Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 48, No 3, Autumn 2017 (709-720)
DOI: 10.22059/ijfcs.2017.209609.654136

علوم گیاهان زراعی ایران
دورۀ ۴۸، شمارۀ ۳، پاییز ۱۳۹۶ (ص ۷۲۰-۷۰۹)

ارزیابی نژادگان‌های مقاوم و حساس گندم نان به بیماری پاخوره از نظر صفات زراعی در مزرعه

مژگان قلی‌زاده وزوانی[۱]، حسین دشتی[۲*]، روح‌الله صابری ریسه[۳] و محمدرضا بی‌همتا[٤]
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشکدۀ کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان
۲. استاد، گروه ژنتیک و تولید گیاهی، دانشکدۀ کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان
۳. دانشیار، گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان
٤. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۲۳ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۱۳)

چکیده

گندم نان یکی از منابع غذایی با ارزشی است که در معرض بیماری‌های زیادی قرار گرفته که موجب کاهش کمیت و کیفیت آن می‌شود. از بیماری‌های مهم گندم، پاخورۀ گندم با عامل *Gaeumannomycs graminis* var. *tritici* است، که اغلب در مناطق مرطوب شیوع دارد. هدف از این بررسی، ارزیابی نژادگان (ژنوتیپ)های گندم نان با سطوح مقاومتی مختلف که از غربالگری گلخانه‌ای انتخاب شده بودند، در شرایط مزرعه و بررسی رابطۀ بین شاخص مقاومت به بیماری و صفات زراعی و عنصرهای کم‌مصرف بذر بود. برای این منظور ۱۵ نژادگان در شرایط آلوده به بیماری و بدون آلودگی در مزرعه کشت شدند و صفات: میزان سبزینه (کلروفیل)، کاروتنوئید، سطح برگ پرچم، ارتفاع، شمار سنبلچه در خوشه، طول خوشه، طول دمگل (پدانکل)، وزن صددانه، وزن دانه در خوشه، شمار دانه در خوشه، وزن کل دانه در بوته، وزن کل زیست‌توده (بیوماس)، شاخص برداشت و میزان عنصرهای کم‌مصرف بذر (آهن، منگنز و روی) اندازه‌گیری شد. میزان آهن موجود در بذر، در شرایط آلوده افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. در نهایت نژادگان‌های ٤۸۵، ۱۵۲۸، ۵۰۱، ۸۰۳۱ و ۵۸۵ از نظر بیشتر صفات اندازه‌گیری‌شده در مزرعه در شرایط آلوده به بیماری نسبت به دیگر نژادگان‌ها برتری داشتند و شدت بیماری اندازه‌گیری‌شده در گلخانه، با ارتفاع گیاه، وزن دانه در خوشه، سطح برگ پرچم، وزن صددانه و میزان آهن موجود در بذر که در مزرعه در شرایط آلوده به بیماری اندازه‌گیری شد، همبستگی منفی و معنی‌دار داشت که نشان می‌دهد، می‌توان از ارزیابی‌های گلخانه‌ای برای گزینش نژادگان‌های متحمل به بیماری پاخوره استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی مزرعه‌ای، پاخورۀ گندم، ذخایر توارثی گندم نان، مقاومت.

Evaluation agronomic traits of resistant and susceptible genotypes to take-all disease in bread wheat at field

Mojgan Gholizadeh Vezvani[1], Hossein Dashti[2*], Rouh-ollah Saberi Riseh[3] and Mohammadreza Bihamta[4]
1. M. Sc. Student, Department of Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran
2. Professor, Department of Genetics & Plant Production, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran
3. Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran
4. Professor, Department of Crop Sicence & Plant Breeding, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
(Received: Jun. 12, 2016 - Accepted: Dec. 3, 2016)

ABSTRACT

Bread wheat is a valuable food sources that has been attacked by many diseases and reduces its quantity and quality. One of the major diseases of wheat is wheat take-all caused by *Gaeumannomycs* graminis var. tritici that is often prevalence in humid regions. Aim of this study was to evaluate bread wheat cultivars with different levels of resistance to take-all that had been selected from screening at greenhouse, in field conditions and study on relationship between the disease resistance index and agronomic traits and micronutrients. For this purpose, 15 genotypes were planted in infected and non-infected conditions at field and the traits: chlorophyll, carotenoids, flag leaf area, height, number of spikelets per spike, spike length, peduncle length, 100kernel weight, seed weight per spike, number of grains per spike, total grain weight per plant, biological weight, harvest index and micronutrients in grain (Fe, Mn and Zn) were measured. The amount of Fe (in grain) in infected treatment showed a significant increase in compared to control. Finally genotypes 485, 1528, 501, 8031 and 585 were better than the others in the point of above traits at infected environment. The results showed that disease index measured in the greenhouse had a negative correlation with plant height, seed weight per spike, flag leaf area, 100kernel weight and amount of grain iron in infected conditions at field shows that greenhouse evaluations can be used for selection of tolerant genotypes to take-all disease.

Keywords: Bread wheat germplasm, field evaluation, resistance, take-all.

* Corresponding author E-mail: dashti@vru.ac.ir

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) گسترده‌ترین گونهٔ گندم و یکی از چهار محصول عمدهٔ مواد غذایی در جهان است (McMillan *et al*., 2014). پاخورهٔ گندم با عامل (Ggt) *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* یکی از بیماری‌های زیانبار ریشه است. این بیماری در آغاز بافت آوندی ریشه را از بین برده و آنگاه باعث انسداد و تغییر رنگ آوند چوبی می‌شود و بعد قاعدهٔ ساقه را آلوده می‌کند. پاخوره در مناطقی که دمای خاک بین ۱۵-۵ درجهٔ سلسیوس و pH خاک ۸/۵-۵/۵ باشد، گسترش می‌یابد (Wiese, 1987). در سال‌های اخیر در مناطقی که گندم زمستانه کشت می‌شود، این بیماری به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است و ازآنجایی‌که این بیماری در مناطقی شیوع می‌یابد که کشت پی‌درپی گندم رایج است، تأثیر منفی روی تولید و عملکرد گندم می‌گذارد (Sieling *et al*., 2007). همهٔ اجزای عملکرد (وزن زیست‌توده یا بیوماس، شمار دانه در خوشه، وزن هزاردانه و ...) تحت تأثیر این بیماری قرار می‌گیرند (Hornby *et al*., 1998). ضخیم شدن یاخته‌های قشر مغز ریشه در برابر قارچ عامل بیماری بازدارندهٔ مکانیکی ایجاد می‌کند که به نظر می‌رسد واکنش مقاومتی رقم‌های گندم در برابر بیماری پاخوره باشد (Liatukas *et al*., 2010). در پژوهشی که روی مقاومت رقم‌های جو نسبت به بیماری پاخوره انجام گرفت، مشخص شد که یکی از دلایلی که باعث تحمل بیشتر بعضی رقم‌ها به این بیماری می‌شود، ظرفیت بازسازی و جایگزینی ریشه‌های ثانویهٔ آسیب‌دیده در این رقم‌ها باشد (Asher, 1972). در بین عنصرهای کم‌مصرف، آهن نقش مهمی در نگه‌داری از سبزینه (کلروفیل) در گیاهان ایفا می‌کند، عنصر آهن می‌تواند آنزیم‌هایی که در آلودگی توسط بیمارگر (پاتوژن) در دفاع درگیر هستند را فعال کند (Singh, 2015). تاکنون غربالگری‌هایی در ذخایر توارثی (ژرم‌پلاسم) گندم برای مقاومت به بیماری پاخوره انجام گرفته است. در یک آزمایش مزرعه‌ای واکنش ۳۲۴ رگه (لاین) از رگه‌های اصلاحی گندم زمستانه ارزیابی شد. با بررسی و مقایسهٔ همبستگی بین شدت بیماری و وزن هزاردانه و دیگر صفات زراعی بین رگه‌ها، دو رقم (واریته) از نظر همهٔ صفات مورد بررسی برتر شناخته شدند (Liatukas *et al*., 2010). افزون بر این، در یک ارزیابی مزرعه‌ای، گندم، جو، تریتیکاله، یولاف و چاودار، از نظر صفات ارتفاع، پنجه‌زنی در هر متر و وزن هزاردانه بررسی شدند، نتایج به‌دست‌آمده نشان داد، هیچ کاهش عملکردی در صفات مورد بررسی در چاودار مشاهده نشد و در مقابل، گندم بیشترین کاهش را در صفات اندازه‌گیری‌شده داشت و به‌عنوان یک میزبان حساس نسبت به این بیماری در بین این غلات شناخته شد (Rothrock, 1988). در یک ارزیابی مزرعه‌ای واکنش سی رقم هگزاپلوئید گندم نان شامل رقم‌های بهاره و پاییزه، نسبت به پاخوره در پنج سال زراعی بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی رقم‌ها از نظر صفات زراعی نشان داد، رقم پاییزه Solstice در سه سال زراعی نسبت به دیگر رقم‌ها مقاوم‌تر بود (McMillan *et al*., 2014). در سال‌های ۱۹۷۰، غربالگری گلخانه‌ای برای بیش از ۱۲۰۰ رقم گندم نسبت به قارچ عامل پاخوره انجام گرفت، نتایج نشان داد، تنها سی رقم حساسیت کمتری به بیماری نشان دادند (Mattsson, 1973). همچنین حساسیت بیش از صد گونهٔ گندم و جو (۲۴ رقم گندم زمستانه، ۳۵ رقم گندم بهاره، ۵۵ رقم جو و دو نمونهٔ دورگ (هیبرید) بین گندم و چاودار) در ده آزمایش مزرعه‌ای بررسی شد. با اندازه‌گیری شدت بیماری مشخص شد، شماری از رقم‌های گندم حساسیت پایینی به بیماری نشان دادند و نتایج این آزمایش نشان داد، رقم‌های مقاوم شمار زیادی ریشه دارند و تفاوت بین رقم‌ها در درجهٔ اول به اندازهٔ شبکهٔ ریشه‌ای بستگی دارد (Nilsson, 1969). در سال ۲۰۱۳، ۱۰۸ رقم از رقم‌های مختلف گندم نسبت به بیماری پاخوره ارزیابی شدند. از بین این رقم‌ها تنها یک رقم با میانگین نمرهٔ بیماری ۰/۹ در گروه به نسبت مقاوم قرار گرفت. دیگر رقم‌ها در گروه‌های حساس و نیمه‌حساس قرار گرفتند و همبستگی ارتفاع، وزن خشک ریشه و ساقه با درجهٔ مقاومت، مثبت و معنی‌دار بود (Fei *et al*., 2013). در غربال‌سازی ذخایر توارثی گندم نان که در گلخانه توسط نگارندگان صورت گرفت، مشخص شد که شدت

بیماری همبستگی معنی‌داری با وزن خشک ریشه دارد و با افزایش شدت بیماری، وزن خشک ریشه کاهش می‌یابد و نژادگان (ژنوتیپ) های پاییزه نسبت به نژادگان‌های بهاره مقاومت بالاتری به بیماری پاخوره دارند و مقاومت به این بیماری به اندازهٔ شبکهٔ ریشه‌ای و تولید ریشه‌های اضافی بستگی دارد (Gholizadeh Vazvani *et al*., 2015; Gholizadeh Vazvani *et al*., 2016). در این پژوهش شماری از نژادگان‌های مقاوم و حساس به بیماری پاخوره از نظر صفات زراعی و برخی از عناصر معدنی در شرایط آلودگی مصنوعی به عامل بیماری پاخوره در مزرعه مورد ارزیابی قرار میگیرند. این نژادگان‌ها، نژادگان‌هایی هستند که مقاومت و حساسیت آنها به بیماری پاخوره و همچنین پائیزه یا بهاره بودن آنها قبلاً در شرایط گلخانه تعیین شده است.

مواد و روش‌ها

قارچ مورد استفاده

در این آزمایش از قارچ *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* جدایهٔ T-41 که از کلکسیون قارچ‌شناسی آزمایشگاه بیماری‌شناسی دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان تهیه شده بود، استفاده شد.

منبع ژنتیکی گیاهی مورد استفاده

منبع ژنتیکی گیاهی، شامل ۱۵ نژادگان گندم نان بود که مشخصات نژادگان‌ها شامل حساسیت و مقاومت به بیماری پاخوره، پاییزه و بهاره بودن، نمرهٔ (اسکور) بیماری و شاخص شدت بیماری (DI) بر پایهٔ ارزیابی‌های گلخانه‌ای در جدول ۱ آورده شده است (Gholizadeh Vazvani *et al*., 2015; Gholizadeh Vazvani *et al*., 2016). روش نمره‌دهی (اسکور) برای صفت شاخص نشانه‌های بیماری در گلخانه، بر پایهٔ مقیاس صفر تا پنج به شرح زیر برای هر گیاه درون گلدان انجام گرفت. شدت بیماری برای هر گلدان با رابطهٔ ۱ محاسبه شد (Ownley *et al*., 2003).

۰= ریشه‌ها و طوقه‌ها بدون لکهٔ بافت مرده (نکروزه)؛ ۱= ریشهٔ دارای یک یا چند لکهٔ بافت مرده و طوقهٔ بدون نشانه‌ها؛ ۲= ریشهٔ دارای لکه‌های پیوستهٔ بافت مرده (بافت مرده شدن بیشتر از ۲۵درصد و کمتر از ۵۰درصد ریشه‌ها) و طوقه بدون نشانه‌ها؛ ۳= بافت مرده شدن بیشتر از ۵۰درصد ریشه‌ها و سیاه‌شدگی طوقه؛ ۴= ریشه‌ها تا حدودی سیاه‌رنگ با توسعهٔ ۷۵درصد سیاه‌شدگی طوقه؛ ۵= سیاه شدن ریشه و طوقهٔ سبز خشکیدگی گیاه.

$$DI = \frac{\text{مجموع اسکورها در هر گلدان}}{\text{تعداد کل گیاهچه‌ها} \times ۵} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

جدول ۱. مشخصات نژادگان‌های کشت‌شده در این بررسی

Table 1. Characteristics of genotypes are used in this study

Row	No. of genotype in Collection1	Growth habit1	Disease index1	Range of score means	Response to disease1
1	168	Spring	1	4<Sc≤5	Highly sensitive
2	485	Winter	0	Sc= 0	Highly resistant
3	501	Spring	1	4<Sc≤5	Highly sensitive
4	585	Spring	0.83	4<Sc≤5	Highly sensitive
5	637	Spring	1	4<Sc≤5	Highly sensitive
6	707	Spring	0.9	4<Sc≤5	Highly sensitive
7	905	Spring	0.46	1<Sc≤2	Moderately resistant
8	1528	Winter	0	Sc= 0	Highly resistant
9	1532	Spring	0.83	4<Sc≤5	Highly sensitive
10	1622	Winter	0	Sc= 0	Highly resistant
11	1637	Winter	0	Sc= 0	Highly resistant
12	2156	Winter	0	Sc= 0	Highly resistant
13	2167	Winter	0.13	0<Sc≤1	Resistant
14	8031	Winter	0	Sc= 0	Highly resistant
15	9019	Spring	0.86	4<Sc≤5	Highly sensitive

1: Determined in greenhouse

۱: مشخص‌شده در گلخانه

خالص‌سازی و نگه‌داری قارچ و تهیهٔ زادمایهٔ بیمارگر (مایهٔ تلقیح)

محیط کشت انتخابی برای کشت قارچ Potato Dextrose Agar (PDA)، همراه با پادزی (آنتی‌بیوتیک) استرپتومایسین بود. برای تهیهٔ مایهٔ تلقیح، از ارزن استفاده شد. ۱۰۰ گرم بذر ارزن پخته شد که بیشترین جذب آب را داشته باشد، به همراه ۱۰۰ گرم ماسهٔ مرطوب درون ارلن ریخته و پس از مسدود کردن درب آن به فاصلهٔ دو روز دو بار در اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه سترون شد. چند حلقهٔ میسلیومی با قطر ۱ سانتی‌متر از حاشیه‌های در حال رشد پرگنهٔ قارچ عامل بیماری به هر یک از ارلن‌ها مایه‌زنی و در اتاقک رشد (انکوباتور) دمای ۲۸-۲۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۱۵ روز نگه‌داری شدند. ارلن‌ها از اتاقک رشد خارج و به مدت ۱۵ روز در دمای محیط، زیر نور طبیعی و فلورسنت گذاشته شد. در دورهٔ اخیر چندین بار ارلن‌ها برای هوادهی و جلوگیری از گلوله شدن، تکان داده شدند. محتوای ارلن‌ها در شرایط هود هوادهی و خشک و تا زمان استفاده در یخچال نگهداری شد (McMillan, 2012).

کشت در مزرعه

۱۵ نژادگان در شرایط آلودگی مصنوعی و بدون آلودگی (شاهد) به قارچ عامل بیماری به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با دو تکرار (ردیف) در ایستگاه کشاورزی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان کشت شدند. بذرهای گندم پیش از کشت، در پتری‌دیش در دمای آزمایشگاه جوانه‌دار شده و آنگاه برای کشت به مزرعه منتقل شدند. به‌منظور آلوده‌سازی، مایهٔ تلقیح به میزان ۲/۵ گرم همراه با بذرهای گندم در عمق ۲/۵ سانتی‌متری خاک قرار گرفت و روی آن با ماسه و خاک مزرعه پوشانیده شد (Wallwork, 1987). همچنین چهل روز پس از کشت، برای اطمینان از آلودگی، دوباره مایهٔ تلقیح کنار طوقهٔ گیاه قرار داده شد. آبیاری در زمستان هر هفته و در بهار هر سه روز یک‌بار انجام گرفت. صفات سبزینه و کاروتنوئید برحسب میلی‌گرم بر گرم (Arnon, 1949)، سطح برگ پرچم با دستگاه سنجش سطح برگ مدل CI-202, USA برحسب سانتی‌مترمربع، عنصرهای آهن، روی و منگنز موجود در بذر برحسب میکروگرم در هر گرم بذر (Champam *et al*., 1983) اندازه‌گیری شد. همچنین به‌منظور اندازه‌گیری صفات زراعی از هر ردیف دو بوته به‌طور تصادفی انتخاب و صفات زراعی ارتفاع و طول پدانکل (پدانکل) برحسب سانتی‌متر، وزن کل زیست‌توده، وزن کل دانه، وزن صددانه و وزن دانه در خوشه برحسب گرم. شمار دانه در خوشه و شمار سنبلچه در خوشه اندازه‌گیری و میانگین‌گیری شد.

تجزیه‌های آماری

با توجه به اینکه نژادگان‌های مورد بررسی بعضی پاییزه (زمستانه) و بعضی بهاره بودند و ازآنجایی‌که واکنش تیپ‌های پاییزه و بهاره نسبت به این بیماری متفاوت است (Gholizadeh Vazvani *et al*., 2015; Gholizadeh Vazvani *et al*., 2016) ، برای بررسی اثر تیپ رشد و اثر متقابل تیپ رشد و بیماری، تجزیهٔ واریانس برای صفات مختلف، بر پایهٔ طرح عاملی آشیانه‌ای و تقاطعی در طرح پایهٔ کامل تصادفی انجام گرفت (Montgomery, 1991). تجزیهٔ همبستگی، تجزیهٔ خوشه‌ای، تجزیه به عامل‌ها، رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیهٔ مسیر با نرم‌افزارهای آماری MINITAB 14 و Path 2 و مقایسهٔ میانگین‌ها بر پایهٔ آزمون LSD انجام شد. به‌منظور عادی شدن خطاهای آزمایش در صفات وزن کل زیست‌توده، شاخص برداشت، وزن دانه در خوشه و شمار دانه در خوشه از تبدیل لگاریتمی و رادیکالی استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیهٔ واریانس صفات سطح برگ پرچم، عنصرهای کم‌مصرف موجود در بذر، رنگیزه‌های نورساختی (فتوسنتزی) و صفات زراعی (جدول‌های ۲ و ۳) نشان داد، بین تیپ‌های بهاره و پاییزه از نظر صفات سطح برگ پرچم، میزان عنصر روی و منگنز بذر، سبزینهٔ (a و کل)، میزان کاروتنوئید، وزن صددانه، وزن کل زیست‌توده، ارتفاع، طول دمگل، طول خوشه، شمار سنبلچه و شمار و وزن دانه در خوشه

اختلاف‌های معنی‌داری در سطوح آماری ۰/۰۵ و ۰/۰۱ وجود دارد. همچنین بین تیمارهای آلوده و شاهد از نظر صفات آهن و منگنز بذر، سبزینهٔ a، سبزینهٔ b و کل، وزن کل دانه، ارتفاع، طول خوشه و شاخص برداشت از نظر آماری تفاوت وجود دارد. با توجه به معنی‌دار بودن عامل آلودگی در جدول تجزیهٔ واریانس و نژادگان درون تیپ رشد، برای صفات مختلف، مقایسهٔ میانگین تیپ‌های رشد و نژادگان‌ها درون تیپ رشد انجام شد (جدول ۴). معنی‌دار شدن اثر متقابل تیپ در آلودگی در صفات سطح برگ پرچم، عنصر روی موجود در بذر، وزن زیست‌توده، وزن کل دانه، ارتفاع و شمار سنبلچه نشان‌دهندهٔ این است که واکنش تیپ‌های بهاره و پاییزه نسبت به آلودگی یکسان نیست. نتایج جدول ۴، نشان داد که در تیپ بهاره، شرایط آلوده از نظر صفات سطح برگ پرچم، ارتفاع، سبزینهٔ a و b، سبزینهٔ کل و میزان آهن موجود در بذر نسبت به شاهد و شاهد از نظر شمار سنبلچه در خوشه نسبت به آلوده برتری داشت و در تیپ پاییزه، شرایط آلوده از نظر صفات ارتفاع، سبزینهٔ a، سبزینهٔ کل، طول خوشه و میزان آهن موجود در بذر نسبت به شاهد برتری نشان داد و از نظر صفات سطح برگ پرچم، وزن کل زیست‌توده، عنصر روی موجود در بذر و وزن کل دانه نسبت به شاهد نمود کمتری داشت. نتایج این پژوهش نشان داد، این بیماری در گندم پاییزه باعث کاهش سطح برگ پرچم، وزن کل زیست‌توده و وزن کل دانه که از صفات اصلی عملکرد هستند، می‌شود، که این نتیجه با نتایج دیگران مبنی بر کاهش عملکرد گندم در مقابل بیماری پاخوره به‌کلی همخوانی می‌کند (Sieling *et al*., 2007; Rothrock, 1988). از بین تیپ‌های پاییزه، نژادگان‌های ۴۸۵، ۱۵۲۸ و ۸۰۳۱ در شرایط آلوده، از نظر صفات میزان آهن بذر، رنگیزه‌های نورساختی، ارتفاع، طول خوشه، وزن کل زیست‌توده و سطح برگ پرچم بیشتر از شاهد عمل کردند که این نتیجه با نتایج دیگر محققان که رقم‌های زمستانهٔ گندم نان را در مقابل این بیماری غربال کردند و در آن برخی از این صفات در محیط آلودهٔ مزرعه نسبت به شاهد افزایش نشان دادند، همخوانی می‌کند (Liatukas *et al*., 2010; McMillan *et al*., 2014). در این پژوهش، این بیماری موجب کاهش عملکرد گندم پاییزه شده، ولی از سوی دیگر موجب افزایش ارتفاع، میزان عنصر آهن موجود در بذر و رنگیزه‌های نورساختی در محیط آلوده شد (جدول ۴). افزایش عنصر آهن (موجود در بذر) را در محیط آلوده می‌توان به کاهش وزن دانه در خوشه در نتیجهٔ بیماری نسبت داد و همچنین این احتمال وجود دارد که بعضی از بیمارگرهای قارچی با افزایش جذب آهن‌بر (سیدروفور) منجر به افزایش عنصرهای غذایی (به‌ویژه آهن) در گیاه می‌شوند. در بررسی‌هایی نیز که روی گونه‌های قارچ تریکودرما (*Thrichoderma* spp.) صورت گرفته است، در نتایج بررسی‌هایی مشخص‌شده که قارچ موجب افزایش رشد ریشه، محصول بیشتر و جذب و استفاده از مواد مغذی می‌شود (Harman *et al*., 2004).

جدول ۲. نتایج تجزیهٔ واریانس صفات سطح برگ پرچم، عنصرهای کم‌مصرف در بذر (آهن، منگنز، روی)، سبزینه و کاروتنوئید

Table 2. Analysis of variance for flag leaf area, micronutrients in grain (Fe, Mn, Zn), chlorophyll and Carotenoids

S.O.V	df	MS				df	MS			df	MS
		Carotenoid1	Total chlorophyll1	Chlorophyll b1	Chlorophyll a1		Zinc2	Manganese2	Ferric2		Flag Leaf Area3
Type	1	0.101*	0.956**	0.174ns	0.302**	1	0.213*	115.286**	88.56ns	1	1849.74**
Genotype (type)	13	0.082**	0.984**	0.185**	0.206**	9	0.087ns	25.602**	43.01ns	11	71.34**
Infection	1	0.0154ns	2.32**	0.204*	0.499**	1	0.112ns	20.202*	776.63**	1	0.10ns
Type × infection	1	0.007ns	0.041ns	0.061ns	0.001ns	1	0.18*	0.187ns	16.71ns	1	107.42**
infection × genotype (type)	13	0.129**	1.675**	0.244**	0.407**	9	0.083ns	11.927*	85.30*	11	109.25**
Error	30	0.016	0.085	0.043	0.022	22	0.041	4.586	31.11	26	9.03
CV (%)		15.39%	17.02%	26.11%	17.42%		9.60%	5.92%	11.75%		21.28%

ns، *، **: به ترتیب نبود اختلاف معنی‌دار، وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵، ۰/۰۱

۱، ۲ و ۳: به ترتیب در ۱۵، ۱۱ و ۱۳ نژادگان اندازه‌گیری شد.

ns,*, **: no significant, significant at 0.05, 0.01 and 0.001, respectively.

1, 2 and 3: were measured in 15, 11 and 13 genotypes respectively.

جدول ۳. نتایج تجزیهٔ واریانس صفات ریخت‌شناختی
Table 3. Analysis of variance for agronomic traits

S.O.V	df	MS									
		Grain number per panicle 1	Grain weight per panicle 2	Harvest index 1	Number of spike per cluster	Panicle length	Peduncle length	Height	Total weight seed per plant1	Total weight biological 1	100-kernel weight
Type	1	0.06**	1.38**	0.051ns	36.607*	231.263**	99.77*	6780.22**	0.04ns	0.19*	6.714**
Genotype (type)	13	0.06**	0.15**	0.055*	6.695ns	8.965**	108.03**	325.55**	0.29**	0.37**	1.672**
Infection	1	0.071ns	0.08ns	0.30**	11.719ns	12.691*	42.30ns	825.07**	0.40**	0.007ns	0.115ns
Type × infection	1	0.0005ns	0.01ns	0.055ns	94.862**	0.091ns	45.50ns	93*	0.40**	0.16*	0.011ns
infection × genotype (type)	13	0.045ns	0.01ns	0.034ns	19.991*	4.201*	27.23ns	94**	0.09	0.11**	0.256ns
Error	30	0.024	0.04	0.024	9.200	1.954	19.08	13.30	0.04	0.03	0.159
CV (%)		9.9%	20.43%	10.40%	13.52%	11.41%	11.11%	5.94%	18.80%	11.20%	8.52%

۱. به‌منظور عادی شدن تبدیل انجام شد.
1, 2. Transformed respectively for normality.

ns، *، **: به ترتیب نبود اختلاف معنی‌دار، وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵، ۰/۰۱.
ns,*, **: no significant, significant at 0.05, 0.01, and 0. 001 respectively.

مقایسهٔ میانگین نژادگان‌های مقاوم و حساس از نظر همهٔ صفات در شرایط آلوده انجام شد و نشان داد، نژادگان‌های مقاوم از نظر صفات سطح برگ پرچم، میزان عنصر آهن موجود در بذر، وزن دانه در خوشه، ارتفاع و طول خوشه نسبت به نژادگان‌های حساس تفاوت معنی‌داری دارند که رابطهٔ بین این صفات با مقاومت و حساسیت نژادگان‌ها را نشان می‌دهد (جدول ۵) که با نتایج نگارندگان در گلخانه همخوانی دارد (Gholizadeh Vazvani *et al*., 2015; Gholizadeh Vazvani *et al*., 2016). همچنین صفات ارتفاع، طول خوشه، وزن دانه در خوشه، سطح برگ پرچم و میزان عنصر آهن موجود در بذر همبستگی منفی و معنی‌داری با شدت بیماری (DI) اندازه‌گیری‌شده در گلخانه نشان دادند، یعنی با افزایش شدت بیماری میزان صفات بالا به طرز معنی‌داری در نژادگان‌ها کاهش می‌یابد (جدول ۶). این نشان می‌دهد که در پروژه‌های اصلاحی برای انتخاب نژادگان‌های متحمل به این بیماری می‌توان از ارزیابی گلخانه‌ای استفاده کرد.

با توجه به معنی‌دار بودن تأثیر نژادگان و آلودگی و اثر متقابل نژادگان در آلودگی در بسیاری از صفات زراعی و عنصرهای کانی و همبستگی بین صفات زراعی و عنصرهای کانی و همچنین همبستگی شمار زیادی از صفات زراعی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم با مقاومت به بیماری پاخوره، تجزیه‌وتحلیل‌های یک متغیره کارایی خوبی ندارند؛ لذا به‌منظور درک بیشتر و تعیین ارتباط بهتر بین صفات زراعی با مقاومت به بیماری پاخوره استفاده از روش‌های چندمتغیره لازم است. که در این رابطه تجزیهٔ خوشه‌ای، رگرسیون چندمتغیره، تجزیه به عامل‌ها و تجزیهٔ مسیر برای تعیین سهم و اهمیت نسبی هر یک از صفات در بیان تنوع ژنتیکی بین نژادگان‌ها در واکنش به بیماری از روش‌هایی هستند که کارایی بیشتری دارند و می‌توانند با ترکیب کردن صفات، ابعاد جدیدی از ماهیت روابط بین صفات را ارائه کرده و آسانگری در نتیجه‌گیری را فراهم کنند.

تجزیهٔ خوشه‌ای نژادگان‌ها در شرایط آلودگی

به‌منظور گروه‌بندی نژادگان‌ها، تجزیهٔ خوشه‌ای بر پایهٔ میانگین صفات زراعی در شرایط آلوده و شاخص شدت بیماری انجام گرفت. بنابر نتایج تجزیهٔ خوشه‌ای، نژادگان‌های ۱۶۸، ۵۸۵، ۱۵۳۲، ۷۰۷، ۶۳۷ و ۴۸۵ (گروه حساس) از نژادگان‌های ۹۰۵، ۱۶۳۷، ۲۱۶۷، ۸۰۳۱، ۱۵۲۸، ۱۶۲۲ و ۲۱۵۶ (گروه مقاوم)، جدا شدند. (استثنا مربوط به نژادگان مقاوم ۴۸۵، که در گروه حساس‌ها قرار گرفت) و یک گروه دوتایی جداگانه شامل ۵۰۱ و ۹۰۱۹ (شکل ۱). در سال ۲۰۱۲، ارزیابی ۴۹ نژادگان از گندم (۴۴ نژادگان از رقم‌های *Triticum monococum* و ۵ نژادگان از رقم‌های *T. aestivum* نسبت به بیماری پاخوره انجام گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ خوشه‌ای در بررسی‌های مولکولی، نژادگان‌های مقاوم و حساس را از همدیگر جداسازی کرد (McMillan, 2012).

با در نظر گرفتن صفت وزن دانه در خوشه (ws) به‌عنوان تابع و صفات شدت بیماری (DI)، وزن صددانه (kw)، ارتفاع (H)، طول خوشه (Ls) و سطح برگ پرچم (FLA) به‌عنوان صفات مستقل و پس از استانداردسازی، تجزیهٔ رگرسیون چند متغیرهٔ استاندارد انجام شد و در نهایت صفات شدت بیماری، وزن صددانه و طول خوشه وارد مدل شدند و رابطهٔ رگرسیون استاندارد به دست آمد (جدول ۷). ضرایب جزء در این رابطه نشانگر تأثیر مستقیم متغیرهای مستقل شدت بیماری، وزن صددانه و طول خوشه روی وزن دانه در خوشه هستند.

جدول ۴. نتایج آزمون تفاوت میانگین تیمارهای آلوده از شاهد درون تیپ رشدی بر پایهٔ آزمون LSD

Table 4. Test the difference between infected and control treatment (I-C) within growth types by LSD

Type	Genotype	Mean of characteristics						
		Carotenoid	Flag Leaf Area	Seed weight per panicle	Number of spike per panicle	Panicle length	Height	Total weight biological
		I-C	I-C	I-C	I-C	I-C	I-C	I-C
Spring	168	0.03ns	10.53**	0.06ns	1.35ns	2.5ns	-8*	-0.18ns
	501	0.03ns	4.57ns	-0.14ns	.4.1ns	1.5ns	6ns	0.38*
	585	0.68**	7.34*	0.74**	-6.9*	4**	31.5**	0.01ns
	637	-0.4**	8.69**	-0.48*	-6.6*	1.25ns	10**	0.24ns
	707	0.13ns	-	-0.34ns	0.1ns	1.5ns	1.5ns	0.07ns
	905	0.06ns	-13.01**	-0.34ns	-3.9ns	-2.5ns	6.5ns	0.26ns
	1532	0.06ns	-	0.02ns	-8.1*	0ns	-2ns	-0.45*
	9019	-0.14ns	-1.29ns	0.14ns	1.1ns	0ns	7ns	0.33ns
Mean		0.05ns	2.80*	-0.04ns	-3.35**	1.03ns	6.56**	0.08ns
LSD 0.05 (spring)1		0.08	2.18	0.14	2.18	1.07	3.61	0.12
LSD 0.01 (spring)1		0.12	2.95	0.19	2.94	1.35	3.52	0.16
Winter	485	0.36**	4.62ns	0.24ns	-2.33ns	5**	5ns	-0.61*
	1528	0.27*	7.66*	0.19ns	-5.5ns	0ns	8*	0.31ns
	1622	0.09ns	-15**	-0.26ns	-3.4ns	1.5ns	9*	-0.28ns
	1637	-0.2ns	-4.32ns	-0.14ns	5.9ns	-1.5ns	9*	-0.36ns
	2156	-0.65**	-20.4**	-0.33ns	4ns	1.5ns	16.5**	-0.45*
	2167	-0.27*	-4.65ns	-0.39ns	6ns	-1ns	15**	0.04ns
	8031	0.52**	10.97**	-0.08ns	6.78*	2.5ns	8*	0.42*
Mean		0.01ns	-3.01*	-0.11ns	1.63ns	1.14*	10.07**	-0.13*
LSD 0.05 (winter)1		0.09	2.33	0.15	2.34	1.07	2.79	0.13
LSD 0.01 (winter)1		0.12	3.15	0.20	3.15	1.44	3.76	0.17
LSD 0.052		0.25	6.17	0.40	6.18	2.85	7.43	0.37
LSD 0.012		0.34	8.34	0.55	8.34	3.84	10.02	0.50

ns، *، **: نبود اختلاف معنی‌دار، وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

ns,*, **: no significant, significant at 0.05 and 0.01, respectively.

۱: میزان LSD برای آزمون میانگین (I-C) هر تیپ رشدی.

1: The amount of LSD for mean test (I-C) per type of growth.

۲: میزان LSD برای آزمون (I-C) در هر نژادگان.

2: The amount of LSD for test (I -C) per genotype.

ادامهٔ جدول ۴. نتایج آزمون تفاوت میانگین تیمارهای آلوده از شاهد درون تیپ رشد بر پایهٔ آزمون LSD

Continued table 4. Test the difference between infected and control treatment (I-C) within growth types by LSD

Type	Genotype	Mean of characteristics						
		Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll	Zinc (µg /g)	Total seed weight per plant	Ferric (µg /g)	Manganese (µg /g)
		I-C	I-C	I-C	I-C	I-C	I-C	I-C
Spring	168	0.28*	0.3ns	0.50ns	-	-0.34ns	-	-
	501	-0.04ns	-0.01ns	-0.16ns	-0.3ns	0.40*	0.7ns	-2.25ns
	585	1.06**	0.99**	2.34**	-	-0.22ns	-	-
	637	-0.61**	-0.55*	-1.01**	0.5*	0.30ns	8.35	8.25**
	707	0.22ns	0.55*	0.9**	-	-0.01ns	-	-
	905	-0.02ns	0.01ns	-0.08ns	-0.2ns	0.03ns	15.35**	1.55ns
	1532	0.7**	0.11ns	1.20**	0.25ns	-0.72**	-8.75ns	-2.35ns
	9019	-0.02ns	-0.2ns	-0.19ns	-0.12ns	-0.20ns	10ns	0.95
Mean		0.22**	0.135ns	0.43**	0.016ns	-0.10ns	5.13*	1.23ns
LSD 0.05 (spring)1		0.10	0.14	0.21	0.14	0.14	3.98	1.51
LSD 0.01 (spring)1		0.14	0.20	0.28	0.18	0.19	5.32	2.02
Winter	485	0.95**	0.63**	1.84**	-0.05ns	-0.53*	13.9*	-4.4ns
	1528	0.92**	0.31ns	1.95**	-0.05ns	-0.08ns	11.7*	3.85ns
	1622	0.57**	0.4ns	1.17**	0ns	-0.46*	2.5ns	1.95ns
	1637	0.72**	-0.41ns	1.37**	-0.45*	-0.54*	14.35*	-2.1ns
	2156	-0.98**	-0.84**	-1.97**	-0.6**	-0.35ns	16.8**	1.3ns
	2167	0.08ns	-0.1ns	0.05ns	-	-0.24ns	-	-
	8031	-0.03ns	0.39ns	0.74*	-0.25ns	-0.18ns	-1.2ns	-0.65ns
Mean		0.31**	0.05ns	0.73**	-0.23**	-0.39**	9.67**	0.49ns
LSD 0.05 (winter)1		0.11	0.15	0.22	0.15	0.15	4.24	1.61
LSD 0.01 (winter)1		0.15	0.21	0.30	0.20	0.20	5.67	2.16
LSD 0.052		0.30	0.42	0.59	0.40	0.40	11.56	4.44
LSD 0.012		0.40	0.56	0.8	0.54	0.55	15.72	6.03

ns، *، **: نبود اختلاف معنی‌دار، وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

ns,*, **: no significant, significant at 0.05 and 0.01, respectively.

۱: میزان LSD برای آزمون میانگین (I-C) هر تیپ رشدی.

1: The amount of LSD for mean test (I-C) per type of growth.

۲: میزان LSD برای آزمون (I-C) در هر نژادگان.

2: The amount of LSD for test (I -C) per genotype.

جدول ۵. مقایسهٔ نژادگان‌های حساس و مقاوم از نظر همهٔ صفات در شرایط آلوده در سطح ۰/۰۵

Table 5. Comparison between resistant and sensitive genotypes for traits in infected condition at level 0.05

Response	DI1	Kw100	wpp	wspp	H	Lp	Ls	Sp	HI	ws	ns	Fe	Mn	Zn	a	b	a+b	car	FLA
Resistant	0.07a	4.85a	1.65a	1.03a	82a	32a	14a	17.49a	1.38a	1.44a	1.57a	54.03a	37.89a	2.05a	0.9a	0.78a	1.82a	0.81a	17.02a
Sensitive	0.91b	4.12b	1.65a	1.17a	55.6b	28a	10b	16.26a	1.52a	1.16b	1.53a	47.5b	34.91a	2.05a	1a	0.93a	2.02a	0.91a	9.32b

1. Determind in greenhouse

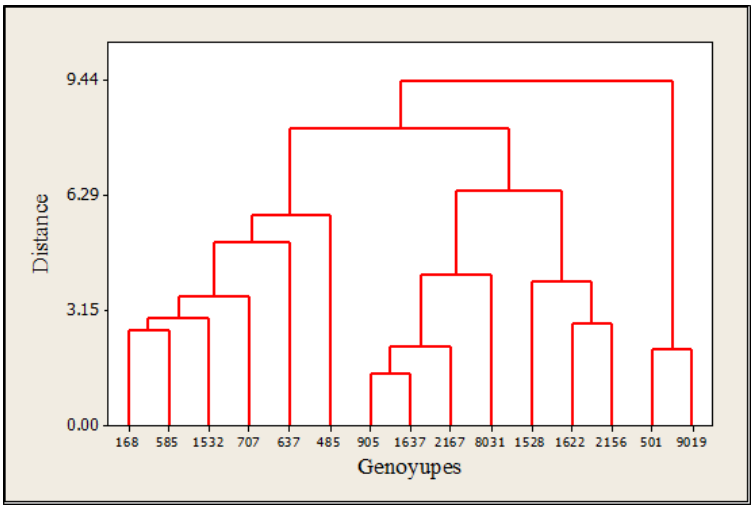
جدول ۶. همبستگی بین صفات تحت بررسی در شرایط آلوده

Table 6. Correlation between traits under study in infected conditions

Traits	DI1	kw100	wpp	wspp	H	Lp	Ls	Sp	HI	ws	ns	a	b	a+b	car	LI	Fe	Zn
Kw100	-0.576*	1																
wpp	-0.009	-0.25	1															
wspp	0.21	-0.34	0.8**	1														
H	-0.8**	0.53*	0.07	-0.1	1													
Lp	-0.36	0.15	0.07	-0.005	0.54*	1												
Ls	-0.89**	0.72**	-0.06	-0.25	0.6**	0.35	1											
sp	-0.20	-0.23	0.20	0.04	0.24	0.13	-0.14	1										
HI	0.39	-0.14	-0.38	0.14	-0.41	-0.15	0.33	-0.46	1									
ws	-0.56*	0.69*	0.17	0.029	0.42	0.03	0.72**	-0.39	-0.28	1								
ns	-0.14	-0.18	0.20	0.38	-0.01	0.27	0.19	-0.07	-0.29	-0.04	1							
a	0.13	0.08	0.10	-0.04	-0.2	-0.30	0.07	-0.55*	-0.26	0.34	-0.35	1						
b	0.24	-0.05	0.06	0.003	-0.28	-0.29	-0.15	-0.45	-0.12	0.18	-0.34	0.8**	1					
a+b	0.13	0.06	0.15	0.03	-0.18	-0.2	0.04	0.56*	-0.23	0.36	-0.33	0.9**	0.9**	1				
car	0.42	-0.23	0.19	0.09	-0.36	-0.17	-0.09	-0.36	-0.20	0.16	-0.09	0.7**	0.9**	0.8**	1			
FLA	-0.6*	0.40	-0.09	-0.37	0.56	0.24	0.6**	-0.03	-0.48	0.39	-0.18	0.12	-0.06	0.12	0.04	1		
Fe	-0.56*	0.50	0.18	0.15	0.46	0.007	0.38	0.18	-0.08	0.56*	-0.07	0.28	-0.34	-0.25	-0.30	0.18	1	
Mn	-0.47	0.51	-0.45	-0.5	0.54	0.6*	0.47	0.13	0.001	0.03	-0.23	-0.11	-0.30	-0.10	-0.33	0.6*	0.03	1
Zn	-0.06	-0.19	0.20	0.10	0.06	0.53	0.25	-0.09	-0.21	0.09	0.44	0.07	-0.06	0.07	0.28	0.39	0.11	0.13

وزن صددانه (kw100)، وزن کل زیست‌توده (wpp)، وزن کل دانه (wspp)، ارتفاع (H)، طول دمگل (Lp)، طول خوشه (Ls)، شمار سنبلچه در خوشه (sp)، شاخص برداشت (HI)، وزن دانه در خوشه (ws)، شمار دانه در خوشه (ns)، سبزینهٔ a (a)، سبزینهٔ b (b)، سبزینهٔ کل (a+b)، کاروتنوئید (car)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، روی (Zn)، سطح برگ پرچم (FLA)، شدت بیماری (DI) (مشخص‌شده در گلخانه).

100- Kernel weight= kw100, Total weight biological= wpp, Total weight seed per plant= wspp, Height= H, Peduncle length= Lp, Panicle length= Ls, Number of spike per panicle= sp, Harvest index= HI, Seed weight per panicle= ws, Number of seed per panicle= ns, Chlorophyll a= a, Chlorophyll b= b, Chlorophyll a+b= a+b, Corotenoid= car, Ferric= Fe, Manganese= Mn, Zinc= Zn, Flag Leaf Area= FLA, Disease index= DI (determined in greenhouse).



شکل ۱. نمودار به‌دست‌آمده از تجزیهٔ خوشه‌ای نژادگان‌های گندم نان به روش Ward بر پایهٔ میانگین استانداردشدهٔ صفات زراعی و مربع فاصلهٔ اقلیدسی

Figure 1. Dendrogram of cluster analysis of bread wheat cultivars Ward method is based on the average standard agronomic traits and the square Euclidean distance

جدول ۷. نتایج تجزیهٔ واریانس رگرسیون چندمتغیره

Table 7. Regression Analysis of variance

Source	Df	MS	p-value
Regression	3	2.88	0.012
Residual Error	11	0.48	
Total	14		

ws = 0.384DI + 0.304kw + 0.852Ls

با توجه به ضریب‌های رگرسیون در رابطهٔ رگرسیون، همهٔ ضریب‌ها مثبت هستند، این بدان معنی است که با افزایش این صفات، وزن دانه در خوشه افزایش می‌یابد. آنچه در این رابطه خلاف انتظار است، ضریب مثبت شدت بیماری است، چون شدت بیماری همبستگی منفی با وزن دانه در خوشه دارد؛ بنابراین انتظار می‌رود که با افزایش شدت بیماری، وزن دانه در خوشه کاهش یابد؛ لذا به نظر می‌رسد تأثیر سوء شدت بیماری روی وزن دانه در خوشه از راه غیرمستقیم توسط دیگر صفات اعمال شود که برای روشن شدن این مسئله تجزیهٔ علیت انجام شد (جدول ۸، شکل ۲). همان‌طور که مشاهده می‌شود، تأثیر سوء شدت بیماری روی وزن دانه در خوشه از راه اثر غیرمستقیم منفی آن روی وزن صددانه و طول خوشه اعمال می‌شود. یعنی با افزایش شدت بیماری مقادیر وزن صددانه و طول خوشه به‌شدت کاهش می‌یابد و در نهایت باعث کاهش وزن دانه در خوشه می‌شود.

جدول ۸. نتیجهٔ تجزیهٔ علیت و اثر مستقیم و غیرمستقیم صفات مختلف بر وزن دانه در خوشه

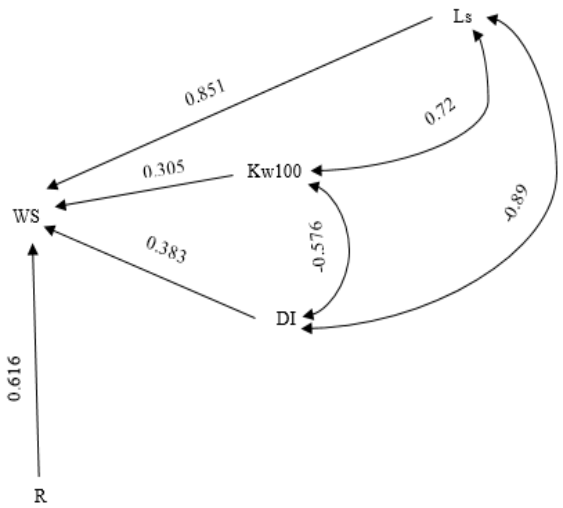
Table 8. The results of path analysis to show direct and indirect effect of different traits on seed weight per spike (ws)

Trait	Correlation with ws	Direct effects	Undirect effect		
			DI	kw100	Ls
DI1	-0.56	0.383	-	-0.176	-0.763
kw100	0.70	0.305	-0.220	-	0.614
Ls	0.72	0.851	-0.345	0.221	-
0.616 = Residual					

1: Determined in greenhouse. ۱: مشخص‌شده در گلخانه

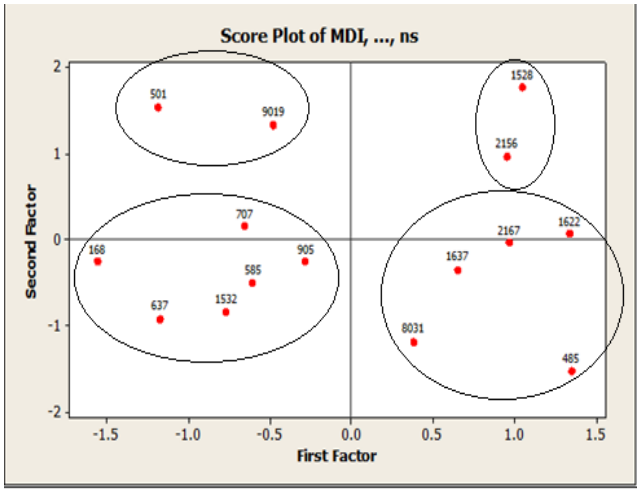
تجزیه به عامل‌ها

با توجه به وجود تنوع میان نژادگان‌های مورد بررسی در واکنش به بیماری پاخوره، به‌منظور تعیین نقش هر یک از صفات در تنوع موجود، تجزیه به عامل‌ها انجام شد. مقادیر واریانس توجیه‌شده عامل‌های یک تا پنج به ترتیب ۲۶/۷، ۱۷/۷، ۱۱/۸، ۱۰/۵ و ۱۰ درصد و در مجموع ۷۶/۷ درصد کل واریانس متغیرها را توجیه کردند. که عامل اول و دوم با داشتن مقادیر ویژهٔ بالا، درمجموع ۴۴/۴ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند. تفکیک و گروه‌بندی نژادگان‌ها بر پایهٔ دو عامل اول و دوم (جدول ۹) در شکل ۳ نشان داده شده است. عامل اول ضریب‌های بالا و معنی‌دار و مثبت روی صفات وزن صددانه، ارتفاع، طول خوشه و وزن دانه در خوشه دارد و همچنین ضریب منفی و معنی‌دار روی شدت بیماری دارد که نشان‌دهندهٔ این است که با کاهش شدت بیماری (افزایش مقاومت)، صفات زراعی بالا افزایش می‌یابند. این عامل را می‌توان عامل مقاومت به بیماری و اجزای عملکرد نامید، که تاییدکنندهٔ رابطهٔ رگرسیون چندمتغیره است و عامل دوم ضریب‌های بالا و معنی‌دار روی صفات وزن کل زیست‌توده و وزن کل دانه دارد، که به آن عامل عملکرد می‌گویند. گروه‌بندی رقم‌ها بر پایهٔ عامل اول و دوم تا حدودی با گروه‌بندی در تجزیهٔ خوشه‌ای در فاصلهٔ ۶/۲۹ همخوانی می‌کند.



شکل ۲. نمودار تجزیهٔ مسیر

Figure 2. Diagram of path analysis



شکل ۳. موقعیت نژادگان‌های گندم در نمودار دوبعدی بر پایهٔ عامل‌های اول و دوم

Figure 3. Diagram of two-dimensional position wheat genotypes based on the first and second factors

جدول ۹. ضریب‌های مربوط به صفات زراعی روی عامل اول و دوم در تجزیه به عامل‌ها

Table 9. Coefficients of agronomic traits on first factor and second factor analysis

Mean of traits	Factor 1	Factor 2
Disease index1	-0.953	0.069
100 kernel weight	0.455	-0.203
Total weight biological	0.022	0.942
Total weight seed per plant	-0.129	0.956
Height	0.714	0.011
Peduncle length	0.210	0.018
Panicle Length	0.876	-0.123
Number of spike per panicle	0.029	0.044
Harvest index	-0.273	-0.101
Seed weight per panicle	0.633	0.169
Number of seed per panicle	0.107	0.208
Explained variance	26.7%	17.7%

1: Determined in greenhouse. ۱: مشخص‌شده در گلخانه

با توجه به مشاهده‌های انجام گرفته روی نژادگان‌های کشت‌شده و مقایسهٔ گیاهان در شرایط آلوده با شاهد آن‌ها (بدون آلودگی)، در این آزمایش و در آزمایش دیگری که توسط نگارندگان در گلخانه انجام شد همبستگی منفی و معنی‌داری بین شدت بیماری و وزن خشک ریشه به دست آمد. بر پایهٔ گزارش نتایج بررسی‌های دیگران در منابع (Bailey *et al.*, 2006)، قارچ عامل بیماری به‌عنوان محرکی برای رشد گیاه در نژادگان‌های مقاوم عمل می‌کند. در این پژوهش نیز از نظر ظاهری مشاهده شد که نژادگان‌های مقاوم در شرایط آلوده نسبت به شاهد رشد رویشی بیشتری (افزایش ارتفاع، افزایش سیستم ریشه‌ای و تولید ریشهٔ اضافی) داشتند که این موضوع در شکل ۴ به‌خوبی آشکار و مشخص است. گیاهان تحت تیمار آلودگی با قارچ عامل بیماری پاخوره، در هنگام حملهٔ بیماری ریشهٔ اضافی تولید می‌کنند و این ریشهٔ اضافی باعث استقامت گیاه در مقابل آلودگی می‌شود و امکان بقای گیاه را در شرایط نامطلوب بیماری فراهم می‌کند. تولید ریشهٔ اضافی هم در نژادگان‌های بسیار مقاوم که هیچ آلودگی نشان ندادند و هم در بعضی نژادگان‌های حساس که آلودگی را نشان دادند، مشاهده شد. رشد بسیار ریشه هنگامی‌که با حملهٔ قارچ عامل بیماری روبه‌رو می‌شود، باعث می‌شود که بخشی از کاهش عملکرد ریشه را جبران کند (Colbach *et al.*, 1997). همچنین تفاوت‌های معنی‌داری در تولید ریشه در نتیجهٔ القای بیماری بین دو رقم زمستانه Savannah و Genghis گزارش شده است. در این شرایط رقم Genghis از راه افزایش در رشد ریشه، افزایش در القای مقاومت به بیماری بر علیه قارچ *Ggt* را نشان داد (Bailey *et al.*, 2006).

شکل ۴. رفتار رشدی نژادگان‌ها در مقابل بیماری. (A) نژادگان مقاوم و آلوده به قارچ، در مراحل اولیهٔ به خوشه رفتن؛ (B) نژادگان حساس و آلوده به قارچ، در مراحل اولیهٔ به خوشه رفتن؛ (C) تولید ریشهٔ اضافی در نژادگان متحمل در رویارویی با بیماری؛ (D) شبکهٔ ریشه‌ای نژادگان متحمل در تیمار آلوده؛ (E) شبکهٔ ریشه‌ای نژادگان متحمل در تیمار شاهد؛ (F) وضعیت ظاهری نژادگان‌های حساس در مرحلهٔ رسیدگی کامل؛ (G) وضعیت ظاهری نژادگان‌های متحمل در مرحلهٔ رسیدگی کامل.

Figure 4. The appearance of genotypes growth against disease. (A) Resistant and infected genotype in early stages of the heading; (B) Susceptible and infected genotype, in early stages of the heading; (C) additional roots production in tolerant genotype against the disease; (D) root system of tolerant genotype in infected treatment; (E) root system of tolerant genotype in control treatment; (F) The appearance of susceptible genotypes in full maturity stage; (G) The appearance of tolerant genotypes in full maturity stage.

نتیجه‌گیری کلی

واکنش‌های متفاوتی در بین نژادگان‌ها نسبت به بیماری پاخوره وجود داشت و بررسی‌های آماری نیز بیانگر وجود اختلاف‌های معنی‌دار در بعضی صفات اندازه‌گیری‌شده بین نژادگان‌ها و همچنین بین شرایط آلوده و شاهد بود. نژادگان‌های مقاوم در مقایسه با نژادگان‌های حساس، میزان بیشتری در بعضی از صفات رویشی و وزن دانه در خوشه، وزن صددانه و همچنین میزان بالای آهن موجود در بذر داشتند. تجزیه‌های چند متغیرهٔ رگرسیون، تجزیهٔ خوشه‌ای و تجزیه به عامل‌ها به‌خوبی ارتباط بین این صفات و شدت بیماری را (که در گلخانه اندازه‌گیری شده) نشان دادند. همچنین بر پایهٔ مشاهده‌های ظاهری، به‌طورکلی نژادگان‌های مقاوم شبکهٔ ریشه‌ای گسترده‌تری داشتند و در مقایسه با تیمار شاهد، تولید ریشه‌های اضافی کردند. به عبارتی می‌توان بیان داشت که این قارچ در شماری از نژادگان‌ها منجر به تحریک رشد و ایجاد مقاومت می‌شود. از بین عنصرهای غذایی مورد بررسی غلظت آهن بذر در تیمار آلوده به قارچ به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت که به‌احتمال‌زیاد به علت کاهش وزن دانه در خوشه بوده و یا اینکه این قارچ در بعضی نژادگان‌ها موجب جذب بیشتر مواد غذایی می‌شود. با توجه به نتایج این پژوهش، می‌توان گفت که نژادگان‌های مختلف گندم نان سازوکارهای مقاومتی متفاوتی برای چیرگی بر عامل بیماری دارند. ممکن است سازوکارهای دفاعی به‌طور طبیعی در گیاه وجود داشته باشد؛ مانند ضخیم بودن دیوارهٔ یاخته‌ای که بیمارگر به دلیل ساختار گیاه نمی‌تواند وارد گیاه شود؛ افزون بر این ممکن است سازوکارهای دفاعی پس از حملهٔ بیمارگر در گیاه فعال شود که با افزایش جذب مواد غذایی مانند آهن و بیان آنزیم‌های دفاعی همراه باشد که بسته به رابطهٔ بین میزبان- بیمارگر، حساسیت یا مقاومت در گیاه به‌وجود می‌آید.

REFERENCES

1. Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolate chloroplasts polyphenol oxidas in Beta vulgaris. *Journal of Pant Physiology*, 24, 1-15.
2. Asher, M. J. C. (1972). Effect of Ophiobolus graminis infection on the growth of wheat and barley. *Annals of applied Biology*, 70(3), 215-223.
3. Awasthi, L. P. (2015). Singh, In: D. P. (Ed). Plant nutrition in the management of plant disease with particular reference to wheat. (pp. 273-284) Springer Science.
4. Bailey, D. J., Kleczkowski, A. & Gilligan, C. A. (2006). An epidemiological analysis of the role of disease-induced root growth in the differential response of two cultivars of winter wheat to infection by *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. *Phytopathology*, 96, 510-516.
5. Champam, B., Jones, D. & Jung, R. (1983). Processes controlling metal ion attenuation in acidmine draingge streams. *Geochemical and Cosmochimica Acta*, 47, 1957-1973.
6. Colbach, N., Lucas, P. & Meynard, J. M. (1997). Influence of crop management on take-all development and disease cycles on winter wheat. *Phytopathology*, 87, 26-32.
7. Fei, X., Gongqiang, Y., Wenlan, H., Yuli, S., Junmei, W. & Yahong, L. (2013). Evaluation of resistance to take-all disease in different wheat cultivars or lines. *Plant Protection*, 2, 31-45.
8. Gholizadeh Vazvani, M., Dashti, H., Saberi Riseh, R. & Bihamta, M. R. (2015). Comparison Between spring and autumn growth types of different wheat (*Triticum aestivum*) genotypes in response to Take-all disease. *Iranian Journal of Plant Protection*, 46(2), 307-316. (in Farsi)
9. Gholizadeh Vazvani, M., Dashti, H., Saberi Riseh, R. & Bihamta, M. R. (2016). Study of relationship between of vegetative traits and resistance to take-all disease in greenhouse condition. *Iranian Journal of Plant Protection*. (in Farsi). (Un Published)
10. Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I & Lorito, M. (2004). Trichoderma species opportunistic, avirulent plant symbionts. Microbiology, 2: 43-56.
11. Hornby, D., Bateman, G. L. & Gutteridge, R. J. (1998). Take-all disease of cereals: A regional perspective. CAB International.
12. Liatukas, Z., Ruzgas, V. & Razbadu Skiene, K. (2010). Take-all resistance of Litvanian winter wheat breeding lines. *Agronomy Research*, 3, 653-662.
13. Mattsson, B. 1973. Screening of varieties for resistance to the take-all fungus and the transference of resistance to Swedish material. *Sveriges Utsades Forenings Tidskrift*, 83, 281-297
14. McMillan, V. E. (2012). *Identification and characterization of resistance to the take-all fungus in wheat*. Ph. D. thesis. University of Exeter.
15. McMillan, V. E., Gutteridge, R. J. & Hammond-Kosack, K. E. (2014). Identification variation in resistance to the take-all fungus, Gaeumannomyces graminis var. tritici between different ancestral and modern wheat sepsis. *BMC Plant Biology*, 14, 212.
16. Montgomery, D. C. (1991). *Design and analysis of experiments*. (3rd edition). John Wiley & Sons.
17. Nilsson, H. E. (1969). Studies of root and foot rot diseases of cereals and grasses. I. On resistance to Ophiobolus graminis Sacc. *Annals of the Agricultural College of Sweden*, 35, 275-807.
18. Ownley, B. H., Duffy, B. K. & Weller, D. M. (2003). Identification and manipulation of soil properties to improve the biological control performance of phenazine-producing Pseudomonas fluorescens. *Applied and Environmental Microbiology*, 69, 3333-3343.
19. Rothrock, C. S. (1988). Effect of chemical and biological treatments on take-all of winter wheat. *Crop Protection*, 7, 20-24.
20. Sieling, K., Ubben, K. & Christen, O. (2007). Effects of preceding crop, sowing date, N fertilization and fluquinconazole seed treatment on wheat growth, grain yield and take-all/Einfluss von Vorfrucht, Aussaattermin, N-Düngung und Saatgutbehandlung mit Fluquinconazol auf die Entwicklung und den Kornertrag von Weizen sowie den Befall mit Schwarzbeinigkeit. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 213-220.
21. Singh, D. P. (2015). Plant nutrition in the management of plant disease with particular reference to wheat. *Springer Science*, 273-284.
22. Wallwork, H. (1987). Screening for resistance to take-all in wheat, triticale and wheat-triticale hybrid lines. *Printed in the Netherlands*, 40, 103-109.
23. Wiese, M. V. (1987). *Compendium of wheat disease*. (2nd ed.). APS Press.