

## بررسی تحمل ژنوتیپ‌های *Cuminum cyminum* L. به بیماری پژمردگی فوزاریومی

سونیا عقیقی<sup>۱\*</sup>، قاسم محمدی نژاد<sup>۲</sup> و شکوفه خاندانی<sup>۳</sup>

۱- نویسنده مسئول، استادیار، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

پست الکترونیک: aghighis@uk.ac.ir

۲- استاد، رشته ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۳- دانشجوی دکترا، رشته ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، بخش ژنتیک و به‌نژادی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: شهریور ۱۴۰۱

تاریخ اصلاح نهایی: خرداد ۱۴۰۱

تاریخ دریافت: مهر ۱۴۰۰

### چکیده

بیماری پژمردگی فوزاریومی مهم‌ترین بیماری زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) است و سالیانه خسارت زیادی را به آن وارد می‌کند. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی واکنش ۱۳ ژنوتیپ زیره سبز نسبت به بیماری پژمردگی فوزاریومی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (فاکتور اول، ژنوتیپ و فاکتور دوم، تیمار حضور و عدم‌حضور قارچ بیمارگر) در سه تکرار در گلخانه پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. نتایج نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ و تیمار در اکثر صفات معنی‌دار است. بیشترین همبستگی صفات در شرایط عدم‌حضور بیمارگر، بین وزن خشک بوته و تعداد چتر در بوته (۰/۹۲) و در شرایط حضور بیمارگر، بین ارتفاع بوته و تعداد دانه در بوته (۰/۷۶) بود. تجزیه خوشه‌ای (روش Ward) ژنوتیپ‌ها را براساس صفات مورد مطالعه در شرایط عدم‌حضور بیمارگر به سه دسته و در حضور بیمارگر به دو دسته تقسیم کرد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو مؤلفه اول توانستند ۸۰/۱۳٪ (عدم‌حضور بیمارگر) و ۸۴/۵۵٪ (حضور بیمارگر) از تغییرات را توجیه کنند. همچنین، تجزیه بای‌پلات علاوه‌بر تأیید نتایج خوشه‌بندی، نشان‌دهنده تنوع زیاد ژنوتیپ‌ها بود. ژنوتیپ *E7r1b1* در حضور بیمارگر بیشترین نسبت بوته‌میری (۱۰۰٪) را داشت. ژنوتیپ *g8r2b2* بیشترین عملکرد (۰/۲۰ گرم) و تعداد (۷۵/۶۶) دانه در بوته را در عدم‌حضور بیمارگر داشت. صفات عملکرد و تعداد دانه در بوته در حضور بیمارگر کاهش معنی‌دار نشان دادند. بیشترین عملکرد دانه در بوته (۰/۱۴ گرم) در حضور بیمارگر در ژنوتیپ 2-14-3 مشاهده شد. ژنوتیپ‌های *g5r2B1* و *F12r1b1* براساس صفات مورد بررسی دارای پتانسیل پایین در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط بودند. به‌طور کلی ژنوتیپ‌ها در شرایط عدم‌حضور و حضور قارچ بیمارگر عکس‌العمل متفاوتی نشان دادند. می‌توان ژنوتیپ‌هایی که تحمل خوبی در شرایط بیماری نشان دادند را به‌عنوان منابع تحمل در برنامه‌های اصلاحی بعدی معرفی نمود.

واژه‌های کلیدی: زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.)، تحمل‌پذیری، پژمردگی فوزاریومی، *Fusarium oxysporum* f. sp. *cumini*

## مقدمه

داشتند. براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی جمعیت‌ها به چهار گروه تقسیم شدند که از جمعیت‌های گروه‌های متفاوت برای تولید ارقام با خصوصیات زراعی مطلوب می‌توان استفاده کرد. Bahraminejad و همکاران (۲۰۱۱) تنوع در جمعیت‌های زیره سبز را براساس مؤلفه‌های اصلی، مدل رگرسیون چندگانه و تجزیه ضرایب مسیر بررسی کرده و نتیجه گرفتند که تجزیه و تحلیل الگوی جمعیت‌های مختلف براساس دو مؤلفه اول ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را در سه گروه طبقه‌بندی می‌کند و تنوع ژنتیکی موجود در میان جمعیت‌ها می‌تواند منجر به تولید ارقام پرمحصول زیره سبز شود.

در مورد گزینش ارقام متحمل، یا مقاوم نسبت به بیماری پژمردگی فوزاریومی، بررسی منابع نشان می‌دهد که مطالعات کمی در این مورد انجام شده است (Talaviya et al., 2017). از این رو، این تحقیق با هدف غربالگری تعدادی از ژنوتیپ‌های زیره سبز علیه قارچ *Fusarium oxysporum* f. sp. *cumini* برای بررسی واکنش تحمل‌پذیری در شرایط کشت در گلخانه انجام شد.

## مواد و روش‌ها

برای بررسی سیزده ژنوتیپ زیره سبز در شرایط بیماری پژمردگی فوزاریومی، ژنوتیپ‌ها در فضای آزاد به صورت طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی با دو فاکتور ژنوتیپ و تیمار بیماری در دو سطح حضور و عدم حضور قارچ بیمارگر در گلخانه پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. ۵۰ بذر از هر ژنوتیپ در سبدهایی به ابعاد ۴۴ سانتی‌متر (طول)، ۲۹ سانتی‌متر (عرض) و ۱۸ سانتی‌متر (ارتفاع) در دو خط به طول ۴۰ سانتی‌متر کشت شد. در سبدهای تیمار بیماری قبل از کشت بذرها، خاک به نسبت ۵ گرم ارزن کلنیزه شده توسط *F. oxysporum* f. sp. *cumini* در یک کیلوگرم خاک مایه‌زنی گردید. در تیمارهای عدم حضور بیمارگر یا شاهد، به خاک به نسبت مشابه ارزن استریل اضافه شد. صفات نسبت بوته‌میری از نسبت تعداد بوته مرده کل به تعداد بوته کل بدست آمد و

زیره سبز با نام علمی (*Cuminum cyminum* L.) گیاهی یک‌ساله، بوته‌ای از خانواده چتریان، دومین گیاه صادراتی ایران بعد از زعفران است. زیره سبز از قدیمی‌ترین گیاهان معطر و ادویه‌ای جهان و مهمترین گیاه دارویی اهلی ایران محسوب می‌گردد (Ghanbari et al., 2017). این گیاه از مناطق ایران، چین، ترکیه، پاکستان و مصر به سراسر جهان صادر می‌شود. البته مراکز عمده کاشت زیره سبز در کشور ایران استان‌های خراسان رضوی، خراسان جنوبی، آذربایجان شرقی، سمنان، اصفهان و کرمان هستند. بیماری پژمردگی فوزاریومی مهمترین بیماری زیره سبز محسوب می‌گردد که سالیانه خسارت زیادی را وارد می‌کند (Aghnoom et al., 1999). این بیماری باعث پژمردگی آوندی می‌شود و خسارت آن در هوای گرم و خشک تا ۸۰٪ افزایش می‌یابد. از آنجایی که قارچ مزبور خاکزی بوده و می‌تواند به صورت کلامیدوسپور و میسلیم، در بقایای گیاهی یا سطح خاک زمستان‌گذرانی کند مبارزه با آن یک چالش جدی محسوب می‌گردد. یکی از روش‌های مدیریت غیرشیمیایی بیماری‌های گیاهی استفاده از ارقام متحمل است.

در مطالعات پیشین ژنوتیپ‌های متفاوت زیره سبز در تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تنش (Dorrani-Nejad et al., 2019؛ Karimi Afshar et al., 2014)، عملکرد و اجزای عملکرد (Safari et al., 2015) صفات مورفولوژیکی و زراعی (Kazemi et al., 2002)، در تنش شوری (Zabet et al., 2019؛ Salami et al., 2007) و در تنش‌های زیستی مانند بیماری فوزاریوم (Nouraein et al., 2020) بررسی شده‌اند. Salamati و Zeinali (۲۰۱۳) نیز در پژوهشی که برای بررسی تنوع ژنتیکی در ۱۴ جمعیت زیره سبز انجام شده بود، از صفات مورفولوژی شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چتر و وزن هزاردانه استفاده کردند و جمعیت‌های مورد مطالعه برای کلیه صفات به جز تعداد چترک در چتر اختلاف معنی‌داری با هم

## نتایج

ابتدا برای تعیین کوفکتور طول دوره رشد و اثر فعالیت قارچ بیمارگر در طول زمان شادابی در چهار تاریخ و مرحله رشدی گیاه در پنج تاریخ کدبندی شد، آنگاه با استفاده از آزمون فریدمن که برای بررسی متغیرهای وابسته ناپارامتریک استفاده می‌شود اختلاف میانگین بین تاریخ‌های ثبت آزمون گردید؛ طبق این آزمون بین چهار تاریخ ثبت شادابی گیاهان اختلاف وجود داشت ( $df=3, Chi^2=27/93$ ) و بیشترین میانگین میزان شادابی در تاریخ دوم ثبت شده (۳) و کمترین شادابی در تاریخ چهارم (۱/۵۵). برای مرحله رشدی نیز بین پنج تاریخ ثبت اختلاف معنی‌دار بود ( $df=3, Chi^2=68/28$ ) که در طی زمان با کامل شدن رشد گیاهان منطقی به نظر می‌رسد (تاریخ اول کمترین (۱/۲) و تاریخ پنجم بیشترین میانگین (۴/۰۴)). آزمون کروسکال والیس برابر ناپارامتریک تحلیل واریانس یک‌طرفه است که تفاوت رتبه‌ای سه یا بیش از سه گروه مستقل را نشان می‌دهد. در جدول‌های ۱ و ۲ مقادیر آماره کروسکال-والیس برای آزمون اختلاف بین ژنوتیپ‌ها و تیمار عدم‌حضور بیمارگر و بیماری در هر تاریخ ثبت به‌طور جداگانه آورده شده است. طبق این جدول‌ها، به‌دلیل معنی‌دار نبودن اختلاف ژنوتیپ‌ها و تیمارها از نظر شادابی و مرحله رشدی، این صفات در محاسبات تجزیه واریانس به‌صورت کوفکتور وارد نشد.

صفات ارتفاع گیاه (cm)، تعداد چتر در بوته، وزن بوته خشک (g)، عملکرد دانه در بوته (g) و تعداد دانه در بوته در ۳ تکرار اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش دانکن با نرم‌افزار SPSS version 26 انجام شد. برای بررسی اثر طول دوره رشد در بروز بیماری فوزاریوم در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به‌عنوان کوفکتور صفات اسکور شادابی و مرحله گلدهی محاسبه گردید، به‌طوری که برای مرحله گلدهی مرحله رشدی گیاهان در ۵ تاریخ به‌صورت عدد از ۱ تا ۷ و صفر برای بذر ندادن مشخص شد. سپس برای مقایسه مراحل ثبت مرحله رشدی از آزمون کای‌اسکور استفاده گردید. برای مقایسه تیمارها و ژنوتیپ‌ها از آماره کروسکال-والیس (Kruskal-Wallis) استفاده شد. برای شاخص شادابی، ژنوتیپ‌ها در ۴ مرحله از نظر شادابی نمره‌دهی شدند که نمره از ۱ تا ۹ (بهترین) در نظر گرفته شد. برای آزمون اختلاف بین مراحل ثبت شادابی از آزمون فریدمن (Friedman Test) استفاده شد. برای آزمون اختلاف تیمارها و ژنوتیپ‌ها در هر مرحله کددهی از آماره کروسکال-والیس استفاده شد.

همبستگی صفات، کلاستر به روش وارد (Ward) با ماتریس فاصله اقلیدوسی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شرایط حضور و عدم‌حضور قارچ بیمارگر به‌صورت جداگانه انجام گردید. برای انجام تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS version 26 استفاده شد.

جدول ۱- نتایج آزمون کروسکال والیس برای صفت شادابی در چهار تاریخ ثبت در ژنوتیپ‌های زیره سبز در شرایط حضور و

عدم‌حضور قارچ فوزاریوم

**Table 1. Kruskal-Wallis test results of four recorded dates for freshness trait in *Cuminum cyminum* genotypes under presence and absence of *Fusarium***

S.O.V.	d.f.	Test statistic			
		1 <sup>st</sup> record	2 <sup>nd</sup> record	3 <sup>th</sup> record	4 <sup>th</sup> record
Treatment	1	0.13 <sup>n.s.</sup>	0.25 <sup>n.s.</sup>	3.27 <sup>n.s.</sup>	1.43 <sup>n.s.</sup>
Genotype	14	20.61 <sup>n.s.</sup>	15.81 <sup>n.s.</sup>	13.55 <sup>n.s.</sup>	22.55 <sup>n.s.</sup>

n.s.: not significant ( $P<0.05$ ).

جدول ۲- نتایج آزمون کروسکال والیس برای صفت مرحله رشدی در پنج تاریخ ثبت در ژنوتیپ‌های زیره سبز در شرایط حضور و عدم حضور قارچ فوزاریوم

**Table 2. Kruskal-Wallis test results of five recorded dates for developmental stage trait in *Cuminum cyminum* genotypes under presence and absence of *Fusarium***

S.O.V.	d.f.	Test statistic				
		1 <sup>st</sup> record	2 <sup>nd</sup> record	3 <sup>th</sup> record	4 <sup>th</sup> record	5 <sup>th</sup> record
Treatment	1	0.33 <sup>n.s.</sup>	0.015 <sup>n.s.</sup>	0.98 <sup>n.s.</sup>	0.57 <sup>n.s.</sup>	1.00 <sup>n.s.</sup>
Genotype	14	22.34 <sup>n.s.</sup>	13.87 <sup>n.s.</sup>	16.40 <sup>n.s.</sup>	21.03 <sup>n.s.</sup>	16.19 <sup>n.s.</sup>

n.s.: not significant ( $P < 0.05$ ).

در این بررسی ژنوتیپ‌ها از نظر میزان بوته‌میری با هم اختلاف داشتند (جدول ۳). در شرایط حضور بیمارگر به‌طور معنی‌داری میزان بوته‌میری از شرایط عدم حضور بیمارگر بیشتر بود. ژنوتیپ ۳-۱۷-۲ در شرایط حضور قارچ بیمارگر فوزاریوم کمترین بوته‌میری (صفر) را داشت، بعد از آن ژنوتیپ ۳-۱۳-۳ عدم حضور بیمارگر (۰/۰۶) قرار داشت. بیشترین بوته‌میری نیز مربوط به ژنوتیپ *E7r1b1* در تیمار فوزاریوم (۱) بود. *F12r1b1* اختلاف زیادی بین میزان بوته‌میری در شرایط عدم حضور بیمارگر و حضور بیمارگر را داشت که نشان‌دهنده این است که بیماری فوزاریوم بیشترین تأثیر در صفت بوته‌میری بر این ژنوتیپ داشته است (جدول ۴). در صفات ارتفاع گیاه، تعداد چتر در بوته، وزن بوته خشک، عملکرد دانه در بوته و تعداد دانه در بوته اثر ژنوتیپ و اثر متقابل تیمار در ژنوتیپ برای همه صفات معنی‌دار بود و تیمار برای وزن دانه و تعداد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). در صفت ارتفاع بوته ژنوتیپ *g8r2b2* در شرایط عدم حضور بیمارگر به‌طور معنی‌داری از بقیه ژنوتیپ‌ها ارتفاع کمتری داشت (۴/۴۶cm) و ژنوتیپ ۲-۱۴-۳ در شرایط عدم حضور بیمارگر بیشترین ارتفاع بوته را داشت (۲۵/۷۶ cm). بین ارتفاع در شرایط عدم حضور و حضور بیمارگر هر ژنوتیپ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. ژنوتیپ *I-32* در شرایط حضور بیمارگر فوزاریوم بیشترین مقدار تعداد چتر در بوته (۱۴/۶۶) و وزن خشک بوته (۰/۷۲g) را داشت و ژنوتیپ *F12r1b1* در حالت حضور بیمارگر کمترین مقدار تعداد چتر در بوته (۲/۳۳)، تعداد دانه در بوته (۴/۶۶) و وزن خشک بوته

را داشت. ژنوتیپ *g8r2b2* و ۲-۱۴-۳ در عدم حضور بیمارگر (به ترتیب با ۷۵/۶۶ و ۶۶) و ۲-۱۵-۲ در شرایط حضور بیمارگر (با ۶۵/۶۶) بیشترین مقدار تعداد دانه در بوته را داشتند. بیشترین عملکرد دانه در بوته را ژنوتیپ‌های *g8r2b2*، *I-32* و ۲-۱۵-۲ در شرایط عدم حضور بیمارگر داشتند (به ترتیب ۰/۱۹، ۰/۱۷ و ۰/۱۷ گرم) و کمترین مقدار عملکرد دانه در بوته را *F12r1b1* در شرایط عدم حضور بیمارگر داشت (۰/۰۱۳ گرم). بیشترین اختلاف بین میزان عملکرد شرایط حضور و عدم حضور بیمارگر متعلق به ژنوتیپ ۲-۱۵-۲ بود که این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار بود. بعد از آن، عملکرد دانه در بوته شرایط عدم حضور بیمارگر به‌طور معنی‌داری از شرایط حضور بیمارگر در ژنوتیپ‌های *g8r2b2* و *I-32* بیشتر بود. در ژنوتیپ‌های ۳-۱۳-۳ و ۲-۱۴-۳ عملکرد دانه در بوته در شرایط حضور بیمارگر به‌طور معنی‌داری از شرایط عدم حضور بیمارگر بزرگتر بود و کمترین اختلاف بین شرایط حضور و عدم حضور بیمارگر متعلق به *g5r2B1* و *f9r1/b* بود. در ژنوتیپ *g8r2b2* وزن خشک بوته در شرایط عدم حضور بیمارگر به‌طور معنی‌داری از شرایط حضور بیمارگر کمتر بود و در ژنوتیپ *h4r1/b* وزن خشک بوته در شرایط حضور بیمارگر به‌طور معنی‌داری از شرایط عدم حضور بیمارگر کمتر بود. ژنوتیپ‌های *g8r2b2*، ۲-۱۵-۲ و ۲-۱۴-۳ تعداد دانه در بوته در عدم حضور بیمارگر به‌طور معنی‌داری از شرایط حضور بیمارگر کمتر بود. ژنوتیپ‌های *g8r2b2*، ۳-۱۳-۳ و ۲-۱۵-۲ در شرایط حضور بیمارگر بیشترین تعداد دانه در بوته در شرایط حضور بیمارگر بودند (جدول ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات در ژنوتیپ‌های زیره سبز در شرایط حضور و عدم حضور قارچ فوزاریوم

Table 3. ANOVA of some traits in *Cuminum cyminum* genotypes under presence and absence of *Fusarium*

S.O.V.	d.f.	Plant height (cm)	Number of umbrellas per plant	Plant dry weight (g)	Seed yield per plant (g)	Number of seeds per plant	Plant mortality ratio
Genotype (G)	12	86.09**	36.95**	0.18**	0.01**	1583.06**	0.15**
Treatment (T)	1	3.87 <sup>n.s.</sup>	11.68 <sup>n.s.</sup>	0.00 <sup>n.s.</sup>	0.00**	780.12**	0.86**
G*T	12	49.80**	24.80**	0.06 <sup>n.s.</sup>	0.004**	397.58**	0.08 <sup>n.s.</sup>
Experimental error	52	7.11	8.56	0.02	0.001	41.93	0.05
C.V. (%)		14.01	34.08	51.25	34.11	18.20	6.98

n.s. and \*\*: non-significant and significant at 1% probability level, respectively

عملکرد دانه در بوته و عملکرد بیولوژیک و همچنین همبستگی مثبت بالایی بین عملکرد دانه در بوته و وزن کل بوته گزارش شد (Faravani *et al.*, 2018). همچنین Karimi Afshar و همکاران (۲۰۱۴) نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ارتفاع بوته و عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و تعداد چتر در بوته در زیره گزارش کردند.

برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های زیره در شرایط حضور و عدم حضور قارچ بیمارگر فوزاریوم با شش صفت ارتفاع گیاه، تعداد چتر در بوته، وزن بوته خشک، عملکرد دانه در بوته، تعداد دانه در بوته و میزان بوته‌میری از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) و بر مبنای فاصله اقلیدسی به عنوان معیار تشابه استفاده شد. شکل ۱، نمودار درختی حاصل از تجزیه خوشه‌ای در شرایط عدم حضور بیمارگر است که سه گروه ژنوتیپی را نشان می‌دهد. گروه اول شامل 2-15-2، 2-17-3، 1-32، 1-32 و 2-14-3 بود که از نظر صفات وزن خشک بوته و تعداد چتر از گروه دوم به‌طور معنی‌داری بزرگتر بودند. گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های *E7r1b1*، *3-13-3*، *3-2-1*، *F12r1b1*، *D6r2B1*، *g5r2B1* و *f9r1/b* بود که کمترین عملکرد دانه در بوته مربوط به این گروه بود. 8g نیز در یک گروه جداگانه قرار گرفت که به‌طور معنی‌داری تعداد دانه در بوته بیشتری از ژنوتیپ‌های دو گروه دیگر داشت.

نتایج همبستگی بین شش صفت ارتفاع گیاه، تعداد چتر در بوته، وزن بوته خشک، عملکرد دانه در بوته، تعداد دانه در بوته و میزان بوته‌میری در شرایط حضور قارچ بیمارگر فوزاریوم (جدول ۵) نشان داد که بیشترین همبستگی را ارتفاع بوته با تعداد دانه در بوته داشت (۰/۷۶۸). عملکرد دانه در بوته با ارتفاع بوته (۰/۷۷) و تعداد دانه در بوته (۰/۶۳) همبستگی مثبت و معنی‌دار و با بوته‌میری همبستگی منفی و معنی‌دار داشت (۰/۶۱-). میزان بوته‌میری با ارتفاع همبستگی منفی و معنی‌دار داشت (۰/۶۰۱-). در پژمردگی فوزاریوم ارتفاع گیاه کمتر می‌شود و به دلیل پوسیدگی برخی دانه‌های گیاه از دست رفته و تعداد دانه کاهش می‌یابد، همچنین به دلیل چروکیدگی دانه وزن دانه کمتر می‌شود.

نتایج همبستگی بین شش صفت ارتفاع گیاه، تعداد چتر در بوته، وزن بوته خشک، عملکرد دانه در بوته و تعداد دانه در بوته، میزان بوته‌میری را در شرایط عدم حضور قارچ بیمارگر فوزاریوم (جدول ۵) نشان داد. وزن دانه در بوته با تعداد دانه در بوته همبستگی بالا و مثبت داشت (۰/۸۷). ارتفاع بوته با تعداد چتر در بوته (۰/۸۷) و وزن خشک بوته (۰/۷۷) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. بیشترین همبستگی را تعداد چتر در بوته با وزن خشک بوته نشان داد (۰/۹۲). در مطالعه‌ای که بر روی ۱۲۴ اکوتیپ زیره سبز انجام شد همبستگی مثبت و معنی‌داری برای ارتفاع بوته و

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل برخی صفات در زیره سبز در شرایط حضور و عدم حضور قارچ فوزاریوم

**Table 4. Means comparison of some traits interaction effects in *Cuminum cyminum* genotypes under presence and absence of *Fusarium***

Genotype	Treatment	Plant height (cm)	Number of umbrellas per plant	Plant dry weight (g)	Seed yield per plant (g)	Number of seeds per plant	Plant mortality ratio
2-14-3	P	22.73 <sup>b-g</sup>	9.00 <sup>a-g</sup>	0.18 <sup>e-i</sup>	0.13 <sup>bc</sup>	52.00 <sup>b</sup>	0.4 <sup>b-f</sup>
2-14-3	A	25.76 <sup>a-c</sup>	10.66 <sup>a-f</sup>	0.46 <sup>a-e</sup>	0.10 <sup>d</sup>	66.00 <sup>a</sup>	0.22 <sup>b-f</sup>
2-15-2	P	21.56 <sup>b-i</sup>	6.66 <sup>c-h</sup>	0.59 <sup>a-c</sup>	0.07 <sup>e</sup>	51.33 <sup>b</sup>	0.75 <sup>ab</sup>
2-15-2	A	24.63 <sup>a-d</sup>	13.33 <sup>ab</sup>	0.62 <sup>ab</sup>	0.18 <sup>a</sup>	65.66 <sup>a</sup>	0.67 <sup>a-d</sup>
2-17-3	P	20.46 <sup>c-i</sup>	6.33 <sup>d-h</sup>	0.34 <sup>b-h</sup>	0.13 <sup>bc</sup>	45 <sup>b-d</sup>	0.00 <sup>f</sup>
2-17-3	A	21.66 <sup>b-i</sup>	11.33 <sup>a-d</sup>	0.47 <sup>a-e</sup>	0.10 <sup>cd</sup>	50.66 <sup>b</sup>	0.19 <sup>c-f</sup>
3-13-3	P	24.5 <sup>a-e</sup>	12.33 <sup>a-c</sup>	0.44 <sup>a-f</sup>	0.09 <sup>d</sup>	42.66 <sup>b-e</sup>	0.26 <sup>b-f</sup>
3-13-3	A	19.73 <sup>d-i</sup>	8.66 <sup>b-g</sup>	0.18 <sup>e-i</sup>	0.03 <sup>fg</sup>	19.60 <sup>i-k</sup>	0.06 <sup>ef</sup>
3-2-1	P	20.6 <sup>b-i</sup>	5.33 <sup>e-h</sup>	0.15 <sup>f-i</sup>	0.06 <sup>e</sup>	22.33 <sup>h-j</sup>	0.48 <sup>a-f</sup>
3-2-1	A	18.06 <sup>e-i</sup>	6.00 <sup>d-h</sup>	0.16 <sup>e-i</sup>	0.05 <sup>ef</sup>	21.00 <sup>h-k</sup>	0.24 <sup>b-f</sup>
D6r2B1	P	19.4 <sup>d-i</sup>	8.00 <sup>b-h</sup>	0.30 <sup>c-i</sup>	0.05 <sup>ef</sup>	23.66 <sup>g-i</sup>	0.47 <sup>a-f</sup>
D6r2B1	A	19.16 <sup>e-i</sup>	7.66 <sup>b-h</sup>	0.15 <sup>f-i</sup>	0.06 <sup>e</sup>	20.00 <sup>i-k</sup>	0.37 <sup>b-f</sup>
E7r1b1	P	-	-	-	-	-	1.00 <sup>a</sup>
E7r1b1	A	17.86 <sup>e-i</sup>	9.00 <sup>a-g</sup>	0.28 <sup>d-i</sup>	0.06 <sup>ef</sup>	34.33 <sup>d-g</sup>	0.00 <sup>f</sup>
F12r1b1	P	12.80 <sup>hi</sup>	2.33 <sup>h</sup>	0.03 <sup>i</sup>	0.03 <sup>fg</sup>	4.66 <sup>l</sup>	0.75 <sup>ab</sup>
F12r1b1	A	17.00 <sup>f-i</sup>	5.33 <sup>e-h</sup>	0.07 <sup>g-i</sup>	0.01 <sup>g</sup>	9.30 <sup>i-l</sup>	0.29 <sup>b-f</sup>
f9r1.b	P	20.53 <sup>b-i</sup>	9.33 <sup>a-f</sup>	0.20 <sup>e-i</sup>	0.12 <sup>b-d</sup>	22.00 <sup>h-j</sup>	0.20 <sup>c-f</sup>
f9r1.b	A	21.96 <sup>b-i</sup>	11.00 <sup>a-e</sup>	0.25 <sup>d-i</sup>	0.11 <sup>b-d</sup>	32.66 <sup>e-h</sup>	0.11 <sup>ef</sup>
g5r2B1	P	15.33 <sup>g-i</sup>	5.66 <sup>d-h</sup>	0.09 <sup>g-i</sup>	0.04 <sup>ef</sup>	13.60 <sup>kl</sup>	0.56 <sup>a-e</sup>
g5r2B1	A	14.96 <sup>g-i</sup>	5.00 <sup>f-h</sup>	0.08 <sup>g-i</sup>	0.05 <sup>ef</sup>	14.33 <sup>kl</sup>	0.15 <sup>d-f</sup>
g8r2b2	P	21.13 <sup>b-i</sup>	11.33 <sup>a-d</sup>	0.36 <sup>b-g</sup>	0.13 <sup>bc</sup>	29.00 <sup>f-i</sup>	0.73 <sup>a-c</sup>
g8r2b2	A	4.46 <sup>i</sup>	3.33 <sup>gh</sup>	0.05 <sup>hi</sup>	0.2 <sup>a</sup>	75.66 <sup>a</sup>	0.17 <sup>d-f</sup>
h4r1.b	P	22.20 <sup>b-h</sup>	7.66 <sup>b-h</sup>	0.22 <sup>e-i</sup>	0.1 <sup>d</sup>	43.60 <sup>b-e</sup>	0.31 <sup>b-f</sup>
h4r1.b	A	23.03 <sup>b-f</sup>	12.33 <sup>a-c</sup>	0.60 <sup>ab</sup>	0.11 <sup>b-d</sup>	43.33 <sup>b-e</sup>	0.25 <sup>b-f</sup>
I-32	P	20.83 <sup>b-i</sup>	14.66 <sup>a</sup>	0.73 <sup>a</sup>	0.09 <sup>d</sup>	37.33 <sup>c-f</sup>	0.66 <sup>a-d</sup>
I-32	A	25.33 <sup>a-d</sup>	12.33 <sup>a-c</sup>	0.53 <sup>a-d</sup>	0.18 <sup>a</sup>	49.33 <sup>bc</sup>	0.50 <sup>a-f</sup>

A and P: absence and presence of pathogen *Fusarium*.

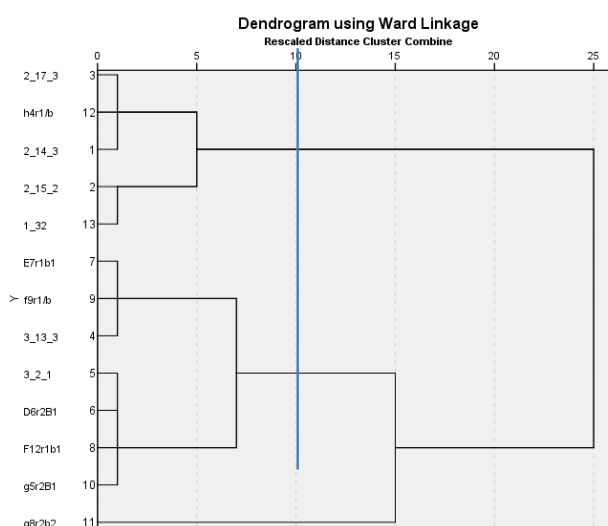
In each column, the means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan's multiple range test).

جدول ۵- همبستگی صفات ژنوتیپ‌های زیره سبز در شرایط حضور (بالای قطر اصلی) و عدم حضور (پایین قطر اصلی) قارچ بیمارگر فوزاریوم

**Table 5. Traits correlation in *Cuminum cyminum* genotypes under presence (above main diameter) and absence (below main diameter) of pathogenic fungus *Fusarium***

Traits	Plant height (cm)	Number of umbrellas per plant	Plant dry weight (g)	Seed yield per plant (g)	Number of seeds per plant	Plant mortality ratio
Plant height (cm)	1.00	0.56*	0.55 <sup>n.s.</sup>	0.70**	0.77**	-0.60*
number of umbrellas per plant	0.88**	1.00	0.70**	0.53 <sup>n.s.</sup>	0.45 <sup>n.s.</sup>	-0.19 <sup>n.s.</sup>
plant dry weight (g)	0.77**	0.93**	1.00	0.30 <sup>n.s.</sup>	0.60*	-0.04 <sup>n.s.</sup>
seed yield per plant (g)	0.02 <sup>n.s.</sup>	0.38 <sup>n.s.</sup>	0.51 <sup>n.s.</sup>	1.00	0.631*	-0.61*
Number of seed per plant	0.04 <sup>n.s.</sup>	0.36 <sup>n.s.</sup>	0.54 <sup>n.s.</sup>	0.87**	1.00	-0.45 <sup>n.s.</sup>
Plant mortality ratio	0.40 <sup>n.s.</sup>	0.44 <sup>n.s.</sup>	0.55 <sup>n.s.</sup>	0.46 <sup>n.s.</sup>	0.31 <sup>n.s.</sup>	1.00

n.s., \*, and \*\*: non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

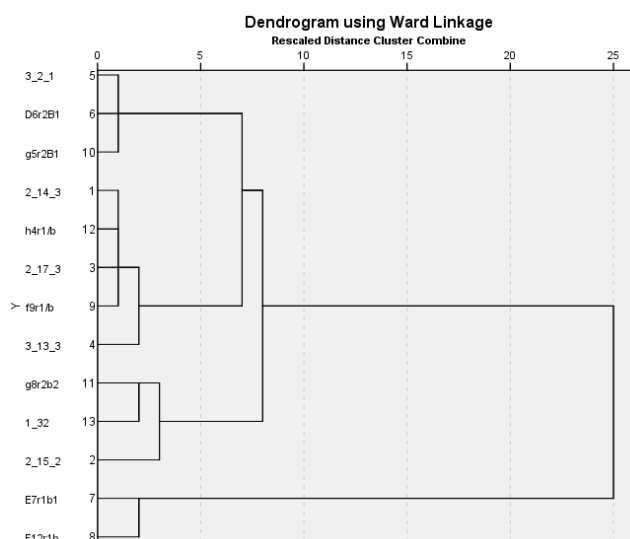


شکل ۱- تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های زیره سبز بر اساس برخی صفات در شرایط عدم حضور قارچ بیمارگر فوزاریوم

**Figure 1. Cluster analysis of *Cuminum cyminum* genotypes based on some traits under absence of pathogenic fungus *Fusarium***

تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه در بوته، تعداد چتر در بوته و ارتفاع بوته از گروه دوم که شامل ژنوتیپ‌های *E7r1b1* و *F12r1b1* هستند به‌طور معنی‌داری بیشتر بودند. گروه دوم نیز از نظر نسبت بوته‌میری به‌طور معنی‌داری از گروه اول بیشتر بود.

شکل ۲ نمودار درختی حاصل از تجزیه خوشه‌ای در شرایط حضور قارچ فوزاریوم است که دو گروه ژنوتیپی را نشان می‌دهد. به‌نحوی که ژنوتیپ‌های *32-1*، *2-14-3*، *g5r2B1*، *D6r2B1*، *g8r2b2*، *h4r1/b*، *2-17-3*، *3-13-3* و *3-2-1* در یک گروه قرار گرفته است و از نظر



شکل ۲- تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های زیره سبز بر اساس برخی صفات در شرایط حضور قارچ بیماری‌گر فوزاریوم  
**Figure 2. Cluster analysis of *Cuminum cyminum* genotypes based on some traits under presence of pathogenic fungus *Fusarium***

است، از آنجا که همه صفات زاویه حاده با یکدیگر دارند، با هم همبستگی بالایی دارند و تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه در بوته و میزان بوته‌میری با هم و تعداد چتر در بوته و وزن خشک بوته با هم بیشترین همبستگی را دارند. ژنوتیپ‌هایی ضریب مثبت و بالایی از مؤلفه اول داشتند که عملکرد خوبی در شرایط عدم حضور بیمارگر داشتند. ژنوتیپ 2-15-2 بیشترین ضریب مثبت از مؤلفه اول و *F12r1b1* بیشترین ضریب منفی این مؤلفه را داشت. برای مؤلفه دوم بیشترین ضریب منفی را ژنوتیپ 3-13-3 و بیشترین ضریب مثبت را *g8r2b2* داشت (شکل ۳).

به‌طور کلی ژنوتیپ‌ها از نظر مؤلفه اول پراکندگی بالایی داشتند که این نشان‌دهنده تنوع ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر صفات است. ژنوتیپ *g8r2b2* که در تجزیه خوشه‌ای در یک گروه جداگانه قرار گرفته است در بای‌پلات نیز با فاصله زیاد از سایر ژنوتیپ‌ها قرار گرفت. نتایج تجزیه خوشه‌ای با تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با هم همخوانی داشت. در مطالعه‌ای بر روی ۴۹ اکوتیپ زیره سبز که از ۹ جمعیت ایرانی زیره سبز انتخاب شده بودند از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. براساس دو مؤلفه

از تجزیه به مختصات اصلی برای کاهش متغیرهای اولیه، توصیف و تشریح تنوع کل موجود در یک جامعه و تبیین سهم صفات در تنوع کل استفاده می‌شود (Pearson, 1901). بدین منظور براساس شش صفت با در نظر گرفتن مقادیر ویژه بزرگتر از یک، دو مؤلفه برای ۱۳ ژنوتیپ زیره در شرایط عدم حضور بیمارگر شناسایی شد که ۸۰/۱۳٪ تغییرات کل را توجیه می‌کنند (جدول ۶). مؤلفه اول که ۵۲/۵۹٪ از تغییرات را تبیین کرد دارای همبستگی بزرگ و مثبت برای صفات ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته، وزن خشک بوته، عملکرد دانه در بوته و تعداد دانه در بوته بود. مؤلفه دوم ۲۷/۵۴٪ از تغییرات را توجیه می‌کرد و با صفات عملکرد دانه در بوته و تعداد دانه در بوته همبستگی بالا و مثبت و با صفت ارتفاع بوته همبستگی مثبت و بالایی داشت.

در دیاگرام دوبعدی که براساس اطلاعات حاصل از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی رسم می‌شود تأثیر صفات بر گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها به صورت وکتورهای مختلف و موقعیت هر ژنوتیپ نیز براساس نوع مؤلفه انتخابی نمایش داده می‌شود (Chapman et al., 1997). زاویه بین بردار صفات نشان‌دهنده میزان همبستگی صفات با یکدیگر



اصلی، ژنوتیپ‌ها را در سه گروه فارس، خراسان شمالی، گلستان، سمنان و یزد (گروه ۱)، خراسان جنوبی و خراسان رضوی (گروه ۲)، کرمان و اصفهان (گروه ۳) دسته‌بندی شد که سومین گروه با ژنوتیپ‌های با بازدهی بالا و زمینه‌های مختلف ژنتیکی را می‌توان برای برنامه‌های اصلاح نباتات توصیه کرد (Bahraminejad et al., 2011).

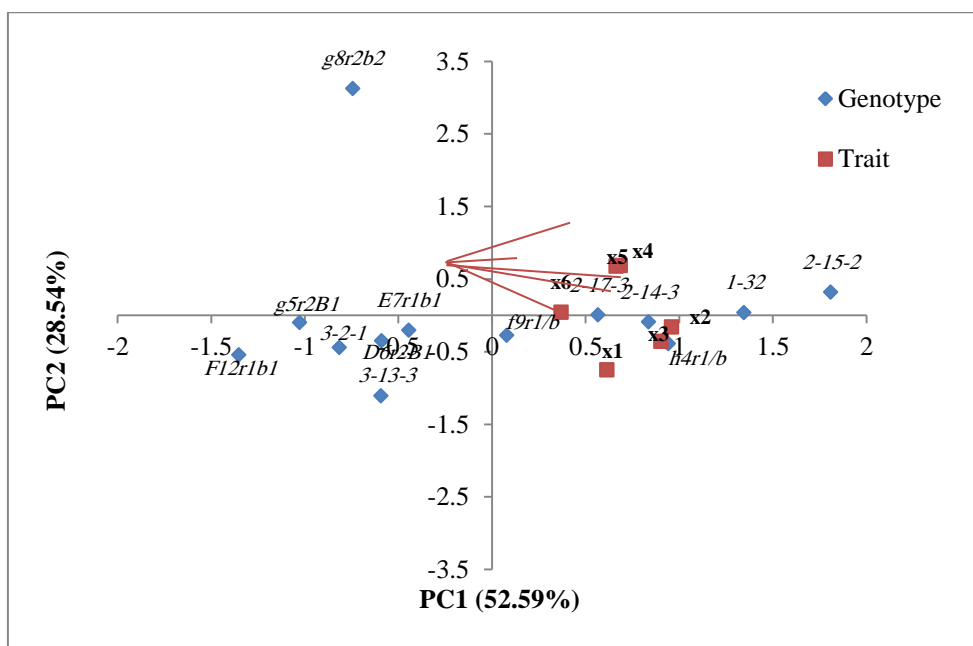
جدول ۶- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ژنوتیپ‌های زیره سبز بر اساس برخی صفات در شرایط حضور و عدم حضور قارچ بیمارگر فوزاریوم

**Table 6. Principal component analysis of *Cuminum cyminum* genotypes based on some traits under presence and absence of pathogenic fungus *Fusarium***

Genotype	Absence of <i>Fusarium</i>		Presence of <i>Fusarium</i>	
	PC1	PC2	PC1	PC2
2-14-3	0.83	-0.09	0.75	-0.60
2-15-2	1.81	0.32	0.41	1.47
2-17-3	0.56	0.006	0.72	-1.30
3-13-3	-0.59	-1.106	0.96	0.04
3-2-1	-0.81	-0.44	-0.34	-0.40
D6r2B1	-0.59	-0.35	-0.17	0.18
E7r1b1	-0.44	-0.20	-2.39	0.76
F12r1b1	-1.35	-0.54	-1.43	0.02
f9r1/b	0.08	-0.27	0.30	-0.97
g5r2B1	-1.03	-0.10	-0.69	-1.23
g8r2b2	-0.74	3.12	0.51	0.75
h4r1/b	0.94	-0.39	0.42	-0.62
1-32	1.34	0.04	0.95	1.90
<b>Eigen value</b>	3.15	1.65	3.93	1.13
<b>Variance (%)</b>	52.59	27.54	65.60	18.94
<b>Cumulative variance (%)</b>	52.59	80.13	65.60	84.55

شد (شکل ۴). طول هر وکتور وزن آن در ایجاد گروه‌های متمایز را نشان می‌دهد و با مقدار مؤلفه برای صفت مربوطه مرتبط است. ژنوتیپ‌ها را می‌توان از طریق ترسیم یک خط عمود از محل ژنوتیپ بر وکتور صفت، مورد مقایسه قرار داد. در واقع هر چه فاصله محل تلاقی خط با منشأ بیشتر باشد عملکرد ژنوتیپ از میانگین عملکرد مجموعه مورد بررسی انحراف بیشتری دارد (Chapman et al., 1997).

برای درک بهتر روابط موجود میان صفات، توصیف و تشریح تنوع کل موجود در ژنوتیپ‌ها در شرایط حضور بیمارگر فوزاریوم از تکنیک تجزیه به مختصات اصلی بر روی شش صفت استفاده شد. با در نظر گرفتن مقادیر ویژه بزرگتر از یک، دو مؤلفه شناسایی شدند. نتایج تجزیه به مختصات اصلی در ۱۵ ژنوتیپ زیره تحت شرایط حضور بیمارگر فوزاریوم در جدول ۶ ارائه شده است. بای پلات صفات مورد بررسی و ژنوتیپ‌ها براساس این دو مؤلفه رسم



شکل ۳- نمودار بای پلات ژنوتیپ‌های زیره سبز بر اساس برخی صفات در شرایط عدم حضور قارچ بیمارگر فوزاریوم

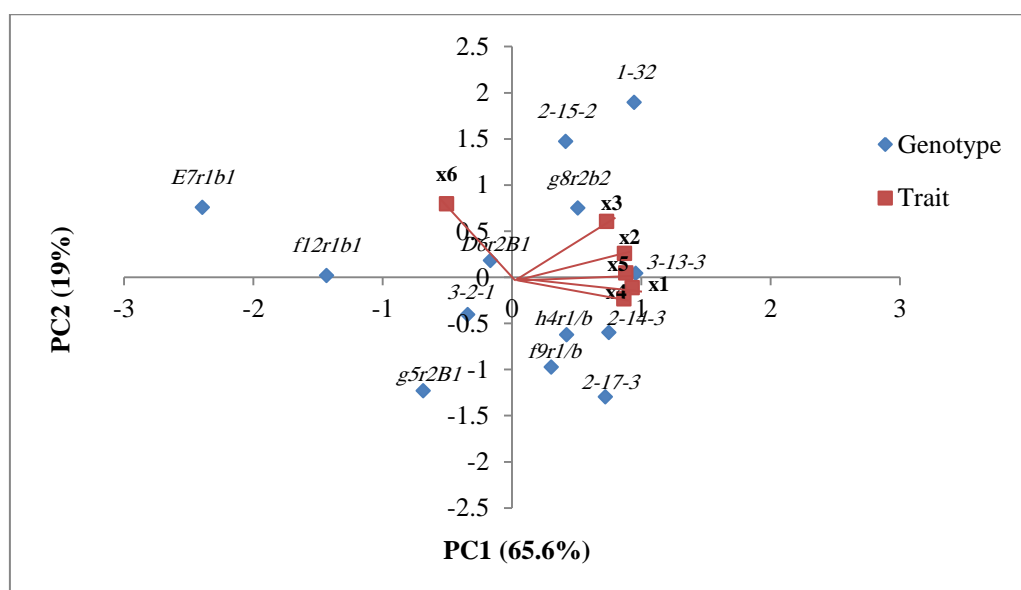
(x1: ارتفاع بوته، x2: تعداد چتر در بوته، x3: وزن خشک بوته، x4: عملکرد دانه در بوته، x5: تعداد دانه در بوته، x6: نسبت بوته‌میری)

**Figure 3. Biplot of *Cuminum cyminum* genotypes based on some traits under absence of pathogenic fungus *Fusarium***

(x1: plant height, x2: number of umbrellas per plant, x3: plant dry weight, x4: seed yield per plant, x5: number of seeds per plant, x6: plant mortality ratio)

داشت. ژنوتیپ 3-13-3 دارای ضریب بزرگ و مثبت و ژنوتیپ *E7r1b1* بزرگترین ضریب منفی برای مؤلفه اول بود. ژنوتیپ 1-32 دارای ضریب مثبت و بزرگی و ژنوتیپ 2-17-3 دارای ضریب منفی و بزرگی برای مؤلفه دوم بود. در بررسی Nouraein و همکاران (۲۰۲۰) طبق تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PC)، سه مؤلفه اول حدود ۷۸٪ از تغییرات ژنتیکی را در سال اول در شرایط حضور بیمارگر فوزاریوم توضیح داده‌اند، در حالی که چهار مؤلفه اول ۸۳٪ از تغییرات کلی را در سال دوم در شرایط فوزاریوم توضیح داده‌اند.

در این تجزیه و تحلیل دو مؤلفه در مجموع ۸۴/۵۵٪ از کل تنوع داده‌ها را توجیه کردند. مؤلفه اول بیشترین سهم (۶۵/۶۰٪) از تغییرات داده‌ها را نشان داد (جدول ۶) و دارای ضریب بزرگ و مثبت برای صفات ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته، وزن خشک بوته، وزن دانه در بوته و تعداد دانه در بوته بود. برای صفات میزان بوته‌میری و تعداد بوته کل ضریب بالا و منفی داشت، می‌توان گفت ژنوتیپ‌هایی که مقدار بالا و مثبتی برای این مؤلفه دارند عملکرد بهتری در شرایط فوزاریوم داشتند. مؤلفه دوم که ۱۸/۹۴٪ از تغییرات کل را توجیه کرد برای صفات وزن خشک بوته و نسبت بوته‌میری ضریب مثبت و بزرگ



شکل ۴- نمودار بای پلات ژنوتیپ‌های زیره سبز بر اساس برخی صفات در شرایط حضور قارچ بیماری‌گر فوزاریوم

(x1: ارتفاع بوته، x2: تعداد چتر در بوته، x3: وزن خشک بوته، x4: عملکرد دانه در بوته، x5: تعداد دانه در بوته، x6: نسبت بوته‌میری)

**Figure 4. Biplot of *Cuminum cyminum* genotypes based on some traits under presence of pathogenic fungus *Fusarium***

(x1: plant height, x2: number of umbrellas per plant, x3: plant dry weight, x4: seed yield per plant, x5: number of seeds per plant, x6: plant mortality ratio)

## بحث

نتایج همبستگی بین صفات در دو شرایط حضور و عدم حضور بیمارگر نشان داد که صفت میزان بوته‌میری در شرایط حضور بیمارگر با ارتفاع بوته رابطه معکوس داشت و این به دلیل این است که بیماری فوزاریوم باعث کاهش ارتفاع می‌شود (Faravani *et al.*, 2018). عملکرد دانه در بوته در شرایط عدم حضور بیمارگر بیشترین همبستگی را با تعداد دانه در بوته (۰/۸۷) و در شرایط حضور بیمارگر فوزاریوم بیشترین همبستگی را با ارتفاع بوته (۰/۷۰۵) داشت.

برای درک بهتر روابط موجود میان صفات و بررسی تنوع موجود در بین ژنوتیپ‌ها در شرایط عدم حضور و حضور بیمارگر فوزاریوم از تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. میانگین فاصله (۰/۱۴) ژنوتیپ‌ها در شرایط عدم حضور بیمارگر در سه گروه و در شرایط حضور بیمارگر در دو گروه قرار گرفتند. پراکندگی بیشتر ژنوتیپ‌ها براساس هر دو مؤلفه در شرایط حضور

واکنش ۱۳ ژنوتیپ زیره به بیماری پژمردگی فوزاریوم در مرحله رشدی گیاه کامل در دو شرایط عدم حضور و حضور قارچ بیمارگر بررسی شد. به‌طور کلی ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد مطالعه واکنش متفاوتی در دو شرایط داشتند و اثر متقابل ژنوتیپ در تیمار در همه صفات به‌جز وزن خشک بوته معنی‌دار بود. بنابراین نوع ژنوتیپ در حضور بیمارگر فوزاریوم اهمیت داشت. در بررسی ۶۴ اکوتیپ زیره طی دو سال تفاوت معنی‌داری برای صفات شدت بیماری، نوع عفونت، میزان بیماری، ارتفاع گیاه، روز تا شروع گلدهی، عملکرد دانه و اجزای عملکرد گزارش شده است (Nouraein *et al.*, 2020). در بررسی ژنوتیپ‌های عدس در بیماری پژمردگی فوزاریوم در دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل نیز بین ژنوتیپ‌ها و بین مراحل رشدی گیاه و همچنین اثر متقابل درصد بوته‌میری تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (Hasanian *et al.*, 2016).

حالت عدم حضور بیمارگر داشت. کاهش معنی داری از نظر تعداد دانه در بوته و وزن خشک بوته در شرایط حضور بیمارگر نسبت به عدم حضور بیمارگر داشت اما از نظر وزن دانه در بوته در شرایط بیماری افزایش معنی داری را نسبت به عدم حضور بیمارگر نشان داد. در هر دو حالت حضور و عدم حضور بیمارگر عملکرد دانه در بوته بیشتر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها برای این صفت بود، همچنین در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شرایط حضور بیمارگر دارای مقدار مثبت بالا برای مؤلفه اول و مقدار منفی برای مؤلفه دوم بود، در نتیجه این ژنوتیپ برای شرایط فوزاریوم مناسب بود. به‌طور کلی ژنوتیپ‌ها در شرایط کنترل و بیماری واکنش متفاوتی نشان دادند. ژنوتیپ *g5r2B1* و *F12r1b1* براساس صفات مورد بررسی دارای قابلیت پایین در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط بودند. از ژنوتیپ‌هایی که در این بررسی عملکرد خوبی در شرایط حضور بیمارگر نشان دادند می‌توان از *2-14-3* و *g8r2b2* به‌عنوان منابع مقاومت در برنامه‌های اصلاحی بعدی استفاده کرد. پراکندگی بیشتر ژنوتیپ‌ها براساس هر دو مؤلفه در شرایط حضور قارچ بیمارگر نشان‌دهنده این است که ژنوتیپ‌ها از تنوع مناسبی برای صفات برخوردار بودند و واکنش متفاوت تری نسبت به شرایط کنترل از خود نشان دادند. ژنوتیپ‌هایی که در خوشه‌های متفاوت قرار گرفته‌اند گزینه‌های مناسبی برای کاربرد در برنامه‌های اصلاحی آینده هستند.

## References

- Aghnoom, R., Falahi-rastegar, M. and Jafarpour, B., 1999. Comparison of chemical and biological control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cumini* in laboratory and greenhouse conditions. Iranian Journal Agriculture science, 30(3): 616-630.
- Bahraminejad, A., Mohammadi-Nejad, G. and Abdul Khadir, M., 2011. genetic diversity evaluation of cumin (*Cumin cyminum* L.) based on phenotypic characteristics. Australian Journal of Crop Science, 5(3): 304-310.
- Chapman, S.C., Crossa, J., Basford, K.E. and Kroonenberg, P.M., 1997. Genotype by environment effects and selection for drought tolerance in tropical

بیمارگر فوزاریوم نشان‌دهنده این است که ژنوتیپ‌ها از تنوع مناسبی برای صفات برخوردار بودند و واکنش متفاوت تری نسبت به شرایط عدم حضور بیمارگر از خود نشان دادند. در مطالعه‌ای دیگر تنوع ژنتیکی قابل توجهی در بین موارد مورد مطالعه برای پاسخ به بیماری پژمردگی فوزاریوم گزارش شده است (Nouraein et al., 2020). از ژنوتیپ‌های زیره که حداکثر فاصله را در دندروگرام تجزیه خوشه‌ای نشان می‌دهد می‌توان در یک برنامه‌های اصلاحی برای مقاومت به بیماری فوزاریوم استفاده کرد تا از تفکیک متجاوز و قدرت هتروزیس بالاتر بهره‌مند شد.

براساس این تحقیق ژنوتیپ *1-32* از نظر بیشتر صفات در شرایط عدم حضور بیمارگر مقدار بالایی داشت و با اینکه فقط کاهش عملکرد دانه در بوته در شرایط حضور بیمارگر در این ژنوتیپ معنی دار بود، عملکرد در شرایط حضور بیمارگر از میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها بیشتر بود. ژنوتیپ *2-15-2* علاوه بر اینکه بیشترین مقدار عملکرد دانه و تعداد دانه در بوته را در شرایط عدم حضور بیمارگر داشت وزن خشک بوته و تعداد چتر در بوته بالایی هم داشت. کاهش عملکرد دانه، تعداد دانه در بوته و تعداد چتر در بوته معنی داری را در شرایط حضور بیمارگر نشان داد. در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شرایط عدم حضور بیمارگر، بیشترین مقدار را برای مؤلفه اول داشت، در حالی که در شرایط حضور بیمارگر مقدار مؤلفه دوم (همبستگی بالایی با میزان بوته‌میری داشت) بالایی داشت. ژنوتیپ *g8r2b2* بیشترین عملکرد دانه در بوته و تعداد دانه در بوته را در شرایط عدم حضور بیمارگر داشت، کاهش این صفات در شرایط حضور بیمارگر معنی دار بود اما عملکرد در شرایط حضور بیمارگر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها برای این صفت بالاتر بود و در گروه دوم مقایسه میانگین قرار داشت و می‌توان گفت این ژنوتیپ در شرایط عدم حضور بیمارگر متفاوت‌ترین ژنوتیپ بود و در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای نیز در گروه جداگانه قرار گرفت و بیماری فوزاریوم تأثیر زیادی بر روی صفات مورد مطالعه در این ژنوتیپ داشت. ژنوتیپ *2-14-3* بیشترین تعداد دانه را در

- Sazandegi, 15(1): 42-45.
- Nouraein, M., Khavari-Khorasani, S. and Akhavan, M., 2020. Screening cumin (*Cuminum cyminum* L.) landraces for resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. cumini. Australasian Plant Pathology, 49(3): 295-305.
  - Pearson, K., 1901. LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 2(11): 559-572.
  - Safari, B., Mahdi Mortazavian, S.M., Sadat-Noori, S.A. and Foghi, B., 2015. Effect of water stress on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes. Journal of Plant Physiology and Breeding, 5(2): 51-61.
  - Salamati, M.S. and Zeinali, H., 2013. Evaluation of genetic variation in different populations of *Cuminum cyminum* L. using morphological traits. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 29(1): 51-62.
  - Salami, M.R., Safarnejad, A. and Hamidi, H., 2007. Effect of salinity stress on morphological characters of *Cuminum cyminum* and *Valeriana officinalis*. Pajouhesh and Sazandegi, 19(3): 77-83.
  - Talaviya, J.R., Kapadiya, I.B., Bhaliya, C.M. and Lathiya, S.V., 2017. Screening of Cumin Varieties/Lines against Wilt Disease. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6(6): 3173-3176.
  - Zabet, M., Ghaderi, M.G. and Sayyari-Zohan, M.H., 2019. The study of salinity tolerance in cumin ecotypes at germination stage. Applied Crop Breeding, 4(1): 17-34.
  - maize. II. Three-mode pattern analysis. Euphytica, 95(1): 11-20.
  - Dorrani-Nejad, M., Aghighi, S. and Mohammadi-Nejad, G., 2019. The evaluation of the elite genotypes for drought tolerance in cumin (*Cuminum Cyminum* L.) using drought tolerance indices. Journal of Plant Productions (Agronomy, Breeding and Horticulture), 42(2): 227-238.
  - Faravani, M., Jafari, A.A., Ranjbar, M., Negari, A. and Azizi, N., 2018. Study of phenological, morphological and phytochemical characteristics of cumin ecotypes under Mashhad climatic conditions. Applied Field Crops Research (Pajouhesh & Sazandegi), 31(3): 95-113.
  - Ghanbari, J., Khajoei-nejad, G.R. and Mohammadi-nejad, G., 2017. Study of ecotype and sowing date interaction in cumin (*Cuminum cyminum* L.) using different univariate stability parameters. Iranian Journal of Field Crops Research, 15(1): 87-102.
  - Hasanian, S., Sofalian, O., Davari, M., Asghari, A. and Karimizadeh, R., 2016. Evaluation of some lentil genotypes for *Fusarium oxysporum* f. sp. lentis resistance. Plant Protection, 39(3): 27-37.
  - Karimi Afshar, A., Baghizadeh, A., Mohammadi-Nejad, Gh. and Abedi, J., 2014. Assessment of cumin (*Cuminum cyminum* L.) genotypes under drought stress based on drought tolerance indicators. 1st International Congress and 13th Iranian Genetics Congress, Tehran, 24-26 May: 1-4.
  - Kazemi, S.F., Farahi, A.S. and Sharafi, A.E., 2002. Effect of water stress on seed yield and some growth traits in cumin (*Cuminum cyminum*). Pajouhesh-&

## Study on *Cuminum cyminum* L. genotypes tolerance to *Fusarium* wilt disease

S. Aghighi<sup>1\*</sup>, Gh. Mohammadi-Nejad<sup>2</sup> and Sh. Khandani<sup>3</sup>

1- Corresponding author, Research and Technology Institute of Plant Production, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, E-mail: aghighis@uk.ac.ir

2- Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

3- Ph.D. student of Genetics and Plant Breeding, College of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: October 2021

Revised: June 2022

Accepted: September 2022

### Abstract

*Fusarium* wilt disease is the most important disease of cumin (*Cuminum cyminum* L.) and causes great damage to it every year. The present study was conducted to evaluate the response of 13 cumin genotypes to *Fusarium* wilt disease as a factorial experiment in a completely randomized design (genotype as the first factor and absence and presence of the pathogen as the second one) with three replications in the greenhouse of Research and Technology Institute of Plant Production, Shahid Bahonar University of Kerman during growing season of 2020-2021. The results showed that the interaction of genotype and treatment was statistically significant on most of the traits. The highest traits correlation was observed between plant dry weight and number of umbrellas per plant (0.92) under the absence of pathogen conditions and between plant height and number of seeds per plant (0.76) under the presence of pathogen conditions. Cluster analysis (Ward method) regarding the studied traits divided the genotypes into three groups under the absence of pathogen conditions and two groups under the presence of pathogen. Principal component analysis showed that the first two components could explain 80.13% (absence of pathogen) and 84.55% (presence of pathogen) of the variations. Also, biplot analysis showed high diversity of the genotypes as well as confirming the clustering results. The genotype *E7r1b1* had the highest plant mortality ratio (100%) under the presence of pathogen. Under the absence of pathogen, the genotype *g8r2b2* had the highest yield (0.20 g) and number (75.66) of seeds per plant. Yield and number of seeds per plant decreased significantly under the presence of pathogen. The highest seed yield (0.14 g) under the presence of pathogen was observed in the genotype *2-14-3*. Based on the studied traits, the genotypes *g5r2B1* and *F12r1b1* had the lowest potential compared to the others under the both conditions. In general, the genotypes reacted differently under the absence and presence of pathogen conditions. The genotypes that revealed tolerance to the disease conditions could be introduced as sources of tolerance in further breeding programs.

**Keywords:** Cumin (*Cuminum cyminum* L.), disease tolerance, wilt disease, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cumini*.