بولانی موروکو بود. گروه چهارم شامل لاین M-91-4 بود که در مرحله گیاهچه‌ای حساس اما در مرحله گیاه کامل مقاوم بود.

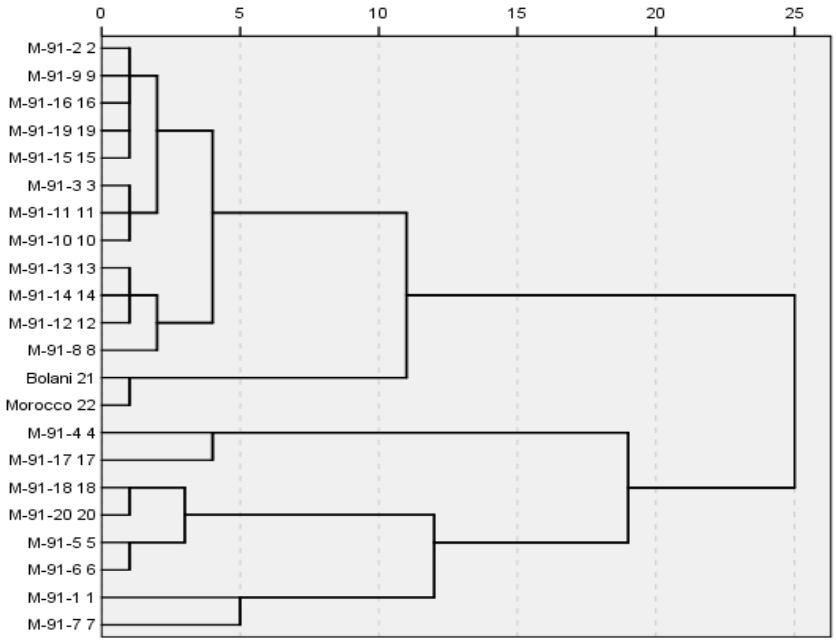
گروه پنجم شامل لاین M-91-17 در مرحله گیاهچه‌ای نیمه‌مقاوم اما در مرحله گیاه کامل مقاوم و یا مصون بود. گروه ششم شامل لاین‌های M-91-18 و M-91-20 بود که در مرحله گیاهچه‌ای نیمه‌مقاوم در مرحله گیاه کامل نیمه‌مقاوم بودند. گروه هفتم شامل دو زیرگروه بود زیرگروه اول شامل لاین‌های M-91-4 و M-91-20 در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل نیمه‌مقاوم بودند و زیرگروه دوم شامل لاین‌های M-91-5 و M-91-6 بود که در هر دو مرحله گیاهچه‌ای نیمه‌مقاوم و گیاه کامل حساس بودند. گروه هشتم شامل لاین M-91-1 در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل در این بررسی آلودگی جزئی و یا اصلا آلودگی نداشت. مقاومت این لاین به علت ژن‌های مقاومت اختصاص نژادی و یا به دلیل اثر افزایشی چند ژن مقاومت بزرگ اثر می‌تواند باشد که به صورت اختصاص نژادی عمل می‌کنند (Johnson, 1988). با توجه به تجربه سال‌ها قبل، لاین‌هایی که دارای ژن‌های مقاومت اختصاصی نژادی باشند احتمال شکست آن‌ها در اثر تغییر بیماری‌زایی عامل بیماری بالا خواهد بود (Nazari *et al*., 2000). بنابراین در انتخاب چنین لاین‌هائی باید دقت نمود تا در صورت وجود ژن‌های مقاومت دیگر (به ویژه مقاومت پایدار) آن‌ها را به عنوان منبع مقاوم معرفی کرد. برای اثبات وجود ژن‌های دیگر به آزمایش‌های دقیق تجزیه ژنتیکی یا استفاده از مارکرهای مولکولی نیاز خواهد بود. گروه نهم شامل لاین M-91-7 در مرحله گیاهچه‌ای مقاوم اما در مرحله گیاه کامل نیمه‌مقاوم بود (شکل ۳).

براساس جدول ۱ لاین‌های M-91-3، M-91-4، M-91-13 و M-91-14 که در شجره آن‌ها رقم Kauz وجود دارد به احتمال زیاد دارای ژن *Yr9* هستند (McIntosh *et al*., 1995). این لاین‌ها با وجود غیرموثر بودن ژن *Yr9* نسبت به نژاد یا نژادهای اردبیل (Safavi *et al*., 2013) در مرحله گیاه کامل واکنش نیمه‌مقاوم تا نیمه‌حساس نشان دادند. این حالت بیانگر وجود ژن‌های مقاومت دیگر در این لاین‌ها است. در شجره لاین‌های M-91-9، M-91-10، M-91-11 وM-91-18 از رقم Pastor استفاده شده است این رقم به علت داشتن ترکیب ژن‌های *Lr10*، *Lr23*، *Lr3* همراه با یک ژن مقاومت نسبی دارای مقاومت مطلوب برای زنگ قهوه‌ای و به‌علت دارا بودن ژن اختصاص نژادی *Yr29* و *Yr30* دارای مقاومت نسبی در برابر زنگ‌زرد است (Singh *et al*., 2003). ژن *Yr30* با ژن *Sr2* که تنها ژن مقاومت پایدار نسبت به زنگ سیاه است پیوستگی دارد (Chen, 2005; Singh *et al*., 2011) بنابراین لاین‌های مذکور می‌توانند در صورت دارا بودن صفات مطلوب زراعی به‌عنوان منبع مقاومت انتخاب شده و یا مستقیما برای معرفی کاندیدا شوند. در شجره لاین‌های M-91-16 و M-91-19 رقم Attila به کار رفته است که دارای دو ژن مقاومت نسبت به زنگ قهوه‌ای و سه ژن مقاومت نسبت به زنگ‌زرد است (Singh *et al*., 2005).



شکل ۲- گروه‌بندی لاین‌های گندم بر اساس تجزیه کلاستر برای تمام صفات واکنش گیاه کامل به روش Ward

Fig. 2. Classification of wheat lines based all adult plant characteristics using Ward's cluster analysis method



شکل ۳- گروه‌بندی لاین‌های گندم بر اساس تجزیه کلاستر برای تمام صفات واکنش گیاهچه‌ای و گیاه کامل به روش Ward

Fig. 3. Classification of wheat lines based all seedling and adult plant characteristics using Ward's cluster analysis method

رابطه مثبت بین شدت نهایی آلودگی (FRS) با مقادیر ضریب آلودگی (CI)، rAUDPC و نرخ آلودگی ظاهری به ترتیب برابر ۹۸، ۹۷و ۹۷ درصد محاسبه شد.

بیش‌ترین ضریب همبستگی بین شدت نهایی آلودگی (FRS) با ضریب آلودگی (CI) به‌دست آمد (r = 0.98). پایین‌ترین مقدار ضریب همبستگی بین شدت نهایی آلودگی و با نرخ آلودگی ظاهری به دست آمد (r = 0.97). همبستگی مثبت و بالای مشاهده شده در این پژوهش با نتایج محققین دیگر در پاتوسیستم‌های غلات مطابقت داشت (Shah *et al*., 2010; Safavi *et al* 2012; Sandoval-Islas *et al*., 2007;). بالاترین ضریب همبستگی بین rAUDPC با مقادیر اندازه جوش و تراکم جوش در مرحله گیاه کامل به ترتیب برابر ۷۵ و ۶۸ درصد به دست آمد و پایین‌ترین ضریب همبستگی بین ضریب آلودگی با اندازه جوش و تراکم جوش در مرحله گیاه کامل به ترتیب برابر ۶۱ و ۵۴ درصد به دست آمد. ضریب همبستگی بین rAUDPC با اندازه جوش و تراکم جوش (در مرحله گیاهچه‌ای) به ترتیب برابر۵۰ و ۵۰ درصد مشاهده شد. rAUDPC با صفات اندازه‌گیری شده در مرحله گیاهچه‌ای همبستگی پایینی داشت. زیرا ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای در تمام مراحل رشد گیاه بیان می‌شود، اما ژن‌های مقاومت گیاه کامل در مرحله گیاه کامل بیان می‌شود، ممکن است لاینی در مرحله گیاهچه‌ای حساس باشد اما در مرحله گیاه کامل دارای سطح بالایی از مقاومت تدریجی باشند. در نتیجه همبستگی بین rAUDPC با پارامترهای مرحله گیاهچه‌ای پایین بود (جدول ۷). در این مطالعه صفات مختلف مقاومت تدریجی شامل ضریب آلودگی (CI)، شدت نهائی بیماری (FRS)، مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC) و نرخ آلودگی ظاهری (r) در شرایط مزرعه ارزیابی شدند. همراه با این صفات اندازه جوش و تراکم جوش در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل در واحد سطح برگ نیز ارزیابی شدند. سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) معیار کمی از کل مقاومت بوده و تمام مولفه‌های مقاومت نظیر فراوانی آلودگی، دوره نهان آلودگی، اندازه جوش و اسپورزائی را در یک سطح مشخص می‌سازد (Milus and Line, 1986). از آن‌جا که بیان ژن‌های مقاومت غیراختصاص نژادی (مانند مقاومت تدریجی) در مرحله گیاه کامل انجام می‌شود (Singh *et al*., 2011)، لذا برای مطالعه اجزاء مقاومت تدریجی گیاه کامل در نظر گرفته شد.

محققین مختلفی نیز با استفاده از این اجزاء مقاومت مقادیر کمی مقاومت ارقام و لاین‌ها را در سطح مزرعه مشخص کرده‌اند (Sandoval-Islas *et al*., 2007; Ali *et al.*, 2009; Shah *et al*., 2010; Safavi and Afshari, 2012). این امر به طور گسترده پذیرفته شده است مقاومت‌هایی که دارای تغییرات کمی بوده و منتهی به مقاومت تدریجی (Slow rusting) می‌شوند، از نوع غیراختصاصی نژادی هستند.

جدول ۷- ضریب همبستگی خطی بین اجزاء مختلف مقاومت تدریجی در مرحله گیاه کامل و گیاهچه‌ای

Table 7. Linear correlation coefficients between slow rusting components of wheat lines seedling ana adult plant stage

اجزاء مقاومت Resistance components	نرخ آلودگی ظاهری Apparet infectum rate	شدت نهایی آلودگی Final in fection severity	ضریب آلودگی Coefficient Of infection	تراکم جوش در مرحله گیاه کامل Pustule density in adult plant	اندازه‌جوش در مرحله گیاه کامل Pustule size in adult plant	تیپ آلودگی در مرحله گیاهچه‌ای Infection type in seedling	تراکم جوش در مرحله گیاهچه‌ای Pustule density in seedling	اندازه جوش در مرحله گیاهچه‌ای Pustule size in seedling
شدت نهایی آلودگی Final infection severity	0.97**							
ضریب آلودگی Coefficient of infection	0.99**	0.98**						
تراکم جوش در مرحله گیاه کامل Pustule density in adult plant	0.54**	0.64**	0.54*					
اندازه جوش در مرحله گیاه کامل Pustule size in adult plant	0.63**	0.70**	0.61**	0.88**				
تیپ آلودگی در مرحله گیاهچه‌ای Infection type in seedling	0.40	0.33	0.25	0.56**	0.63**			
تراکم جوش در مرحله گیاهچه‌ای Pusutle density in seedling	0.40	0.50*	0.48	0.58**	0.70*	0.9**		
اندازه جوش در مرحله گیاهچه‌ای Pustule size in in seedling	0.23	0.48*	0.43*	0.52*	0.58**	0.87**	0.86**	
rAUDPC	0.95**	0.97**	0.95**	0.68**	0.75**	0.35	0.50*	0. 5*

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

* and** : Significant at 1% and 5% probability levels, respectively.

علی و همکاران (۲۰۰۷) مقاومت تدریجی را از طریق ارزیابی AUDPC، نرخ آلودگی و شدت نهایی آلودگی مورد مطالعه قرار دادند. مقاومت تدریجی سبب کاهش AUDPC، نرخ آلودگی و شدت نهایی آلودگی می‌شود (Broers *et al*., 1996; Ali *et al* ., 2007).

ضریب آلودگی رایج‌ترین معیاری است که توسط محققان گوناگون به منظور ارزیابی زنگ زرد استفاده می‌شود (Shah *et al*., 2003). سندوال-ایسلاس و همکاران (Sandoval-Islans *et al*., 1998) نیز ارتباط قوی بین سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری و اجزای مقاومت کمی گزارش کردند. انتخاب مزرعه‌ای ویژگی مقاومت تدریجی ترجیحا با مقادیر پایین rAUDPC و آخرین یادداشت‌برداری‌ها همراه با CI در بسیاری ازمکان‌های تحقیقاتی که فاقد امکانات گلخانه‌ای کافی هستند، امکان‌پذیراست (Singh *et al*., 2007).

منابع **References**

صفوی، ص.ع.، ترابی، م. و افشاری، ف. ۱۳۸۶. مقاومت ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم اقلیم سرد در برابر بیماری زنگ زرد. پژوهش و سازندگی۴ : ۱۰۳-۹۳.

صفوی،ص.ع. و محمدزاده ،ج.۱۳۹۲. مقاومت غیراختصاصی نژادی درتعدادی از لاین‌های امیدبخش گندم نسبت به بیماری زنگ زرد. مجله تحقیقات غلات ۳ :۲۰۹-۱۹۷.

مرادی، م.، بزرگی‌پور،ر.، ترابی، م. و هنرنژاد، ر. ۱۳۷۸. بررسی مقاومت ژنتیکی لاین‌های دابلد هاپلوئید گندم به بیماری زنگ زرد. نهال و بذر ۱۷: ۲۵۰-۲۴۱.

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

Ali, S., Shah, S. J. A. and Rahman, H. 2009. Multi-location variability in Pakistan for partial resistance in wheat to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. Phytopathologia Mediterranea 48: 269-278.

Anonymous, 2005. Statistic Report. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Tehran, Iran.

Broers, L. H. M., Subias, X. C. and Atilano, R. M. L. 1996. Field assessment of quantitative resistance to yellow rust in ten spring bread wheat cultivars. Euphytica 90: 9-16.

Chen, X. M. 2005. Epidemiology and control of stripe rust on wheat. Canadian Journal of Plant Pathology 27 : 314– 337.

Johnson, R. 1988. Durable resistance to yellow (stripe) rust in wheat and its implication 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. Mexico.

Line, R.F. and 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 Technical Bulletin, Washington DC, USA. 44pp.

McIntosh, R. A., Wellings, C. R. and Park, R. F. 1995. Wheat Rusts: An Atlas of Resistance Genes. CSIOR, Australia. 200pp.

McNeal, F.H., Konzak, C.F., Smith , E.P., Tate, W.S., and Russell, T.S. 1971. A uniform system for recordingand processing cereal research data. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Research Service,Washington DC, USA. pp. 34-121.

McNeal, F.H. and Sharp, E.1963. Effect of striping wheat varieties at Bozeman Motana in 1962.Plant Disease Reporter 47: 763-765.

Milus, E. A. and Line, R. F. 1986. Gene action for inheritance of durable, high– temperature, adult plant resistance to stripe rust in wheat. Phytopathology 76: 435-441.

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.

Nazari, K., Torabi, M., Dehghan, M. A., Aghnom, R., Ahmadian-Moghaddam, M. S. and Fallah,H. 2000. Pathogenicity of *Puccinia striiformis* and reaction of improved cultivars and advanced lines of wheat to yellow rust in Northern Provinces of Iran. Seed and Plant 16: 393-424 (in Persian).

Orth, R.A. and Shellenberger, J.A. 1988. Origin, production, and utilisation of wheat. In : Pomeranz, Y.(ed.) Wheat Chemistry and Technology, Vol. 3. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, USA.

Parlevliet, J.E . 1985. Resistance of the non-race-specific type. pp.501-525. In: Roelfs , A.P. and Bushnell ,W.R. (eds.) The Cereal Rusts, Vol. II. Academic Press, New York, USA.

Pathan, A. K. and Park, R. F. 2006. Evaluation of seedling and adult plant resistance to leaf rust in European wheat cultivars. Euphytica 149: 327-342.

Peterson, R.F., Campbell, A.B. and Hannah, A.E. 1948. A diagrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stems of cereals. Canadian Journal of Research 26: 496-500.

Rees, R. G., Thompson, J. P. and Macer, R. J. 1971a. Slow rusting and tolerance to rust in wheat. I. The progress and effects of epidemics of *Puccinia striiformis tritici* in selected wheat cultivars. Australian Journal of Agricultural Research 30: 403-409.

Rees, R. G., Thompson, J. P. and Goward, E. A. 1971b. Slow rusting and tolerance to rust in wheat. II. The progress and effects of epidemics of *Puccinia striiformis tritici* in selected wheat cultivars. Australian Journal of Agricultural Research 30: 421-432.

Roelf, A.P., Singh, R.P. and Saari, E.E. 1992. Rust Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management . CIMMYT, Mexico, D.F Mexico. 81pp.

Safavi, S. A. and 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.

Safavi, S. A., Afshari, F. and Yazdansepas, 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.

Safavi, S.A., Ahari, A.B., Afshari, F. and Arzanlou, M. 2010. Slow rusting resistance in 19 promising wheat lines to yellow rust in Ardebil, Iran. Pakistan Journal of Biological Science 13: 240-244.

Safavi, S.A., Atahussaini, S.M. and Ebrahimnejad, S. 2012. Effective and ineffective resistance genes and resistance reaction of promising barley lines to *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei* in Iran. Asian Journal of Plant Science 11 (1): 52-57.

Sandoval-Islas, J. S., Broers, L. H. M., Mora-Aguilera, G., Parlevliet, J. E., Osada, K. S. and Vivar, H. E. 2007. Quatitative resistance and its components in 16 barley cultivars to yellow rust, *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*.Euphytica 153: 295-308.

Sandoval- Islas, J.S., Broers, L.H.M., Vivar, H. and Osada, K.S. 1998. Evaluation of quantitative resistance to yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*) in the ICARDA/CIMMYT barley-breeding program. Plant Breeding 117: 127-130.

Shah, S.J.A., Imtiaz, M. and Hussain, S.2010. Phenotypic and molecular characterization of wheat for slow rusting resistance against *Puccinia striiformis* Westend. f.sp. *tritici*. Journal of Phytopathology 158: 393–402.

Shah, S. J. A., Khan, A. J., Azam, F., Mirza, J. I. and Rehman, A. U. 2003. Stability of rust resistance and yield potential of some ICARDA bread wheat lines in Pakistan. Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research 46: 443-446.

Shaner, G. and Finney, R.E. 1980. New sources of slow leaf rusting resistance in wheat. Phytopathology 70: 1183-1186.

Sharp, E.L. and Fuchs, E. 1982. Additive genes in wheat for resistance to stripe (yellow) rust *(Puccinia striiformis* Westend.). Crop Protection 2: 181–189.

Singh, D., Park, R. F. and McIntosh, R. A. 2007. Characterization of wheat leaf rust resistance. gene *Lr34* in Australian wheats using components of resiatance and the molecular marker csLV34. Australian Journal of Agricultural Research 58: 1106-1114.

Singh, R.P., Duveiller, E. and Hureta-Espino, I. 2004. Virulence to yellow rust. Second Reginal Yellow Rust Conference for Central and West Asia and North Africa, 22-26 March , Islamabad, Pakistan. pp: 16-17.

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. and Crossa, J. 2011. Race non-specific resistance to rust diseases in CIMMYT spring wheats. Euphytica 179: 175–186.

Singh, R. P., Huerta-Espino, J. and 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.

Singh, R. P., William, H. M., Huerta-Espino, J. and Crosby, M. 2003. Identification and mapping of gene *Yr31*for resistance to stripe rust in *Triticum aestivum* cv. Pastor. Proceedings of the 10th International Wheat Genetics Symposium, Instituto Sperimentale per la Cerealicoltura, Rome, Italy. pp: 411–413.

Taye, T., Fininsa, C. and Woldeab, G. 2014. Evaluation of wheat cultivars for slow rusting resistence in Gujizon, Southem Oromia. Journal of Affrican Agricultural Research 9: 3388-3392.

Torabi, M., Mordoukhi, V., Nazari, K., Afshari, F., Forootan, A.R., Ramani, M.A., Golzar, H. and 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.

Torabi, M. and Nazari K. 1998. Seedling and adult plant resistance to yellow rust in Iranian bread wheats. Euphytica 100: 51-54.

Vanderplank, J.E. 1963. Plant Diseases. Epidemics and Control. Academic Press, New York, USA.

Wiese, M.V. 1987. compendium of wheat Diseases. Amican Phytopathological Society Press, St. Paul, Minnesota, USA. 120pp.

Yahyaoui, A., Singh, R.P. and Wellings, C.R. 2004. Status, approaches, and management. Second Regional Yellow Rust Conference for Central and West Asia and North Africa, 22-26 March, Islamabad, Pakistan. Page 18.