

ارزیابی مزرعه‌ای مقاومت نسبی و روابط بین اجزای مقاومت به بیماری زنگ زرد در ژرم‌پلاسم گندم نان

Evaluation of Field Based Partial Resistance and Relationship Between Resistance Components of Bread Wheat Germplasm to Yellow Rust

مهدی زهراوی^۱، شاهپور ابراهیم‌نژاد^۲ و فرزاد افشاری^۳

۱ و ۳- به ترتیب استادیار و دانشیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج

۲- مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، ساری

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۳/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۸/۳

چکیده

زهراوی، م.، ابراهیم‌نژاد، ش. و افشاری، ف. ۱۳۹۱. ارزیابی مزرعه‌ای مقاومت نسبی و روابط بین اجزای مقاومت به بیماری زنگ زرد در ژرم‌پلاسم گندم نان. مجله به‌نژادی نهال و بذر ۱-۲۸: ۶۸۴-۶۶۳.

مقاومت ۷۲ ژنوتیپ از کلکسیون گندم بانک ژن گیاهی ملی ایران در مزرعه نسبت به بیماری زنگ زرد در سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ در ساری و کرج مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در هر دو ناحیه در قالب طرح آگمنت اجرا شد و صفات تیپ آلودگی، شدت بیماری، سطح زیر منحنی توسعه بیماری (AUDPC) و ضریب آلودگی در سه نوبت به فاصله هفت روز یادداشت برداری شد. براساس نتایج آزمون t ، دو کانون آلودگی از نظر شدت بیماری (در ارزیابی اول و سوم)، نرخ آلودگی (اول، دوم و کل) ضریب آلودگی (اول و سوم) و AUDPC (دوم و کل) دارای اختلاف معنی‌دار بودند. در هر دو ناحیه، انحراف استاندارد صفات مقاومت با گذشت زمان افزایش نشان داد. در تجزیه خوشه‌ای اجزای مقاومت، صفت AUDPC در هر دو ناحیه ساری و کرج، در گروهی متمایز از سایر اجزای مقاومت قرار گرفت. تجزیه رگرسیون، ارتباط قوی صفت AUDPC با شدت بیماری، تیپ آلودگی و ضریب آلودگی را در هر دو ناحیه نشان داد. صفت نرخ آلودگی در مجموع در دو کانون آلودگی، وراثت‌پذیری عمومی بالاتری نسبت به سایر اجزای مقاومت داشت. نتایج آزمون ماننل برای تطابق ماتریس فاصله نمونه‌ها مبتنی بر اجزای مقاومت در دو ناحیه، به همراه سایر نتایج تحقیق حاکی از اهمیت هر یک از اجزای مقاومت نسبی، در ارزیابی واکنش نمونه‌های مورد بررسی نسبت به بیماری زنگ زرد بود. ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی با استفاده از تجزیه خوشه‌ای مبتنی بر اجزای مقاومت به دو گروه حساس و دارای مقاومت نسبی تقسیم شدند.

واژه‌های کلیدی: گندم، زنگ زرد، مقاومت نسبی، ضریب آلودگی، وراثت‌پذیری.

مقدمه

(Area Under Disease Progress Curve: AUDPC)

بیماری زنگ زرد با عامل قارچی *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* یکی از زیان‌بارترین بیماری‌های گندم است (Line, 2002). کنترل شیمیایی زنگ زرد مقرون به صرفه نبوده و به علاوه استفاده از قارچکش‌ها به لحاظ آلودگی محیط زیست مناسب نیستند. استفاده از مقاومت و ارقام مقاوم اساسی‌ترین راه مبارزه با این بیماری است. وندرپلانک (Vanderplank, 1963, 1968, 1978) دو نوع مقاومت عمودی (Vertical resistance) و افقی (Horizontal resistance) را شناسایی کرد و بسیاری از محققان به دلیل سهولت، تقسیم‌بندی وی را پذیرفتند (Clifford, 1975). بنابر عقیده وندرپلانک (Vanderplank, 1963, 1968) وجه مشخصه مقاومت افقی، کاهش نرخ آلودگی ظاهری (Apparent infection rate) یا r است. این امر به طور گسترده‌ای پذیرفته شد و مقاومت‌هایی که دارای تغییرات کمی بوده و منتهی به زنگ‌زدگی تدریجی (Slow rusting) می‌شدند، از نوع نژاد غیراختصاصی در نظر گرفته شدند. ارزیابی مقاومت نسبی (Partial resistance) در مزرعه به روش‌های گوناگونی قابل انجام است. این ارزیابی می‌تواند از طریق اندازه‌گیری و محاسبه شدت بیماری یا Disease severity (Parlevliet, 1979, 1981, 1988)، سطح زیر منحنی توسعه بیماری

نرخ آلودگی (Wilcoxson *et al.*, 1975)، ضریب آلودگی (Broers *et al.*, 1996) و ضریب آلودگی (Pathan and Park, 2006) انجام شود. شدت بیماری یکی از معیارهایی است که به طور معمول توسط محققان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حقیقت نسبتی از برگ که به زنگ آلوده شده، در اوج توسعه اپیدمی یا چندین مرتبه از آغاز تا پایان اپیدمی، اندازه‌گیری می‌شود. در حالت اول، فرض بر این است که نتایج حاصل، عبارت از اثر تجمعی تمام عوامل در طی توسعه اپیدمی است (Parlevliet and van Ommeren, 1975) و در حالت دوم نرخ آلودگی ظاهری یا r (Vanderplank, 1963, 1968) یا سطح زیر منحنی توسعه بیماری (Wilcoxson *et al.*, 1975) قابل محاسبه است. داده‌های حاصل از این معیار در تحقیقات کاربردی پیرامون کنترل ژنتیکی و شیمیایی مفید است ولی به تنهایی برای مطالعات مقایسه‌ای برهمکنش میزبان بیمارگر مناسب نیست (Broers, 1989). در حالت ایده‌آل داده‌های کمی در کلیه مراحل فرآیند آلودگی از زمان تماس اسپور با گیاه تا زمان اسپورزایی مورد لزوم است (Bushnell and Roelfs, 1984). علی و همکاران (Ali *et al.*, 2007) زنگ‌زدگی تدریجی را از طریق ارزیابی AUDPC، نرخ آلودگی و شدت آلودگی

نهایی مورد مطالعه قرار دادند.

سطح مقاومت نسبی در مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌های اصلاحی را می‌توان در قالب زنگ‌زدگی تدریجی مطالعه کرد که سبب کاهش توسعه اپیدمی در طول فصل از طریق کاهش AUDPC، نرخ آلودگی و شدت آلودگی نهایی می‌شود (Ali et al., 2007؛ Broers et al., 1996).

در حالی که مقاومت نسبی مبتنی بر یادداشت برداری منفرد (فقط یک بار ارزیابی در طول فصل) را می‌توان از طریق ضریب آلودگی و متوسط ضریب آلودگی تعیین کرد (Pathan and Park, 2006). ضریب آلودگی رایج‌ترین معیاری است که توسط محققان گوناگون به منظور ارزیابی زنگ‌زد استفاده می‌شود (Shah et al., 2003). علی و همکاران (Ali et al., 2008) مقاومت نسبی در برابر زنگ‌زد را از طریق شدت آلودگی نهایی، AUDPC، نرخ آلودگی و ضریب آلودگی، ارزیابی و مشاهده کردند که ضریب آلودگی دارای همبستگی مثبت با شدت آلودگی نهایی ($R^2 = 0.94$) و AUDPC ($R^2 = 0.71$) بود، اما همبستگی ضریب آلودگی با نرخ آلودگی ضعیف ($R^2 = 0.06$) بود. ریس و همکاران (Rees et al., 1979 a,b) روش‌های متفاوت را مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که r پارامتر چندان مناسبی در تشریح زنگ‌زدگی تدریجی نیست. آن‌ها علت این امر را این‌گونه 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.

هدف از انجام این تحقیق بررسی، مقایسه، تعیین اهمیت و مطالعه روابط بین اجزای مقاومت نسبی در برابر بیماری زنگ‌زد در شرایط مزرعه بود.

مواد و روش‌ها

واکنش ۷۲ ژنوتیپ از کلکسیون گندم نان بانک ژن گیاهی ملی ایران که در آزمایش‌های قبل از بین توده‌ها به صورت لاین جداسازی و تکثیر شده بودند نسبت به بیماری زنگ‌زد مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی مقاومت در خزانه بیماری زنگ‌زد در سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ در دو کانون آلودگی ساری (ایستگاه تحقیقاتی قراخیل) و کرج (مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر) انجام شد. آزمایش در هر دو ناحیه در قالب طرح آگمنت با شش بلوک انجام شد که هر بلوک دوازده نمونه و پنج شاهد شامل ارقام بولانی، گاسپارد، گاسکوژن، MV17 و ژنوتیپ بومی GB62 (نمونه ژنتیکی) را شامل می‌شد. بذر نمونه‌ها در ردیف‌هایی به طول یک متر و فاصله ۶۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها کاشته شد. به منظور حصول اطمینان از گسترش بیماری به تعداد سه ردیف در ابتدا و انتهای هر بلوک و همچنین به ازای هر ده ردیف از نمونه‌های مورد

$$AUDPC = \sum_{i=1}^k 1/2(x_{i+1} + x_i)(t_{i+1} - t_i)$$

که در آن k ، t و x به ترتیب عبارت از تعداد دفعات قرائت آلودگی، تاریخ قرائت و درصد بیماری هستند. با توجه به سه نوبت یادداشت‌برداری، سطح زیر منحنی توسعه بیماری بین تاریخ اول و دوم (AUDPC1) و بین تاریخ دوم و سوم (AUDPC2) جداگانه محاسبه شد و سطح زیر منحنی توسعه بیماری کل (AUDPCt) از مجموع دو مقدار عددی مذکور به دست آمد.

برای محاسبه نرخ آلودگی ظاهری از رابطه زیر استفاده شد (Vanderplank, 1963, 1968):

$$\frac{2.3}{t_2 - t_1} \log_{10} \frac{x_2(1 - x_1)}{x_1(1 - x_2)}$$

نظر به این که مقادیر عددی محاسبه شده برای نرخ آلودگی ظاهری بین فواصل یادداشت‌برداری‌های متوالی جمع‌پذیر نیست و با توجه به سه نوبت یادداشت‌برداری، نرخ آلودگی ظاهری اول (r_1) برای تاریخ اول و دوم قرائت آلودگی، نرخ آلودگی ظاهری دوم (r_2) برای تاریخ دوم و سوم یادداشت‌برداری و نرخ آلودگی کل (rt) برای تاریخ اول و سوم قرائت آلودگی محاسبه شد.

برای محاسبه ضریب آلودگی (CI1، CI2 و CI3) به ترتیب مربوط به سه نوبت قرائت طبق مقیاس استابز و همکاران (Stubbs *et al.*, 1986) برای 0، R، MR، M، MS و S، به ترتیب اعداد صفر، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶،

مطالعه، یک ردیف رقم بولانی به عنوان پخش‌کننده آلودگی (Spreader) کاشته شد. آلودگی به طور مصنوعی با استفاده از پاتوتیپ 6E0A⁺ در کرج (دارای بیماری‌زایی روی ژن‌های مقاومت YrA و Yr9، Yr7، Yr2) و در ساری با استفاده از پاتوتیپ 2E0A⁺ (دارای بیماری‌زایی روی ژن‌های مقاومت Yr9، Yr7 و YrA) انجام شد. با ظهور علائم بیماری، واکنش نمونه‌ها روی برگ پرچم در سه نوبت به فاصله هفت روز یادداشت شد. تیپ آلودگی (IT1، IT2 و IT3) به ترتیب مربوط به سه نوبت قرائت) بر اساس مقیاس تغییر یافته کاب (Peterson *et al.*, 1948) که در آن O مصون، R عدم وجود جوش و وجود برخی نواحی نکروتیک، MR جوش‌های کوچک با مختصر اسپورزایی، کلروزیس و یا نکروزیس، -MR MS جوش‌های کوچک تا متوسط با اسپورزایی متوسط تا سنگین با احتمال مشاهده مقداری کلروزیس، MS جوش‌های متوسط با اسپورزایی متوسط و همچنان با احتمال وجود مقداری کلروزیس، S جوش‌های بزرگ با اسپورزایی فراوان است ثبت شد. شدت بیماری (DS1، DS2 و DS3) به ترتیب مربوط به سه نوبت قرائت) بر اساس میزانی از سطح برگ پوشیده شده به وسیله زنگ بر حسب درصد (Roelfs and Bushnell, 1985) یادداشت‌برداری شد. سطح زیر منحنی توسعه بیماری با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Milus and Line, 1986):

نرم‌افزار Excel از مجموعه Microsoft Office (نسخه ۲۰۰۳) ترسیم شد. برای انجام آزمون مانتل از نرم‌افزار NTSYSpc (نسخه ۲/۰۲) استفاده شد.

نتایج و بحث

تعداد ژنوتیپ‌های گندم مورد بررسی و منشاء آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به بیماری‌زایی پاتوتیپ $6E0A^+$ روی ژن‌های مقاومت YrA و $Yr9, Yr7, Yr2$ در کرج و بیماری‌زایی پاتوتیپ $2E0A^+$ روی ژن‌های مقاومت YrA و $Yr9, Yr7$ در ساری، چنانچه ژنوتیپی در ساری تظاهر مقاومت داشته، ولی در کرج حساسیت نشان داده باشد، به معنی وجود ژن مقاومت $Yr2$ در آن است. هیچ یک از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به این صورت واکنش نشان ندادند، لذا وجود ژن $Yr2$ در مواد ژنتیکی مورد مطالعه منتفی بود. بنابراین تظاهر مقاومت در ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی ناشی از ژن‌های اصلی مقاومت به جز ژن‌های $Yr2, Yr9, Yr7$ و یا ناشی از ژن‌های فرعی مقاومت با اثر کمی است. وجود مقاومت اختصاصی از طریق ارزیابی ژنوتیپ‌ها با تعداد زیادی پاتوتیپ با الگوی بیماری‌زایی/غیربیماری‌زایی متفاوت قابل تشخیص است. از طرف دیگر ظهور مقاومت کمی، وجه مشخصه و شاهدهی از وجود ژن‌های فرعی مقاومت است. نظر به این که تعداد زیادی از ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این تحقیق، در هر

۰/۸ و یک در نظر گرفته شد و ضریب آلودگی از طریق حاصل ضرب شدت بیماری در تیپ آلودگی به دست آمد.

به منظور بررسی تفاوت بلوک‌های طرح آگمنت از تجزیه واریانس شاهد‌ها استفاده شد. تفاوت بین دو کانون آلودگی از نظر صفات مقاومت در مجموع نمونه‌ها، توسط آزمون t بررسی شد. آمار توصیفی صفات مقاومت در هر مرحله از یادداشت‌برداری در دو کانون آلودگی محاسبه و مقایسه شد. واریانس محیطی (σ_E^2) با استفاده از اشتباه آزمایشی (MSE) در تجزیه واریانس طرح بلوک مربوط به شاهد‌ها، برآورد شد و در برآورد وراثت‌پذیری برای اجزای مقاومت از رابطه زیر محاسبه شد:

$$h^2 = \frac{\sigma_{ph}^2 - \sigma_E^2}{\sigma_{ph}^2} \times 100 = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_{ph}^2} \times 100$$

که در آن σ_G^2 و σ_{ph}^2 به ترتیب واریانس فنوتیپی و واریانس ژنتیکی هستند.

تجزیه خوشه‌ای به روش Ward به منظور گروه‌بندی صفات استفاده شد. روابط بین صفات مقاومت از طریق تجزیه رگرسیون مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی همبستگی بین ماتریس‌های فاصله بین نمونه‌ها مبتنی بر ارزیابی‌های انجام شده در دو کانون آلودگی از آزمون آماری مانتل (Mantel, 1967) استفاده شد. تجزیه طرح آگمنت، برآورد آماره‌های توصیفی، آزمون t ، تجزیه رگرسیون و تجزیه خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) انجام شد. نمودارهای رگرسیون توسط

جدول ۱- منشاء و تعداد ژنوتیپ‌های گندم نان مورد مطالعه در ارزیابی مقاومت به بیماری زنگ زرد
Table 1. Origin and number of bread wheat genotypes in evaluation of resistance to yellow rust

Origin	منشاء	تعداد نمونه ژنتیکی Number of accessions
Austria	اتریش	1
Portugal	پرتغال	1
China	چین	2
Iran-East Azarbayjan	ایران-آذربایجان شرقی	5
Iran-West Azarbayjan	ایران-آذربایجان غربی	1
Iran-Esfahan	ایران-اصفهان	1
Iran-Khorasan	ایران-خراسان	16
Iran-Khuzestan	ایران-خوزستان	1
Iran-Semnan	ایران-سمنان	1
Iran-Fars	ایران-فارس	1
Iran-Kordestan	ایران-کردستان	1
Iran-Kermanshah	ایران-کرمانشاه	2
Iran-Lorestan	ایران-لرستان	1
Iran-Markazi	ایران-مرکزی	1
Iran-Hamedan	ایران-همدان	1
Iran-Unknown	ایران-ناشناخته	35
Unknown	ناشناخته	1

نبود. به منظور مقایسه واکنش نمونه‌های مورد مطالعه در دو کانون آلودگی کرج و ساری، آزمون t برای صفات مقاومت انجام شد (جدول ۲). براساس نتایج این آزمون واکنش ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در دو ناحیه آلودگی از نظر شدت بیماری در یادداشت‌برداری سوم، نرخ آلودگی (اول، دوم و کل)، تیپ آلودگی در یادداشت‌برداری اول، ضریب آلودگی در یادداشت‌برداری اول و سطح زیر منحنی توسعه بیماری دوم در سطح احتمال ۱٪ و از نظر شدت

دو کانون آلودگی، تظاهر مقاومت حد واسط نشان دادند، احتمال کنترل ژنتیکی کمی در آن‌ها زیاد است. به هر حال تمایز بین دو حالت فوق، همان‌طور که گفته شد، با انجام ارزیابی با پاتوتیپ‌های متفاوت (و یا به روش مولکولی توسط نشانگرهای اختصاصی) قابل تشخیص است.

تجزیه واریانس شاهد‌ها در طرح آگمنت اختلاف معنی‌داری را بین بلوک‌ها نشان نداد و لذا نیازی به تصحیح مقادیر اندازه‌گیری شده

جدول ۲- نتایج آزمون t برای مقایسه صفات مقاومت ژنوتیپ‌های بومی و خارجی گندم به زنگ زرد در دو کانون آلودگی ساری و کرج

Table 2. The results of t-test for comparison of resistance traits of local and foreign wheat genotypes to yellow rust in two hot spots of Sari and Karaj

صفت Trait	تفاوت میانگین‌ها Mean difference	اشتباه استاندارد میانگین Std. error of mean	آماره t t statistics
DS1	-1.736	0.845	-2.055*
DS2	2.847	2.679	1.063
DS3	12.778	4.274	2.99**
r1	0.092	0.022	4.087**
r2	0.079	0.0157	5.037**
rt	0.073	0.016	4.541**
IT1	-0.147	0.0417	-3.529**
IT2	-0.031	0.047	-0.653
IT3	0.080	0.052	1.548
CI1	-2.931	0.646	-4.538**
CI2	-0.514	2.295	-0.224
CI3	9.222	4.168	2.213*
AUDPC1	-7.951	10.769	-0.738
AUDPC2	106.562	28.336	3.761**
AUDPCt	98.6111	38.204	2.581*

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

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

DS, r, IT, CI و AUDPC به ترتیب عبارتند از شدت بیماری، نرخ آلودگی، تیپ آلودگی، ضریب آلودگی و سطح زیر منحنی توسعه بیماری و اندیس‌های ۱، ۲، ۳ و t به ترتیب مربوط به ارزیابی‌های اول، دوم، سوم و کل هستند.

DS, r, IT, CI and AUDPC are disease severity, infection rate, infection type, coefficient of infection and area under disease progress curve, and 1, 2, 3 and t indices are related to the first, second, third and total evaluations, respectively.

اهمیت باشد به عنوان مثال گرچه واکنش ژنوتیپ‌ها در دو ناحیه از نظر تیپ آلودگی (یادداشت برداری دوم و سوم) به عنوان یکی از اجزای مهم مقاومت، تفاوت معنی‌داری نداشت ولی از نظر سایر صفات مقاومت (شدت آلودگی، نرخ آلودگی، ضریب آلودگی و سطح زیر منحنی توسعه بیماری) متفاوت بود. لازم به ذکر است که رقم بولانی در یادداشت برداری سوم در هر دو منطقه دارای واکنش ۱۰۰S بود. مقادیر آمار توصیفی برای صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۳ ارائه شده

بیماری در یادداشت برداری اول، ضریب آلودگی در یادداشت برداری سوم، سطح زیر منحنی توسعه بیماری کل در سطح احتمال ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار بودند. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در دو ناحیه آلودگی از نظر شدت بیماری در یادداشت برداری دوم، تیپ آلودگی در یادداشت برداری دوم و سوم، ضریب آلودگی در یادداشت برداری دوم و سطح زیر منحنی توسعه بیماری اول تفاوت معنی‌دار نداشتند. این نتایج نشان می‌دهد که هریک از اجزای مقاومت به نوبه خود می‌تواند دارای

جدول ۳- آماره‌های توصیفی برای صفات مقاومت در ژنوتیپ‌های بومی و خارجی گندم به زنگ زرد در دو کانون آلودگی ساری و کرج

Table 3. Descriptive statistics of resistance traits of local and foreign wheat genotypes to yellow rust in two hot spots of Sari and Karaj

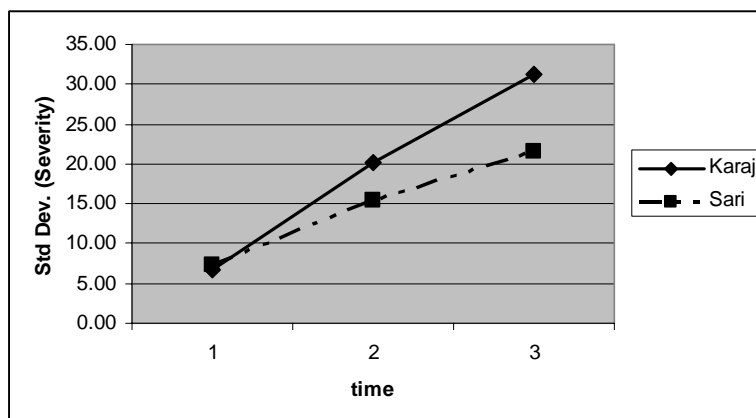
صفت Trait	دامنه Range		حداقل Minimum		حداکثر Maximum		میانگین Mean		انحراف استاندارد Standard deviation	
	کرج Karaj	ساری Sari	کرج Karaj	ساری Sari	کرج Karaj	ساری Sari	کرج Karaj	ساری Sari	کرج Karaj	ساری Sari
DS1	60	30	0	0	60	30	5.96	7.26	6.80	7.27
DS2	95	70	5	0	100	70	19.59	16.37	20.08	15.42
DS3	95	100	5	0	100	100	34.32	21.71	31.25	21.62
r1	1	0.34	0	0	1	0.34	0.20	0.10	0.17	0.01
r2	0.4	0.53	0	0	0.46	0.53	0.11	0.04	0.13	0.005
rt	0.5	0.39	0	0	0.50	0.39	0.15	0.07	0.12	0.005
IT1	1.0	1	0	0	1	1	0.24	0.39	0.14	0.34
IT2	0.8	1	0.2	0	1	1	0.37	0.40	0.22	0.34
IT3	0.8	1	0.2	0	1	1	0.48	0.41	0.28	0.35
CI1	60	30	0	0	60	30	2.18	4.66	6.93	6.14
CI2	99	70	1	0	100	70	11.05	11.15	18.20	14.25
CI3	99	100	1	0	100	100	24.68	15.59	31.57	20.43
AUDPC1	465	350	15	0	480	350	76.64	82.71	74.14	77.68
AUDPC2	855	595	45	0	900	595	242.56	133.29	222.40	128.98
AUDPCt	1320	945	60	0	1380	945	319.21	215.99	290.97	205.65

DS، r، IT، CI و AUDPC به ترتیب عبارتند از شدت بیماری، نرخ آلودگی، تیپ آلودگی، ضریب آلودگی و سطح زیر منحنی توسعه بیماری و اندیس‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب مربوط به ارزیابی‌های اول، دوم، سوم و کل هستند.

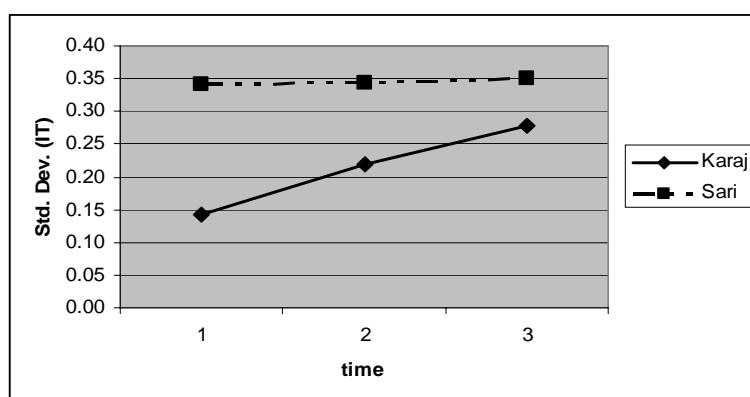
DS, r, IT, CI and AUDPC are disease severity, infection rate, infection type, coefficient of infection and area under disease progress curve, and 1, 2, 3 and t indices are related to the first, second, third and total evaluations, respectively.

یادداشت‌برداری سوم، ضریب آلودگی در یادداشت‌برداری سوم، سطح زیر منحنی توسعه بیماری دوم و سطح زیر منحنی توسعه بیماری کل در کرج بیشتر از ساری بود در حالی که میانگین شدت آلودگی در یادداشت‌برداری اول، تیپ آلودگی در یادداشت‌برداری اول و دوم، ضریب آلودگی در یادداشت‌برداری اول و دوم، سطح زیر منحنی توسعه بیماری اول در ساری بیشتر از کرج بود (جدول ۳). بنابراین مشاهده می‌شود ظهور بیماری در ساری با شدت

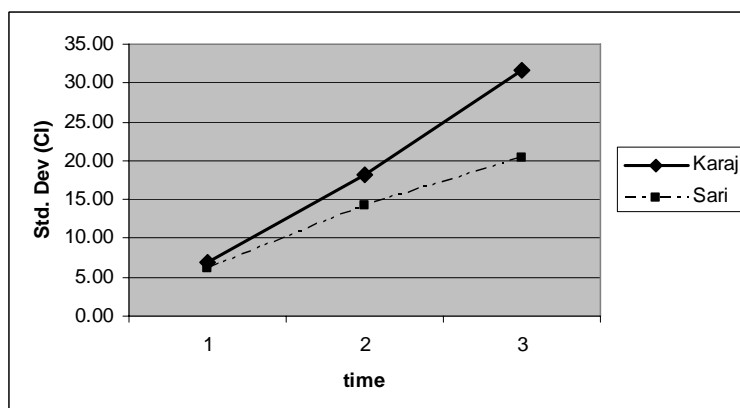
است. در هر دو ناحیه کرج و ساری، انحراف استاندارد صفات مقاومت با گذشت زمان افزایش یافت. به عبارت دیگر با گذشت زمان، ژنوتیپ‌ها به میزان بیشتری بر اساس صفات مقاومت از یکدیگر متمایز شدند. اما روند افزایش انحراف استاندارد صفات مقاومت در کرج و ساری به یک نسبت نبود (شکل ۱، الف، ب و ج). میانگین شدت بیماری در یادداشت‌برداری دوم و سوم، نرخ آلودگی (اول، دوم و کل)، تیپ آلودگی در



الف (a)



ب (b)



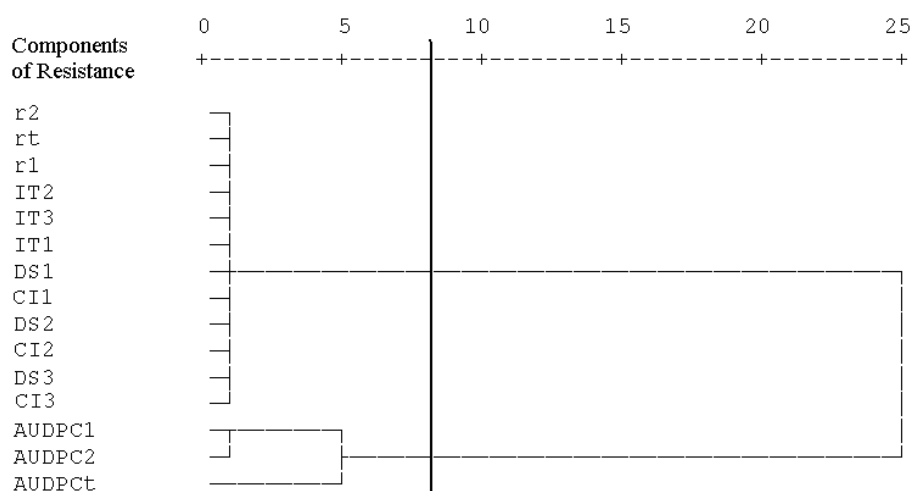
ج (c)

شکل ۱- روند تغییرات انحراف استاندارد الف- شدت بیماری، ب- تیپ آلودگی و ج- ضریب آلودگی در طی زمان در ارزیابی مقاومت نمونه‌های ژنتیکی بومی و خارجی گندم نان به زنگ زرد در دو کانون آلودگی ساری و کرج

Fig. 1. Changes of standard deviation of disease severity (a), infection type (b) and coefficient of infection (c) during time in evaluation of local and foreign bread wheat genotypes against yellow rust in two hot spots of Sari and Karaj

مرحله خاص نمی‌تواند نماینده‌ای از تظاهر کلی نمونه‌های مورد ارزیابی باشد. همچنین با انجام این کار می‌توان ژنوتیپ‌هایی را که واجد مقاومت تدریجی به زنگ زرد هستند از سایر نمونه‌ها متمایز کرد. یکی از راه‌های تفکیک عناصر متمایز و تجمیع عناصر مشابه، انجام تجزیه خوشه‌ای می‌باشد. از این روش به منظور گروه‌بندی صفات مقاومت استفاده شد (شکل‌های ۲ و ۳).

بیشتری نسبت به کرج همراه بوده است اما با گذشت زمان شدت بیماری در کرج افزایش یافته و بر ساری پیشی گرفته است. اگرچه به طور معمول بهترین زمان ارزیابی مقاومت را وقتی در نظر می‌گیرند که شاهد حساس دارای بیشترین علائم آلودگی است، اما با توجه به نتایج فوق روند گسترش بیماری در نواحی (یا فصول) مختلف، یکنواخت نبوده و برای بررسی دقیق‌تر واکنش مقاومت بهتر است ارزیابی در چند مرحله انجام شود و انجام ارزیابی در یک



شکل ۲- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای برای اجزای مقاومت نمونه‌های ژنتیکی بومی و خارجی گندم نان به زنگ زرد در ارزیابی ساری

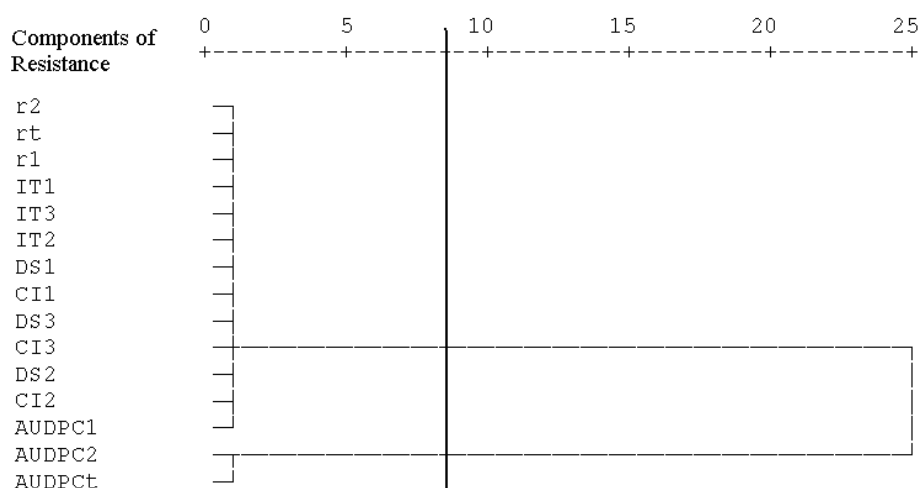
Fig. 2. Dendrogram of cluster analysis for resistance components of local and foreign bread wheat genotypes to yellow rust in Sari

For components of resistance see Table 2.

برای اجزای مقاومت به جدول ۲ مراجعه شود.

سطح زیر منحنی توسعه بیماری را به طور مجزا نشان می‌دهد. صفوی و همکاران (Safavi *et al.*, 2010) صفات سطح زیر منحنی توسعه بیماری و ضریب آلودگی را برای

در دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای در هر دو کانون آلودگی کرج و ساری، صفت سطح زیر منحنی توسعه بیماری (ثانوی و کل) از سایر صفات مقاومت منفک شد. این نتایج اهمیت



شکل ۳- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای برای اجزای مقاومت نمونه‌های ژنتیکی بومی و خارجی گندم نان به زنگ زرد در ارزیابی کرج

Fig. 3. Dendrogram of cluster analysis for resistance components of local and foreign bread wheat genotypes in Karaj

For components of resistance see Table 2.

برای اجزای مقاومت به جدول ۲ مراجعه شود.

هر یک از اجزای مقاومت نسبی، تجزیه رگرسیون ساده نیز انجام شد (شکل‌های ۴ و ۵) ضریب تبیین بالای مدل رگرسیون نشان‌دهنده ارتباط قوی صفات شدت بیماری، تیپ آلودگی و ضریب آلودگی با AUDPC در هر دو کانون آلودگی ساری و کرج بود. سندوال-ایسلاس و همکاران (Sandoval-Islas *et al.*, 1998) نیز ارتباط قوی بین سطح زیر منحنی توسعه بیماری و اجزای مقاومت کمی گزارش کردند.

اندازه‌گیری صفات مقاومت می‌تواند ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم را از یکدیگر متمایز کند، ولی این سؤال وجود دارد که در صورت ارزیابی چندین صفت مقاومت، نتایج این تمایز تا چه حد مطابقت دارد و آیا شباهت و عدم شباهت ژنوتیپ‌ها از نظر یک جزء مقاومت

ارزیابی زنگ‌زدگی تدریجی به کار بردند. با توجه به این که صفت سطح زیر منحنی توسعه بیماری در تجزیه خوشه‌ای در گروه مجزایی قرار گرفت، ارتباط آن با سایر اجزای مقاومت با استفاده از رگرسیون گام به گام (AUDPC به عنوان متغیر وابسته و صفات نرخ آلودگی، تیپ آلودگی و ضریب آلودگی به عنوان متغیر مستقل) بررسی شد. با توجه به متغیرهای وارد شده در مدل رگرسیون، در کانون آلودگی کرج، هر سه صفت نرخ آلودگی، تیپ آلودگی و ضریب آلودگی ($R^2=0.89$) و در کانون آلودگی ساری، صفات تیپ آلودگی و ضریب آلودگی ($R^2=0.84$) بیشترین سهم را در توجیه تغییرات AUDPC داشتند (جدول ۴).

به منظور روشن شدن ارتباط AUDPC با

جدول ۴- نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام برای AUDPC نسبت به زنگ زرد در ژنوتیپ‌های بومی و خارجی گندم نان در دو کانون آلودگی ساری و کرج

Table 4. The results of stepwise regression analysis for AUDPC in response of local and foreign bread wheat genotypes to yellow rust in Karaj and Sari

Step	Variable	Coefficient	Std. Error	Coefficient of determination
Karaj				
1	Intercept	-1.24	0.33	0.77
	IT3	9.14	0.59	
2	Intercept	-1.03	0.29	0.83
	IT3	8.50	0.52	
	CI3	0.06	0.01	
3	Intercept	-0.47	0.25	0.89
	IT3 (X ₁)	3.56	0.89	
	CI3 (X ₂)	0.07	0.01	
	rt (X ₃)	12.75	2.01	
Final regression model		$Y = -0.47 + 3.56X_1 + 0.07X_2 + 12.75X_3$		
Sari				
1	Intercept	0.15	0.17	0.78
	IT3	5.06	0.32	
2	Intercept	0.21	0.14	0.84
	IT3 (X ₁)	4.74	0.27	
	CI3 (X ₂)	0.04	0.01	
Final regression model		$Y = 0.21 + 4.74X_1 + 0.04X_2$		

r, IT و CI به ترتیب عبارتند از نرخ آلودگی، تب آلودگی و ضریب آلودگی و اندیس‌های ۳ و ۲ به ترتیب مربوط به سوم و کل هستند.

r, IT and CI infection rate, infection type and coefficient of infection, and 3 and 2 indices are related to third and total evaluation, respectively.

ارزیابی‌ها بر اساس صفات مقاومت مختلف (شباهت ژنوتیپ‌ها مبتنی بر صفات مختلف مقاومت) در تطابق بود، اما همبستگی نرخ آلودگی (اولیه، ثانوی و کل) با سایر صفات معنی‌دار نبود. علی و همکاران (Ali et al., 2008) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. این نتیجه با توجه به ماهیت صفت نرخ آلودگی قابل توجه است به طوری که مقدار عددی این جزء مقاومت بر اساس یک معادله غیرخطی برآورد می‌شود و لذا فاقد همبستگی خطی با متغیرهای تشکیل دهنده خود یا سایر صفات مقاومت است. سطح زیر منحنی توسعه

به همان نتایج حاصل از اجزای دیگر مقاومت می‌انجامد. بدین منظور لازم است شباهت/فاصله ژنوتیپ‌ها حاصل براساس اجزای مقاومت با یک‌دیگر سنجیده شود. برای بررسی همبستگی بین دو ماتریس فاصله می‌توان از آزمون آماری مانتل (Mantel, 1967) استفاده کرد. نتایج آزمون مانتل برای اجزای مقاومت به زنگ زرد در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس این نتایج، همبستگی ماتریس فاصله ژنوتیپ‌ها مبتنی بر اجزای مختلف مقاومت با یک‌دیگر (به جز نرخ آلودگی اولیه، ثانوی و کل با سایر صفات) معنی‌دار بود. به عبارت دیگر نتایج حاصل از

جدول ۵- نتایج آزمون مانتل برای مقایسه ماتریس فاصله ژنوتیپ‌های بومی و خارجی گندم نان بر اساس اجزای مقاومت به بیماری زنگ زرد در دو کانون آلودگی ساری و کرج

Table 5. The results of Mantel test for comparison of distance matrices of local and foreign bread wheat genotypes based on components of resistance to yellow rust in two hot spots of Sari and Karaj

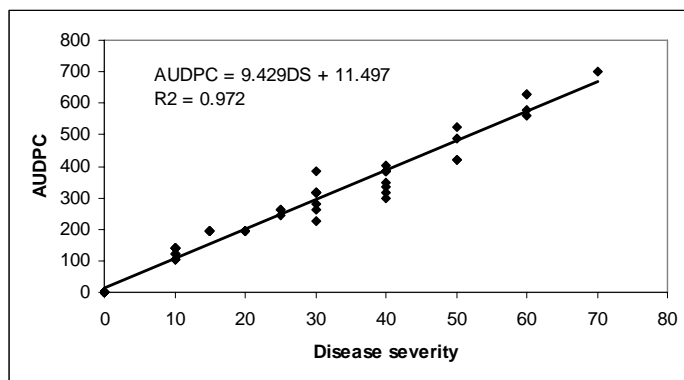
صفت Trait	DS 2	DS 3	r1	r2	rt	IT1	IT2	IT3	CI1	CI2	CI3	AUDPC1	AUDPC2	AUDPCt
DS1	0.548**	0.435**	0.116	0.019	0.052	0.509**	0.477**	0.459**	0.835**	0.488**	0.381**	0.770**	0.426**	0.533**
DS 2		0.800**	0.079	0.018	0.019	0.506**	0.700**	0.667**	0.595**	0.928**	0.786**	0.941**	0.902**	0.952**
DS3			0.051	0.063	0.017	0.484**	0.656**	0.772**	0.496**	0.756**	0.953**	0.747**	0.9622**	0.935**
r1				0.015	0.009	0.133	0.032	0.008	0.053	0.133	0.107	0.022	0.057	0.047
r2					0.015	0.078	0.031	0.019	0.020	0.077	0.105	0.0043	0.077	0.062
rt						0.0827	0.027	0.013	0.027	0.044	0.040	0.007	0.019	0.016
IT1							0.852**	0.794**	0.569**	0.472**	0.435**	0.603**	0.443**	0.507**
IT2								0.867**	0.579**	0.725**	0.638**	0.730**	0.648**	0.699**
IT3									0.549**	0.645**	0.766**	0.689**	0.719**	0.737**
CI1										0.638**	0.503**	0.767**	0.471**	0.568**
CI2											0.810**	0.867**	0.839**	0.883**
CI3												0.707**	0.934**	0.902**
AUDPC1													0.808**	0.895**
AUDPC2														0.985**
AUDPCt														

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

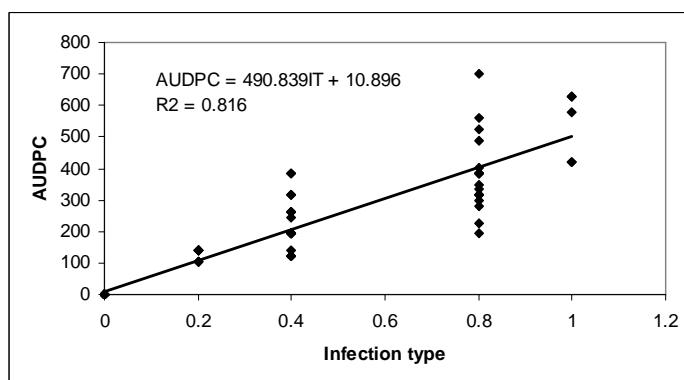
* and **: Significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

DS, r, IT, CI and AUDPC به ترتیب عبارتند از شدت بیماری، نرخ آلودگی، تیپ آلودگی، ضریب آلودگی و سطح زیر منحنی توسعه بیماری و اندیس‌های ۱، ۲، ۳ و t به ترتیب مربوط به ارزیابی‌های اول، دوم، سوم و کل هستند.

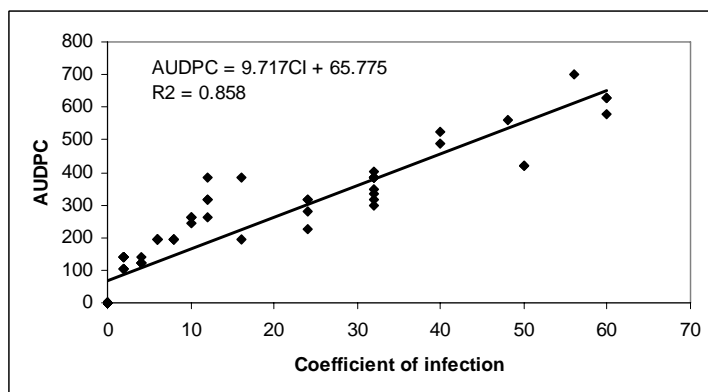
DS, r, IT, CI and AUDPC are disease severity, infection rate, infection type, coefficient of infection and area under disease progress curve, and 1, 2, 3 and t indices are related to the first, second, third and total evaluations, respectively.



الف (A)



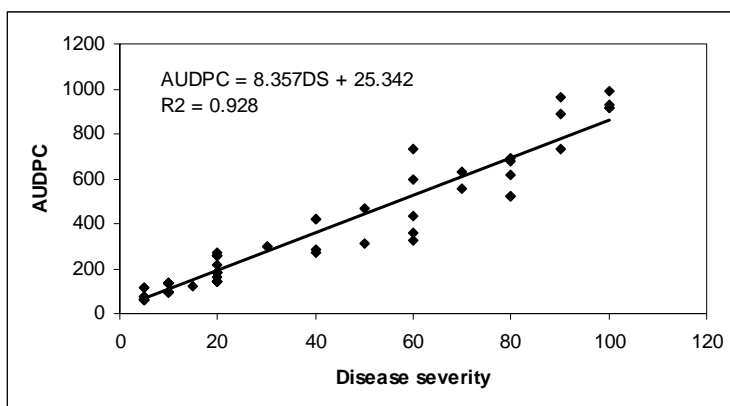
ب (B)



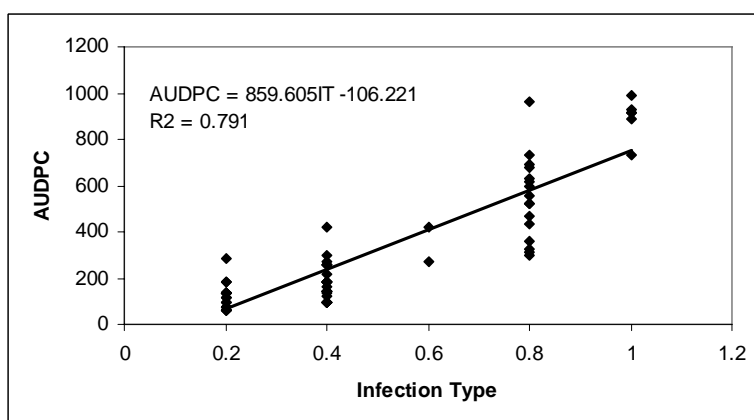
ج (C)

شکل ۴- ارتباط سطح زیر منحنی توسعه بیماری (AUDPC) با شدت بیماری (الف)، تیپ آلودگی (ب) و ضریب آلودگی (ج) در ارزیابی مقاومت نمونه‌های ژنتیکی بومی و خارجی گندم نان به زنگ زرد در ساری

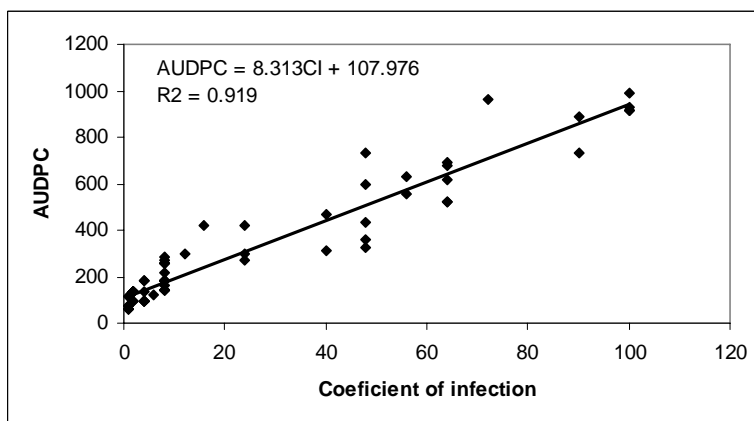
Fig. 4. Association of AUDPC with disease severity (A), infection type (B) and coefficient of infection (C) of local and foreign bread wheat genotypes to yellow rust in Sari



(A) الف



(B) ب



(C) ج

شکل ۵-ارتباط سطح زیر منحنی توسعه بیماری (AUDPC) با شدت بیماری (الف)، تپ آلودگی (ب) و ضریب آلودگی (ج) در ارزیابی مقاومت نمونه‌های ژنتیکی بومی و خارجی گندم نان به زنگ زرد در کرج

Fig. 5. Association of AUDPC with disease severity (A), infection type (B) and coefficient of infection (C) of local and foreign bread wheat genotypes to yellow rust in Karaj

نهایی) تأکید دارد. یکی از مسائل مهم در کارایی صفتی به عنوان معیار مقاومت وراثت‌پذیری آن است. مقادیر وراثت‌پذیری عمومی برآورد شده برای اجزای مقاومت در جدول ۶ ارائه شده است.

بیماری ثانوی دارای بیشترین تعداد همبستگی قوی با سایر صفات بود. با توجه به این که صفت مذکور میزان گسترش آلودگی بین یادداشت‌برداری دوم تا سوم را نشان می‌دهد، نتایج فوق بر اهمیت انجام ارزیابی در اواسط دوره ظهور و گسترش بیماری (علاوه بر ارزیابی

جدول ۶- مقادیر وراثت‌پذیری عمومی برآورد شده برای اجزاء مقاومت نسبت به زنگ زرد در

ژنوتیپ‌های بومی و خارجی گندم نان در دو کانون آلودگی ساری و کرج

Table 6. Estimates of broad sense heritability for resistance components to yellow rust in local and foreign bread wheat genotypes in Karaj and Sari

Trait	صفت	کرج Karaj	ساری Sari
Disease severity	شدت بیماری	0.991	0.827
Infection rate	نرخ آلودگی	0.976	0.926
Infection type	تیپ آلودگی	0.929	0.822
Coefficient of infection	ضریب آلودگی	0.998	0.855
AUDPCt	سطح زیر منحنی توسعه بیماری	0.996	0.738

بالاتری (۹۹/۶۳ درصد) نسبت به کانون آلودگی ساری (۷۷/۸۳ درصد) برخوردار بود. گزارش‌های موجود از وراثت‌پذیری AUDPC متفاوت است. قنادها (Ghannadha, 1999) با استفاده از تجزیه نسل‌ها وراثت‌پذیری عمومی AUDPC را به روش‌های متفاوت از ۰/۴۷ تا ۰/۹۸ برآورد نمود. قنادها و همکاران (Ghannadha et al., 2000) وراثت‌پذیری عمومی AUDPC را با استفاده از روش تجزیه دای آلل ۰/۹۶ برآورد کردند. به نظر می‌رسد نحوه توارث اجزاء مقاومت تا حدودی تحت تأثیر زمینه ژنتیکی نیز است، بنابراین در این

همان‌طور که مشاهده می‌شود صفات مورد ارزیابی در هر دو کانون آلودگی کرج و ساری از وراثت‌پذیری بالایی برخوردار بودند. نرخ آلودگی در مجموع در دو کانون آلودگی، وراثت‌پذیری بالاتری نسبت به سایر اجزای مقاومت داشت. با در نظر گرفتن این نتیجه و ماهیت متمایز نرخ آلودگی نسبت به سایر اجزای مقاومت که در فوق اشاره شد، پیشنهاد می‌شود که این صفت نیز علاوه بر سایر اجزای مهم مقاومت در مزرعه (مانند AUDPC) در ارزیابی مواد ژنتیکی مدنظر قرار گیرد. صفت AUDPC در کانون آلودگی کرج از وراثت‌پذیری

جدول ۷- نتایج آزمون t برای مقایسه صفات مقاومت ژنوتیپ‌های بومی و خارجی گندم نان به زنگ زرد در دو گروه حاصل از تجزیه خوشه‌ای

Table 7. The results of t-test for comparison of resistance traits of local and foreign bread wheat genotypes to yellow rust in two groups developed by cluster analysis

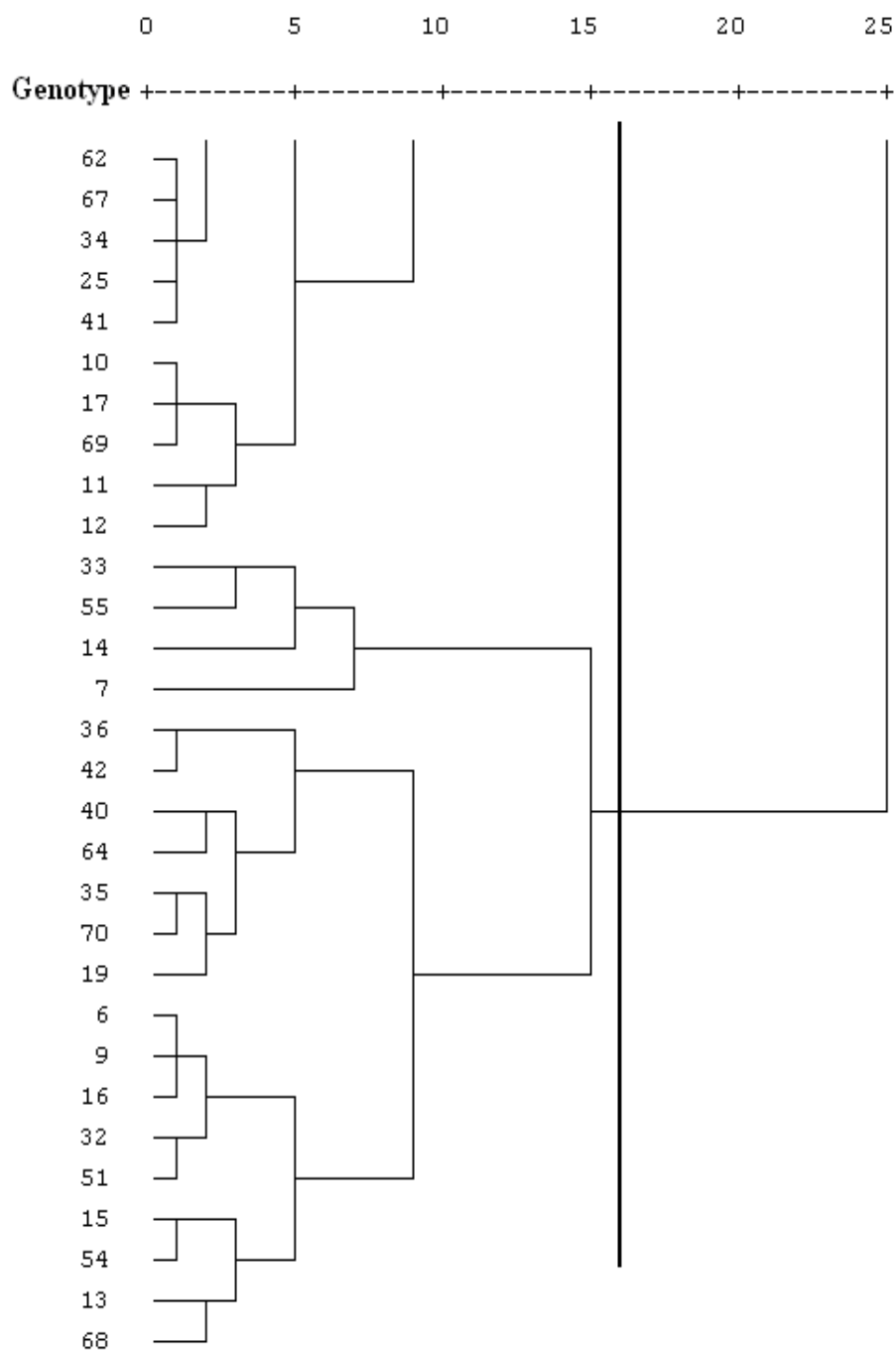
صفت Trait	میانگین Mean		اشتباه استاندارد تفاوت Std. error of mean		برآورد t t statistics
	Group 1	Group 2	Group 1	Group 2	
	DS1 (Karaj)	4.46	6.54	0.28	
DS2 (Karaj)	9.02	35.19	0.69	3.95	-8.47**
DS3(Karaj)	13.15	69.23	0.96	4.26	-16.34**
r1 (Karaj)	0.12	0.33	0.02	0.03	-6.40**
r2 (Karaj)	0.05	0.23	0.01	0.03	-7.86**
rt (Karaj)	0.07	0.27	0.01	0.02	-10.72**
IT1 (Karaj)	0.18	0.32	0.01	0.02	-6.95**
CI1 (Karaj)	0.01	0.02	0.00	0.00	-6.60**
IT2 (Karaj)	0.25	0.56	0.01	0.04	-8.86**
CI2 (Karaj)	0.02	0.23	0.00	0.04	-7.35**
IT3 (Karaj)	0.31	0.78	0.02	0.04	-12.31**
CI3 (Karaj)	0.05	0.57	0.01	0.05	-12.73**
AUDPC1 (Karaj)	0.41	1.25	0.02	0.12	-8.65**
AUDPC2 (Karaj)	1.00	4.69	0.07	0.34	-13.76**
AUDPCt (Karaj)	1.41	5.94	0.09	0.46	-12.62**
DS1 (Sari)	5.43	9.62	0.89	1.44	-2.61**
DS2 (Sari)	12.61	20.96	2.05	2.57	-2.49*
DS3(Sari)	16.41	28.08	2.76	3.81	-2.51*
r1 (Sari)	0.09	0.13	0.01	0.02	-1.99*
r2 (Sari)	0.03	0.05	0.01	0.01	-2.06*
rt (Sari)	0.06	0.09	0.01	0.01	-2.25*
IT1 (Sari)	0.30	0.52	0.05	0.06	-2.89**
CI1 (Sari)	0.03	0.06	0.01	0.01	-2.45*
IT2 (Sari)	0.32	0.52	0.05	0.06	-2.58*
CI2 (Sari)	0.08	0.14	0.02	0.02	-1.82
IT3 (Sari)	0.32	0.53	0.05	0.06	-2.55*
CI3 (Sari)	0.12	0.20	0.03	0.04	-1.85
AUDPC1 (Sari)	0.66	1.08	0.10	0.13	-2.54*
AUDPC2 (Sari)	1.05	1.72	0.16	0.22	-2.47*
AUDPCt (Sari)	1.71	2.80	0.26	0.35	-2.51*

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

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

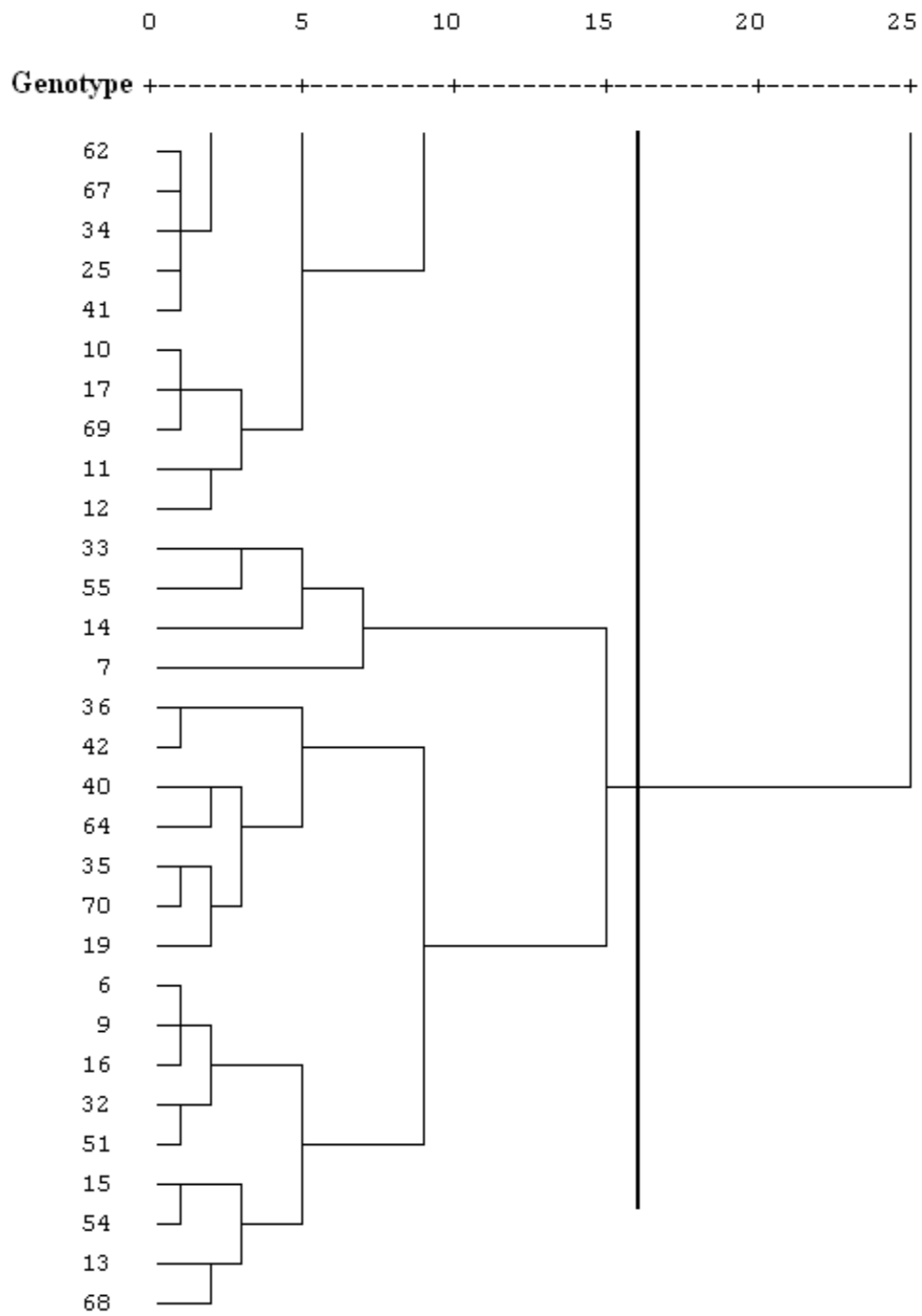
DS، r، IT، CI و AUDPC به ترتیب عبارتند از شدت بیماری، نرخ آلودگی، تیپ آلودگی، ضریب آلودگی و سطح زیر منحنی توسعه بیماری و اندیس‌های ۱، ۲، ۳ و t به ترتیب مربوط به ارزیابی‌های اول، دوم، سوم و کل هستند.

DS, r, IT, CI and AUDPC are disease severity, infection rate, infection type, coefficient of infection and area under disease progress curve, and 1, 2, 3 and t indices are related to the first, second, third and total evaluations, respectively.



شکل ۶- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های بومی و خارجی گندم نان بر اساس اجزای مقاومت به زنگ زرد در دو کانون آلودگی کرج و ساری

Fig. 6. Dendrogram of cluster analysis local and foreign bread wheat genotypes based on resistance components in two hot spots of Karaj and Sari



ادامه شکل ۶

Fig. 6. Continued

تمام صفات به جز ضریب آلودگی در یادداشت‌برداری دوم و سوم در ساری دارای تفاوت معنی‌دار بودند. بنابراین تجزیه خوشه‌ای توانسته است ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را به خوبی از یکدیگر تفکیک کند.

مجموع نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تمام اجزای مقاومت نسبی به نوبه خود دارای اهمیت هستند. صفت AUDPC دارای رابطه خوبی با سایر اجزای مقاومت بود و می‌تواند به عنوان معیار مناسبی برای برآورد مقاومت نسبی به کار رود.

زمینه نیاز به تحقیقات بیشتر و دقیق‌تری است. تجزیه خوشه‌ای با استفاده از اجزای مقاومت در دو کانون آلودگی کرج و ساری ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را به دو گروه تقسیم کرد (شکل ۶). بر اساس میانگین صفات مورد مطالعه (جدول ۷) گروه دوم، متشکل از ژنوتیپ‌های شماره ۶، ۷، ۹، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۹، ۲۶، ۲۷، ۳۲، ۳۳، ۳۵، ۳۶، ۴۰، ۴۲، ۴۷، ۵۱، ۵۴، ۵۵، ۵۷، ۶۰، ۶۳، ۶۴، ۶۸ و ۷۰ دارای مقاومت نسبی و گروه اول حساس بودند. کارایی تجزیه خوشه‌ای در تفکیک ژنوتیپ‌ها با استفاده از آزمون t بین دو گروه مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۷). نتایج نشان داد که دو گروه از نظر

References

- 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 Maqbool, K. 2008. Field-based assessment of partial resistance to yellow rust in wheat germplasm. Journal of Agriculture and Rural Development 6: 99-106.
- Broers, L. H. M. 1989. Partial resistance to wheat leaf rust in 18 spring wheat cultivars. Euphytica 44: 247-258.
- 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.
- Bushnell, W. R., and Roelfs, A. P. 1984. The Cereal Rusts, Vol. I: Origins, Specificity, Structure and Physiology. Academic Press New York, USA. 566 p.
- Clifford, B. C. 1975. Stable resistance to cereal disease: Problems and progress. Rep. Welsh Plant Breed. Station, 1974, pp. 107-113.
- Ghannadha, M. R. 1999. Gene action for resistance of wheat (Adult stage) to yellow (stripe) rust. Iranain Journal Agricultural Sciences 30: 397-408

- Ghannadha, M. R., Nasrollahnejd, A. A., and Torabi, M. 2000.** Estimation of gene effects and combining ability of adult plant resistance to yellow rust (race 226E222A⁺) in some wheat cultivars by diallel method. *Iranain Journal Agricultural Sciences* 31: 9-17.
- Line, R. F. 2002.** Stripe rust of wheat and barley in North America: A retrospective historical review. *Annual Review of Phytopathology* 40: 75-118.
- Mantel, N. A. 1967.** The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Research* 27: 209-220.
- Milus, E. A., and Line, R.F. 1986.** Gene action for inheritance of durable, high-temperature adult plant resistance to stripe rust to wheat. *Phytopathology* 76: 435-441.
- Parlevliet, J. E. 1979.** Components of resistance that reduce the rate of epidemic development. *Annual Review of Phytopathology* 17: 203-222.
- Parlevliet, J. E. 1981a.** Race-non-specific disease resistance. pp. 47-54. In: Jenkyn, J.F., and Plumb, T. (eds.) *Strategies for the Control of Cereal Disease*. Blackwell, Oxford, UK.
- Parlevliet, J. E. 1981b.** Disease resistance in plants and its consequences for plant breeding. pp. 309-364. In: Frey, K. J. (ed.) *Plant Breeding II*. Iowa State University Press, Ames, USA.
- Parlevliet, J. E. 1988.** Resistance of the non-race-specific type. pp. 501-525 In: Roelfs, A.P., and Bushnell, W.R. *The Cereal Rusts, Vol II: Disease, Distribution, Epidemiology and Control*. Academic Press, Orelando, USA.
- Parlevliet J. E., and Van Ommeren, A. 1975.** Partial resistance of barley to leaf rust, *Puccinia hordei*, II. Relationship between field trials, micro-plot tests and latent period. *Euphytica* 24: 293-303.
- 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 on 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.
- Roelfs, A. P., and Bushnell, W. R. 1985.** The Cereal Rusts. Vol II: Disease, Distribution, Epidemiology and Control. Academic Press, Orlando, USA. 606 pp.
- 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.
- 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., 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.
- Stubbs, R. W., Prescott, J. M., Saari, E. E., and Dubi, H. J. 1986.** Cereal Disease Methodology Manual. Centro Internacional de Mejoramiento de Maize y Trigo (CIMMYT), Mexico, DF.
- Vanderplank, J. E. 1963.** Plant Diseases. Epidemics and Control: Academic Press, New York, USA. 349 pp.
- Vanderplank, J.E. 1968.** Disease Resistance in Plants. Academic Press, New York, USA. 206 pp.
- Vanderplank, J.E. 1978.** Genetics and Molecular Basis of Plant Pathogenesis. Springer-Verlag, New York, USA. 167 pp.
- Wilcoxson, R. D., Skovmand, B., and Atif, A. H. 1975.** Slow rusting of wheat varieties in the field correlated with stem rust severity on detached leaves in the greenhouse. Plant Disease Reporter 58: 1085-1087.