

## ارزیابی مقاومت گیاه کامل تعدادی از ژنوتیپ‌های گندم نان به پاتوتیپ 6E158A+ عامل بیماری زنگ زرد گندم

روژین مرادی<sup>۱</sup>، جهانشیر امینی<sup>۲\*</sup>، غلامحسین احمدی<sup>۳</sup> و هدیه بدخشان<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه بیماری‌شناسی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

۲- نویسنده مسوول: دانشیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، (jamini@uok.ac.ir)

۳- مربی پژوهش و دانشجوی دکترا گروه زراعت و اصلاح نباتات، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه و دانشگاه کردستان

۴- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۳/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۲۰

### چکیده

در این تحقیق واکنش ۵۵ ژنوتیپ گندم نان از چهار اقلیم گرم و خشک جنوب، اقلیم معتدل، اقلیم سرد و اقلیم گرم و مرطوب نسبت به نژاد غالب قارچ عامل بیماری زنگ زرد (6E158A<sup>+</sup>) در شرایط مزرعه در استان کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی مزرعه‌ای به منظور بررسی مقاومت مرحله گیاه کامل گندم با استفاده از واکنش ژنوتیپ‌ها به بیماری در سه نوبت با فاصله هفت روز بین دو مرحله ظهور برگ پرچم تا اواسط پر شدن دانه انجام شد. همچنین شدت بیماری در ژنوتیپ‌های آلوده به نژاد زنگ نیز در سه نوبت اندازه‌گیری گردید و سپس سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) و همچنین مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC) ژنوتیپ‌های گندم محاسبه گردید. سرانجام از ترکیب داده‌های مربوط به شدت آلودگی و تیپ آلودگی، ضریب آلودگی محاسبه گردید. با توجه به اینکه بین ضریب آلودگی و AUDPC همبستگی بالا و معنی‌دار بود، لذا تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها بر اساس AUDPC به منظور گروه‌بندی آن‌ها بر اساس مقاومت نسبت به پاتوتیپ 6E158A+ انجام شد. ژنوتیپ‌های گندم عکس‌العمل متفاوتی از نظر شدت آلودگی نسبت به نژاد قارچ نشان دادند. نتایج نشان داد که ۲۵ درصد ژنوتیپ‌ها پایین‌ترین سطح AUDPC، ۱۸ درصد سطح متوسط، ۱۴ درصد بالاترین سطح و ۴۳ درصد دارای سطح نزدیک متوسط یا نسبتاً بالای AUDPC را از خود نشان دادند.

**کلیدواژه‌ها:** تیپ آلودگی، شدت آلودگی، AUDPC، گندم

### مقدمه

عامل بیماری و شکستن ژن‌های مقاومت در میزبان، باعث ایجاد آلودگی‌های شدید و همچنین موجب کاهش عملکرد محصول گندم می‌شود (Alexopoulos et al., 1996). در ایران نیز مهم‌ترین بیماری گندم زنگ زرد می‌باشد، بطوری‌که در سال زراعی ۷۲-۱۳۷۱، خسارت ناشی از این بیماری حدود ۳۰ درصد کل محصول گزارش گردید (Torabi et al., 1995). کاربرد ارقام مقاوم مطمئن‌ترین و باصرفه‌ترین روش

گندم، سهم عمده‌ای از تولید جهانی غلات را به خود اختصاص داده است (Rajaram., 2005) و امروزه به عنوان بزرگ‌ترین و مهم‌ترین منبع غذایی بشر شناخته می‌شود (Carver, 2009). در میان عوامل بیماریزای گندم، زنگ زرد با عامل *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* با داشتن توانایی بیماری‌زایی بالا، نژادهای فیزیولوژیک متعدد، تغییرپذیر بودن

مرادی و همکاران: ارزیابی مقاومت گیاه کامل تعدادی از...

شود (Ali et al., 2007). در یک مطالعه، ارزیابی مقاومت نسبی نشان داد که همبستگی ضریب آلودگی با نرخ آلودگی ضعیف ( $R^2 = 0.06$ )، اما ضریب آلودگی دارای همبستگی مثبت با شدت آلودگی نهایی ( $R^2 = 0.94$ ) و AUDPC ( $R^2 = 0.71$ ) بود (Ali et al., 2007).

با توجه به توان تولید نژادها و پاتوتیپ‌های جدید توسط عامل بیماری، به منظور تولید ارقام مقاوم لازم است مطالعات کافی در مورد فاکتورهای بیماری‌زا در جمعیت بیمارگر و نژادها یا فاکتورهای مقاومت موثر در جمعیت میزبان برای هر منطقه تداوم یابد. هدف از اجرای این تحقیق معرفی و شناسایی ژنوتیپ‌هایی از گندم نان است که در مقابل نژاد غالب زنگ زرد در منطقه کرمانشاه مقاومت نشان می‌دهند و با توجه به این که این استان دارای تنوع اقلیمی زیادی است لذا در این مطالعه، ارقام از اقلیم‌های مختلف انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در شرایط مزرعه در استان کرمانشاه انجام شد. در این بررسی، مقاومت ۵۱ رقم تجاری گندم نان به همراه چهار ژنوتیپ Avocet S، Avocet R، Jupateco73R و Jupateco73S از چهار اقلیم گرم و خشک جنوب، اقلیم معتدل، اقلیم سرد و اقلیم گرم و مرطوب مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱). مایه زنی لاین‌های مورد بررسی در مرحله ساقه دهی تا قبل از ظهور برگ پرچم با نژاد غالب منطقه 6E158A<sup>+</sup> (Afshari, 2013) انجام شد. اسپور نژاد غالب از واحد پاتولوژی بخش غلات موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه گردید. ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به بیماری در سه نوبت با فاصله هفت روز بین دو مرحله ظهور برگ پرچم (41 = Z) و تا اواسط پر شدن دانه (75 = Z) بر اساس مقیاس زادکس انجام شد (Roelfs et al., 1992; Zadoks et al., 1974) همچنین شدت بیماری در سه نوبت بر اساس مقیاس تغییر یافته کاب توسط پترسون و

جهت کنترل این بیماری می‌باشد (Line and Chen, 2007). به همین منظور در زمینه مقاومت پایدار از طریق ایجاد ارقام مقاوم همه ساله تحقیقات متعدد و گسترده‌ای بر روی نژادهای عامل بیماری و میزبان‌های آن صورت می‌گیرد. در یک کار تحقیقاتی، ۱۱۲۶ ژنوتیپ را به عنوان ژنوتیپ مقاوم از میان ۲۱۵۴ ژنوتیپ مایه‌زنی شده توسط پاتوتیپ غالب منطقه قراخیل شناسایی و به عنوان منابع جدید مقاومت معرفی گردید (Afshari et al., 2010). مطالعات نشان داده است که پایداری مقاومت ارقام مقاوم به زنگ‌ها نیازمند شناسایی و کاربرد منابع مقاومت پایدار و یا ترکیب منابع مقاومت جدید با ژن‌های مقاومت موثر می‌باشد (Bariana and McIntosh, 1995).

برای نخستین بار Zadoks (1961) آزمایش کشت خزانه‌های تله را جهت بررسی وضعیت بیماری‌زایی عامل بیماری انجام داد. در این بررسی ژن‌های مقاومت مرحله گیاه کامل نیز در کنار ژن‌های مرحله گیاهچه‌ای مطالعه گردید. دیگر مطالعات نیز تأیید کرد که علاوه بر ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای<sup>۱</sup>، ژن‌های مرحله گیاه کامل<sup>۳</sup> نیز در مقاومت به زنگ زرد دخالت دارند (McIntosh et al., 1995). ارزیابی مقاومت نسبی<sup>۴</sup> در مرحله گیاه کامل می‌تواند از طریق محاسبه ضریب آلودگی<sup>۵</sup>، شدت بیماری<sup>۶</sup>، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری<sup>۷</sup> و نرخ ظاهری آلودگی<sup>۸</sup> انجام شود (Pathan and Park, 2006; Parlevliet, 1988; Wilcoxson et al., 1975; Broers et al., 1996). ارزیابی سطح مقاومت نسبی در مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌های اصلاحی نشان داده است که از طریق کاهش AUDPC، نرخ آلودگی و شدت آلودگی نهایی سبب کاهش توسعه اپیدمی در طول فصل رشد می‌-

- 1- Trap Nursery
- 2- Seedling Resistance Genes
- 3- Adult Plant Resistance Genes.
- 4- Partial resistance
- 5- Coefficient of infection (CI)
- 6- Disease severity (DS)
- 7- Area Under Disease Progress Curve (AUDPC)
- 8- Infection rate (r)

وسعی از مقاومت تا حساسیت در برابر عامل بیماری در ژنوتیپ‌های مورد بررسی مشاهده گردید. به طوری که ۶ درصد فاقد هرگونه علائم آلودگی (O)، ۱۱ درصد تیپ آلودگی (R)، ۴ درصد (MR)، ۳۸ درصد (MS) و ۴۱ درصد دارای تیپ آلودگی (S) بودند. در ارزیابی ارقام مربوط به اقلیم گرم و مرطوب (شمال، اراضی جلگه‌ای در سواحل خزر) رقم‌های Arta و Moghan3, Shiroodi, Tajan و بالاترین تیپ آلودگی (S) را داشتند. از این گروه تنها رقم Morvareid دارای تیپ آلودگی (R) بود. آلودگی در سایر ارقام این گروه در محدوده تیپ آلودگی (MS) برآورد شد. از ارقام تجاری مربوط به اقلیم گرم و خشک (جنوب و جنوب غربی) تنها رقم Dena از تیپ آلودگی (R) برخوردار بود. سایر ارقام این اقلیم به دو گروه با تیپ آلودگی (S) و (MS) تقسیم شدند که ارقام Siatan, Hamoon, Bolani, Star, Darab2 با بالاترین تیپ آلودگی در گروه حساس قرار گرفتند. عکس‌العمل سایر ارقام در محدوده نیمه حساس با تیپ آلودگی (MS) ظاهر گردید. در میان ارقام تجاری مربوط به اقلیم معتدل (مرکز و پراکنده در غرب و شرق کشور) ارقام Bam در Arg, Sivand, Mahdavi, Niahbour و در Sirvan, Niknezhad, Saison و در این میان در (R) دیده شد. تیپ آلودگی سایر ارقام این گروه (MS) برآورد شد. در بررسی ارقام تجاری مربوط به اقلیم سرد (شمال غرب و مرکز کشور) دامنه آلودگی تنوع بالایی داشت. تیپ آلودگی (S) در ارقام Toos, Sardari, Shahryar, Avocet 'R', Jupateco73S, Alvand, Azar2 و Avocet 'S' دیده شد. ژنوتیپ Jupateco73R و ارقام MV17 و Zare از این گروه دارای تیپ آلودگی (MS) بودند. در بین ارقام این گروه تنها دو رقم Gasegogen و Miham دارای مقاومت (R) بودند. سه رقم Uroum و Pishgam و Gaspard آلودگی مصون (O) نشان دادند.

همکاران یادداشت برداری گردید (Peterson et al., 1948). با استفاده از داده‌های بدست آمده سطح زیر منحنی پیشرفت آلودگی محاسبه گردید. جهت اندازه‌گیری AUDPC با استفاده از ضرایب تبدیل داده‌های کیفی به کمی، ضریب آلودگی (CI) تعیین و با استفاده از معادله (۱) برای محاسبه سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری در معادله (۲) جایگذاری شدند.

$$X = \sqrt{CI + 0.5} \quad \text{معادله (۱)}$$

$$AUDPC = \sum_{i=1}^k \frac{(X_{i+1} + X_i)}{2} (t_{i+1} - t_i) \quad \text{معادله (۲)}$$

همچنین مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری<sup>۱</sup> با استفاده از معادله (۳) برآورد گردید.

$$rAUDPC = \frac{\text{AUDPC هرلاین}}{\text{AUDPC رقم حساس}} \times 100 \quad \text{معادله (۳)}$$

از تجزیه خوشه‌ای به منظور گروه‌بندی ارقام تجاری و دسته‌بندی آن‌ها بر اساس مقاومت نسبت به پاتوتیپ 6E158A<sup>+</sup> استفاده شد. تجزیه کلاستر داده‌ها با استفاده از برنامه کامپیوتری XL Stat<sup>۲</sup> انجام شد. علاوه محاسبه ضریب همبستگی ژنوتیپ‌ها جهت تعیین میزان همبستگی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از برنامه کامپیوتری SPSS انجام گرفت.

## نتایج و بحث

### ارزیابی فنوتیپی ژنوتیپ‌های گندم

نتایج آزمایش در خزانه ارقام تجاری از وضعیت شدت آلودگی رقم بولانی (شاهد) با عکس‌العمل (100S) و تربیتکاله با عکس‌العمل (20MR) نشان داد که آلودگی به خوبی در خزانه مستقر گردیده است و تیپ آلودگی یادداشت برداری شده برای این دو رقم با تیپ آلودگی مورد انتظار مطابقت داشت. بر اساس یادداشت برداری‌های انجام شده دامنه

1- Relative Area Under Disease Progress Curve (rAUDPC)

2- Excel Software Package, 2007

مرادی و همکاران: ارزیابی مقاومت گیاه کامل تعدادی از...

جدول ۱- متوسط ضریب آلودگی، AUDPC و rAUDPC ژنوتیپ های گندم آلوده به نژاد غالب (6E158A<sup>+</sup>) زنگ زرد گندم

**Table 1. Average Coefficient of Infection, AUDPC and rAUDPC of wheat genotypes infected by the 6E158A+ race of the yellow rust**

No.	Genotype	Coefficient Infection (CI)			AUDPC	rAUDPC
		CI <sub>1</sub>	CI <sub>2</sub>	CI <sub>3</sub>		
1	Jupateco73R	2	4	32	40.34	30.45
2	Jupateco73S	16	30	80	84.28	63.61
3	Avocet 'R'	24	40	100	96.96	73.18
4	Avocet 'S'	30	30	100	93.08	70.25
5	Saison	0	0	8	17.63	13.31
6	Seirevan	0	0	2	12.96	9.78
7	Arg	8	16	60	65.86	49.71
8	MV17	0	1	24	28.37	21.42
9	Azar2	8	20	80	73.30	55.33
10	Marvdasht	8	16	32	58.59	44.22
11	Pishtaz	4	10	32	50.06	38.17
12	Pishgam	0	0	0	9.90	7.47
13	Bahar	8	24	48	69.23	52.25
14	Sistan	4	16	50	60.73	45.84
15	Moghan3	4	24	50	66.95	50.53
16	Shirodei	8	24	60	72.08	54.40
17	Chamran	8	24	40	67.13	50.67
18	Nishabour	8	16	50	63.51	47.49
19	Darab2	16	32	50	79.00	59.63
20	Gaspard	0	0	0	9.90	7.47
21	Tos	16	30	80	84.28	63.61
22	Sepahan	1	24	32	58.89	44.45
23	Hamun	40	50	100	107.11	80.84
24	Niknejad	0	0	1	11.71	8.84
25	Bam	8	16	16	79.38	59.91
26	Tajan	24	32	60	77.33	58.37
27	Mahdavi	1	60	100	106.86	80.66
28	Gonbad	8	16	16	46.94	35.43
29	Darya	16	24	32	68.82	51.49
30	Alvand	6	24	50	69.72	52.63

No.	Genotype	Coefficient Infection (CI)			AUDPC	rAUDPC
		CI <sub>1</sub>	CI <sub>2</sub>	CI <sub>3</sub>		
31	Aflak	0	0	16	21.64	16.34
32	Zarein	16	60	70	98.05	74.1
33	Gasgogen	0	0	1	11.71	8.74
34	Zareh	0	2	4	20.97	15.83
35	Uroum	0	0	0	9.90	7.47
36	Mihan	0	1	1	15.33	11.57
37	Baz	4	4	24	39.60	29.89
38	Shiraz	8	24	56	71.16	53.71
39	Star	8	32	70	79.50	60.00
40	Parsi	2	4	24	37.71	28.46
41	Sivand	8	40	60	81.98	61.87
42	Shahryar	30	40	100	98.96	74.70
43	Arta	8	8	30	49.94	37.70
44	Morvarid	0	0	2	12.96	9.78
45	Dena	0	0	1	11.71	8.74
46	Shotordandan	2	24	40	62.46	47.14
47	Arya	0	0	16	21.64	16.34
48	Yavarous	0	0	8	17.63	13.31
49	Karkhah	0	2	24	30.87	23.30
50	Behrang	0	4	16	31.54	23.81
51	Rizhav	8	24	24	62.18	46.93
52	Karim	4	12	12	44.55	33.62
53	Sardari	60	60	100	116.76	88.13
54	Kohdasht	8	24	24	62.18	64.93
55	Bolani (Control)	60	100	100	132.48	100.0

AUDPC دیده شد. در شکل ۲ نیز همبستگی بالایی معادل ۰/۸۹ بین ضریب آلودگی و AUDPC وجود داشت. با توجه به این که مقاومت نسبی مبتنی بر یادداشت برداری را می‌توان از طریق ضریب آلودگی تعیین کرد، لذا ضریب آلودگی به عنوان معیاری رایج‌تر جهت ارزیابی مقاومت ارقام استفاده می‌شود (Pathan and park, 2006).

### تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های گندم بر مبنای AUDPC

از تجزیه خوشه‌ای به منظور گروه‌بندی ارقام تجاری و دسته‌بندی آن‌ها بر اساس مقاومت نسبت به پاتوتیپ  $6E158A^+$  استفاده شد. تجزیه خوشه‌ای بر مبنای روش WARD و فاصله اقلیدسی انجام و بر این اساس ژنوتیپ‌های گندم به چهار گروه تقسیم شدند (شکل ۳ و جدول ۲).

در گروه اول ۱۸ درصد از ارقام مورد بررسی قرار گرفتند. ارقام این گروه دارای سطح متوسطی از پیشرفت بیماری بودند. در میان ارقام این گروه، رقم‌های Karim و Arta به ترتیب دارای تیپ آلودگی MR و S و سایر ارقام دارای تیپ آلودگی MS بودند. گروه دوم با تعداد ۲۳ رقم بیشترین فراوانی را داشت. تیپ آلودگی ارقام این گروه عمدتاً S و MS بود و میزان AUDPD ارقام دسته بندی شده در این گروه متوسط و یا نسبتاً بالا بود. گروه سوم با تعداد ۸ رقم کمترین فراوانی را داشت. ارقام این گروه با شدت آلودگی ۹۰-۱۰۰ دارای سطح بالایی از پیشرفت بیماری بودند و همراه با شاهد در گروه ارقام کاملاً حساس قرار گرفتند. در گروه چهارم ۲۵ درصد ارقام قرار گرفتند. میزان AUDPC ارقام این گروه در پایین‌ترین سطح بودند. تیپ آلودگی ارقام این گروه عمدتاً O، R، MR و MS بود (جدول ۲).

بررسی‌های پیشین نشان داده است که عامل بیماری توانایی بالایی در مقابله با فشار انتخابی ناشی از استفاده از ارقام مقاوم دارد این توانایی بالا را به کوتاه و پلی سیکل بودن بیماری، تولید بسیار زیاد اسپور، کشت بسیار وسیع و گسترده میزبان و نهایتاً باد برد و یا انتقال اسپورهای عامل بیماری توسط باد از نقاط بسیار دور به نقاط دیگر حتی به کشورها و

### شاخص مقاومت AUDPC (سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری)

شاخص AUDPC (سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری) به عنوان بازتابی از شدت و همچنین توسعه بیماری مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). با توجه به مقدار AUDPC محاسبه شده برای رقم بولانی (شاهد) می‌توان دریافت هر قدر مقدار AUDPC یک رقم بالاتر و به مقدار AUDPC شاهد نزدیکتر باشد، حساسیت رقم به بیماری بیش‌تر است و در مقابل هر قدر مقدار آن پایین‌تر باشد احتمالاً رقم مذکور از مقاومت بالاتری برخوردار می‌باشد. میزان ضریب آلودگی، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری و همچنین مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری برای ارقام مورد مطالعه در جدول یک آورده شده است.

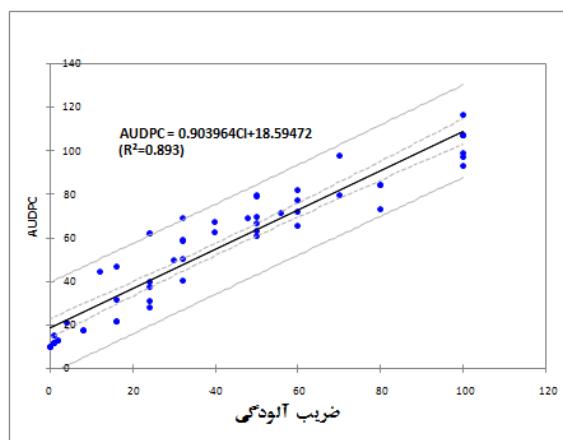
جهت بررسی ارتباط سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری با سایر اجزای مقاومت (تیپ آلودگی، شدت آلودگی، ضریب آلودگی و نرخ آلودگی) رگرسیون گام به گام (AUDPC به عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به عنوان متغیر مستقل) انجام شد. با توجه به متغیرهای وارد شده در مدل رگرسیون، شدت آلودگی و ضریب آلودگی ( $R^2=0/90$ ) بیشترین سهم را در تغییرات سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری داشتند. همچنین به منظور روشن شدن ارتباط سطح زیر منحنی بیماری با هر یک از اجزای مقاومت، تجزیه رگرسیون ساده نیز انجام گردید. ضریب تعیین بالای مدل رگرسیون نشان دهنده ارتباط قوی صفات شدت آلودگی (شکل ۱) و ضریب آلودگی (شکل ۲) با سطح زیر منحنی بود.

Sandoval Islas et al. (1998) نیز ارتباط قوی بین سطح زیر منحنی بیماری و اجزای مقاومت را گزارش کردند. در شکل ۱ ارتباط بین فاکتور شدت آلودگی و AUDPC نشان داده شده است که بر این اساس بین شدت بیماری و AUDPC نسبت مستقیم و همبستگی مثبت وجود داشت. بدین معنا که با افزایش شدت آلودگی، افزایش

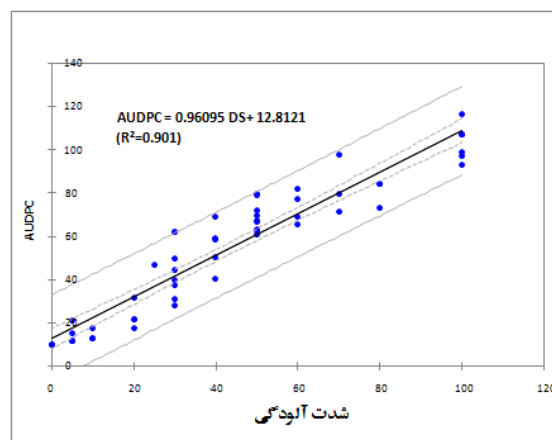
Shotordandan, Kohdasht, Rizhav, Sistan, Alvand, Chamran, Moghan3, Nishabour, Darya و Bahar از گروه دوم جهت عرضه به کشاورزان استان پیشنهاد می‌گردد. در یک بررسی مشابه مشخص شده است که حد متوسط مقاومت گیاه کامل در ارقام Flinders و Harrier و لاین‌های M2435 توسط یک ژن صورت می‌پذیرد. در حالی که در رقم King دو ژن مقاوم نقش داشته است. همچنین مشخص شد مقاومت رقم Bersee توسط چهار ژن کنترل می‌شود (Bariana and McIntosh, 1995). نتایج مشابه را برای رقم Luke می‌توان نام برد که از زمان معرفی آن در سال ۱۹۷۰ در آمریکا تا به حال مقاومت قابل قبولی در برابر زنگ زرد از خود نشان داده است و دلیل این امر را به وجود مقاومت گیاه کامل در دمای بالا در این رقم نسبت می‌دهند (Milus and Line, 1986). این نوع مقاومت که در مرحله گیاه کامل و در دامنه حرارتی  $10-30^{\circ}\text{C}$  ظاهر می‌گردد، به دلیل اینکه توسط چند ژن کنترل می‌شود و این ژن‌ها اثرات جزئی داشته، اما به صورت افزایشی عمل می‌کنند (Schultz and Line, 1992) بنابراین از حالت پایداری برخوردار خواهد بود (Milus and Line, 1986). در ایران نیز ارقام Nugaines و Luke که دارای مقاومت گیاه کامل در دمای بالا می‌باشند، طی چندین سال (۱۳۸۱ - ۱۳۸۵) بررسی در اردبیل مقاومت قابل قبولی نسبت به زنگ زرد نشان داده‌اند (Safavi et al., 2008). سایر ارقام گروه دوم به همراه ارقام گروه سوم به دلیل داشتن سطح بالایی پیشرفت بیماری، جهت کشت در منطقه توصیه نمی‌شوند. بروز حساسیت در رقم MV17 از گروه اول، ارقام Nishabour, Bam و Arg و ژنوتیپ Jupateco73S از گروه دوم که واجد *Yr18* هستند نشانه ویرولانس نژاد منطقه به این ژن می‌باشد که مسئول مقاومت در مرحله گیاه کامل است. همچنین بروز مقاومت در دو رقم Niknezhad و Jupateco73S حامل ژن

قاره‌های دیگر نسبت می‌دهند. لذا، ارقام تجاری پس از مدتی در برابر قارچ عامل بیماری مقاومت خود را از دست داده و آلوده می‌شوند (Steel et al., 2001). نتایج بررسی انجام شده نیز گواه همین امر است. زیرا با توجه به نتایج، ارقام نیمه حساس و حساس (گروه سوم و بخشی از ارقام گروه دوم) درصد بالایی از ارقام را شامل می‌شود. به علاوه این امر خطرگسترش بیماری و اپیدمی را در شرایط استفاده وسیع از این ارقام در آب و هوایی مساعد پیشرفت بیماری را یادآور می‌شود. عدم وجود هر گونه آثار و علائم آلودگی در سه رقم Pishgam, Uroum و Gaspard می‌تواند حاصل یک ژن یا چند ژن مقاومت بزرگ اثر با ماهیت اختصاصی نژادی باشد. احتمال شکست مقاومت در این ارقام در اثر تغییر ویرولانس عامل بیماری بسیار بالا خواهد بود (Johanson, 1980; Castro et al., 2002). انتخاب ارقام Gaspard, Pishgam, Uroum, Sirvan, Niknezhad, Gasgogen, Mihan, Morvarid و Dena علاوه بر تکیه بر مقاومت کامل و بدون هر گونه آلودگی و یا آلودگی کم و با تیپ آلودگی مقاوم (R)، تأکیدی بر نحوه انتخاب ژن‌های مقاومت اختصاصی نسبت به نژاد غالب خواهد بود. اگر چه ارقام Sirvan, Niknezhad, Gasgogen, Morvarid, Mihan و Dena دارای مقاومت مطلوب 5-10R هستند اما، با توجه به اینکه تأکید می‌شود انتخاب منابع با مقاومت پایدار مهم‌ترین دغدغه به نژادگران باشد، ترویج و بکارگیری چنین ارقامی توصیه نمی‌شود. در مقابل ارقام گروه اول و بخشی از ارقام گروه دوم دارای مقاومت حدواسط بودند. احتمال دارد این نوع مقاومت ناشی از ژن یا ژن‌های اصلی مقاومت و یا ژن‌های کوچک اثر باشد. مطالعات در خصوص مقاومت حد واسط نشان داده است که این نوع مقاومت از پایداری بیشتری برخوردار است. بر این اساس ارقام گروه اول و رقم‌های Marvdasht, Sepahan،

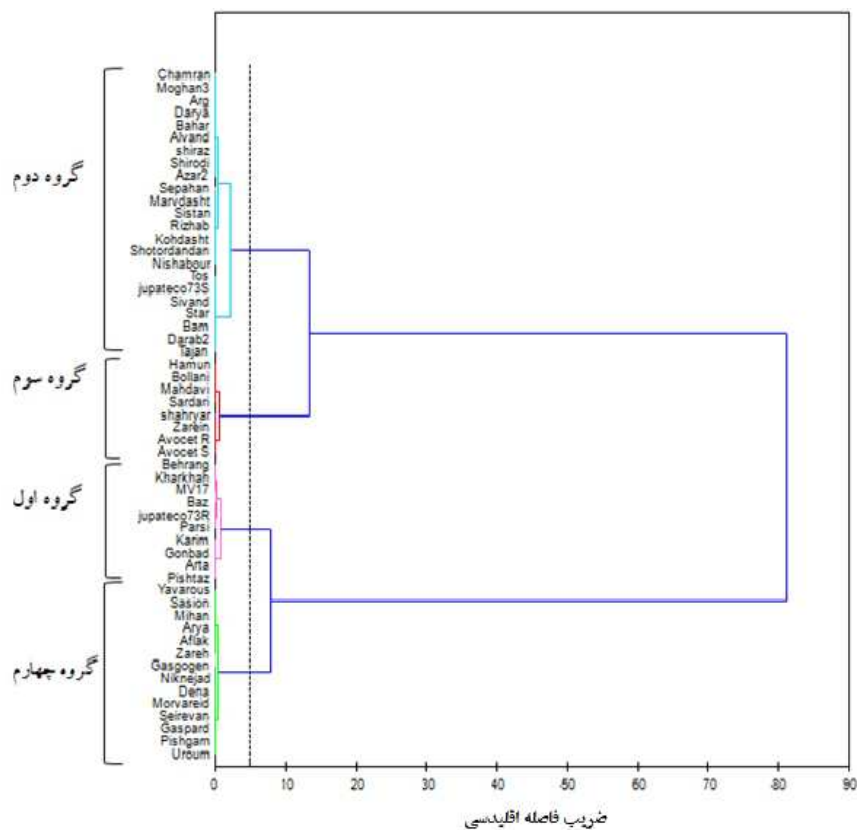
مرادی و همکاران: ارزیابی مقاومت گیاه کامل تعدادی از...



شکل ۲- همبستگی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری با ضریب آلودگی  
Figure 2. Correlation of AUDPC with Coefficient of Infection



شکل ۱- همبستگی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری با شدت بیماری  
Figure 1. Correlation of AUDPC with disease severity



شکل ۳- دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر ژنوتیپ های گندم بر اساس AUDPC نسبت به نژاد 6E158A<sup>+</sup> با استفاده از روش WARD و فاصله اقلیدسی

Figure 3. Dendrogram resulting from cluster analysis of the minimum variance method (WARD) and Euclidean distance based on AUDPC of wheat genotypes infected by 6E158A<sup>+</sup>



جدول ۲ - گروه بندی ژنوتیپ های گندم بر اساس سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری به روش WARD و فاصله اقلیدسی

Table 2. Grouping of wheat genotypes based on AUDPC using Ward's method and Euclidean distance

Group	AUDPC	Genotype
1	25-50	52, 50, 49, 43, 40, 37, 28, 11, 8, 1
2	50-90	54, 51, 46, 41, 39, 38, 30, 29, 26, 25, 21, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 11, 10, 9, 7, 2
3	90-120	55, 53, 42, 32, 27, 23, 4, 3
4	7-25	48, 47, 45, 44, 36, 35, 34, 33, 31, 24, 20, 12, 6, 5

با واکنش نیمه مقاوم گزارش کرد. نتایج به دست آمده در این تحقیق برای رقم Alvand مشابه و برای رقم Zarrin متفاوت بود. رقم Zarrin حساسیت بالایی به نژاد 6E158A+ داشت و در گروه سوم قرار گرفت. رقم Shahryar نسبت به نژاد 6E158A+ حساسیت بالایی داشت و در گروه سوم جای گرفت. برای این ارقام طی سالهای زراعی ۸۹-۱۳۸۳ نسبت به نژادهای غالب ایران، نیز واکنش 90S گزارش شده است (Anonymous, 2004, 2007). همچنین نسبت به نژاد 166E134A+ در شرایط اقلیمی استان کرمانشاه، حساسیت شدید (60-100) گزارش شده است (Anonymous, 2005, 2008). بر این اساس پیشنهاد می‌گردد این رقم از مجموعه ارقام مقاوم استان حذف گردد.

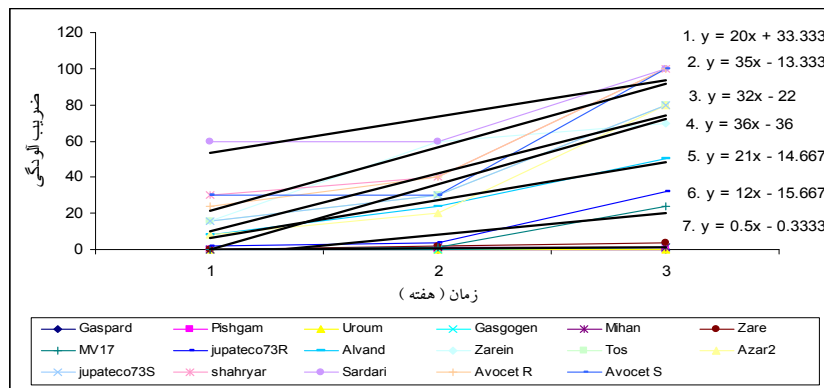
### سرعت گسترش آلودگی در ارقام تجاری

نظر به اینکه اپیدمی بیماری زنگ زرد گندم، ارتباط مستقیم با شرایط آب و هوایی، حساسیت ارقام، بقا و میزان مایه تلقیح در هر منطقه دارد، ارقام از نظر وضعیت آلودگی آن‌ها به زنگ زرد بررسی شدند و با یادداشت برداری‌های هفتگی از این مزارع، منحنی پیشرفت بیماری برای هر اقلیم ترسیم شد. با نگاهی به منحنی های ترسیم شده برای چهار اقلیم در رابطه با پیشرفت بیماری در طی زمان می‌توان دریافت که در منطقه گرم و خشک و مناطق سرد شروع و ظهور بیماری زودتر از مناطق دیگر بود ولی پیشرفت بیماری کندتر از مناطق مرطوب و معتدل بود. همچنین زاویه و شیب پیشرفت بیماری در این دو منطقه کندتر از مناطق دیگر بود لذا، مدیریت بیماری در این اقلیم‌ها متفاوت خواهد بود. از میان ارقام مربوط به اقلیم گرم و خشک رقم Star

از این گروه، نشان می‌دهد که در این رقم علاوه بر این ژن، ژن‌های مقاوم دیگری نیز وجود دارند (Afshari and Torabi, 2004). در منابع دیگر علت این حالت برای ژن *Yr18* چنین تفسیر شده است که این ژن به تنهایی مقاومت کامل ایجاد نمی‌کند و بایستی ژن‌های دیگری همراه با ژن *Yr18* باشند (Singh and Rajaram, 1994). مشابه این موضوع برای ارقام 81 Trap, Sonoita, Cook و Parula از ارقام گندم مکزیکی دیده شده است که علاوه بر ژن *Yr18* مقاومت گیاه کامل آن‌ها توسط دو تا سه ژن کوچک اثر کنترل می‌شود (Singh et al., 2002). با توجه به موارد ذکر شده احتمال حضور و همراهی این ژن با ژنهای دیگر در مزرعه وجود دارد و ممکن است عملکرد آنها با هم منجر به مقاومت بیشتر در گیاه گردد (Afshari and Torabi, 2004). در چنین ارقامی شانس شکسته شدن مقاومت در یک زمان کوتاه کاهش می‌یابد. بروز حساسیت در ارقام جدید مانند رقم Sivand (گروه دوم) آن هم پس از مدت کوتاهی بعد از توسعه کشت نشان دهنده عدم وجود ژن‌های مقاومت اختصاصی در این ارقام است. افشاری برای ارقام Tjan و Darab2 وجود حداقل یک ژن مرحله گیاهچه‌ای و یک ژن مرحله گیاه کامل را، عامل مقاومت نسبت به زنگ زرد در شرایط اقلیمی منطقه‌ای استرالیا دانست که یافته او با نتایج این تحقیق متفاوت بود (Afshari, 2000). بروز حساسیت در دو رقم Tajan و Darab2 در این بررسی نیز گواهی بر مقاومت اختصاصی در این ارقام است. همچنین Afshari (2000) برای رقم Alvand و Zarrin تنها یک ژن مرحله گیاه کامل

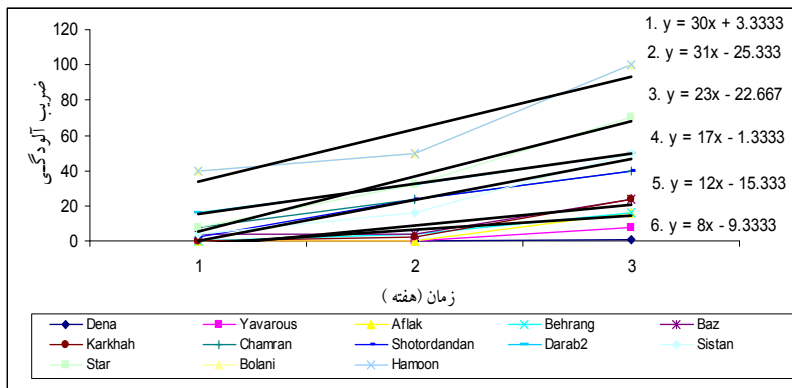
مورد بررسی بیش‌تر بودن شیب خط رقم Azar2 (معادله ۴) در مقایسه با شیب خط رقم Alvand (معادله ۵) و رقم MV17 (معادله ۶) در مقایسه با رقم Mihan (معادله ۷) از ارقام اقلیم سرد (شکل ۵)، بیش‌تر بودن شیب خط رقم Tajan (معادله ۱) در مقایسه با شیب خط رقم Kohdasht (معادله ۲) و شیب رقم Moghan3 (معادله ۳) در مقایسه با شیب خط رقم Karim (معادله ۴) از ارقام اقلیم گرم و مرطوب (شکل ۶) و همچنین شیب خط رقم Sivand (معادله ۲) در مقایسه با رقم Marvdasht (معادله ۵) از ارقام اقلیم معتدل (شکل ۴-۷) و مقایسه شیب خط رقم Karkheh (معادله ۵) با شیب خط رقم Behrang (معادله ۶) از ارقام اقلیم گرم و خشک (شکل ۴) دیده شد. چنین استنباط می‌شود که این امر حاصل نداشتن ژن‌های مقاومت در مرحله گیاه کامل و یا کم اثر بودن ژن‌های مرحله گیاهچه ای در مرحله گیاه کامل است. لذا پایین بودن شیب و خطی بودن معادله می‌توانند به عنوان معیاری مناسب برای انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب باشد. با توجه به شکل‌ها در ارقامی که معادله خطی آن‌ها با یک شیب ملایم در طی زمان افزایش یافته بود، شیب خط نشان دهنده تاثیر کم شرایط محیطی بر روی گسترش بیماری و یا داشتن مقاومت نسبی ناشی از تاثیر بعضی ژن‌های کم اثر در این ارقام می‌باشد.

(معادله شماره ۲) (شکل ۴) بیش‌ترین شیب خط را داشت که بیش‌تر از شیب خط رقم Bolani شاهد (شکل ۱) (شکل ۴) بود و این در حالی است که ضریب آلودگی نهایی برای رقم Star پایین‌تر بود. بر این اساس بالاتر بودن شیب خط آن بیانگر این است که در این رقم، حساسیت و آلودگی در طول سه مرحله یادداشت برداری بیش‌ترین تغییرات را داشته است. این حالت علاوه بر رقم Star در ارقام Azar2 (معادله ۴)، Tos (معادله ۳) از اقلیم سرد (شکل ۵) نیز دیده شد. همچنین در مقایسه شیب خط دو رقم Sistan (معادله ۳) و Darab2 (معادله ۴) از ارقام اقلیم گرم و خشک (شکل ۴) با ضریب آلودگی نهایی یکسان، شیب خط رقم Sistan بیش‌تر بود که نشان می‌دهد روند تغییرات و سرعت گسترش آلودگی در رقم Sistan بیش‌تر از رقم Darab2 بود. نتایج مشابه برای رقم Sardari (معادله ۲) در مقایسه با رقم Shahriyar (معادله ۱) از ارقام اقلیم سرد (شکل ۵)، رقم Nishabuor (معادله ۳) در مقایسه با رقم Bam (معادله ۴) از ارقام اقلیم معتدل (شکل ۷) دیده شد. همچنین با توجه به شکل‌ها ارقامی که دارای ضریب آلودگی اولیه یکسان اما ضریب آلودگی نهایی متفاوت بودند یا به عبارت دیگر ارقامی که ضریب آلودگی آن‌ها در یادداشت برداری‌های دوم و سوم با رشد رویشی گیاه و همچنین افزایش دما افزایش یافته بود، دارای شیب خط بیش‌تری بودند. در ارقام



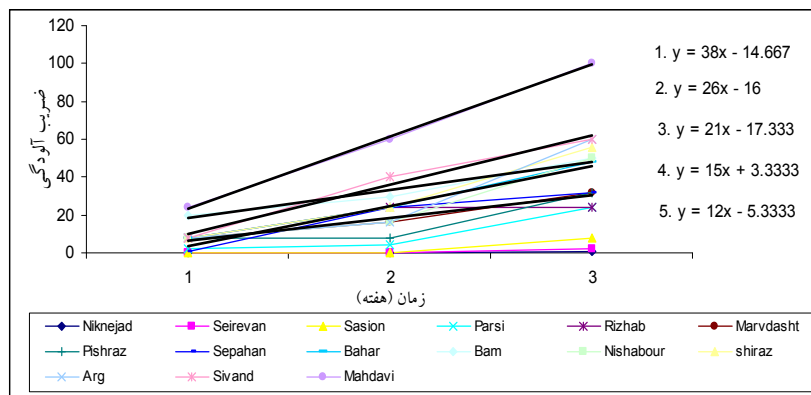
شکل ۵- نحوه تغییر سرعت گسترش بیماری در ژنوتیپ های گندم در اقلیم سرد

Figure 5. Trend of disease progress in wheat genotypes in cold climate



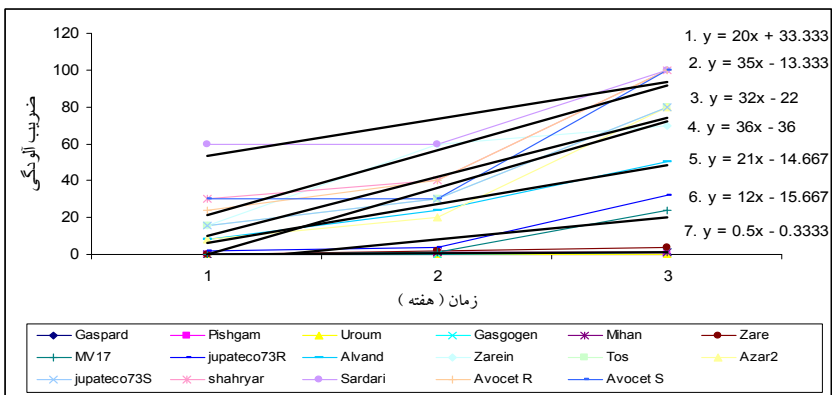
شکل ۴- نحوه تغییر سرعت گسترش بیماری در ژنوتیپ های گندم در اقلیم گرم و خشک

Figure 4. Trend of disease progress in wheat genotypes in southern hot and dry climate



شکل ۷- نحوه سرعت گسترش بیماری در ژنوتیپ های گندم در اقلیم معتدل

Figure 7. Trend of disease progress in wheat genotypes in moderate climate



شکل ۶- نحوه تغییر سرعت گسترش بیماری در ژنوتیپ های گندم در اقلیم گرم و مرطوب

Figure 6. Trend of disease progress in wheat genotypes in hot and wet climate

مرادی و همکاران: ارزیابی مقاومت گیاه کامل تعدادی از...

لازم برای انجام این تحقیق به عمل آوردند و حمایت مالی گروه گیاهپزشکی دانشگاه کردستان و همچنین استاد گران قدر جناب آقای دکتر محمد علی دهقان به پاس کمک های ایشان تشکر و قدردانی می گردد.

### سپاس‌گزاری

بدین وسیله از مدیریت موسسه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، واحد پاتولوژی بخش تحقیقات غلات که نهایت همکاری را در فراهم آوردن امکانات

### REFERENCES

- Afshari, F. 2000. Studies on stripe rust resistance in wheat with particular emphasis on stripe rust. Ph.D. Thesis, University of Sydney, Australia. P. 252.
- Afshari, F. 2013. Determination of physiological races of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in Iran. Final report, Seed and Plant Improvement Institute, 23 pp. (In Farsi).
- Afshari, F., Nazari, K., and Abrahamnejad, S. 2010. Identification of sources of resistance to stripe (yellow) rust in Iranian land races of wheat. 8th International wheat conference, 1-4 June, St. Petersburg, Russia. P. 220.
- Afshari, F., and Torabi, M. 2004. Preliminary evaluation of effective genes in adult plant as resistance source to wheat yellow rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. Seed and Plant Improvement, 21: 331-337. (In Farsi with English abstract).
- Alexopoulos, C. J., Mims, C. W., and Blackwell, M. 1996. Introductory Mycology. Fourth edition. New York, USA. John Wiley and Sons, P. 868.
- Ali, S., Shah, S. J. A., and Ibrahim, M. 2007. Assessment of wheat breeding lines for slow yellow rusting (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*). Pakistan Journal of Biological Sciences, 10: 3440-3444.
- Anonymous. 2004-2007. Annual reports (bread and durum wheat). Cereal Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. (In Farsi).
- Anonymous. 2005-2008. Annual reports of cereal pathology unit. Cereal Pathology Unit, Cereal Research Department, Seed and Plant Improvement Institute. (in Farsi).
- 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.
- 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.
- Carver, B. F. 2009. Wheat science and trade. Wiley-Blackwell. P. 616.
- Castro, A. J., Chen, X., Hayes, P. M., Knapp, S. J., Line, R. F., Toojinda, T., and Vivar, H. 2002. Coincident QTL which determine seedling and adult plant resistance to stripe rust in barley. Crop Science, 42: 1701-1708.

Johanson, R. 1980. Genetics of adult- plant resistance to yellow rust in winter wheat cultivars. Proceedings 5th European and Mediterranean Cereal Rust Conference, pp. 59-63.

Lin, F., and Chen, X. M. 2007. Genetics and molecular mapping of genes for racespecific all-stage resistance and non-race-specific high-temperature adult-plant resistance to stripe rust in spring wheat cultivar alpowa. Theoretical and Applied Genetics, 114: 1277–1287.

McIntosh, R. A., Wellings, C. R., and Park, R. F. 1995. Wheat rusts: an atlas of resistance genes. CSIRO, Australia, P. 200.

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.

Parlevliet, J. E. 1988. Resistance of the non-race-specific type. In. Roelfs, A .P. and Bushnell, W. R. (eds.), The cereal rusts, Vol. II: disease, distribution, epidemiology and control. Academic Press, Orlando, USA, P. 501-525.

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.

Rajaram, S. 2005. Role of conventional plant breeding and biotechnology in future wheat production. Turkish Journal of Agriculture, 29: 105-111.

Roelfs, A. P., Singh, R. P., and Saari E. E. 1992. Rust diseases of wheat. Concepts and methods of disease management. CIMMYT. Mexico, P: 81.

Safavi, S., Torabi, M., and Afshari, F. 2008. Resistance of some wheat cold climate candidate genotype to wheat yellow rust. Journal of Research in Agricultural Science, 4(1): 93-103. (in Farsi).

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.

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.

Singh, R., Huerta-Esind, P. J., and William, M. 2002. Additive genes for durable resistance to yello rust in wheat: Genetics, molecular mapping and breeding at Cimmyt. Meeting the Challenge of Yellow in Cereal Crops. ICARDA Published. P: 4-12.

Singh, R. P., and Rajaram, S. 1994. Genetics of adult plant resistance to strip rust in ten spring bread wheat. Euphytica. 72: 1-7.

مرادی و همکاران: ارزیابی مقاومت گیاه کامل تعدادی از...

Steel, K. A., Humphreys, E., Wellings, C. R., and Dickinson, M. J. 2001. Support for the stepwise mutation model for pathogen evolution in Australian *Puccinia striiformis* f. sp. *triticii* by use of molecular markers. *Plant Pathology*, 50: 174-180.

Torabi, M., Mardoukhi, V., Nazari, K., Afshari, F., Forootan, A. R., Ramai, 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*, 1: 9-12.

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.

Zadoks, J. C. 1961. Yellow rust of wheat, studies of epidemiology and physiologic specialization. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 67: 69-256.

Zadoks, J. C., Chang, T. T., and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Research*, 14: 415-421.

## Evaluating adult plant resistance of some wheat genotypes to 6E158A+pathotype causing wheat yellow rust

R. Moradi<sup>1</sup>, J. Amini<sup>2\*</sup>, G. Ahmadi<sup>3</sup> and H. Badakhshan<sup>4</sup>

1. Former M.Sc. Student, Plant Protection Department, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan
2. **\*Corresponding Author:** Associate Professor, Plant Protection Department, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran (jamini@uok.ac.ir)
3. Researcher and Ph.D. student, Agricultural and Natural Resources Research Center of Kermanshah
4. Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan

Received: 24 May 2015

Accepted: 10 January 2016

---

### Abstract

In this study, the reaction of 55 bread wheat genotypes to the dominant race of yellow rust was investigated under field condition in Kermanshah province. The genotypes were selected from four different climates including southern hot and dry, moderate, cold and hot and wet. Adult plant reaction of genotypes to yellow rust was evaluated following artificial inoculation by pathogen in booting stage and flowering stages. Disease severity, area under disease progress curve (AUDPC) and relative area under disease progress curve (rAUDPC) were also measured in wheat genotypes. Then, infection coefficients were calculated by combination of disease severity and infection type. Due to high significant correlation among infection coefficients and AUDPC, the cluster analysis of data was performed based on AUDPC. The wheat genotypes were partitioned to different groups according to 6E158A<sup>+</sup> resistance. The results showed that 25% genotypes had the lowest AUDPC, 18% average level, 14% the highest level and 43% average or high level of AUDPC.

**Keywords:** *Infection Type, Disease severity, AUDPC, Wheat*