نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، ص. ۸۲-۷۱

Journal of Plant Protection
Vol. 32, No. 1, Spring 2018, P. 71-82

واکنش سی رقم جو نسبت به پاتوتیپ‌های زنگ زرد جو و گندم در مراحل گیاهچه و بالغ

صفرعلی صفوی[1*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۰

چکیده

زنگ زرد یکی از بیماری‌های مهم جو در بیشتر نواحی کشت این محصول در جهان بوده و در برخی سال‌ها در نتیجه همه‌گیری بیماری خسارت‌های شدیدی را موجب می‌شود. در ایران نیز این بیماری به دلیل کشت ارقام حساس و یا ظهور پاتوتیپ‌های جدید، در برخی نواحی کشور در حال گسترش است. در این پژوهش واکنش‌های گیاهچه‌ای و بالغ ۲۹ رقم جو همراه با شاهد حساس ارزیابی شدند. واکنش گیاهچه‌ای در شرایط گلخانه‌ای با استفاده از پاتوتیپ‌های (PSH-51، PSH-74، PSH-85 وPSH-89) زنگ زرد جو و (6E150A+,Yr27) زنگ زرد گندم ارزیابی شد. واکنش بوته‌های بالغ نیز با دو بار آلودگی مصنوعی در شرایط مزرعه در طی سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ با مایه زنی زادمایه زنگ زرد جو و گندم در حومه اردبیل انجام شد. نتایج ارزیابی واکنش‌ها نشان داد که سه رقم Emir، Asterix و ماکوئی در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و بالغ نسبت به تمام پاتوتیپ‌ها مقاوم هستند. شش رقم در مرحله گیاهچه حداقل نسبت به پاتوتیپ PSH-85 مقاوم و در مرحله بلوغ حساسیت نشان دادند. سیزده رقم در مرحله گیاهچه حداقل نسبت به یک پاتوتیپ حساس و در مرحله بلوغ واکنش نیمه حساس تا نیمه مقاوم نشان دادند. ارقام مقاوم شناسایی شده می‌توانند به عنوان والد مقاوم در برنامه تولید ارقام مقاوم جو به این بیماری مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: جو، زنگ زرد، پاتوتیپ‌ها، مقاومت گیاهچه‌ای، مقاومت گیاه کامل

مقدمه

زنگ زرد غلات دانه ریز توسط عامل قارچی *Puccinia striiformis* Westend ایجاد می‌شود که در سراسر جهان یافت می‌شود (۲۲). قارچ *Puccinia striiformis* یک عامل بیماریزای بیوتروف (Biotroph)، انگل اجباری و دو میزبانه (Heteroecious) است (۲۳). تا همین اواخر تصور می‌شد این قارچ کوتاه چرخه (Microcyclic) باشد، اما وجود مرحله تولیدمثل جنسی آن روی گونه‌های *Berberis* و *Mahonia aquifolium* به اثبات رسیده است (۲۵، ۶۲ و ۶۴). زنگ زرد جو به وسیله *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei* (*Psh*) ایجاد می‌شود. فرم اختصاصی جدیدی بنام *Puccinia striiformis* f. sp. *pseudo-hordei* (*Psp-h*) که موجب بیماری زنگ زرد روی جوهای وحشی در استرالیا می‌شود، در سال ۲۰۰۰ تشریح شد (۶۳). این فرم اختصاصی اساساً روی گونه‌های جو وحشی دیده شده است و روی بیشتر ارقام گندم و جو غیر بیماریزا است (۱۷ و ۶۳).

زنگ زرد جو در اروپا و آسیا از سال‌ها پیش وجود داشته و همه‌گیری‌های شدیدی از این بیماری در کشورهای شمال‌غربی و مرکزی اروپا، هندوستان، بنگلادش، نپال، چین و ژاپن گزارش گردیده است (۱۱). در سال ۱۹۷۵ عامل بیماری از اروپا به آمریکا نیز منتقل و بیشتر کشورهای آمریکایی را فرا گرفت (۱۴). این بیماری از ایران ابتدا توسط اسفندیاری در سال ۱۳۲۶ گزارش شده است (۱۵). کاهش عملکرد ناشی از بیماری روی جو در کشورهای نواحی آند از ۳۰ تا ۷۰ درصد متغیر بوده است (۱۴). بیماری مذکور در ایران در برخی نقاط به ویژه استان‌های اردبیل، خراسان، فارس و خوزستان درحال افزایش است (۵۰). در یک بررسی انجام شده توسط صفوی و همکاران (۴۶) کاهش اجزاء عملکرد ناشی از بیماری زنگ زردجو در اردبیل روی ارقام حساس و دارای مقاومت تدریجی (Slow rusting resistance) به ترتیب ۵۰٪ و ۲۰ ٪ برآورد گردیده است.

کشت ارقام مقاوم مؤثرترین، اقتصادی‌ترین و از لحاظ محیطی سالم‌ترین روش مدیریت بیماری است (۳۱). دو نوع مقاومت کمی و کیفی در چندین پاتوسیستم زنگ- غلات گزارش گردیده است (۵۳). بکارگیری ژن‌های مقاومت کیفی (اختصاصی- نژاد) کنترل مؤثر و کاملی در برابر بیماری فراهم می‌کند (۵۵). اما این نوع مقاومت که به

۱- استادیار پژوهش بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل
(*- نویسنده مسئول: Email: Safaralisafavi@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jpp.v32i1.60206

تشخیص اختصاصی بین فراورده ژن مقاومت میزبان (*R*) و فرآورده ژن غیر بیماریزائی پاتوژن (*Avr*) بستگی دارد، از تئوری ژن برای ژن پیروی می‌کند (۱۶). این نوع مقاومت پایدار نبوده و به زودی شکسته می‌شود (۵). برخلاف مقاومت کیفی، مقاومت کمی (غیراختصاص- نژادی) اساس چندژنی داشته و اغلب بعنوان مقاومت تدریجی و یا مقاومت نسبی تعریف شده و مقاومت پایداری می‌باشد (۲۰ و ۳۸).

تقریباً ۲۶ ژن مقاومت *Rps* برای مقاومت به زنگ زرد جو شناسائی و بکار گرفته شده‌اند (۱۰). با وجود این، بیشتر این ژن‌ها اختصاصی- نژاد (Race-specific) بوده و با ظهور نژادهای جدید غیر مؤثر خواهند شد. میانگین طول عمر ژن‌های مقاومت اختصاصی- نژاد در سطح جهانی ۵ سال برآورد می‌شود (۲۷). دو نوع از مقاومت کمی، یعنی مقاومت تدریجی و مقاومت گیاه کامل در دمای بالا (High Temperature Adult Plant =HTAP) بطور وسیعی بررسی شده‌اند (۳۰). مقاومت ارقام در مرحله گیاه کامل با اندازه‌گیری شدت بیماری در مرحله مشخصی از رشد گیاه، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (Area under disease progress curve=AUDPC)، نرخ آلودگی ظاهری (Aparent infection rate) و متوسط ضریب آلودگی (Coefficient of infection=CI) برآورد می‌شوند (۶ و ۳۹). محققین مختلفی با استفاده از این پارامترها مقادیر کمی مقاومت ارقام و لاین‌ها را در سطح مزرعه مشخص کرده‌اند. در بررسی‌های این محققین همبستگی بالای پارامترهای شدت نهائی بیماری (Final rust severity=FRS)، ضریب آلودگی و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری با یکدیگر مشخص گردیده است (۳، ۱۹، ۴۴، ۴۴، ۵۳، ۵۵ و ۵۶).

تاکنون در زمینه ارزیابی مقاومت ارقام و لاین‌های جو نسبت به زنگ زرد تحقیقات متعددی در نقاط مختلف دنیا صورت گرفته است. در یک بررسی انجام شده در هندوستان از سال‌های ۱۹۸۱ تا ۱۹۸۳ تعداد ۷۰۰ لاین تحت شرایط آلودگی طبیعی ارزیابی شدند که از میان آنها ۱۵ لاین عاری از آلودگی، ۱۱ لاین با آلودگی جزیی و مقاوم و بقیه مواد آزمایشی درجات متفاوتی از حساسیت را نشان دادند (۳۲).

در بررسی دیگری ۵۰۰ لاین پیشرفته حاصل از برنامه‌های به نژادی سیمیت- ایکاردا (ICARDA/CIMMYT) در مکزیک در مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل ارزیابی شدند. اغلب لاین‌های پیشرفته (۸۵/۸٪) در مرحله گیاهچه‌ای واکنش حساسیت نشان دادند، درصورتی‌که آلودگی در مرحله گیاه کامل کمتر بود که نشان می‌دهد لاین‌های پیشرفته دارای مقاومت کمی بالایی بودند (۵۲). در ارزیابی ژرم پلاسم‌های جو در تگزاس، تعدادی از ارقام شامل Norbert ، Maury، Keowee، Kenate، Kamiak، Hudson، Hazen، Custer، Compana، Clayton، Boxer، Betzes، Barsoy و Vanguardمقاومت گیاهچه‌ای از خود نشان دادند (۴۱).

در تحقیق دیگری در هندوستان در طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۱۹۸۳ از ۲۶۹ رقم مختلف که در شرایط آلودگی طبیعی و مصنوعی در سه مکان ارزیابی شدند، ۲۶ رقم درجه بالایی از مقاومت یا تحمل به پاتوژن در شرایط مزرعه‌ای از خود نشان دادند. ارقام EB7948, Gaines, RDISN416, EP79A, Ab.14 با واکنش تیپ 10R، مصون از بیماری و دارای مقاومت چند ژنی بودند (۱۸).

از سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۷ بیش از ۴۴ هزار لاین در برابر زنگ زرد جو در آزمایشات انتخاب مزرعه‌ای در بولیویا، کلرادوی آمریکا، اکوادور،آلمان، مکزیک و پرو ارزیابی شدند. لاین‌های جو مقاوم در تمام این مکان‌ها در سال دوم نیزکاشته شدند که در نهایت ارقام مختلف از جمله Bancroft (P.I 65474) در سال ۲۰۰۰ معرفی شدند (۸).

در ایران نیز بررسی‌های مختلفی در زمینه ارزیابی مقاومت لاین‌ها و ارقام جو تحت شرایط مزرعه‌ای انجام گرفته است (۳۵ و ۴۵)، اما تا به حال در زمینه بررسی واکنش گیاهچه‌ای ارقام جو نسبت به پاتوتیپ‌های مختلف زنگ زرد جو و گندم پژوهشی انجام نشده است و بنابراین پژوهش حاضر برای اولین بار در ایران انجام می‌گیرد تا ضمن تعیین واکنش گیاهچه‌ای و گیاه کامل ۳۰ رقم جو نسبت به زنگ زرد جو و گندم، منابع مقاومت اختصاصی- نژاد و غیر اختصاصی- نژاد (Race- non specific resistance) نیز شناسائی شوند.

مواد و روش‌ها

ارزیابی واکنش گیاهچه‌ای: برای بررسی واکنش گیاهچه‌ای۳۰ ژنوتیپ جو استفاده شد (جدول ۱)، که از بین آنها ۲۵ رقم دریافتی از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و چهار رقم دریافتی از آمریکا (شامل دو رقم Asterix و Emir بعنوان ارقام دارای مقاومت اختصاصی- نژاد، یک رقم حساس به نام Topper و یک رقم دارای مقاومت HTAP به نام Bancroft، که دارای خصوصیات مطلوب زراعی بودند)، و یک رقم شاهد حساس به نام ترش بود. برای این منظور از هر رقم تعداد ۷-۵ بذر در هر گلدان که حاوی ترکیب خاک، پیت ماس و شن به نسبت‌های ۷ : ۵ : ۵ بود، کاشته شدند. ده روز بعد از کاشت گلدان‌ها، مایه‌زنی با چهار پاتوتیپ زنگ زرد جو (PSH-51، PSH-74، PSH-85 وPSH-89) تهیه شده از چهار استان مختلف کشور (جدول ۲)، که قبلا توسط صفوی و همکاران (۵۰) در تحقیق دیگری تعیین پاتوتیپ شده بودند، و یک پاتوتیپ زنگ زرد گندم (6E150A+,*Yr*27) از طریق اسپورپاشی گیاهچه‌ها با مخلوط اسپور با پودر تالک (به نسبت ۱ به ۴) انجام شد. به منظور جلوگیری از اختلاط آلودگی گیاهچه‌های مایه‌زنی شده با یک پاتوتیپ مشخص، گلدان‌های مایه‌زنی شده با هر پاتوتیپ در محفظه جداگانه‌ای نگهداری شدند. گلدان‌ها به مدت ۲۴ ساعت در

اتاق تاریک در ۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس به گلخانه با درجه حرارت ۱۸-۱۵ درجه سانتی‌گراد با ۱۶ ساعت روشنائی و ۸ ساعت تاریکی منتقل گردیدند. هجده تا بیست روز بعد از مایه‌زنی، واکنش گیاهچه‌ها بر اساس معیار ۹-۰ به روش لاین و کیوم (۲۹) یادداشت‌برداری شد (جدول ۳). در این روش تیپ‌های آلودگی ۷ یا بیشتر به عنوان حساس و تیپ‌های آلودگی ۶-۴ متوسط و تیپ‌های آلودگی کمتر از ۴ بعنوان مقاوم در نظر گرفته شدند. آزمایش بررسی واکنش گیاهچه‌ای برای هر یک از ارقام دو بار تکرار گردید. گروه‌بندی ارقام در واکنش به پاتوتیپ‌های مختلف به کمک نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۸)، با تجزیه خوشه‌ای بر اساس روش Ward و با در نظر گرفتن حداقل فاصله اقلیدسی بین نمونه‌ها انجام گرفت (۳).

ارزیابی واکنش گیاه کامل در شرایط مزرعه‌ای: ۳۰ ژنوتیپ جو مطالعه شده تحت شرایط گلخانه‌ای، برای ارزیابی پارامترهای کمی مقاومت شامل ضریب آلودگی (Coefficient of Infection=CI) و شدت نهائی بیماری (Final rust severity=FRS) در مرحله گیاه کامل تحت شرایط مزرعه‌ای مورد بررسی قرار گرفتند. این پژوهش طی سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل (واقع در فاصله ۱۵ کیلومتری جنوب غربی جاده اردبیل-خلخال با طول جغرافیائی ۴۸ درجه و ۲۶ دقیقه و عرض جغرافیائی ۳۸ درجه و ۲۲ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۳۹ متر) به اجرا در آمد. از بذر هر رقم به میزان ۱۰ گرم روی دو خط یک متری با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از همدیگر روی یک پشته کاشته شد بعد از هر ۱۰ رقم و نیز در کنار حاشیه آزمایش روی دو خط یک متری (یک پشته) رقم حساس افضل کشت گردید. آزمایش مزرعه‌ای در دو تکرار انجام شد. در طول فصل زراعی عملیات داشت شامل آبیاری غرقابی (یک بار در فصل پاییز و ۵ نوبت در فصل بهار با فاصلهٔ هر ۱۰ روز یکبار)، وجین علف‌های هرز و کودپاشی انجام گردید.

جدول ۱- ارقام جو مورد استفاده برای ارزیابی مقاومت، تیپ سنبله، تیپ رشد و منشاء آن‌ها

Table 1- Barley cultivars used for resistance evaluation, their spike types, growth habit and origin

ردیف No.	ارقام Cultivars	مشخصات ارقام جو مورد مطالعه Characteristics of barley cultivars: تیپ سنبله Spike type	تیپ رشد* Growth habit	منشاء Origion
1	Emir	2-rows	Spring	Netherlands
2	Asterix	6-rows	Winter	France
3	Makouee	6-rows	Winter	Itlay
4	Dasht	2-rows	Facultative	France
5	Arass	2-rows	Spring	Netherlands
6	Bancroft	2-rows	Spring	USA
7	Fasih	6-rows	-	-
8	Walfajre	6-rows	Facultative	Egypt
9	Sahand	2-rows	Facultative	ICARDA
10	Abidar	2-rows	Facultative	ICARDA
11	Rihane	6-rows	Winter	ICARDA
12	Karron	6-rows	Facultative	USA
13	Yousef	6-rows	Spring	ICARDA
14	Jonob	6-rows	Facultative	CIMMYT
15	Shirin	6-rows	-	-
16	Torkaman	6-rows	Spring	ICARDA
17	Zarjow	6-rows	Winter	Iran
18	Bahman	6-rows	Winter	ICARDA
19	Sina	6-rows	Facultative	-
20	Kavir	6-rows	Facultative	USA
21	Eram	6-rows	Winter	Iran
22	D10	6-rows	-	-
23	Shori-4	6-rows	-	-
24	Shori-5	6-rows	-	-
25	Fajre 30	6-rows	Facultative	-
26	Nosrate	6-rows	Facltative	Iran
27	Topper	6-rows	Spring	Netherlands
28	Afzal	6-rows	Facultative	Iran
29	Goharjow	6-rows	Facultative	Iran
30	Torsh	6-rows	-	-

*= Spring= بهاره , Winter= زمستانه ,Facultative= بینابین

جدول ۲- پاتوتیپ‌های زنگ زرد جو و گندم استفاده شده در ارزیابی مقاومت گیاهچه‌ای

Table 2- Pathotypes of barley and wheat yellow rust used in evaluation of seedling resistance

ردیف No.	جدایه Isolate	پاتوتیپ Pathotype	میزبان Host	فرمول بیماری‌زائی/ غیربیماری‌زائی* Aviulence/Virulence formula	منطقه Origion
1	92-4	PSH-51	Barley	2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12/1, 5, 7	پاسارگاد(Pasargad)، فارس (Fars)
2	92-8	PSH-84	Barley	2, 3, 4, 8, 9, 12/1, 5, 6, 7, 10, 11	نیشابور (Neyshabur)، خراسان رضوی (Khorasan Razavi)
3	92-27	PSH-85	Barley	2, 3, 5, 6 7, 8, 9, 10, 12/1 ,4, 11	اردبیل (Ardebil)، اردبیل (Ardebil)
4	92-36	PSH-89	Barley	2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11/1, 5, 10, 12	میاندواب (Miandoab)، آذربایجان‌غربی (West Azerbaijan)
5	92-51	6E150A+,Yr27	Wheat	-	زرقان (Zarghan)، فارس (Fars)

*= Based on the results of Safavi et al. (2014) *= براساس نتایج صفوی و همکاران (۵۰)

عملیات مایه‌زنی مصنوعی خزانه در فاصله بین زمان ساقه‌دهی تا قبل از ظهور برگ پرچم (Gs 36) با مخلوط اسپور زنگ زرد (که در فصل زراعی سال قبل جمع‌آوری و در یخچال نگهداری شده بودند) و پودر تالک به کمک گردپاش و در هنگام غروب آفتاب انجام گردید. در سال ۱۳۸۹ اینوکلوم زنگ زرد جو و گندم به ترتیب از روی ارقام حساس جو (افضل و تاپر) و گندم (موروکو)، توسط دستگاه اسپور جمع‌کن جمع‌آوری گردیدند. اسپورهای جمع‌آوری شده در دستگاه دسیکاتور حاوی سلیکاژل مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند تا خشک شوند سپس به منظور استفاده در سال بعد (جهت اسپورپاشی در مزرعه) در دمای $-20^{o}C$ یا ۸۰- درجه نگهداری شدند. اینوکلوم زنگ زرد جو در شرایط مزرعه‌ای دارای ویرولانس روی ژن‌های *rps2*، *Rps1.b*، *Rps3*، *rpsI5* (۴۶) و اینوکلوم زنگ زرد گندم دارای ویرولانس روی ژن‌های *Yr2*، *Yr6*، *Yr7*، *Yr9*، *Yr22*، *Yr23*، *Yr24*، *Yr25*، *Yr26*، *Yr27*، *YrA* و *YrSU* بودند (۴۳).

یادداشت‌برداری از شدت بیماری زنگ زرد از زمان ظهور بیماری تا سطح ۵۰ درصد روی رقم حساس براساس مقیاس اصلاح شدهٔ کاب پیشنهادی پیترسون و همکاران (۴۰) انجام شد. همچنین از واکنش گیاه (تیپ آلودگی) بر اساس روش رولفز و همکاران (۴۲) انجام شد. سپس داده‌های مربوط به شدت بیماری و واکنش میزبان با هم ترکیب شده و از ترکیب آنها ضریب آلودگی (CI) محاسبه گردید. ضریب آلودگی از ضرب کردن شدت بیماری در ضریب ثابت مربوط به عکس‌العمل میزبان (R=0.2, MR=0.4, M=0.6, MS=0.8, MS=0.9, S=1) بدست می‌آید (۵۹).

جدول ۳- توصیف واکنش میزبان و تیپ‌های آلودگی گیاهچه‌ای در ارزیابی مقاومت نسبت به زنگ زرد

Table 3- Description of host reaction and seedling infection types in resistance evaluation against yellow rust

واکنش میزبان Host reaction	تیپ آلودگی Infection type (اختصاری انگلیسی)	(عددی)	علائم میزبان Host symptoms
ایمن (Immune)	0	0	هیچگونه آلودگی قابل رویت نیست
خیلی مقاوم (Very Resistant)	VR	1	لکه‌های (flecks) سوخته /رنگ پریده، بدون اسپورزائی
مقاوم (Resistant)	R	2	نوارهای (strips) سوخته/رنگ پریده ، بدون اسپورزائی
نیمه مقاوم (Moderatley Resistant)	MR	3	اسپورزائی جزئی، نوارهای سوخته/رنگ پریده
متوسط پایین (Low Moderate)	LM	4	اسپورزائی کم (light)، نوارهای سوخته/رنگ پریده
متوسط (Moderate)	M	5	اسپورزائی بینابین (intermediate)، نوارهای سوخته/رنگ پریده
متوسط بالا (High Moderate)	HM	6	اسپورزائی متوسط (moderate)، نوارهای سوخته/رنگ پریده
نیمه حساس (Moderatley Susceptible)	MS	7	اسپورزائی فراوان، نوارهای سوخته/رنگ پریده
حساس (Susceptible)	S	8	اسپورزائی فراوان، همراه با رنگ پریدگی
خیلی حساس (Very Susceptible)	VS	9	اسپورزائی فراوان، بدون رنگ پریدگی

گروه‌بندی ارقام براساس روش علی و همکاران (۱ و ۳)، پاتان و پارک (۳۹) و براساس مقادیر ضریب آلودگی، شدت نهائی بیماری و تیپ آلودگی گیاهچه‌ای انجام گرید. همچنین به کمک نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۸)، گروه بندی نمونه‌ها با تجزیه خوشه‌ای بر اساس روش Ward و با در نظر گرفتن حداقل فاصله اقلیدسی بین نمونه‌ها انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج بررسی واکنش گیاهچه‌ای در گلخانه: واکنش گیاهچه‌ای ۳۰ ژنوتیپ جو نسبت به چهار پاتوتیپ زنگ زرد جو از چهار استان مختلف کشور، و یک پاتوتیپ زنگ زرد گندم از طریق مایه‌زنی گیاهچه‌ها تحت شرایط کنترل شده ارزیابی گردید. نتیجه این آزمایش در جدول ۴ آورده شده است. در بررسی واکنش گیاهچه‌ای نسبت به یک پاتوتیپ (مانند85-PSH)، نتایج کاملاً متفاوتی در قیاس با واکنش آنها نسبت به چهار پاتوتیپ از چهار منطقه مختلف بدست آمد. همانطور که در جدول ۴ و شکل ۲ دیده می‌شود، اگر واکنش گیاهچه‌ای صرفاً با در نظر گرفتن یک پاتوتیپ (حتی پاتوتیپ قوی با تیپ‌های آلودگی بالا روی ارقام) ارزیابی شود، در مقایسه با واکنش گیاهچه‌ای نسبت به چند پاتوتیپ و واکنش گیاه کامل نتایج صحیحی بدست نمی‌آید. وجود چنین حالتی برای ارقامی که فقط دارای ژن‌های مقاومت اختصاصی- نژاد هستند، کاملاً طبیعی است. زیرا ارقام دارای ژن‌های مقاومت اختصاصی- نژاد در برابر یک پاتوتیپ معین مقاوم و در برابر پاتوتیپ دیگر حساسیت نشان می‌دهند (۹).

در بررسی حاضر رقم ترش بدلیل حساسیت به تمام پاتوتیپ‌های مورد مطالعه و دارا بودن مقادیر بالای ضریب آلودگی و شدت نهائی بیماری، بعنوان رقم شاهد در نظر گرفته شد. اما در بررسی صفوی و همکاران (۵۰) رقم ترش نسبت به برخی پاتوتیپ‌های زنگ زرد جو واکنش مقاومت نشان داد در حالی‌که رقم افضل در برابر تمام پاتوتیپ‌ها حساس بود. به عبارت دیگر، در بررسی‌های بعدی برای زنگ زرد جو می‌توان از رقم افضل به عنوان رقم حساس برای تمام پاتوتیپ‌ها استفاده کرد.

در بررسی واکنش گیاهچه‌ای علاوه بر دو ژنوتیپ خارجی Asterix و Emir، ارقام ماکوئی و ارس نسبت به تمام پاتوتیپ‌های زنگ زرد جو واکنش مقاومت نشان دادند (جدول ۴)، بنابراین این ارقام دارای ژن‌های مقاومت اختصاصی- نژاد هستند. سه رقم کویر، زرجو و دشت تنها در برابر یک نژاد واکنش حساسیت نشان دادند. ارقام سهند، آبیدر، ریحان، کارون، شوری ۴، ارم، تاپر، افضل و ترش در برابر تمام نژادهای مورد استفاده در این مطالعه واکنش حساسیت نشان دادند. پاتوتیپ زنگ زرد گندم (6E150A+,Yr27) تنها روی دو رقم جو ارم و افضل که در برابر همه پاتوتیپ‌های زنگ زرد جو حساس بودند، بیماریزائی داشت. وجود ویرولانس برخی پاتوتیپ‌های گندم روی برخی ارقام جو در بررسی کومار و همکارن (۲۸) و هولتز و همکاران (۲۱)، نیز دیده شده است. در بررسی واکنش گیاهچه‌ای ارقام جو در برابر پاتوتیپ‌های گندم توسط نیکس و همکاران (۳۷) نیز مشخص گردید که ۱۰٪ ارقام زراعی جو در مرحله گیاهچه‌ای نسبت به پاتوتیپ‌های زنگ زرد گندم حساس هستند.

در این بررسی همچنین مشخص گردید که پاتوتیپ PSH-51 با داشتن ویرولانس روی ۲۳ رقم دارای طیف ویرولانس وسیع و پاتوتیپ PSH-84 با داشتن ویرولانس روی ۱۱ رقم طیف ویرولانس محدودی دارد.

بطور کلی با در نظر گرفتن نتایج واکنش مزرعه‌ای ارقام (تحت شرایط اردبیل) و نتایج واکنش مرحله گیاهچه‌ای، ارقام در چهار گروه قرار می‌گیرند:

گروه اول: ارقامی که در مرحله گیاهچه‌ای حداقل نسبت به یک پاتوتیپ حساس و در مرحله گیاه کامل نیمه مقاوم یا نیمه حساس بودند، این ارقام مهم هستند زیرا حامل ژن یا ژن‌های مقاومت گیاه کامل می‌باشند. ارقام دارای ژن‌های مقاومت گیاه کامل از مقاومت پایداری برخوردارند. سیرده رقم دشت، Bancroft، فصیح، والفجر، سهند، آبیدر، ریحان، کارون، یوسف، جنوب، شیرین، ترکمن و فجر ۳۰ در این گروه قرار می‌گیرند.

گروه دوم: ارقامی که در مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل مقاوم هستند. این گروه دارای ژن‌های مقاومت اختصاصی- نژاد یا ژن‌های مقاومت تمام مرحله‌ای (All-stage resistance genes) هستند. این ژنوتیپ‌ها ممکن است ژن‌های مقاومت غیراختصاصی- نژاد نیز داشته باشند، اما بوسیله ژن‌های مقاومت مؤثر اختصاصی- نژاد پوشیده می‌مانند (۹ و ۱۲). ارقام این گروه شامل Emir، Asterix و ماکوئی هستند (جدول ۴).

گروه سوم: گروهی که در مرحله گیاهچه‌ای حساس و در مرحله گیاه کامل دارای شدت آلودگی بالا و تیپ آلودگی حساس یا نیمه حساس تا حساس (MSS) هستند. این گروه فاقد ژن‌های مقاومت گیاه کامل بوده و ژن مقاومت اختصاصی- نژاد در مقابل پاتوتیپ یا پاتوتیپ‌های استفاده شده ندارند. ارقام ترش، افضل، Topper، ارم، و شوری ۴ در این گروه قرار می‌گیرند.

گروه چهارم: گروهی که در مرحله گیاهچه‌ای (حداقل نسبت به یک نژاد) مصون یا مقاوم و در مرحله گیاه کامل واکنش حساس (تیپ آلودگی S) یا نیمه حساس تا حساس (تیپ آلودگی MSS) نشان دادند. مانند رقم کویر و گوهر جو که به ترتیب در برابر نژادهای PSH-85 و PSH-84 در شرایط گلخانه واکنش مقاوم، در حالی‌که تحت شرایط مزرعه‌ای واکنش نیمه حساس تا حساس و یا حساس نشان دادند. این حالت نشان می‌دهد که این ارقام فاقد ژن‌های مرحله گیاه کامل هستند.

جدول ٤- نتایج واکنش گیاهچه‌ای و گیاه کامل ارقام جو نسبت به پاتوتیپ‌های زنگ زرد جو و گندم

Table 4- Results of seedling and adult plant reactions against pathotypes of barley and wheat yellow rust

No. ردیف	Cultivars ارقام	نتایج واکنش گیاهچه‌ای نسبت به پاتوتیپ‌های زنگ زرد جو و گندم* Results of seedling reaction to pathotypes of barley and wheat yellow rust					نتایج ارزیابی مزرعه‌ای (۱۳۹۰)** The results of field- based assessment		
		پاتوتیپ‌های زنگ زرد جو Barley yellow rust pathotypes				پاتوتیپ زنگ زرد گندم Wheat yellow rust patjotype			
		PSH-85	PSH-51	PSH-84	PSH-89	6E150A+,Yr27	تیپ آلودگی Infection type	شدت نهائی بیماری FRS	ضریب آلودگی Coefficient of infection
1	Emir	0	0	0	0	0	R	1	0.2
2	Asterix	5	0	0	0	0	R	1	0.2
3	Makouee	4	4	2	0	0	R	1	0.3
4	Dasht	5	7	0	2	0	M	30	18
5	Arass	0	0	0	0	0	M	30	18
6	Bancroft	0	4	0	7	0	MS	20	16
7	Fasih	8	7	0	7	0	M	30	18
8	Walfajre	5	8	8	7	0	MS	40	32
9	Sahand	9	9	9	9	0	MS	40	32
10	Abidar	9	9	8	8	0	MS	40	32
11	Rihane	6	7	7	7	5	MS	40	32
12	Karoon	7	8	7	7	0	MS	50	40
13	Yousef	8	7	0	8	0	MS	40	32
14	Jonob	8	7	7	2	0	MS	50	40
15	Shirin	9	0	6	0	0	MS	60	48
16	Torkman	8	8	0	5	0	MS	50	40
17	Zarjow	0	8	0	0	3	MSS	50	45
18	Bahman	9	8	0	7	0	MSS	50	45
19	Sina	9	8	0	0	0	MSS	60	54
20	Kavir	0	7	0	6	3	MSS	60	54
21	Eram	9	8	7	8	7	MSS	70	63
22	D10	7	8	0	0	0	S	60	60
23	Shori-4	7	9	7	7	3	MSS	40	36
24	Shori-5	7	8	0	5	0	S	60	60
25	Fajre 30	7	0	0	0	0	MR	20	8
26	Nosrate	9	7	5	6	0	MSS	60	54
27	Topper	7	7	7	7	0	S	60	60
28	Afzal	9	8	7	7	9	S	70	70
29	Goharjow	7	9	0	7	0	S	90	90
30	Torsh	9	7	7	7	0	S	100	100

*= Seedling infection types based on Line and Qayoum (1992).

**=Adult plant infection types based on Roelfs et al. (1992).

*= تیپ آلودگی گیاهچه‌ای بر اساس روش لاین و کیوم (۲۹).

**= تیپ‌های آلودگی ارقام بر اساس روش رولفز و همکاران (۴۲)

با وجود داشتن واکنش مقاومت در مرحله گیاهچه‌ای، بوسیله پاتوتیپ یا پاتوتیپ‌های از پاتوژن که در مزرعه موجود هستند آلوده می‌شوند. بعبارت دیگر دارای ژن‌های مقاومت اختصاصی– نژاد هستند. جمعیت این پاتوتیپ یا پاتوتیپ‌ها تحت تأثیر شرایط گلخانه‌ای

پایین است و یا از مزرعه جمع‌آوری نشده است ولی تحت شرایط مزرعه در مدت زمان طولانی اثر بیشتری روی رقم دارد.

گروه‌بندی‌های مشابهی برای واکنش ارقام گندم در برابر زنگ‌ها در بررسی‌های دادرضائی و همکاران (۱۲)، هاف مولر (۲۳) و طریق خان و عرفان الحق (۶۰) دیده می‌شود.

ژن‌های مقاومت گیاه کامل در مرحله گیاهچه‌ای بیان نمی‌شوند ولی ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای در تمام مراحل رشدی گیاه بیان می‌گردند (۹). تکیه بر آزمایشات بررسی‌های گیاهچه‌ای برای تعیین منابع مقاومت به دو دلیل کافی نیست (۵۲). زیرا، اولاً منابع ارزشمند مقاومت کمی ممکن است با مقاومت مرحله گیاهچه‌ای همپوشانی داشته باشند. برخی از نتایج نشان می‌دهند ارقامی که در مرحله گیاهچه‌ای در گروه حساس طبقه‌بندی می‌شوند، ممکن است سطح بالائی از مقاومت کمی گیاه کامل را دارا باشند. ثانیاً مشخص گردیده است که مقاومت کمی موجود در چنین لاین‌هایی نسبت به مقاومت اختصاصی– نژاد (که در مرحله گیاهچه‌ای تعیین می‌شود) پایدارتر است.

در بررسی برخی محققین اگر چه تصور می‌شود مقاومت برخی ارقام غیراختصاصی است، اما تغییر در پاتوتیپ‌های بیمارگر موجب شکسته شدن مقاومت بسیاری از این ارقام نسبت به زنگ زرد شده است که نشان دهنده ناپایداری مقاومت می‌باشد (۴۲). ناپایداری مقاومت در ارقام، متخصصین به‌نژادی را در جهت جستجوی مقاومت تدریجی در برنامه‌های به‌نژادی تشویق کرده است. مقاومت تدریجی، که به نظر می‌رسد مقاومت غیراختصاصی و پایدار باشد، در گندم بطور وسیعی مطالعه و پیدا شده است (۱، ۴۸ و ۵۵) و تلاش در جهت یافتن ارقام جو دارای این نوع مقاومت در طی چندین سال گذشته ادامه داشته است (۵۲ و ۵۳). در آمریکا ارقامی نظیر Bancroft، Tango، Kold و Strider که چند سال قبل معرفی گردیده اند، دارای مقاومت بهتری نسبت به زنگ زرد جو هستند و برخی دیگر نظیر Baronesse دارای مقاومت تدریجی می‌باشند (۳۰).

ارقام آلوده شده با *Puccinia striiformis* که دارای مقاومت تدریجی می‌باشند، دوره نهان طولانی‌تر، اوردینیوم‌های کوچکتر و کمتر، و تولید اسپور کمتر نسبت به ارقام حساس دارند (۴۲). دوره نهان آلودگی یکی از مهمترین مؤلفه‌های مقاومت تدریجی است (۱۳). در مطالعات دهقانی و مقدم (۱۳) اهمیت اثر افزایشی و غالب ژن‌های کنترل کننده دوره نهان نشان داده است.

نتایج بررسی واکنش گیاه کامل تحت شرایط مزرعه‌ای

علاوه بر بررسی‌های گیاهچه‌ای در شرایط گلخانه، بررسی‌های مزرعه‌ای (واکنش گیاه کامل) نیز به منظور تعیین منابع مقاومت پایدار انجام شدند. 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 (۳۳). با وجود این، در این بررسی برای مقایسه ارقام علاوه بر استفاده از معیار ضریب آلودگی از شدت نهائی بیماری نیز استفاده گردیده است. به منظور قضاوت در خصوص مقاومت غیراختصاص– نژادی ارقام مورد بررسی، واکنش گیاهچه‌ای نیز تحت شرایط گلخانه‌ای بررسی شد.

در بررسی‌های متعددی همبستگی بالای ضریب آلودگی و شدت نهائی بیماری با سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (Area Under Disease Progress Curve=AUDPC) ثابت شده است (۱، ۴۸، ۵۳ و ۵۵). سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) معیار کمی از کل مقاومت بوده و تمام مؤلفه‌های مقاومت نظیر فراوانی آلودگی، دوره نهان آلودگی، اندازه اورودیوم ر اسپورزائی را در یک سطح مشخص می‌سازد (۳۴).

در بررسی حاضر داده‌های پارامترهای ضریب آلودگی و شدت نهائی بیماری نشان دادند که گروه‌های مختلف ارقام واکنش‌های متفاوتی نسبت به فشار بیماری نشان می‌دهند (جدول ۴) که در بخش‌های جداگانه‌ای بطور تفصیلی در خصوص تنوع هر یک از پارامترهای مقاومت در ارقام مختلف جو بحث می‌شود.

تنوع پارامتر ضریب آلودگی: به منظور محاسبه ضرایب آلودگی، ترکیب داده‌های شدت بیماری و واکنش میزبان استفاده شدند. براساس روش علی و همکاران (۱) و پاتان و پارک (۳۹) ارقام یا لاین‌هایی با مقادیر ضریب آلودگی ۲۰–۰، ۴۰–۲۱، ۶۰–۴۱ به ترتیب دارای سطح بالا، متوسط و پایین مقاومت تدریجی (Slow rusting) در نظر گرفته می‌شوند. در این بررسی ارقام ماکوئی، دشت، ارس، فصیح، فجر۳۰ و ارقام خارجی Emir، Asterix و Bancroft در دسته اول (گروه دارای سطح بالای مقاومت تدریجی) قرار گرفتند (جدول ۴). البته بایستی توجه داشت که ارقام ماکوئی و ارقام خارجی Emir، Asterix هر چند در گروه اول قرار گرفته‌اند ولی این ارقام از یک طرف بدلیل داشتن تیپ آلودگی پایین در مرحله گیاهچه‌ای (۴–۰) حتماً دارای مقاومت اختصاصی– نژاد هستند اما از طرف دیگر، از آنجا که ژن‌های مقاومت غیراختصاصی– نژاد توسط ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای پوشیده می‌مانند (۹) احتمال دارد دارای ژن‌های مقاومت گیاه کامل نیز باشند، لذا برای اثبات مقاومت تدریجی آنها نیاز به مطالعات کاملتری است.

ارقام ریحان، یوسف، والفجر، کارون، شوری ۴، آبیدر و سهند بعنوان ارقام دارای سطح متوسط مقاومت تدریجی گروه‌بندی شدند. ارقام سینا، شیرین، بهمن، زرجو، ترکمن، کویر، نصرت، جنوب و یوسف دارای سطح پایین مقاومت تدریجی بودند. ارقام ارم، D10، افضل، گوهرجو همراه با تاپر و ترش مقادیر ضریب آلودگی بالاتر از ۶۰ نشان دادند که بعنوان گروه حساس در نظر گرفته شدند.

با توجه به مقادیر ضریب آلودگی روی رقم حساس (جدول ۴)

فشار بیماری بطور قابل توجهی بالا بود. بیشترین مقدار ضریب آلودگی ثبت شده در بین ارقام بررسی شده بین ۹۰-۶۰ درصد رقم حساس بود که مربوط به ارقام ارم، D10 ، شوری ۵، تاپر، افضل و گوهرجو بود. در حالی‌که بقیه ۱۹ رقم تا ۵۴ درصد رقم حساس ضریب آلودگی داشتند. براساس این نتایج پاتوتیپ/پاتوتیپ‌های زنگ زرد جو اردبیل روی بیشتر ارقام ارزیابی شده دارای قدرت بیماری‌زائی می‌باشند (جدول ۴). با توجه به واکنش گیاهچه‌ای و گیاه کامل ارقام بررسی شده در این مطالعه و براساس نتایج محققین دیگر (۱ و ۲۶)، ارقام ماکوئی، دشت و ارس ژن‌های مقاومت اختصاصی- نژاد یا ترکیبی از ژن‌های مقاومت اختصاصی- نژاد را حمل می‌کنند که در برابر طیف بیماری‌زائی عامل بیماری در شرایط مزرعه‌ای اردبیل مؤثر هستند. توجه به این نکته ضروری است که ارقام دارای مقاومت اختصاص- نژادی اغلب در عرض چند سال بعد از معرفی حساس می‌شوند. این حالت به علت تکامل سریع نژادهای بیماری‌زای بیمارگر است (۶۱). برای جلوگیری از شکستن مقاومت چنین ارقامی بهتر است ترکیب دو نوع مقاومت اختصاص- نژادی و غیراختصاصی- نژاد در یک رقم بکار گرفته شود. وجود حداقل ۵-۴ ژن مقاومت غیراختصاصی— نژاد در یک رقم باعث مقاومت رقم در حد مصونیت خواهد بود (۵۷).

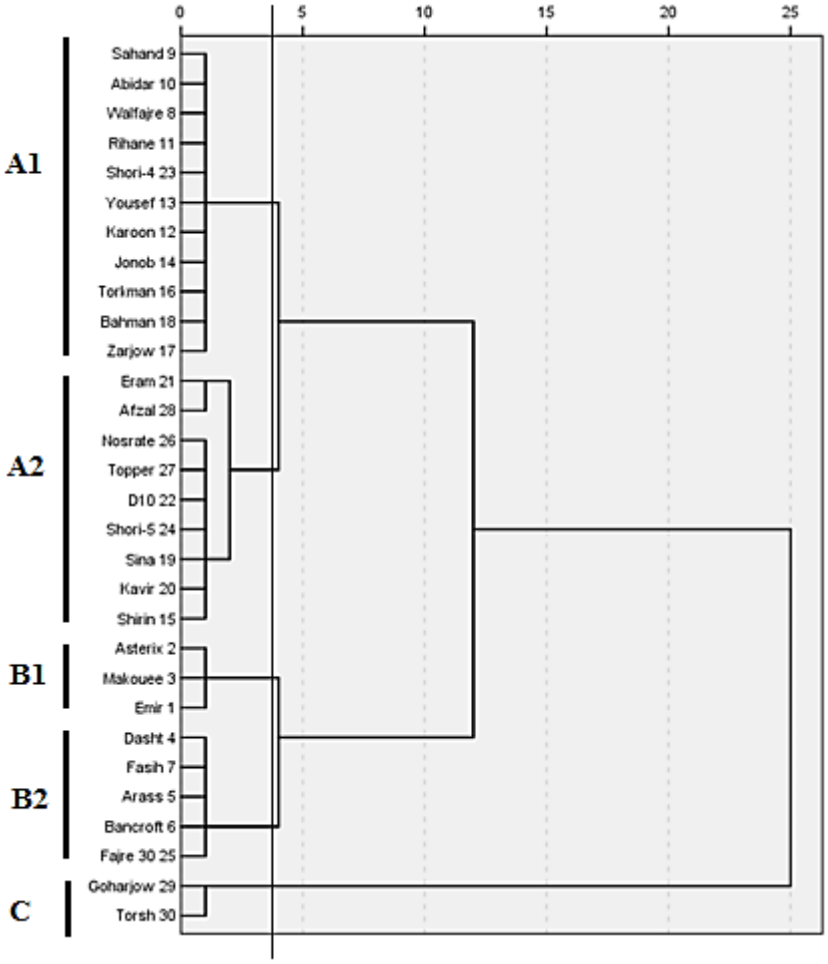
ارقام یا لاین‌های دارای درجه قابل قبولی از مقاومت تدریجی سرعت پیشرفت بیماری را کاهش داده و بطور مستقیم روی تغییر نژادها اثرگذار نیستند. با وجود این، مقاومت این ارقام یا لاین‌ها توسط چندین ژن کوچک اثر (Minor genes)کنترل می‌شوند، که غلبه بر آن در مزرعه زمان طولانی‌تری را خواهد گرفت. زنگ‌های غلات توانایی تغییر توسط عوامل مختلفی نظیر موتاسیون، نوترکیبی حاصل از تولیدمثل جنسی یا هیبریداسیون، مهاجرت در مسافت‌های طولانی و فشار انتخابی ژنوتیپ میزبان روی بیمارگر را دارند (۲۴). با توجه به این توانایی بیمارگر در تغییر بیماری‌زائی، محققین بایستی مقاومت غیراختصاصی- نژاد یا ترکیب مقاومت غیراختصاصی- نژاد با مقاومت اختصاصی- نژاد را بجای استفاده تنها از مقاومت اختصاصی- نژاد بکار گیرند.

تنوع ارقام در شدت نهائی زنگ زرد: داده‌های شدت نهائی (FRS) بیماری در ۲۹ رقم همراه با رقم حساس (ترش) در جدول ۴ نشان داده شده است. فشار بالای شدت بیماری در محل اجرای این پژوهش برای ارقام مورد آزمایش نشان داد که بیشترین آن برابر۱۰۰ درصد و مربوط به رقم ترش بود. برای ارقام گوهر جو، افضل، ارم به ترتیب ۹۰٪، ۷۰٪ و ۷۰٪ برآورد شد که بعنوان ارقام حساس گروه‌بندی شدند. بر اساس داده‌های FRS و مطابق روش علی و همکاران (۲)، ارقام بررسی شده در این مطالعه در سه گروه دارای مقاومت تدریجی بالا، متوسط و پایین قرار گرفتند که به ترتیب مقادیر شدت نهائی بیماری در آنها ۳۰-۱٪، ۵۰-۳۱٪ و ۷۰-۵۱٪ بود. ارقام ماکوئی، دشت، ارس، فصیح، فجر۳۰، Emir، Asterix و Bancroft در گروه اول قرار گرفتند. ریحان، والفجر، آبیدر و سهند در گروه دوم یعنی ارقام دارای سطح متوسط مقاومت نسبی قرار گرفتند. ارقام سینا، شیرین، بهمن، زرجو، ترکمن، جنوب و یوسف بعنوان ارقام دارای سطح پایین مقاومت تدریجی دسته‌بندی شدند. بروئرز و همکاران (۶) و علی و همکاران (۲) نیز برای گروه‌بندی ارقام و لاین‌ها از ارزیابی مزرعه‌ای مقاومت کمی استفاده نمودند. این محققین دریافتند که مقاومت ارقام یا لاین‌ها بر اساس شدت نهائی بیماری و پارامترهای دیگر از سطح خیلی پایین تا سطح خیلی بالا متغیر بودند.

ارقامی که در این بررسی تحت شرایط مزرعه‌ای آلودگی جزئی داشته و یا اصلاً آلودگی نداشتند احتمال دارد مقاومت این ارقام به علت ژن‌های مقاومت اختصاصی— نژاد بوده و یا به دلیل اثر افزایشی چند ژن مقاومت بزرگ اثر (Major genes) باشد که به صورت اختصاصی— نژاد عمل می‌کنند (۲۶). با توجه به تجربهٔ سال‌های قبل در زمینه معرفی ارقام مقاوم به زنگ زرد گندم، ارقامی که دارای ژن‌های مقاومت اختصاص- نژادی باشند احتمال شکست آنها در اثر تغییر ویرولانس عامل بیماری بالا خواهد بود (۳۶). بنابراین در انتخاب چنین ارقامی باید دقت نمود تا در صورت وجود ژن‌های مقاومت دیگر (بویژه مقاومت پایدار) آنها را به عنوان منبع مقاوم معرفی کرد. برای اثبات وجود ژن‌های دیگر به آزمایشات دقیق تجزیه ژنتیکی و یا استفاده از نشانگرهای مولکولی نیاز خواهد بود.

ارقامی که آلودگی متوسط (با واکنش های MR، MS و M) دارند احتمال اینکه چنین ارقامی دارای ژن‌های کوچک اثر بوده و به صورت افزایشی عمل کنند بالا می‌باشد (۷ ، ۳۶ و ۵۸). در این ارقام احتمال وجود ژن‌های کنترل کننده مقاومت تدریجی و ژن‌های مقاومت گیاه کامل در دمای بالا (HTAP) زیاد است. از آنجا که این نوع مقاومت‌ها به دلیل اثر افزایشی ژن‌ها مدت زمان زیادی دوام می‌آورند (۱۳ و ۵۴)، بنابراین بایستی بیشتر مورد توجه قرار گیرند. همانطوری‌که در مورد ارقام کاملاً مقاوم نیز اشاره شد برای اثبات وجود ژن‌های مقاومت HTAP و مقاومت تدریجی آزمایشات تجزیه ژنتیکی دقیق و یا استفاده از نشانگرهای مولکولی ضروری می‌باشد.

تنوع ژنتیکی بر اساس تجزیه خوشه‌ای: تجزیه خوشه‌ای ارقام که براساس داده‌های واکنش مرحله گیاه کامل و گیاهچه‌ای انجام گرفت، سه گروه اصلی را برای ارقام مورد مطالعه مشخص ساخت. دو رقم گوهر جو و ترش با بیشترین فاصله ژنتیکی از بقیه ارقام جدا شدند و در گروه جداگانه‌ای قرار گرفتند (شکل ۲، گروه C)، بقیه ارقام در دو گروه اصلی و چهار گروه فرعی قرار گرفتند.



شکل ۲- گروه‌بندی ارقام جو بر اساس واکنش گیاهچه‌ای و گیاه کامل آنها نسبت به پاتوتیپ‌های زنگ زرد جو و گندم با استفاده از تجزیه خوشه‌ای

Figure 2- Classification of barley cultivars based on their seedling and adult plant reactions to pathotypes of barley and wheat yellow rust using cluster analysis

در گروه اصلی اول، دو زیر گروه قرار گرفتند ۱۱ رقم که دارای مقادیر پایین واکنش گیاه کامل و بنابراین سطح متوسط مقاومت تدریجی بودند در زیر گروه اول (گروه A1) و نه رقم دیگر که دارای سطح پایین یا بدون مقاومت تدریجی بودند، در زیر گروه دوم قرار گرفتند (گروه A2). در گروه اصلی دوم نیز دو زیر گروه قرار گرفتند که بطور کلی داده‌های پایین در واکنش مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل داشتند. در زیر گروه اول سه رقم قرار گرفتند (گروه B1). که دارای مقاومت مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل بودند و در زیر گروه دوم پنج رقم با مقادیر پایین داده‌های واکنش گیاه کامل، دارای سطح مطلوب مقاومت تدریجی بودند (گروه B2). تنوع بین ارقام بر اساس داده‌های واکنش گیاهچه‌ای و گیاه کامل بالا بود و تجزیه خوشه‌ای بر اساس داده‌های بیماری این تنوع را تأیید کردکه اشاره به تنوع ژنتیکی بالا در بین ارقام مورد مطالعه دارد. علی و همکاران (۱)، صفوی و محمد زاده (۴۹) هم بر اساس داده‌های مختلف بیماری تنوع بالایی را بین ارقام یا لاین‌های مورد مطالعه گندم نسبت به زنگ زرد گزارش کردند. تنوع مشاهده شده در این مطالعه می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی نسبت به زنگ زرد جو بکار گرفته شود. این کار از کشت ارقام دارای تنوع ژنتیکی پایین در مقاومت نسبت به زنگ زرد جلوگیری خواهد کرد.

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 (نیمه مقاوم تا نیمه حساس) نسبت به بیماری نشان دادند. در بین ارقام بررسی شده تیپ‌های مقاومت از نوع مقاومت کامل و مقاومت تدریجی (غیراختصاصی- نژاد) مشاهده گردید. ۱۳ رقم (شامل ارقام دشت، Bancroft، فصیح، والفجر، سهند، آبیدر، ریحان، کارون، یوسف، جنوب، شیرین، ترکمن و فجر ۳۰) که در مرحله گیاهچه‌ای (حداقل نسبت به یک پاتوتیپ) حساس و در مرحله گیاه کامل واکنش متوسط (MR, M, MS) نشان دادند، به احتمال زیاد دارای درجات متفاوتی از مقاومت تدریجی (مقاومت غیراختصاصی- نژاد یا پایدار) می‌باشند. در صورت جمع شدن ۵-۴ ژن مقاومت غیراختصاصی- نژاد، مقاومت ارقام نزدیک به مقاومت کامل یا مصون خواهد بود. در معرفی ارقام مقاوم علاوه بر تأکید بر مقاومت پایدار نسبت به زنگ زرد، بهتر است مقاومت پایدار نسبت به زنگ قهوه‌ای و بیماری‌های مهم دیگر جو نیز مد نظر قرار گیرند تا ارقام از تولید پایداری برخوردار باشند.

سپاسگزاری

واکنش‌های گیاهچه‌ای این تحقیق در گلخانه‌های واحد بیماری‌های غلات بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و با حمایت مالی بخش انجام شد. از جناب آقای دکتر اسماعیل‌زاده رئیس بخش تحقیقات غلات و از خانم زهره حسن بیات کارشناس واحد بیماری‌های غلات برای همکاری و فراهم کردن امکانات تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1- 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 Sciences, 10: 3440-3444.
2- Ali S., Shah S.J.A., Khalil I.H., Rahman H., Maqbool K., and Ullah W. 2009b. Partial resistance to yellow rust in introduced winter wheat germplasm at the north of Pakistan. Australian Journal of Crop Science, 3: 37-43.
3- Ali S., Shah S.J.A., and Rahman H. 2009a. Multi-location variability in Pakistan for partial resistance in wheat to *Puccinia striiform*is f. sp. *tritici*. Phytopathologia Mediterrania, 48: 269-278.
4- Bariana H. S., and McIntosh R. A. 1995. Genetics of adult plant resistance in four Australian and the French cultivar Hybrid de Bersee. Plant Breeding, 114: 485-491.
5- Boyd L.A. 2005. Centenary review: can Robigus defeat an old enemy? -Yellow rust of wheat. The Journal of Agricultural sciences, 143: 233-243.
6- Broers L.H.M., Cuesta-Subias X., and Lopez-Atilano R.M. 1996. Field assessment of quantitative resistance to yellow rust in ten spring bread wheat cultivars. Euphytica, 90:9-16.
7- Brown W. M. J., Hill J. P., and Velasco V. R. 2001a. Barley yellow rust in North America. Annual Review of Phytopathology, 39: 367-384.
8- Brown W. M., Hill J. P., and Velasco V.R. 2001b. Identification of barley rust resistance in the Americas: A case study of successful international cooperation. Abstracts of First Regional Yellow Rust Conference for Central & West Asia and North Africa. 8- 14 May 2001, Karaj, Iran. Pages 8-9.
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., and Line R.F. 2003. Identification of genes for resistance to *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei* in 18 barley genotypes. Euphytica, 129: 127-145.
11- Chen X. M., Line R. F., and Leung H. 1995. Virulence and polymorphic DNA relationships of *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei* to other rusts. Phytopathology, 85: 1335-1342.
12- Dadrezaie S. T., Lababidi S., Nazari K., Mohammadi E., Afshari F., Alo F., Shams-Bakhsh M., and Safaei N. 2013. Molecular genetic diversity in Iranian populations of *Puccinia triticina*, the causal agent of wheat leaf rust. American Journal of Plant Science, 4: 1375-1386.
13- Dehghani H., and Moghaddam M. 2004. Genetic analysis of latent period of stripe rust in wheat seedlings. Journal of Phytopathology, 122: 325-330.
14- Dubin H. J., and Stubbs R. W. 1986. Epidemic spread of barley stripe rust in South America. Plant Disease, 70: 141-144.
15- Esfandiari E. 1947. Les rouilles de cereales en Iran [Cereal rusts in Iran]. Applied Entomology and Phytopathology, 4: 67–76.
16- Flor H.H. 1956. The complementary genetic systems in flax and flax rust. Advanced Genetics, 8: 29-54.
17- Golegaonkar P. G., Wellings C. R., Singh D., and Park R.F. 2013. Genetic and molecular analysis of resistance to a variant of *Puccinia striiformis* in barley. Journal of Applied Genetics, 54: 1-9.
18- Gulati S. C., Varma N. S., Jdin K. B. L., and Chaudhary H. B. 1988. Sources of resistance to yellow rust (*Puccinia striiformis* West.) in barley. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding, 48: 271-274.
19- Hei N., Shimelis H. A., Laing M., and 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.
20- Herrera-Fossel S.A., Singh R.P., Huerta-Espino J., Crossa, J., Djurle A., and Yuen J. 2007. Evaluation of slow rusting resistance components to leaf rust in CIMMYT durum wheats. Euphytica, 155: 361-369.
21- Holtz M. D., Kumar K., Zantinge J. L., and Xi K. 2013. Virulence phenotypes of *Puccinia striiformis* in Alberta from 2009-2011. Canadian Journal of Plant Pathology, 35: 241-250.
22- Holtz M. D., Kumar K., Zantinge J. L., and Xi K. 2014. Genetic diversity of *Puccinia striiformis* from cereals in Alberta, Canada. Plant Pathology, 63: 415-424.
23- Hovmøller M. S. 2007. Sources of seedling and adult plant resistance to *Puccinia striiformis* f. sp. Tritici in European wheats. Plant Breeding, 126: 225-233.
24- Hovmøller M. S., Sørense C. K., Walter S., and Justesen A. F. 2011. Diversity of *Puccinia striiformis* on Cereals and Grasses. Annual Review of Phytopathology, 49: 197-217.
25- Jin Y. 2011. Role of *Berberis* spp. as alternate hosts in generating new races of *Puccinia graminis* and *P. striiformis***.** Euphytica, 179: 105-108**.**
26- Johnson R. 1988. Durable resistance to yellow (stripe) rust in wheat and its implications in plant breeding. In: Simmonds N. W. and Rajaram S. (eds.) Breeding strategies for resistance to the rusts of wheat, p. 63-75. Mexico, D. F. CIMMYT.
27- Kilpatrick R. A. 1975. New cultivars and longevity of rust resistance, 1971-1975. U.S Agricultural Research Service, ARS-NE 64, 20 pp.
28- Kumar K., Holtz M. D., Xi K., and Turkington T. K. 2012. Virulence of *Puccinia striiformis* on whaet and barley in central Alberta. Canadian Journal of Plant Pathology, 34: 551-561.
29- Line R. F. 2002. Stripe rust of wheat and barley in North America: A retrospective historical review. Annual Review of Phytopathology, 40: 75-118.
30- Line R. F., and Chen X.M. 1995. Success in breeding for and managing durable resistance to wheat rusts. Plant Disease, 79: 1254-1255.
31- Line R., 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 Tech. Bull. 1788. 44 pp.
32- Mathur A. K., and Siradhana B. S. 1990. Screening of indigenous and exotic barley germplasm against Indian races of yellow rust. Indian Journal of Mycology and Plant Pathology, 20: 182.
33- McIntosh R. A., Wellings C. R., and Park R. F. 1995. Wheat Rusts: An Atlas of Resistance Genes. Csiro, Australia, 200 pp.
34- Milus E.A., and Line R.F. 1986. Gene action for inheritance of durable, high– temperature, adult plant resistances to stripe rust in wheat. Phytopathology 76: 435-441.
35- Moshiri Sh. 1995. Determination of resistance sources to common barley diseases in Khorasan. Proceeding of the 12th Iranian plant protection congress, 28 Aug- 1Sep, Karaj, Iran. pp: 53. (In Persian).
36- Nazari K., Torabi M., Hassanpour-Hosnei M., Kashani A., Hoshyar R., and Ahmadian-Moghaddam M. S. 2000. Evaluation of resistance to yellow rust in advanced wheat lines suitable for dryland areas at seedling and adult-plant stages. Seed and Plant, 16: 252-262. (In Persian).
37- Niks R. E., Heyzen S., Szabo L. J., and Alemu S. K. 2013. Host status of barley to *Puccinia coronate* from couch grass and *P. striiformis* from wheat and brome. European Journal of Plant Pathology, 136: 393-405.
38- Parlevliet J.E. 1979. Components of resistance that reduce the rate of epidemic development. Annual Review of Phytopathology, 17: 203-222.
39- 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.
40- 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.
41- Roelfs A. P., and Huerta- Espino J. 1994. Seedling resistance in *Hordeum* to barley stripe rust from Texas. Plant Disease, 78: 1046-49.
42- Roelfs A. P., Singh R. P., and Saari E. E. 1992. Rust diseases of wheat: Concepts and Methods of Diseases Management. Mexico, D.F.CIMMYT.81.pp.
43- Safavi S. A., Afshari F., and Yazdansepas A. 2013a. Effective and ineffective resistance genes to wheat yellow rust during six years monitoring in Ardabil. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 46: 774-780.
44- Safavi S. A., and Afshari F. 2012a. Quantitative resistance of some Elite wheat lines to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*, Archives of Phytopathology and Plant Protection, 45:740-749.
45- Safavi S. A., Atahossaini S. M., and Torabi M. 2004. Study on resistance reaction of elite barley lines to *Puccinia striiformis* f. sp. hordei. Proceeding of the Second regional yellow rust conference for Central & West Asia and North Africa, 22-26 March, Islamabad, Pakistan. pp:
46- Safavi S. A., Babai-Ahari A., Afshari F., and Arzanlou M. 2012. Effect of yellow rust on yield components of barley cultivars with race-specific and slow rusting resistance to yellow rust. Archives of Phytopathology and Plant

Protection, 45:1488–1498.
47- Safavi S. A., Jahani-Jelodar Y., and Ebrahimnejad Sh. 2013b. Virulence patterns of barley yellow rust and effective resistance genes to Puccinia striiformis in three parts of Iran, Archives of Phytopathology and Plant Protection, 46: 903-910.
48- Safavi S.A., and Afshari F. 2012b. Identification of resistance to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in some elite wheat lines. Journal of Crop Protection, 1: 293-302.
49- Safavi S.A., and Mohammadzadeh J. 2013. Race non-specific resistance to yellow rust in some promising wheat lines. Cereal Research, 3: 197-209. (In Persian)
50- Safavi S.A., Babai Ahari A., Afshari F., and Arzanlou M. 2014. Virulence genes and pathotypes of *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*, causing yellow rust on barley in some areas of Iran. Seed and Plant Improvement Journal, 30: 733-760.
51- Saleem K., Arshad H. M. I., Shokat S., and Manzo B. 2015. Appraisal of wheat germplasm for adult plant resistance against stripe rust. Journal of Plant Protection Research, 55: 405-414.
52- 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.
53- 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, 15*3*:295-308.
54- Schultz T. R., and Line R. F. 1992. High– temperature, adult plant resistances to wheat stripe rust and effects on yield components. Agronomy Journal, 84: 170-175.
55- Shah S. J. A., Muhmmad M., and Hussain S. 2010. Phenotypic and molecular characterization of wheat for slow rusting resistance against *Puccinia striiform*is Westend. f. sp. *tritici.* Journal of Phytopathology, 158: 393-402.
56- Singh K. V., Singh G. P., Singh P. K., and Aggarwal H. R. 2017. Assessment of slow rusting resistance components to stripe rust pathogen in some exotic wheat germplasm. Indian Phytopathology, 70: 52-57.
57- 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.
58- 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.
59- Stubbs R. W., Prescott J. M., Saari E. E., and Dubin H. J. 1986. Cereal Disease Methodology Manual. CIMMYT: Mexico, D. F. 46pp.
60- Tariq-Khan M., and Irfan Ul-Haque M. 2011. Elite-II synthetic hexaploid wheats as a potential source of resistance against yellow rust. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 44:1165-1170.
61- Wan A. M., and Chen X. M. 2012. Virulence, frequency, and distribution of races of *Puccinia striiform*is f. sp. *tritici* and *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei* identified in the United States in 2008 and 2009. Plant Disease, 96: 67-74.
62- Wang M. N., and Chen X. M. 2013. First report of Oregon grape (*Mahonia aquifolium*) as an alternate host for the wheat stripe rust pathogen (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) under artificial inoculation. Plant Disease, 97: 839.
63- Welling C. R., Burdon G. G., McIntosh R. A., Wallwork H., Raman H., and Murrary G. M. 2000. A new variant of *Puccinia striiformis* causing stripe rust on barley and wild *Hordeum* species in Australia. Plant Pathology, 49: 803.
64- Zhao J., Wang L., Wang Z., Chen X., Zhang H., Yao J., Zhan G., Chen W., Huang L., and Kang Z. S. 2013. Identification of Eighteen *Berberis* species as alternate hosts of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* and virulence variation in the pathogen isolates from natural infection of barberry plants in China. Phytopathology, 103: 927-934.