

## Research Paper

# Evaluation of Resistance of Bread Wheat Genotypes to Different Races of Powdery Mildew

Reza Khaliliazar<sup>1</sup>, Ahmad Reza Golparvar<sup>2</sup>  and Mehdi Zahravi<sup>3</sup>

- 1 - Ph.D student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran  
2- Associate professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran,  
(Corresponding author: dragolparvar@gmail.com)  
3- Assistant professor of Agricultural Engineering, Research Institute for Improvement and Preparation of Seedlings and Seeds, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

Received: 19 January, 2024

Accepted: 14 April, 2024

## Extended Abstract

**Background:** Wheat is the key crop in many parts of the world that has the largest cultivated area. As much as 30% of all grains produced in the country belong to wheat, which is known as the main food of half of the world's people. At the same time, environmental stresses, including biotic stresses, have been one of the most important factors in reducing wheat yield in recent years. Powdery mildew (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*) is one of the important diseases of wheat that causes great losses to wheat production every year. On the other hand, the resistance of resistant wheat genotypes is not constant over time, and the resistance of almost all resistance genes commonly used in the world has been broken by new pathogenic strains of powdery mildew. This is because research has shown that the high pressure imposed by resistance genes on disease-causing populations has caused the rapid evolution of new pathogenic races, resulting in the loss of resistance. For this reason, one of the most effective and logical methods of controlling this disease, which is most compatible with the environment and sustainable agriculture, is the identification and production of resistant cultivars.

**Methods:** In the present study, 32 different bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) available in the Genetics Research Department and National Plant Gene Bank of Iran, Seedling and Seed Breeding Research Institute, exposed to 10 different pathotypes (Maghan 1, Maghan 2, Maghan 3, Maghan 4, Mughan 5, Gorgan 1, Gorgan 2, Sari 1, Sari 2, and Gonbad) of this mushroom were assessed for their resistance level in the two-leaf stage under greenhouse conditions. The investigated pathotypes of powdery mildew, collected from disease-prone areas of Iran, included five pathotypes from Mughan, two pathotypes from Gorgan, two pathotypes from Sari, and one pathotype from Gonbad Kavus. The disease isolates were propagated on the sensitive Bolani variety, which lacks the Pm gene. Genotypes were inoculated with single-cloned isolates by the rubbing method. One week after inoculation, the reaction of differential cultivars toward the disease was examined based on a scale of 0-4 according to the Mains and Dietz method. Based on this scale, pollution types zero, one, and two are in the resistant group, and pollution types three and four are in the sensitive group. In this research, the Bolani variety was determined as a sensitive control to powdery mildew disease.

**Results:** Among the 10 powdery mildew pathotypes collected from important contamination centers in Iran, the examined genotypes showed the highest resistance to the Mughan5 pathotype. Genotypes TN127, TN79, TN7, TN180, and TN72 showed the highest resistance to 10 pathotypes on average. In total, the comparison of different powdery mildew pathotypes revealed that the Mughan5 and Sari1 pathotypes showed the lowest and the highest pathogenicity, respectively. In addition, the correlation between pathotypes was estimated to identify pathotypes with similar pathogenic power, indicating that the Mughan5 pathotype showed the lowest correlation with the other pathotypes, which probably uses a different mechanism for pathogenicity. Mughan2 presented the highest significant correlation, with Mughan3 (0.87) and Gorgan2 (0.81), which indicates the similarity of the pathogenic mechanism in these three pathotypes. On the other hand, the results of the cluster analysis divided the genotypes into two separate groups in terms of resistance to powdery mildew, and many of the investigated genotypes were included in the susceptible Bolani cultivar group. In addition, cluster analysis for powdery mildew pathotypes showed that the Mughan5 pathotype was in one group, and the rest of the pathotypes were in another group. Bi-plot and three-dimensional analyses based on the data analysis into principal components for the first and second components (87.95% of the total variance changes) showed

that the Moghan 5 pathotype had a lower correlation with the other pathotypes. The negative side of the first component and the negative side of the second component showed the resistance of the genotypes. Thus, the resistant genotypes were placed in area 1.

**Conclusion:** The genotypes examined in this research have not been evaluated so far for resistance to powdery mildew. Therefore, sources of resistance identified in this way are reported for the first time. In general, a potential variation was observed among the genotypes with respect to different pathotypes. In terms of pathogenicity, the Mughan5 pathotype showed the least pathogenicity among the examined genotypes. Resistant genotypes in this research can be used as promising genotypes in wheat breeding programs. Overall, the findings of this research indicate a desirable diversity among the genotypes studied in terms of resistance to various strains of the disease. However, since identifying the resistance of mature plants requires screening the genotypes under field conditions and takes a considerable amount of time, it is suggested to utilize molecular markers associated with resistance to powdery mildew in future research.

**Keywords:** Disease index, Disease resistance, Powdery mildew, Wheat

|                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>How to Cite This Article:</b> Khaliliazar, R., Golparvar, A., &amp; Zahravi, M. (2024). Evaluation of Resistance of Bread Wheat Genotypes to Different Races of Powdery Mildew. <i>J Crop Breed</i>, 16(3), 137-147. DOI: 10.61186/jcb.16.3.137</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



## مقاله پژوهشی

## ارزیابی مقاومت ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم نان به‌نژادهای مختلف سفیدک پودری

رضا خلیلی‌آذر<sup>۱</sup>، احمدرضا گل‌پرور<sup>۲</sup> و مهدی زهراوی<sup>۳</sup><sup>۱</sup> - دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران<sup>۲</sup> - دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران،

(نویسنده مسوول: dragolparvar@gmail.com)

<sup>۳</sup> - استادیار مهندسی کشاورزی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۹

صفحه: ۱۳۷ تا ۱۴۷

## چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** گندم مهمترین گیاه زراعی در بسیاری از نقاط دنیاست که بیشترین سطح زیر کشت را نیز به‌خود اختصاص داده است. تا جایی که ۳۰ درصد کل غلات تولید شده در دنیا به گندم تعلق دارد و به‌عنوان غذای اصلی نیمی از مردم دنیا شناخته می‌شود. در عین حال، تنش‌های محیطی از جمله تنش‌های زیستی از مهمترین عوامل کاهش عملکرد گندم در سال‌های اخیر بوده است. سفیدک پودری (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*) یکی از بیماری‌های مهم گندم است که سالانه خسارات زیادی را به تولید گندم تحمیل می‌کند. از طرفی، مقاومت ژنوتیپ‌های مقاوم در گندم در طول زمان ثابت نیست و مقاومت تقریباً تمام ژن‌های مقاومت که به‌طور معمول در دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرند، توسط نژادهای جدید بیماری‌زای سفیدک پودری شکسته شده است. زیرا تحقیقات نشان داده که فشار زیاد تحمیل شده از سوی ژن‌های مقاومت بر روی جمعیت‌های بیمارگر، سبب تکامل سریع نژادهای بیماری‌زای جدید و به‌تبع آن، از بین رفتن مقاومت شده است. به‌همین دلیل، یکی از مؤثرترین و منطقی‌ترین روش‌های کنترل این بیماری که بیشترین سازگاری را با محیط زیست و کشاورزی پایدار داشته باشد، شناسایی و تولید ارقام مقاوم است که در این پژوهش نیز به بررسی مقاومت ژنوتیپ‌های ایرانی جهت دستیابی به ارقام مقاوم پرداخته شده است.

**مواد و روش‌ها:** در مطالعه حاضر تعداد ۳۲ ژنوتیپ مختلف گندم نان (*Triticum aestivum* L.) موجود در بخش تحقیقات ژنتیک و بانک ژن گیاهی ملی ایران، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، در معرض ۱۰ پاتوتایپ با بیشترین میزان آلودگی در منطقه (مغان ۱، مغان ۲، مغان ۳، مغان ۴، مغان ۵، گرگان ۱، گرگان ۲، ساری ۱، ساری ۲ و گنبد) این قارچ قرار گرفتند و میزان مقاومت آن‌ها در مرحله دو برگی در شرایط گلخانه مورد بررسی قرار گرفت. پاتوتایپ‌های مورد بررسی سفیدک پودری که از نقاط بیماری خیز کشور جمع‌آوری شده بودند، شامل پنج پاتوتایپ از مغان، دو پاتوتایپ از گرگان، دو پاتوتایپ از ساری و یک پاتوتایپ از گنبد کاووس انجام بود. تکثیر جدایه‌های بیماری روی رقم حساس بولانی که فاقد ژن Pm می‌باشد، انجام گرفت. ژنوتیپ‌ها توسط جدایه‌های تک کلونی شده به‌روش مالشی تلقیح شدند و یک هفته بعد از تلقیح، واکنش ارقام افتراقی نسبت به بیماری براساس مقیاس صفر تا چهار طبق روش مینز و دیتز صورت گرفت. براساس این مقیاس تیپ آلودگی صفر، یک و دو در گروه مقاوم و تیپ آلودگی سه و چهار در گروه حساس قرار می‌گیرد. در این پژوهش، رقم بولانی (Bolani) به‌عنوان شاهد حساس به بیماری سفیدک پودری در نظر گرفته شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی از بین ۱۰ پاتوتایپ سفیدک پودری جمع‌آوری شده از مراکز مهم آلودگی در کشور، بیشترین مقاومت را نسبت به پاتوتایپ مغان ۵ نشان دادند. ژنوتیپ‌های TN7، TN79، TN127، TN180 و TN72 به‌طور میانگین، بیشترین مقاومت را به ۱۰ پاتوتایپ مورد بررسی نشان دادند. در مجموع، مقایسه پاتوتایپ‌های مختلف سفیدک پودری نشان داد که پاتوتایپ مغان ۵ کمترین میزان بیماری‌زایی و ساری ۱ بیشترین را نشان داد. علاوه بر این، همبستگی بین پاتوتایپ‌ها به‌منظور شناسایی پاتوتایپ‌های با قدرت بیماری‌زایی مشابه انجام شد که نشان داد که پاتوتایپ مغان ۵ کمترین همبستگی را با سایر پاتوتایپ‌ها نشان داد که احتمالاً از مکانیسم متفاوتی برای بیماری‌زایی استفاده می‌کند. همچنین بالاترین میزان همبستگی معنی‌دار بین مغان ۲ با مغان ۳ (۰/۸۷) و گرگان ۲ (۰/۸۱) مشاهده شد که نشان دهنده مشابهت مکانیزم بیماری‌زایی در این سه پاتوتایپ است. از طرفی، نتایج تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌ها را از نظر مقاومت به سفیدک پودری به دو گروه مجزا تقسیم نمود که بسیاری از ژنوتیپ‌های مورد بررسی در گروه رقم حساس بولانی قرار گرفتند. علاوه بر این، تجزیه کلاستر برای پاتوتایپ‌های سفیدک پودری نشان داد که پاتوتایپ مغان ۵ در یک گروه و بقیه پاتوتایپ‌ها در یک گروه دیگر قرار گرفتند. تجزیه بای‌پلات و سه‌بعدی براساس داده‌های تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای دو مؤلفه اول و دوم (۸۷/۹۵ درصد از تغییرات کل واریانس) نشان داد که پاتوتایپ مغان ۵ همبستگی کمتری با سایر پاتوتایپ‌ها دارد. سمت منفی مؤلفه اول و همچنین سمت منفی مؤلفه دوم میزان مقاومت ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که در ناحیه ۱ ژنوتیپ‌های مقاوم قرار گرفتند.

**نتیجه‌گیری:** ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این تحقیق تاکنون برای مقاومت به بیماری سفیدک پودری مورد ارزیابی قرار نگرفته‌اند. بنابراین، منابع مقاومتی که بدین طریق شناسایی شدند، برای اولین بار گزارش می‌شوند. به‌طور کلی، تنوع بالقوه‌ای در بین ژنوتیپ‌ها نسبت به پاتوتایپ‌های مختلف مشاهده شد. از نظر بیماری‌زایی نیز از بین پاتوتایپ‌های مورد بررسی، پاتوتایپ مغان ۵ کمترین بیماری‌زایی را در ژنوتیپ‌های مورد بررسی نشان داد. ژنوتیپ‌های مقاوم در این پژوهش می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش در برنامه‌های به‌نژادی گندم مورد استفاده قرار گیرند. رویهم رفته، از یافته‌های این تحقیق چنین برمی‌آید که تنوع مطلوبی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر مقاومت به نژادهای مختلف بیماری وجود دارد. با این وجود از آنجائی که شناسایی مقاومت گیاه بالغ منوط به غربالگری ژنوتیپ‌ها در شرایط مزرعه و صرف زمان زیادی می‌باشد، پیشنهاد می‌گردد از نشانگرهای مولکولی پیوسته با مقاومت به سفیدک پودری در تحقیقات آتی استفاده به‌عمل آید.

**واژه‌های کلیدی:** سفیدک پودری، شاخص بیماری، گندم، مقاومت به بیماری

## مقدمه

2024). در عین حال، این گیاه توسط طیفی از بیماری‌های قارچی اندام‌های هوایی مورد هجوم واقع می‌شود (Azodi et al., 2023). یکی از این بیماری‌ها، سفیدک پودری است که توسط قارچ آسکومیست *Blumeria graminis* f.sp. *tritici* ایجاد می‌شود. این بیماری به‌صورت کلنی‌های سفید رنگی که

گندم غذای اصلی بسیاری از مردم دنیا و دارای بیشترین سطح زیر کشت در جهان است. این گیاه با تولید سالانه ۷۰۵ میلیون تن، ۳۰ درصد کل غلات تولید شده در جهان را تشکیل می‌دهد (Mustafa et al., 2017; Vahed Rezaei et al.,

ژنوتیپ‌های بومی گندم ذخایر ژنتیکی ارزشمندی محسوب می‌شوند و گاهی اوقات حامل چندین ژن برای مقاومت به بیماری‌ها مختلف هستند، علاوه بر اینکه نسبت به شرایط محیطی بومی سازگاری بیشتری دارند (Wang *et al.*, 2012)، لذا شناسایی ژن‌های مقاومت در این ژنوتیپ‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است (Asad *et al.*, 2014).

لاین‌های مقاوم به سفیدک پودری به‌عنوان مواد آزمایشی برای درک اثر متقابل میزبان-بیمارگر و پاسخ دفاعی در گیاهان زارعی عمده مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Bhullar *et al.*, 2011). ولی تحقیقات محدودی در زمینه بررسی پاسخ‌های ترنسکریپتومی گندم نسبت به بیماری سفیدک پودری انجام شده است (Xin *et al.*, 2012). بنابراین شناسایی ژن‌های جدید و مطالعه الگوی بیان آنها در پاسخ به بیماری سفیدک پودری، اساس مولکولی برای بهبود مقاومت به بیماری در گیاهان زارعی پایه‌ریزی می‌کند (Xin *et al.*, 2012). این تحقیق با هدف غربال ژرم‌پلاسم بومی گندم نان و شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم نسبت به بیماری سفیدک پودری صورت گرفت.

### مواد و روش‌ها

مواد گیاهی مورد ارزیابی در این پژوهش شامل ۳۲ ژنوتیپ گندم نان موجود در بخش تحقیقات ژنتیک و بانک ژن گیاهی ملی ایران، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر بود که تاکنون مورد ارزیابی بیماری سفیدک پودری قرار نگرفته بودند (جدول ۱). در این پژوهش، رقم بولانی (Bolani) به‌عنوان شاهد حساس به بیماری سفیدک پودری در نظر گرفته شد. منابع مقاومتی که بدین‌طریق شناسایی شدند، برای اولین بار گزارش می‌شوند.

تولید اسپور می‌کنند بر روی برگ‌ها و ساقه ظاهر می‌گردد (Mustafa *et al.*, 2017). این قارچ گسترش وسیعی در جهان و ایران و به‌خصوص در نواحی مرطوب دارد که می‌تواند تا ۳۰ درصد خسارت به عملکرد را در صورت آلودگی زودهنگام ارقام حساس، موجب شود (Briceño-Felix *et al.*, 2008). برای کنترل این بیماری استفاده از قارچ‌کش‌های شیمیایی رایج است که موجب آسیب به سلامتی انسان می‌شود و عوارضی مانند مشکلات تنفسی، عصبی و سرطان را در بردارد (Oruc, 2010). لذا اتخاذ راهکارهای جایگزین که سازگاری بیشتری با کشاورزی پایدار دارند، به‌منظور کاهش کاربرد سیستماتیک و گسترده قارچ‌کش‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد (Mustafa *et al.*, 2017). بنابراین، شناسایی و تولید ارقام مقاوم مؤثرترین روش کنترل این بیماری که بیشترین سازگاری را با محیط زیست دارد، می‌باشد (Li *et al.*, 2017).

در روش‌های رایج اصلاح مقاومت، از ژن‌های مقاومت نژاد اختصاصی موسوم به ژن‌های R به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. اما به‌خوبی مشخص شده است که فشار شدید تحمیل شده از سوی این نوع از ژن‌های مقاومت بر روی جمعیت‌های بیمارگر، می‌تواند سبب تکامل سریع نژادهای بیماری‌زای جدید و در نتیجه سبب از بین رفتن مقاومت شود (Li *et al.*, 2017). در حقیقت مقاومت تقریباً تمام ژن‌های R که به‌طور رایج در جهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند توسط نژادهای بیماری‌زای این بیماری شکسته شده است (Niewoechner and Leath, 1998, Clarkson 2000, Shuangke *et al.*, 2002). بنابراین شناسایی و بهره‌برداری از ژن‌های مقاومت به بیماری سفیدک پودری در برنامه‌های اصلاحی، به‌عنوان یک چالش همیشگی پیش‌روی به‌نژادگر گندم می‌باشد (Li *et al.*, 2017).

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های گندم

Table 1. Information of the wheat genotypes

| مشخصات<br>Characteristics | اسم ژنوتیپ<br>Genotype Name | ردیف<br>Row | مشخصات<br>Characteristics | اسم ژنوتیپ<br>Genotype Name | ردیف<br>Row |
|---------------------------|-----------------------------|-------------|---------------------------|-----------------------------|-------------|
|                           | TN145                       | 17          |                           | TN7                         | 1           |
|                           | TN146                       | 18          |                           | TN10                        | 2           |
|                           | TN175                       | 19          |                           | TN72                        | 3           |
|                           | TN177                       | 20          |                           | TN74                        | 4           |
|                           | TN180                       | 21          |                           | TN79                        | 5           |
|                           | TN184                       | 22          |                           | TN82                        | 6           |
|                           | TN199                       | 23          |                           | TN84                        | 7           |
|                           | TN200                       | 24          |                           | TN87                        | 8           |
|                           | TN201                       | 25          |                           | TN95                        | 9           |
|                           | TN202                       | 26          |                           | TN101                       | 10          |
|                           | TN274                       | 27          |                           | TN112                       | 11          |
|                           | TN283                       | 28          |                           | TN113                       | 12          |
|                           | TN285                       | 29          |                           | TN116                       | 13          |
|                           | TN291                       | 30          |                           | TN120                       | 14          |
|                           | TN292                       | 31          |                           | TN126                       | 15          |
|                           | Bolani                      | 32          |                           | TN127                       | 16          |

گلدان کشت شد و وقتی که گیاهچه‌ها به مرحله دوبرگی رسیدند، تلقیح انجام شد. تلقیح قارچ به‌روش مالشی انجام شد (Zahravi *et al.*, 2017). سپس گلدان‌ها در گلخانه با دمای  $15 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد با رژیم نوری مساوی ۱۲ ساعت روشنایی و تاریکی قرار داده شدند. یک هفته بعد از تلقیح، اسپور قارچ جهت جمع‌آوری و تلقیح مجدد آماده استفاده بود

### جمع‌آوری و تکثیر جدایه‌های قارچ

نمونه‌های قارچ *Blumeria graminis* f.sp. *tritici* از کانون‌های آلودگی در کشور جمع‌آوری شد. جدایه‌های جمع‌آوری شده به گلخانه منتقل شده و تکثیر شدند. تکثیر جدایه‌ها بر روی رقم گندم حساس بولانی که فاقد ژن *Pm* است، انجام گرفت. بدین‌منظور بذر رقم بولانی در گلخانه در

### تجزیه و تحلیل آماری

تحلیل اطلاعات مرتبط با واکنش مقاومت به بیماری توسط تکنیک‌های آماری مانند مقایسه میانگین واکنش مقاومت بین ژنوتیپ‌ها و بین پاتوتیپ‌ها، تجزیه همبستگی براساس واکنش مقاومت، گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و پاتوتیپ‌ها با استفاده از تجزیه خوشه‌ای، تفکیک ژنوتیپ‌ها و پاتوتیپ‌ها با استفاده از تکنیک تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۲ و SAS نسخه ۹/۴ صورت گرفت.

### نتایج و بحث

شناسایی ژنوتیپ‌های بومی مقاوم به بیماری سفیدک پودری گندم یکی از اهداف اصلاحی گندم می‌باشد. شکل ۱ میانگین شاخص بیماری در ۳۲ ژنوتیپ گندم نان براساس میانگین شاخص بیماری سفیدک پودری را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، ژنوتیپ‌های TN72، TN79، TN80، TN87 و TN7 در به‌طور میانگین در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های مورد بررسی، مقاومت بالاتری نسبت به ۱۰ پاتوتیپ مختلف بیماری سفیدک پودری نشان دادند (شکل ۱). در این راستا، زهراوی و همکاران (Zahravi et al., 2017) تعداد ۱۱۹۸ نمونه ژنتیکی گندم بومی از کلکسیون گندم نان بانک ژن گیاهی ملی ایران در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ برای مقاومت به بیماری سفیدک پودری مورد ارزیابی و غربالگری قرار دادند. نمونه‌ها در سه منطقه آلوده به بیماری ساری، مغان و گرگان در شرایط آلودگی طبیعی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نهایتاً در هر منطقه تعدادی از ژنوتیپ‌ها به‌عنوان مقاوم شناسایی شدند. اما دو ژنوتیپ B1G11 (خراسان) و B2G6 (ایلام) در هر سه ناحیه مقاومت خوبی نشان دادند.

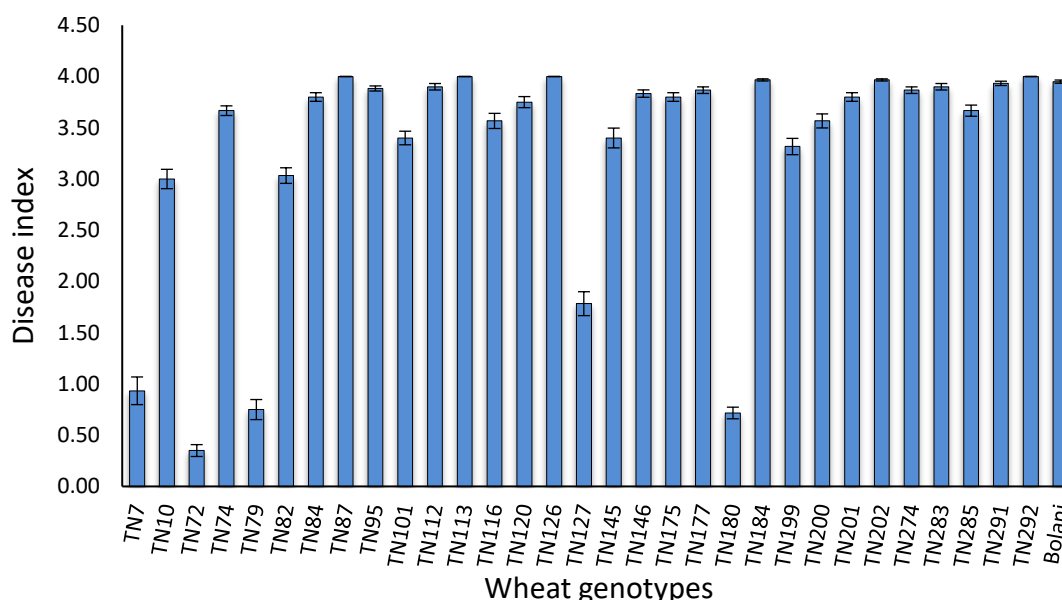
(Zahravi et al., 2017). جمعیت‌های قارچ سفیدک پودری در مناطق آلودگی کشور شامل پنج پاتوتایپ از مغان، دو پاتوتایپ از گرگان، دو پاتوتایپ از ساری و یک پاتوتایپ از گنبدکاووس انجام شد.

### خالص‌سازی و تکثیر تک کلونی

به‌منظور بررسی پاتوتیپ جدایه‌های جمع‌آوری شده ابتدا نسبت به خالص‌سازی آنها اقدام شد. بدین‌منظور مجدداً گلدان‌های جدیدی از رقم حساس بولانی کشت شد و در مرحله دو برگی یک کلونی منفرد از روی برگ آلوده (حاصل از مرحله قبل) انتخاب شد و از طریق مالشی به‌روی گیاهچه رقم حساس انتقال یافت. روی گلدان‌های تلقیح شده با درپوش شفاف پوشانده شد. شرایط نگهداری گلدان‌ها برای توسعه بیماری مانند مرحله قبل بود.

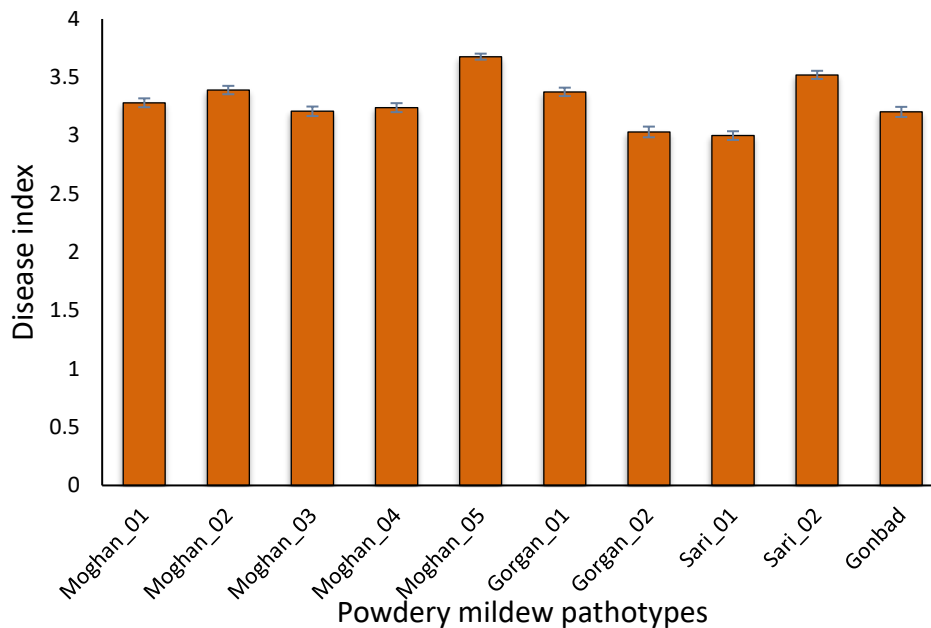
### ارزیابی واکنش مقاومت ژنوتیپ‌ها

ژنوتیپ‌های بومی گندم نان در گلخانه در مرحله گیاهچه‌ای نسبت به پاتوتیپ‌های بیمارگر ارزیابی شدند. بدین‌منظور ارقام ژنوتیپ‌ها در سینی‌هایی مخصوص، کشت شدند. به‌طوری‌که به‌ازای هر جدایه، یک سینی جداگانه شامل سه تکرار در نظر گرفته شد. ژنوتیپ‌ها در مرحله دو برگی توسط جدایه‌های تک کلونی شده (حاصل از مرحله قبل) تلقیح شدند. یک هفته بعد از تلقیح واکنش، ارزیابی واکنش ارقام افتراقی نسبت به بیماری بر اساس مقیاس صفر تا چهار طبق روش مینز و دیتز (Mains and Diietz, 1930) صورت گرفت. براساس این مقیاس تیپ آلودگی صفر، یک و دو در گروه مقاوم و تیپ آلودگی سه و چهار در گروه حساس قرار می‌گیرد. در تمامی مراحل، با جداسازی گیاهچه‌های تلقیح شده با هر جدایه از گیاهچه‌های دیگر، از طریق قرار دادن آن‌ها درون محفظه‌های جداگانه، از اختلاط اسپورهای جدایه‌ها با همدیگر جلوگیری شد.



شکل ۱- میانگین شاخص بیماری در ۳۲ ژنوتیپ گندم نان بر اساس میانگین شاخص بیماری سفیدک پودری  
Figure 1. Average disease index in 32 bread wheat genotypes based on average powdery mildew disease index

از طرفی، مقایسه پاتوتایپ‌های مختلف سفیدک پودری نشان داد که در مجموع تمام ژنوتیپ‌های مورد بررسی گندم، پاتوتایپ مغان ۵ کمترین میزان بیماری زایی و ساری ۱ بیشترین بود (شکل ۲).



شکل ۲- میانگین شاخص بیماری در ۱۰ پاتوتایپ مختلف سفیدک پودری بر اساس میانگین شاخص بیماری  
Figure 2. The average disease index in 10 different powdery mildew pathotypes based on the average disease index

برای بیماری زایی استفاده می‌کند. از طرفی، بالاترین همبستگی‌های معنی‌دار مربوط به مغان ۲ با مغان ۳ (۰/۸۷) و گرگان ۲ (۰/۸۱) مشاهده شد که نشان می‌دهد این سه پاتوتایپ از مکانیسم بیماری زایی مشابهی برخوردار هستند (جدول ۲).

به منظور شناسایی پاتوتایپ‌های با قدرت بیماری زایی مشابه، از همبستگی بین پاتوتایپ‌ها استفاده شد (جدول ۲). نتایج همبستگی نشان داد که پاتوتایپ مغان ۵ کمترین همبستگی را با سایر پاتوتایپ‌ها نشان داد که احتمالاً از مکانیسم متفاوتی

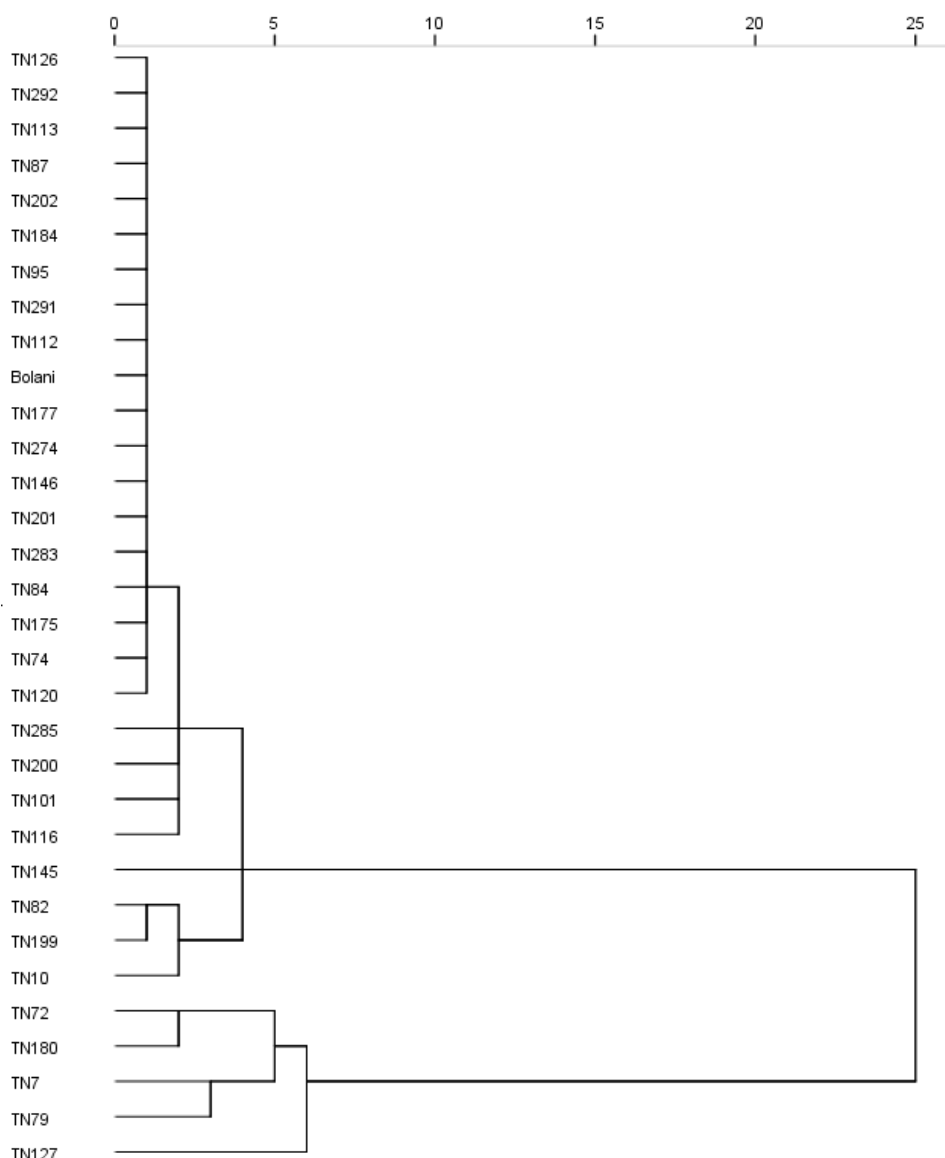
جدول ۲- همبستگی اسپیرمن بین پاتوتایپ‌های مختلف بیماری سفیدک پودری در ژنوتیپ‌های گندم نان (تکرار=۳)  
Table 2. Spearman correlation between different pathotypes of powdery mildew disease in bread wheat genotypes (n=3)

| Gonbad | Sari_02 | Sari_01 | Gorgan_02 | Gorgan_01 | Moghan_05 | Moghan_04 | Moghan_03 | Moghan_02 | Moghan_01 | پاتوتایپ<br>Pathotype |
|--------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|
|        |         |         |           |           |           |           |           |           |           | Moghan_01             |
|        |         |         |           |           |           |           |           | 1         | 0.770**   | Moghan_02             |
|        |         |         |           |           |           |           |           | 0.866**   | 0.644**   | Moghan_03             |
|        |         |         |           |           |           |           | 1         | 0.554**   | 0.570**   | Moghan_04             |
|        |         |         |           |           | 1         | 0.417*    | 0.305     | 0.308     | 0.288     | Moghan_05             |
|        |         |         | 1         | 0.683**   | 0.340     | 0.690**   | 0.654**   | 0.578**   | 0.549**   | Gorgan_01             |
|        |         | 1       | 0.767**   | 0.625**   | 0.241     | 0.643**   | 0.723**   | 0.810**   | 0.681**   | Gorgan_02             |
|        | 1       | 0.645** | 0.618**   | 0.686**   | 0.472**   | 0.715**   | 0.518**   | 0.581**   | 0.538**   | Sari_01               |
|        | 0.660** | 0.664** | 0.661**   | 0.561**   | 0.477**   | 0.619**   | 0.658**   | 0.662**   | 0.649**   | Sari_02               |
| 1      |         |         |           |           | 0.438*    | 0.624**   | 0.636**   | 0.646**   | 0.550**   | Gonbad                |

\*\*\*، \*\* و \* به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ و عدم معنی‌داری

قرار گرفتند که با توجه به نتایج میانگین ژنوتیپ‌های از نظر شاخص بیماری (شکل ۱) می‌توان نتیجه گرفت که این گروه دارای مقاومت بالاتری به این بیماری هستند (شکل ۳). در پژوهشی، سراوانی و همکاران (Saravana et al., 2019) ۵۰ ژنوتیپ گندم را براساس میزان مقاومت به بیماری سفیدک پودری گندم در سه گروه مقاوم، حدواسط و حساس قرار دادند.

نتایج تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) ژنوتیپ‌های گندم از نظر مقاومت به بیماری سفیدک پودری (شکل ۳) نشان داد که به طور کلی می‌توان ۳۲ ژنوتیپ مورد بررسی را به دو گروه مجزا تقسیم نمود که بسیاری از ژنوتیپ‌های مورد بررسی در گروه رقم حساس بولانی قرار گرفتند. از طرفی، ژنوتیپ‌های TN7، TN79، TN180، TN72 و TN127 در گروهی دیگر

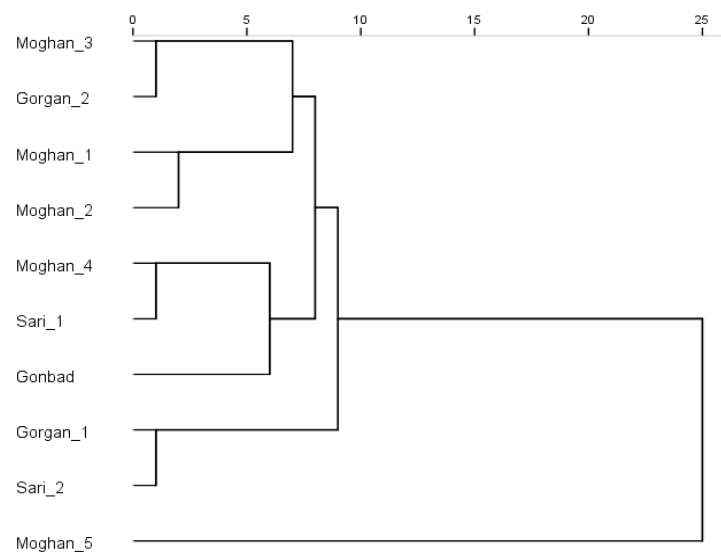


شکل ۳- تصویر تجزیه خوشه‌ای به روش وارد با بوت استرپ ۱۰۰۰ ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان برای ۱۰ پاتوتایپ سفیدک پودری براساس شاخص بیماری

Figure 3. Image of cluster analysis of different bread wheat genotypes for 10 powdery mildew pathotypes based on disease index

همچنین، تجزیه خوشه‌ای برای پاتوتایپ‌های مختلف نشان داد که پاتوتایپ مغان ۵ به‌تنهایی در یک گروه و بقیه پاتوتایپ‌ها در یک گروه قرار گرفتند که به‌نوبه خود در زیرگروه‌های مختلفی قرار گرفتند (شکل ۴). نتایج این تجزیه تأیید کننده میانگین کلی پاتوتایپ‌ها از نظر شاخص بیماری‌زایی (شکل ۲) بود و نشان داد که پاتوتایپ مغان ۵ متفاوت از بقیه پاتوتایپ‌ها می‌باشد (شکل ۴). در پژوهشی، زهراوی و همکاران (Zahravi et al., 2017) گزارش کردند که میزان مقاومت ۱۷ ژنوتیپ بومی ایران موجود در کلکسیون گندم نان بانک ژن گیاهی ملی ایران، نسبت به بیماری سفیدک پودر در ساری و گرگان مشابه بود و از نظر بیماری‌زایی روی ژنوتپ‌های مورد آزمایش، پائین از پاتوتایپ مغان قرار داشتند که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

همچنین، تجزیه خوشه‌ای برای پاتوتایپ‌های مختلف نشان داد که پاتوتایپ مغان ۵ به‌تنهایی در یک گروه و بقیه پاتوتایپ‌ها در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۴). نتایج این تجزیه تأیید کننده میانگین کلی پاتوتایپ‌ها از نظر شاخص بیماری‌زایی (شکل ۲) بود و نشان داد که پاتوتایپ مغان ۵ متفاوت از بقیه پاتوتایپ‌ها می‌باشد (شکل ۴). در پژوهشی، زهراوی و همکاران (Zahravi et al., 2017) گزارش کردند که میزان مقاومت ۱۷ ژنوتیپ بومی ایران موجود در کلکسیون گندم نان بانک ژن گیاهی ملی ایران، نسبت به بیماری سفیدک پودر در ساری و گرگان مشابه بود و از نظر بیماری‌زایی روی ژنوتپ‌های مورد آزمایش، پائین از پاتوتایپ مغان قرار داشتند که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.



شکل ۴- تصویر تجزیه خوشه‌ای پاتوتایپ‌های مختلف در ژنوتیپ‌های مورد بررسی گندم نان براساس شاخص بیماری به روش وارد با بوت‌استرپ ۱۰۰۰

Figure 4. Image of cluster analysis of different pathotypes in bread wheat genotypes based on disease index with bootstrap =1000.

از تغییرات کل را توجیه نمودند که مقدار قابل قبولی برای رسم نمودارهای دو بعدی و سه بعدی می‌باشد (جدول ۲). بردارهای ویژه مؤلفه‌های اول تا دهم در جدول ۲ نشان داده شده است.

علاوه بر این، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که مؤلفه اول (PC1) مجموعاً ۸۱/۴ درصد از کل تغییرات واریانس موجود بین پاتوتایپ‌ها از نظر شاخص بیماری را توجیه نمود که بعد از آن مؤلفه‌های دوم و سوم به ترتیب با ۶/۹۲ و ۲/۹۰ درصد

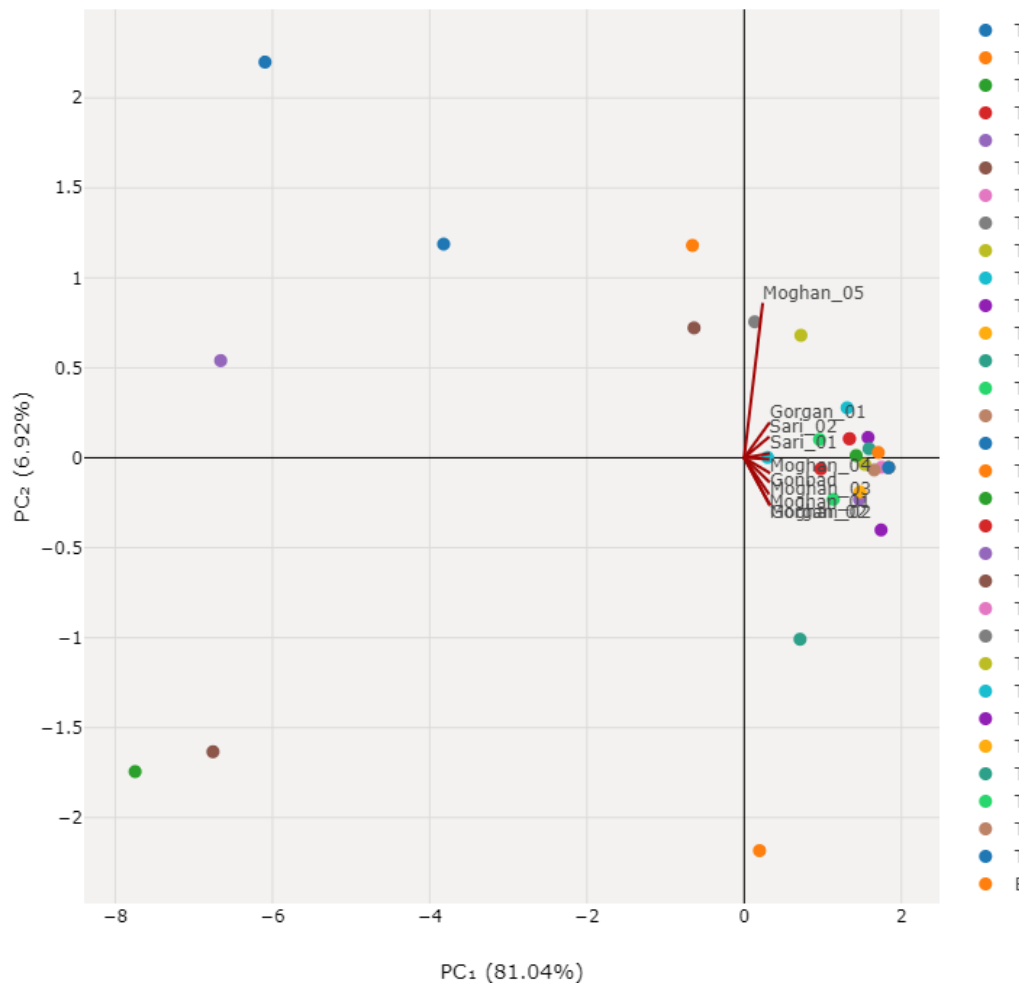
جدول ۲- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای ۱۰ پاتوتایپ بیماری سفیدک پودری در ۳۲ ژنوتیپ گندم نان

| Table 2. Principal component decomposition for 10 powdery mildew disease pathotypes in 32 bread wheat genotypes |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 | Genotype/Parameter |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| PC <sub>10</sub>                                                                                                | PC <sub>9</sub> | PC <sub>8</sub> | PC <sub>7</sub> | PC <sub>6</sub> | PC <sub>5</sub> | PC <sub>4</sub> | PC <sub>3</sub> | PC <sub>2</sub> | PC <sub>1</sub> | پارامتر/ژنوتیپ     |
| -0.35                                                                                                           | -0.26           | 0.14            | 0.09            | 0.24            | 0.95            | 0.06            | -0.65           | 2.20            | -6.10           | TN7                |
| 0.08                                                                                                            | 0.15            | 0.09            | 0.12            | -0.65           | 0.57            | 0.81            | 1.03            | 1.18            | -0.66           | TN10               |
| -0.11                                                                                                           | 0.22            | -0.41           | -0.61           | -0.44           | 0.12            | -0.20           | 0.62            | -1.74           | -7.75           | TN72               |
| 0.01                                                                                                            | -0.50           | 0.00            | -0.48           | 0.05            | -0.58           | 0.10            | -0.32           | -0.06           | 0.97            | TN74               |
| 0.29                                                                                                            | -0.05           | 0.00            | 0.67            | 0.17            | -0.24           | -1.50           | -0.50           | 0.54            | -6.66           | TN79               |
| -0.13                                                                                                           | 0.10            | -0.25           | -0.10           | 0.81            | -0.60           | 0.72            | 0.13            | 0.72            | -0.64           | TN82               |
| 0.18                                                                                                            | -0.37           | -0.41           | -0.10           | -0.20           | -0.14           | 0.26            | -0.24           | 0.11            | 1.34            | TN84               |
| 0.07                                                                                                            | 0.05            | 0.07            | 0.04            | 0.02            | -0.02           | -0.23           | 0.15            | -0.05           | 1.84            | TN87               |
| -0.17                                                                                                           | -0.10           | 0.05            | 0.07            | -0.34           | 0.09            | -0.05           | -0.16           | -0.04           | 1.54            | TN95               |
| 0.10                                                                                                            | -0.08           | 0.56            | -0.25           | 0.02            | -0.43           | 0.17            | -1.18           | 0.00            | 0.30            | TN101              |
| 0.07                                                                                                            | 0.20            | 0.07            | -0.42           | 0.12            | 0.48            | -0.19           | 0.40            | 0.11            | 1.58            | TN112              |
| 0.07                                                                                                            | 0.05            | 0.07            | 0.04            | 0.02            | -0.02           | -0.23           | 0.15            | -0.05           | 1.84            | TN113              |
| -0.15                                                                                                           | -0.30           | 0.40            | 0.49            | -1.10           | 0.59            | 0.36            | -0.26           | -1.01           | 0.71            | TN116              |
| -0.17                                                                                                           | 0.09            | -0.91           | -0.07           | -0.49           | -0.05           | -0.94           | -0.30           | -0.23           | 1.13            | TN120              |
| 0.07                                                                                                            | 0.05            | 0.07            | 0.04            | 0.02            | -0.02           | -0.23           | 0.15            | -0.05           | 1.84            | TN126              |
| 0.14                                                                                                            | 0.46            | 0.01            | -0.45           | -0.63           | -0.81           | 0.71            | -0.67           | 1.19            | -3.82           | TN127              |
| 0.05                                                                                                            | 0.15            | -0.31           | 0.45            | 0.62            | 0.66            | 0.83            | -1.22           | -2.18           | 0.20            | TN145              |
| 0.19                                                                                                            | 0.31            | 0.61            | 0.26            | -0.22           | 0.10            | -0.25           | -0.23           | 0.01            | 1.42            | TN146              |
| 0.18                                                                                                            | -0.37           | -0.41           | -0.10           | -0.20           | -0.14           | 0.26            | -0.24           | 0.11            | 1.34            | TN175              |
| -0.27                                                                                                           | -0.28           | 0.30            | -0.39           | 0.09            | -0.44           | -0.30           | 0.09            | -0.23           | 1.47            | TN177              |
| 0.06                                                                                                            | -0.23           | 0.44            | 0.11            | 0.43            | -0.32           | 0.47            | 0.90            | -1.63           | -6.76           | TN180              |
| 0.12                                                                                                            | 0.17            | 0.13            | 0.07            | 0.14            | -0.02           | -0.23           | -0.02           | -0.05           | 1.75            | TN184              |
| 0.10                                                                                                            | -0.07           | -0.47           | 0.82            | 0.02            | -0.63           | 0.74            | 0.41            | 0.76            | 0.13            | TN199              |
| 0.32                                                                                                            | -0.32           | -0.15           | -0.53           | 0.47            | 1.01            | -0.06           | 0.72            | 0.68            | 0.72            | TN200              |
| -0.29                                                                                                           | 0.01            | -0.02           | 0.70            | 0.38            | -0.11           | -0.21           | 0.62            | 0.28            | 1.31            | TN201              |
| 0.15                                                                                                            | 0.03            | 0.05            | 0.12            | 0.05            | 0.06            | -0.15           | 0.22            | -0.40           | 1.74            | TN202              |
| -0.23                                                                                                           | -0.07           | 0.38            | -0.29           | 0.15            | -0.56           | -0.31           | 0.33            | -0.19           | 1.47            | TN274              |
| -0.19                                                                                                           | 0.43            | -0.04           | 0.26            | 0.03            | -0.30           | 0.01            | 0.47            | 0.05            | 1.59            | TN283              |
| -0.13                                                                                                           | 0.43            | -0.02           | -0.42           | 0.45            | 0.57            | 0.08            | -0.68           | 0.10            | 0.96            | TN285              |
| -0.18                                                                                                           | -0.12           | -0.16           | -0.01           | -0.10           | 0.03            | -0.05           | -0.13           | -0.07           | 1.65            | TN291              |
| 0.07                                                                                                            | 0.05            | 0.07            | 0.04            | 0.02            | -0.02           | -0.23           | 0.15            | -0.05           | 1.84            | TN292              |
| 0.07                                                                                                            | 0.13            | 0.07            | -0.19           | 0.07            | 0.23            | -0.21           | 0.28            | 0.03            | 1.71            | Bolani             |
| 0.03                                                                                                            | 0.06            | 0.10            | 0.13            | 0.15            | 0.21            | 0.24            | 0.29            | 0.69            | 8.10            | Eigenvalue         |
| 0.30                                                                                                            | 0.60            | 1.01            | 1.31            | 1.50            | 2.07            | 2.35            | 2.90            | 6.92            | 81.04           | Variance (%)       |
| 100                                                                                                             | 99.70           | 99.10           | 98.09           | 96.78           | 95.28           | 93.20           | 90.85           | 87.95           | 81.04           | Cumulative (%)     |



قرار داد. این نتیجه جدول تجزیه همبستگی (جدول ۲) نیز به وضوح قابل مشاهده است. مؤلفه های اول و دوم مجموعاً ۸۷/۹۵ درصد از تغییرات کل واریانس را توجیه نمودند. سمت منفی مؤلفه اول و همچنین سمت منفی مؤلفه دوم میزان مقاومت ژنوتیپ ها را نشان می دهد. به طوری که در ناحیه ۱ ژنوتیپ های مقاوم قرار گرفته اند (شکل ۵).

تجزیه بای پلات براساس داده های تجزیه به مؤلفه های اصلی برای دو مؤلفه اول و دوم در ۳۲ ژنوتیپ گندم نان در مواجهه با ۱۰ پاتوتایپ سفیدک پودری (شکل ۵) نشان داد که پاتوتایپ مغان ۵ همبستگی کمتری با سایر پاتوتایپ ها دارد. تجزیه بای پلات یکی از روش های مرسوم و مفید جهت گروه بندی ژنوتیپ ها و صفات در کنار هم است که به صورت تصویری بتوان از نظر مؤلفه های مختلف آن ها را مورد بررسی

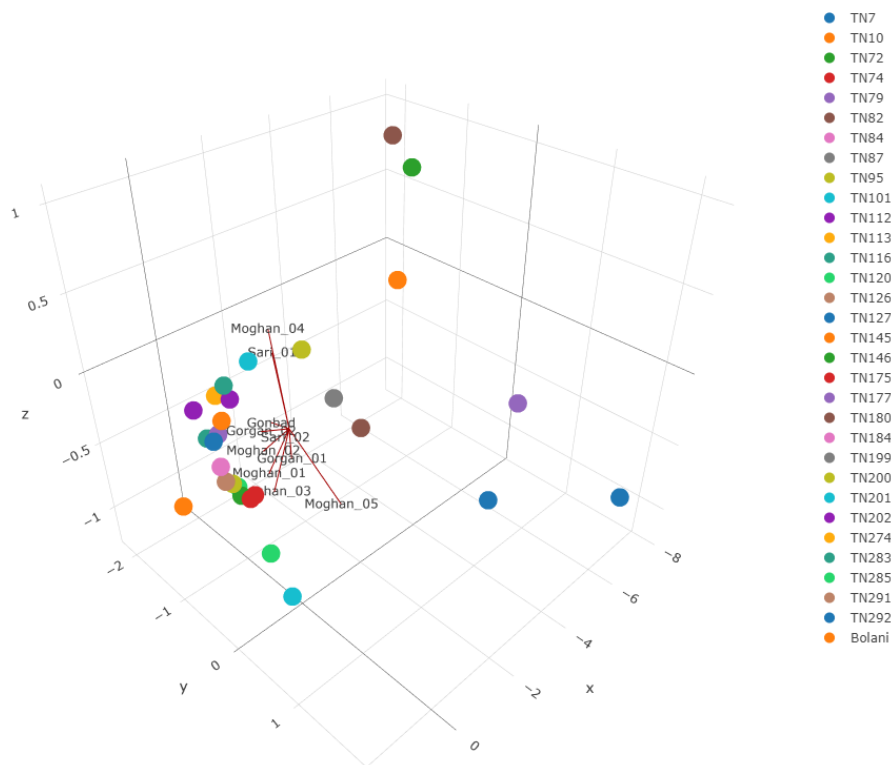


شکل ۵- نمودار بای پلات بر اساس داده های تجزیه به مؤلفه های اصلی برای دو مؤلفه اول و دوم در ۳۲ ژنوتیپ گندم نان در مواجهه با ۱۰ پاتوتایپ سفیدک پودری

Figure 5. Biplot diagram based on principal component decomposition data for the first and second components in 32 bread wheat genotypes in the face of 10 powdery mildew pathotypes

نمایان است. علاوه بر این، در این تصویر، نزدیکی پاتوتایپ های مغان ۴ و ساری ۱ و تفاوت آنها با سایر پاتوتایپ های مورد بررسی که در نمودار بای پلات به خوبی دیده نمی شد، در اینجا به وضوح دیده می شود و نتایج تجزیه خوشه ای برای پاتوتایپ ها را تأیید می کند (شکل ۶).

تجزیه پلات سه بعدی نیز نتایج بای پلات را تا حد بالایی تأیید کرد و وضعیت ژنوتیپ ها را از زاویه بهتری در معرض نمایش قرار داد. زیرا از سه مؤلفه استفاده می نماید و میزان تغییرات بیشتری را در بر می گیرد. به طوری که واکنش متفاوت پاتوتایپ مغان ۵ با بقیه پاتوتایپ ها در این نمودار نیز به خوبی



شکل ۶- نمودار سه بعدی بر اساس داده‌های تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای سه مؤلفه اول، دوم و سوم در ۳۲ ژنوتیپ گندم نان در مواجهه با ۱۰ پاتوتایپ سفیدک پودری

Figure 6. Three-dimensional diagram based on data of decomposition into principal components for the first, second and third components in 32 bread wheat genotypes in the face of 10 powdery mildew pathotypes

### نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش که واکنش ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان نسبت به پاتوتیپ‌های بیماری‌زای سفیدک پودری در نقاط کلیدی بیماری‌زایی کشور مورد ارزیابی قرار گرفت، تنوع بالقوه‌ای در بین ژنوتیپ‌ها نسبت به پاتوتایپ‌های مختلف مشاهده شد. از بین پاتوتایپ‌های مورد بررسی، پاتوتایپ مغان ۵ کمترین بیماری‌زایی را در ژنوتیپ‌های مورد بررسی نشان داد. از طرفی، ژنوتیپ‌های TN7، TN79، TN127، TN180 و TN72 بیشترین مقاومت را به پاتوتایپ‌های مورد ارزیابی نشان دادند که می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش در برنامه‌های اصلاحی مورد بهره‌برداری قرار گیرند. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان داد که ژرم‌پلاسما موجود برای گندم نان بومی کشور ایران با هدف شناسایی منابع مقاومت به بیماری سفیدک پودری گندم از پتانسیل بالایی برخوردار است.

### تشکر و قدردانی

این پژوهش با همکاری بانک ژن گیاهی ایران به‌انجام رسیده است. لذا نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از مساعدت‌های به‌عمل آمده تشکر و قدردانی نمایند.

رضوی و همکاران (Razavi et al., 2009) تعداد ۲۵۸ لاین امیدبخش گندم را نسبت به بیماری سفیدک پودری گندم با عامل *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ در مناطق گرگان، ساری، مغان و ورامین در شرایط طبیعی کشت و در مرحله تورم سنبله و دو هفته بعد از آن، مورد ارزیابی قرار دادند و گزارش کردند که تعداد ۳۹ لاین که در طی دو سال آزمایش و در تمامی مناطق فوق در شرایط مزرعه‌ای مقاوم بودند. با توجه به نتایج این بررسی مشخص شد لاین‌هایی که در نیای خود رقم APPOLO را دارند، در مقابل بیشتر پاتوتیپ‌های قارچ عامل بیماری مقاوم بودند. نتایج این تحقیق اولین گزارشی است که روی مقاومت به بیماری این ژنوتیپ‌ها گزارش می‌گردد. بنابراین، از این ارقام می‌توان در صورت دارا بودن خصوصیات مناسب دیگر از جمله عملکرد زیاد محصول و مقاومت به سایر تنش‌های زنده و غیرزنده جهت کشت در مناطق آلوده استفاده نمود.

نتایج این پژوهش حاکی از تنوع مطلوبی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر مقاومت به نژادهای مختلف بیماری بود. اما از آنجایی که شناسایی مقاومت گیاه بالغ منوط به غربالگری ژنوتیپ‌ها در شرایط مزرعه و صرف زمان زیادی است (Zahravi et al., 2017)، بنابراین توصیه می‌شود که از نشانگرهای مولکولی پیوسته با مقاومت به سفیدک پودری در آزمایشات آتی استفاده شود.

## References

- Asad, M. A., Bai, B., Lan, C., Yan, J., Xia, X., Zhang, Y., & He, Z. (2014). Identification of QTL for adult-plant resistance to powdery mildew in Chinese wheat landrace Pingyuan 50. *The Crop Journal*, 2(5), 308-314.
- Azodi, A., Soltanloo, H., Ramazanpour, S., & Darzi Ramandi, H. (2023). Canonical Correlation Analysis and Grouping of Bread Wheat Genotypes Based on Morphophenological Traits and Fusarium Head Blight Tolerance Indexes. *Journal of Crop Breeding*, 15(47), 91-102. [In Persian]
- Bhullar, N. K., Street, K., Mackay, M., Yahiaoui, N., & Keller, B. (2009). Unlocking wheat genetic resources for the molecular identification of previously undescribed functional alleles at the Pm3 resistance locus. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(23), 9519-9524.
- Briceño-Felix, G., Huerta-Espino, J., Torres, L., Betbese, J. A., & Martin Sánchez, J. A. (2008). Yield losses caused by powdery mildew on bread wheat cultivars under irrigated Mediterranean conditions in Spain. *Options Méditerranéennes*, 81, 183-185.
- Clarkson, J. D. S. (2000). Virulence survey report for wheat powdery mildew in Europe, 1996–1998. *Cereal Rusts and Powdery Mildews Bulletin*. Available at: [www.crpm.org/2000/1204clarkson](http://www.crpm.org/2000/1204clarkson).
- Li, N., Jia, H., Kong, Z., Tang, W., Ding, Y., Liang, J., ... & Ma, Z. (2017). Identification and marker-assisted transfer of a new powdery mildew resistance gene at the Pm4 locus in common wheat. *Molecular Breeding*, 37, 1-9.
- Mains, E. B., & Diktz, S. M. (1930). Physiologic forms of Barley mildew, Erysiphe Graminis Hordei. *Phytopathology*, 20(3), 229-239.
- Mustafa, G., Khong, N. G., Tisserant, B., Randoux, B., Fontaine, J., Magnin-Robert, M., ... & Sahraoui, A. L. H. (2017). Defence mechanisms associated with mycorrhiza-induced resistance in wheat against powdery mildew. *Functional Plant Biology*, 44(4), 443-454.
- Niewoehner, A. S., & Leath, S. (1998). Virulence of *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* on winter wheat in the eastern United States. *Plant Disease*, 82(1), 64-68.
- Oruc, H. H. (2010). Fungicides and their effects on animals. *Fungicides, Carisse, O. (Ed.) In-Tech Publishers*, 349-362.
- Razavi, M., Dehghan, M. A., Safavi, S. A., Barari, H., Torabi, M., Karimi Jashni, M., & Kazemi, H. (2009). Evaluation of the field and seedling resistance of some advanced and elite lines of wheat to *Blumeria graminis* f.sp. *tritici* the causal agent of wheat powdery mildew in Iran. *Applied Entomology and Phytopathology*, 77(1), 133-150. [In Persian]
- Saravana, S., Sabouri, H., Taliei, F., Biabani, A., Rahemi Karizaki, A. (2019). Genetic Diversity of Wheat Genotypes based on Resistance to Powdery Mildew, Grain Yield, Yield Components and Molecular Markers. *Agricultural Biotechnology*, 3(11), 57-82. [In Persian]
- Shuangke, D., Yubin, X., & Xingyuan, W. (2002). Research Progress of Pathogene Virulence, Resistance Gens and Resistance Breeding of Wheat Powdery Mildew. *Journal of Triticeae Crops*, 22(2), 83-86.
- Vahed Rezaei, A., Asghari, A., Norouzi, M., Aharizad, S., Roohparvar, R., Amini, A. (2024). Biometric Analysis of Some Physiological Traits Related to Stem Rust Disease Resistance in The Elit Wheat Lines. *Journal of Crop Breeding*, 16(49), 140-152. [In Persian]
- Wang, J. M., Liu, H. Y., Xu, H. M., Li, M., & Kang, Z. S. (2012). Analysis of differential transcriptional profiling in wheat infected by *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* using GeneChip. *Molecular Biology Reports*, 39, 381-387.
- Xin, M., Wang, X., Peng, H., Yao, Y., Xie, C., Han, Y., Ni, Z. and Sun, Q. (2012). Transcriptome comparison of susceptible and resistant wheat in response to powdery mildew infection. *Genomics, Proteomics & Bioinformatics*, 10(2), 94-106.
- Zahravi, M., Azimi, H., Dehghan, M., Allahyari, N., Alitabar, R., & Pourmoghaddam, H. (2017). Determination of Resistance Sources to Powdery Mildew (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*) in Iranian Bread Wheat Germplasm. *Seed and Plant Journal*, 33(1), 45-65. [In Persian]