

## ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای عملکرد اسانس ژنوتیپ‌های گشنیز تحت شرایط مختلف آبیاری با استفاده از روش GGE بای پلات

امیر قلی‌زاده<sup>۱\*</sup>، مصطفی خدادادی<sup>۲</sup>، آرام شریفی زاغه<sup>۳</sup>

۱. استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، گرگان، ایران

۲. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: پایداری ژنوتیپ ایده‌آل گشنیز عملکرد اسانس	ارزیابی ژنوتیپ‌های گشنیز ( <i>Coriandrum sativum</i> L.) تحت شرایط مختلف آبیاری می‌تواند در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و با پتانسیل عملکرد بالا مفید باشد. به منظور بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای عملکرد اسانس در گشنیز، ۲۱ ژنوتیپ گشنیز تحت سه شرایط مختلف آبیاری شامل آبیاری نرمال (E1)، تنش ملایم (E2) و تنش شدید (E3) به طور جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. از روش آماری GGE بای پلات با مدل اثر ژنوتیپ + برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای ارزیابی پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد بررسی استفاده شد. نتایج تجزیه مرکب عملکرد اسانس نشان داد که اثر محیط، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بود و از این رو، امکان تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها وجود داشت. نتایج تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها با روش GGE بای پلات نشان داد که دو مؤلفه اول و دوم GGE بای پلات، ۹۶/۴ درصد از تغییرات کل عملکرد اسانس را توجیه کردند. بر اساس بای پلات ژنوتیپ فرضی ایده‌آل، ژنوتیپ G17 از نظر هر دو عامل پایداری و میانگین عملکرد اسانس، بهتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود و سازگاری عمومی بالایی در همه محیط‌های مورد بررسی داشت. علاوه بر آن، ژنوتیپ G9 در محیط E1 و ژنوتیپ G18 در محیط‌های E2 و E3 ژنوتیپ‌های برتر و با سازگاری خصوصی بالا بودند. همچنین نتایج نشان داد که کلیه محیط‌ها دارای قابلیت تمایز بالایی بوده و توانستند تفاوت‌های بین ژنوتیپ‌ها را به خوبی آشکار کنند. محیط تنش ملایم نزدیک‌ترین محیط به محیط ایده‌آل بود و بیشترین تمایز و بیانگری را نشان داد.

### مقدمه

گشنیز در رفع مشکلات دستگاه گوارش، کاهش اشتها، تشنج، بی‌خوابی و اضطراب استفاده می‌شود (Volatil, 2000). همچنین خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد باکتریایی، ضد دیابت، ضد سرطان و ضد جهش آن به اثبات رسیده است (Burt, 2004; Cantore et al., 2004; Kubo et al., 2004; Wangensteen et al., 2004; Gallagher et al., 2003; Chithra and Leelamma, 2000).

گشنیز با نام علمی *Coriandrum sativum* L. گیاهی علفی، یک‌ساله و متعلق به خانواده چتریان (Apiaceae) است. خواص دارویی و وجود ترکیبات معطر سبب شده است گشنیز یکی از گیاهان مشهور در سراسر دنیا باشد. قسمت مورد استفاده گیاه گشنیز، برگ و میوه آن است. اسانس میوه در صنایع دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی دارای اهمیت بسزایی است و روغن میوه در صنایع غذایی و دارویی کاربرد دارد (Volatil, 2000; Sefidkon et al., 2007). از اسانس

تنش‌های محیطی باعث بروز دامنه وسیعی از تغییر بیان ژن و متابولیسم سلول تا تغییر در سرعت رشد و عملکرد گیاهان می‌شوند (Reddy, 2004). نتایج پژوهش‌های موجود، بیانگر این مطلب است که خواص کیفی و کمی گیاهان دارویی از جمله خانواده چتریان تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار می‌گیرد (Zehtab-Salmasi et al., 2006). با توجه به اهمیت تغذیه‌ای و دارویی گشنیز و افزایش روزافزون کشت آن، تولید و ایجاد ژنوتیپ‌های جدید که به شرایط محیطی مختلف متحمل باشند، حائز اهمیت است. روش‌های گوناگونی برای بررسی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی مختلف ارائه شده‌اند. مقایسه عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی متفاوت (بدون تنش و تنش) و گزینش ژنوتیپ‌هایی که به هر دو محیط سازگارند، هدف اصلی این‌گونه تحقیقات است (Falconer, 1990). پژوهشگران آزمایش‌هایی تحت دو شرایط بدون تنش و تنش انجام داده و در نهایت به این نتیجه رسیده‌اند که ژنوتیپی مطلوب و پایدار است که در هر دو شرایط بهترین پاسخ را بدهد (Fernandez, 1992).

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۲۱ ژنوتیپ گشنیز در سه آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۳۵۲ متر از سطح دریا با اقلیم نیمه‌خشک مورد ارزیابی قرار گرفتند. مواد ژنتیکی استفاده شده در این پژوهش ۶ توده بومی گشنیز شامل اصفهان، همدان، بوشهر، مازندران، مرکزی و توده تجاری کرج و نسل‌های F2 حاصل از تلاقی دی‌آلل یک‌طرفه آن‌ها بود (جدول ۱).

پس از عملیات تهیه زمین، کشت با تراکم  $15 \times 30$  سانتی‌متر در هر واحد آزمایشی انجام شد. نحوه آبیاری و اعمال تنش برای ژنوتیپ‌ها در آزمایش‌ها به‌گونه‌ای بود که در آزمایش اول که مربوط شرایط بدون تنش (محیط E1) بود، آبیاری در زمان رسیدن رطوبت خاک به ۵۰ درصد آب در دسترس گیاه انجام شد. در آزمایش دوم مربوط به تنش ملایم (محیط E2)، در مرحله اول، از زمان ساقه‌دهی تا شروع تشکیل میوه، آبیاری زمانی انجام شد که رطوبت خاک به ۳۰ درصد آب در دسترس گیاه رسیده بود و پس‌از این مرحله، آبیاری قطع شد و در آزمایش سوم مربوط به تنش شدید (محیط E3)، آبیاری تا زمان شروع تشکیل دانه به‌صورت نرمال انجام و پس‌از این مرحله آبیاری قطع شد. میزان عناصر موردنیاز گیاه و سایر مراقبت‌های زراعی با توجه به نیاز گیاه اعمال شد. همچنین در طول فصل رشد و چین علف‌های هرز با توجه به نیاز گیاه انجام شد. با پایان فصل رشد گیاهان برداشت شدند و استخراج اسانس سه تکرار هر آزمایش به‌طور

زمانی که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف ارزیابی می‌شوند، عملکرد آن‌ها در مقایسه با یکدیگر در محیط‌های مختلف یکسان نخواهد بود. ممکن است یک ژنوتیپ در تعدادی از محیط‌ها دارای بالاترین عملکرد باشد ولی در سایر محیط‌ها ژنوتیپ یا ژنوتیپ‌های دیگری برتری داشته باشد. به تغییراتی که در عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت به وجود می‌آید، اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط گفته می‌شود (Jafari and Farshadfar, 2018). اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط یکی از مسائل مهم در به‌نژادی گیاهان است که در آزادسازی و معرفی ژنوتیپ‌های اصلاح‌شده دارای اهمیت فراوان است. ارزیابی در شرایط محیطی مختلف به‌عنوان نمونه‌ای از محیط‌ها، سبب تعیین پایداری عملکرد شده و ژنوتیپ‌های با اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط کمتر گزینش می‌شوند (Shiri and Bahrapour, 2015). روش‌های گوناگونی برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط وجود دارد که روش GGE بای‌پلات با استفاده از نمایش گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط، به‌نژادگر این امکان را می‌دهد که به‌آسانی پایداری ژنوتیپ‌ها و ترکیب پایداری با عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف را بررسی کرده و همچنین با استفاده از این روش می‌توان روابط میان محیط‌ها و محیط‌های هدف را در برنامه‌های به‌نژادی شناسایی کرد

کلونجر به مدت ۱۲۰ دقیقه عمل استخراج انجام شد (Msaada et al., 2009). عملکرد اسانس از حاصل ضرب دو صفت محتوای اسانس و عملکرد دانه به دست آمد.

جداگانه با استفاده از دستگاه کلونجر و به روش تقطیر بخار آب انجام شد به طوری که ۳۰ گرم از دانه گشنیز با استفاده از هاون کاملاً آسیاب شده و به همراه ۲۵۰ میلی‌لیتر آب در مخزن

#### جدول ۱. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این تحقیق

Table 1. The studied genotypes in this research

Code	Genotype	ژنوتیپ	Code	Genotype	ژنوتیپ
G1	Alborz	البرز	G12	Isfahan	اصفهان
G2	Alborz × Markazi	البرز × مرکزی	G13	Isfahan × Mazandaran	اصفهان × مازندران
G3	Alborz × Isfahan	البرز × اصفهان	G14	Isfahan × Hamadan	اصفهان × همدان
G4	Alborz × Mazandaran	البرز × مازندران	G15	Isfahan × Bushehr	اصفهان × بوشهر
G5	Alborz × Hamadan	البرز × همدان	G16	Mazandaran	مازندران
G6	Alborz × Bushehr	البرز × بوشهر	G17	Mazandaran × Hamadan	مازندران × همدان
G7	Markazi	مرکزی	G18	Mazandaran × Bushehr	مازندران × بوشهر
G8	Markazi × Isfahan	مرکزی × اصفهان	G19	Hamadan	همدان
G9	Markazi × Mazandaran	مرکزی × مازندران	G20	Hamadan × Bushehr	همدان × بوشهر
G10	Markazi × Hamadan	مرکزی × همدان	G21	Bushehr	بوشهر
G11	Markazi × Bushehr	مرکزی × بوشهر			

محیط  $\lambda_{am}$  و  $e_{ij}$ ، باقی‌مانده‌ای است که به وسیله آثار اولیه و ثانویه توضیح داده نمی‌شود. در واقع یک بای‌پلات GGE از طریق رسم  $g_{i1}$  در مقابل  $g_{i2}$  و  $e_{1j}$  در مقابل  $e_{2j}$  یک نمودار پراکنش ایجاد می‌کند.

#### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفت عملکرد اسانس نشان داد که اختلاف بین محیط‌های مورد مطالعه، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان‌دهنده این مطلب است که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت پاسخ‌های متفاوتی نشان داده و به عبارت دیگر اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیطی دیگر یکسان نیست و پایداری عملکرد اسانس می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد. واکنش ژنوتیپ‌های مختلف معمولاً به دلیل پاسخ متفاوت ژن‌ها و یا قدرت تظاهر متفاوت آن‌ها در محیط‌های مختلف است (Falconer, 1981; Jafari and Farshadfar, 2018). محاسبه درصد میانگین مربعات (واریانس) سه منبع محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به مجموع آن‌ها نشان داد که عمده تغییرات موجود در داده‌ها به وسیله

#### تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا آزمون نرمال بودن باقی‌مانده داده‌ها از طریق آزمون کولموگوروف-اسیمروف (Kolmogorov-Smirnov) با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver 20 (۲۰۱۰) مورد بررسی قرار گرفتند. سپس آزمون بارتلت به منظور بررسی یکنواختی واریانس محیط‌ها انجام شد و در ادامه تجزیه واریانس مرکب انجام شد. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، تجزیه گرافیکی با استفاده از روش GGE بای‌پلات (Yan, 2001; Yan and Kang, 2003) انجام شد. به منظور رسم نمودارهای بای‌پلات، میانگین عملکرد اسانس ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف به صورت یک ماتریس دوطرفه تنظیم و به نرم‌افزار GGE بای‌پلات معرفی گردید. رسم نمودارهای بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم صورت گرفت. مدل آماری این روش بر اساس رابطه ۱ است.

$$y_{ij} - \mu - \beta_j = g_{i1}e_{1j} + g_{i2}e_{2j} + e_{ij} \quad [1]$$

در رابطه فوق  $y_{ij}$ ، ارزش میانگین ژنوتیپ  $i$ ام برای محیط  $j$ ام،  $\mu$ ، میانگین کل ژنوتیپ‌ها،  $\beta_j$ ، اثر اصلی محیط  $j$ ام،  $g_{i1}$  و  $e_{1j}$  به ترتیب مقادیر اولیه برای ژنوتیپ  $i$ ام و محیط  $j$ ام،  $g_{i2}$  و  $e_{2j}$  به ترتیب مقادیر ثانویه برای ژنوتیپ  $i$ ام و

واریانس محیط‌ها توجیه شده (۶۵/۰ درصد) و واریانس بین ژنوتیپ‌ها و نیز واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۲۵/۵ و ۴/۲ درصد از تغییرات را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۲).

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب عملکرد اسانس ژنوتیپ‌های گشنیز در محیط‌های مختلف

Table 2. Combined analysis of variance for essential oil yield of coriander genotypes in different environments.

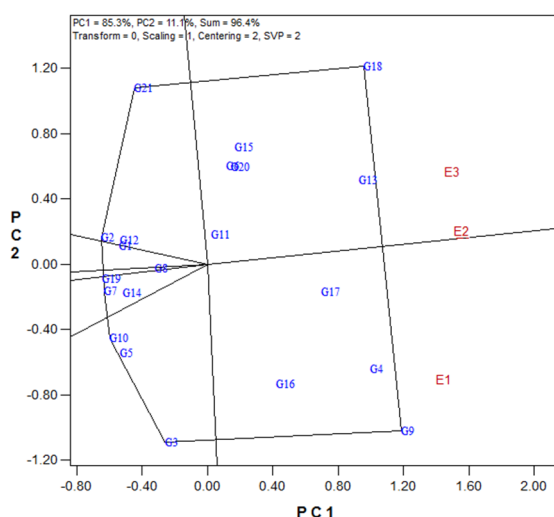
Source of variations	منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	درصد واریانس کل Present of total variation
Environment (E)	محیط	65.0	0.003634**	2
Replication / E	تکرار درون محیط		0.000264	6
Genotype (G)	ژنوتیپ	25.5	0.001428**	5
G × E	ژنوتیپ × محیط	4.2	0.000235**	10

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

\*\* Non-significant at the 0.01 probability level.

را به خود اختصاص داده است ( Pourdad and Jamshid ( Moghadam, 2013; Shiri and Bahrapour. 2015). نتایج حاصل از روش GGE بای‌پلات نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۸۵/۳ و ۱۱/۱ درصد و در مجموع ۹۶/۴ درصد از تغییرات مربوط به ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند که نشان‌دهنده اعتبار بالای بای‌پلات به دست آمده در این بررسی در توجیه تغییرات G+GE است (شکل ۱).

با توجه به این‌که محیط‌های آزمایش طیف وسیعی از شرایط رطوبتی (بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید) را دارا بوده، بنابراین قسمت عمده‌ی تغییرات را می‌توان به محیط نسبت داد. بزرگی اثر محیط نشان‌دهنده تنوع محیط‌هاست که باعث ایجاد تفاوت در عملکرد اسانس ژنوتیپ‌ها شده است. سایر محققان در آزمایش‌های چند محیطی خود نشان دادند که اثر محیط درصد قابل توجهی از تغییرات موجود در داده‌ها



شکل ۱. نمایش چندضلعی بای‌پلات برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در گشنیز

Fig. 1. Biplot polygon view for grouping the genotypes and environments in coriander

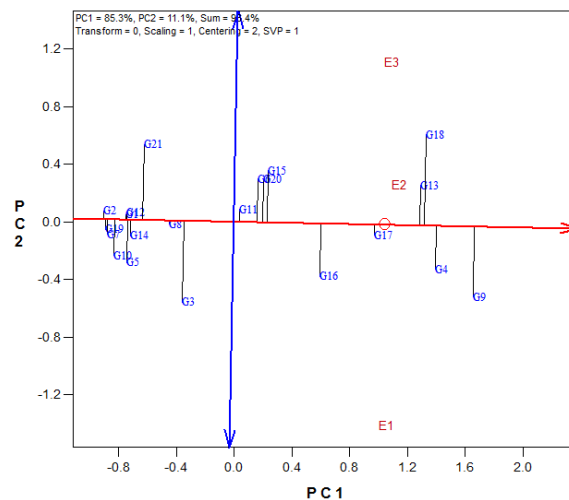
عمود بر هر طرف چندضلعی رسم می‌شوند. این خط‌ها نمودار بای‌پلات را به چند قسمت تقسیم می‌کنند. در درون هر قسمت (محیط کلان)، ژنوتیپی که در رأس چندضلعی قرار دارد، در همه محیط‌هایی که در درون آن قسمت قرار گرفته‌اند، برتر و دارای سازگاری خصوصی بالا با آن

یکی از موارد استفاده از GGE بای‌پلات، رسم نمودار چندضلعی (Polygon) است. برای رسم این نمودار، ژنوتیپ‌هایی که از مبدأ مختصات نمودار بای‌پلات دور هستند، در رأس چندضلعی و ژنوتیپ‌های دیگر در درون چندضلعی قرار می‌گیرند و سپس خط‌هایی از مبدأ نمودار بای‌پلات و

قرار نگرفتند که بیانگر عدم تولید عملکرد اسانس بالای این ژنوتیپ‌ها در کلیه محیط‌ها بود (شکل ۱). در محیط کلان اول ژنوتیپ‌های G4, G16 و G17 علاوه بر ژنوتیپ قرار گرفته در رأس چندضلعی (ژنوتیپ G9) وجود داشتند. در محیط کلان دوم نیز علاوه بر ژنوتیپ G18, ژنوتیپ‌های G13, G15, G20, G6 و G11 نیز وجود داشتند. این ژنوتیپ‌ها نیز سازگاری خصوصی بالایی با محیط‌های قرار گرفته در آن قسمت و شباهت بالایی با ژنوتیپ قرار گرفته در رأس چندضلعی داشتند. استفاده از نمودار چندضلعی برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در محیط‌های مختلف و نیز مشخص نمودن محیط‌های کلان برای اولین بار توسط (Yan, 1999) به کار برده شد که بعداً سایر محققان نیز از چنین رویه‌ای استفاده کردند (Changizi et al., 2011; Choukan, 2015; Temesgen et al., 2014).

در این مطالعه از نمودار مختصات محیط متوسط (Average Environment Coordinate; AEC) به منظور بررسی هم‌زمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده گردید (شکل ۲).

محیط‌ها است (Yan et al., 2000). ژنوتیپ‌هایی که در درون هر قسمت قرار می‌گیرند نیز سازگاری خصوصی بالایی با محیط‌های قرار گرفته در آن قسمت و شباهت بالایی با ژنوتیپ قرار گرفته در رأس چندضلعی دارند. بنابراین، وجود واریانس کم درون محیط‌های بزرگ و واریانس زیاد بین محیط‌های بزرگ، یکی از ویژگی‌های نمودارهای چندضلعی است (Gauch and Zobel, 1996). نمودار چندضلعی بای پلات برای ژنوتیپ‌های گشنیز نشان داد که شش ژنوتیپ G9, G18, G21, G2, G10 و G3 که بیشترین فاصله را از مبدأ بای پلات داشته و در رأس‌های چندضلعی قرار گرفته‌اند به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شدند (شکل ۱). همچنین در این مطالعه دو محیط کلان مشخص گردید که محیط اول شامل محیط E1 (آزمایش بدون تنش) بود که ژنوتیپ G9 ژنوتیپ برتر این محیط بود. محیط دوم شامل دو E2 (آزمایش تنش خشکی ملایم) و محیط E3 (آزمایش تنش خشکی شدید) بود که ژنوتیپ G18 ژنوتیپ برتر این محیط‌ها بود. ژنوتیپ‌های G2, G21, G10 و G3 نیز که در رأس نمودار چندضلعی قرار گرفته بودند، در هیچ‌کدام از محیط‌های کلان



شکل ۲. نمایش بای پلات برای گزینش هم‌زمان عملکرد و پایداری در ژنوتیپ‌های گشنیز

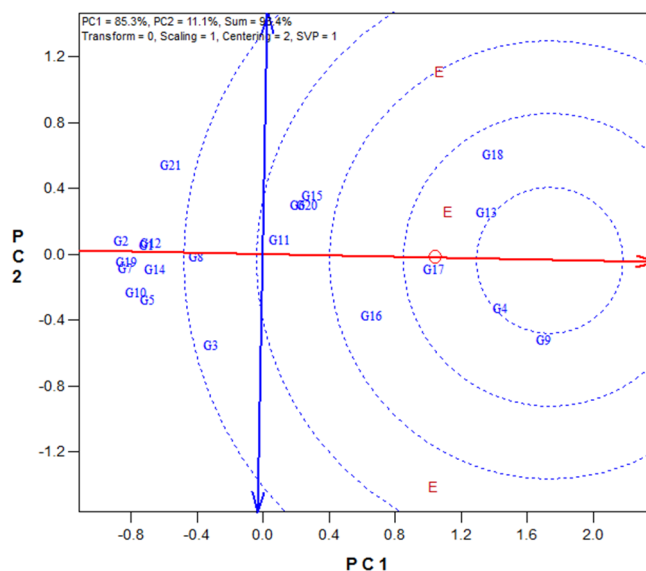
Fig. 2. Biplot view for simultaneous selection of yield and stability in coriander genotypes

باشد، پایدارتر است (Yan et al., 2000). محور عمودی AEC که دارای دو فلش است که از مبدأ بای پلات می‌گذرد و بر محور افقی AEC عمود است، بیانگر متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها است. به طوری که ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست محور عمودی AEC قرار گرفته‌اند، دارای عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل و ژنوتیپ‌هایی که در سمت چپ این محور قرار گرفته‌اند، عملکردی کمتر از میانگین عملکرد کل

به این نمودار بای پلات میانگین در مقابل پایداری نیز گفته می‌شود (Yan et al., 2007). این نمودار دارای دو محور افقی و عمودی است. ژنوتیپ‌ها در طول محور افقی AEC (محوری که با دایره و فلش مشخص شده است) بر اساس عملکرد رتبه‌بندی می‌شوند و جهت پیکان نشان‌دهنده میانگین عملکرد بالاتر است. همچنین محور افقی AEC بیانگر پایداری است و هر ژنوتیپی که به این محور نزدیک

محور افقی AEC از پایداری کمی برخوردار بودند (شکل ۲). در کل با توجه به نمودار مختصات محیط متوسط AEC، ژنوتیپ G17 به‌عنوان ژنوتیپ با عملکرد اسانس و پایداری بالا معرفی می‌شود. از نمودار مختصات محیط متوسط AEC به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و پر محصول در ذرت (Setimela et al., 2007) و گندم نان (Jafari and Farshadfar, 2018) نیز استفاده شده است. کاربرد دیگر روش GGE بای‌پلات، مقایسه کلیه ژنوتیپ‌ها با یک ژنوتیپ ایده‌آل است (شکل ۳).

را دارا می‌باشند. نتایج بای‌پلات مختصات محیط نشان داد که ژنوتیپ‌های G9، G4، G13، G18، G17 و G16 به ترتیب بیشترین عملکرد اسانس را دارا بودند و ژنوتیپ‌های G2، G19، G7، G10، G1 و G12 به ترتیب با قرار گرفتن در انتهای محور افقی AEC کمترین مقدار عملکرد اسانس را دارا بودند (شکل ۲). ژنوتیپ‌های G11 و G17 که با فاصله کمتری از محور افقی AEC قرار گرفته‌اند، دارای پایداری بالایی بودند که میانگین عملکرد آن‌ها نیز از میانگین عملکرد کل بالاتر بود. دو ژنوتیپ G9 و G18 با وجود این که دارای بیشترین عملکرد بودند ولی به دلیل داشتن فاصله زیاد از



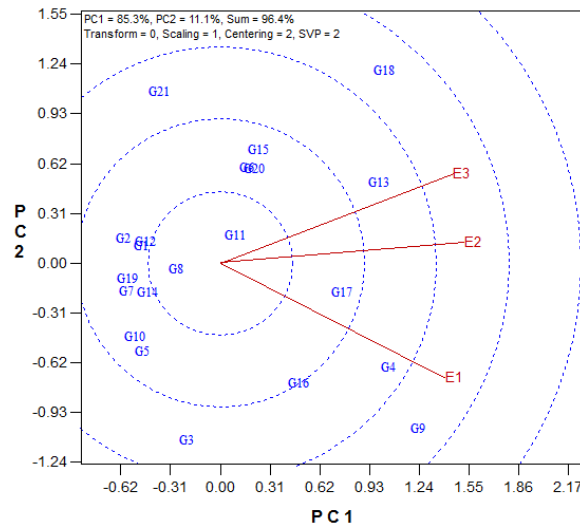
شکل ۳. نمایش بای‌پلات برای مقایسه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با ژنوتیپ ایده‌آل در گشنیز

Fig. 3. Biplot view to compare the studied genotypes with the ideal genotype in coriander

شناسایی شد. ژنوتیپ‌های دیگری که به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک بودند G9، G4، G13، G18 و G16 بودند که در رتبه دوم ژنوتیپ‌های برتر قرار گرفتند. در مقابل بقیه ژنوتیپ‌ها به‌عنوان نامناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها در این مطالعه بودند. مقایسه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل فرضی برای محصولات زراعی مختلف مثل ذرت دانه‌ای (Shiri and Bahrapour, 2015)، ارزن (Saleem et al., 2016) و گندم نان (Jafari and Farshadfar, 2018) گزارش شده است.

از روش GGE بای‌پلات برای پی بردن به رابطه بین محیط‌های مورد مطالعه نیز می‌توان استفاده کرد که در آن محیط‌ها از طریق خط‌هایی به اسم بردار به مبدأ بای‌پلات وصل می‌شوند (شکل ۴).

نمودار ژنوتیپ ایده‌آل، بر اساس تعیین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی رسم می‌شود که ژنوتیپی است که از نظر مکانی به‌صورت یک دایره کوچک روی محور میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها قرار می‌گیرد و دارای بیشترین عملکرد و پایداری است (Yan and Kang, 2003). چنین ژنوتیپی واجد حداقل نقش در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و دارای بیشترین طول روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا است. بنابراین، مبنای رتبه‌بندی بر مبنای میانگین عملکرد و پایداری است. ژنوتیپی که فاصله کمتری از ژنوتیپ ایده‌آل دارد، ژنوتیپ مطلوب با عملکرد بالا و پایدار محسوب می‌شود. در شکل ۳، ژنوتیپ G17 کمترین فاصله را از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی دارد و بنابراین به‌عنوان مناسب‌ترین ژنوتیپ در این مطالعه



شکل ۴. نمایش بای‌پلات برای بررسی روابط بین محیط‌های مورد مطالعه در گشنیز

Fig. 4. Biplot view for displaying the relationships among the studied environments in coriander

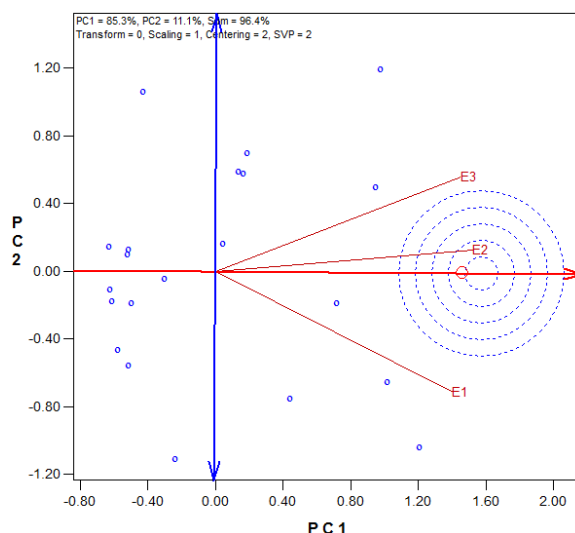
بلند بوده که نشان‌دهنده قدرت تمایز بالا در همه محیط‌های مورد آزمایش بود. در میان محیط‌های مورد مطالعه، محیط E3 (آزمایش تنش خشکی ملایم) و پس‌از آن محیط E2 (آزمایش تنش خشکی شدید) قدرت تمایز بیشتری داشتند (شکل ۴) و می‌توانند در آزمایش‌های بررسی ارقام در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تمایز مطلوبی ایجاد نمایند. از نمودار بای‌پلات همبستگی محیط‌ها به‌منظور ارزیابی قدرت تمایز محیط‌ها در کلزا (Pourdad and Jamshidi Moghadam, 2013)، باقلا (Zeleke and Berhanu, 2016)، گندم نان (Jafari and Farshadfar, 2018) و گندم دوروم (Najafi et al., 2019) نیز استفاده شده است.

یکی دیگر از ویژگی‌های مهم نمودار بای‌پلات محیط‌ها، میزان بیانگری یا نمایندگی محیط آزمایشی از محیط کلان است. محیط‌ها را بر مبنای فاصله آن‌ها از محیط ایده‌آل فرضی رتبه‌بندی می‌کنند. محیط ایده‌آل فرضی محیطی است که دارای بیشترین قابلیت بیانگری و تمایز باشد و از نظر مکانی در مرکز دایره متحدالمرکز بای‌پلات قرار دارد (Yan and Kang, 2003). زاویه بین بردار هر محیط و محور مختصات محیط متوسط (محور افقی) شاخصی برای تشخیص میزان بیانگری یک محیط است. هرچه قدر این زاویه کوچک‌تر باشد میزان بیانگری بیشتر بوده و محیط مورد نظر نماینده بهتری از محیط کلان هدف خواهد بود. اگر محیط‌های آزمایش نماینده محیط کلان نباشند، ممکن است اطلاعات گمراه‌کننده‌ای درباره ژنوتیپ‌های مورد آزمایش ارائه دهند. بنابراین، یک محیط ایده‌آل محیطی است که می‌تواند به‌عنوان

در نمودار بای‌پلات، کسینوس زاویه بین بردارهای محیط‌ها تقریبی از همبستگی بین محیط‌ها است. هراندازه زاویه بین دو بردار محیط کوچک (کمتر از ۹۰ درجه) باشد به معنای همبستگی مثبت و بالای بین آن‌ها است که بیانگر این مطلب است که اطلاعات حاصل از ژنوتیپ‌ها در آن محیط‌ها مشابه است و در صورت تکرار این نتایج در سال‌های بعد می‌توان محیط‌های مشابه را حذف کرد و از یکی از محیط‌ها استفاده نمود که این کار سبب صرفه‌جویی در هزینه و افزایش کارایی می‌شود (Yan and Kang, 2003). زمانی که زاویه بین دو بردار محیط ۱۸۰ درجه باشد همبستگی بین محیط‌ها -۱- و اگر ۹۰ درجه باشد همبستگی صفر خواهد بود. با توجه به نمودار بای‌پلات (شکل ۴)، بین محیط‌های E2 (آزمایش تنش خشکی ملایم) و E3 (آزمایش تنش خشکی شدید) همبستگی مثبت بالایی وجود داشت و می‌توان آن‌ها را به‌عنوان محیط‌های مشابه معرفی کرد. ویژگی مهم دیگر در نمودار بای‌پلات همبستگی بین محیط‌ها، طول بردار محیط است. طول بردار هر محیط، انحراف معیار درونی آن را نشان می‌دهد که این انحراف معیار توانایی تمایز محیط را نشان می‌دهد (Yan and Kang, 2003). محیط‌های با طول بردار بلندتر دارای انحراف معیار بیشتر و در نتیجه قابلیت تمایز بیشتری هستند. یکی از ویژگی‌های مهم هر محیط، قابلیت تمایز آن محیط است به‌طوری‌که محیط‌هایی که قابلیت تمایز خوبی ندارند، نمی‌توانند اطلاعات مفیدی در مورد ژنوتیپ‌ها ارائه نمایند. بررسی نمودار بای‌پلات همبستگی بین محیط‌ها نشان داد (شکل ۴) که کلیه محیط‌ها دارای طول بردارهای

۵) و به دلیل داشتن طول بردار بلندتر که بیانگر توانایی تمایز خوب و نیز قدرت نمایندگی بیشتر است، به‌عنوان محیط مطلوب جهت گزینش ژنوتیپ‌های برتر معرفی می‌شود.

نماینده بقیه محیط‌های آزمایش باشد و نیز دارای بیشترین توانایی تمایز ژنوتیپ‌ها است (Jafari and Farshadfar, 2018). در این بررسی محیط E2 (آزمایش تنش خشکی ملایم) نزدیک‌ترین محیط به محیط ایده‌آل فرضی بوده (شکل



شکل ۵. نمایش بای‌پلات برای مقایسه محیط‌های مورد مطالعه با محیط ایده‌آل در گشنیز

Fig. 5. Biplot view to compare the studied environments with the ideal environment in coriander

ژنوتیپ‌هایی با عملکرد اسانس بیشتر و دارای سازگاری خصوصی بالا به این محیط‌ها بودند. بر اساس بای‌پلات ژنوتیپ ایده‌آل فرضی نیز ژنوتیپ G17 از نظر هر دو عامل میانگین عملکرد و پایداری، بهتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود و سازگاری عمومی بالایی در محیط‌های مورد مطالعه داشت. ژنوتیپ G17 حاصل تلاقی دو توده بومی مازندران و همدان بود که نسبت به والدین خود عملکرد اسانس و پایداری بیشتری داشت و می‌تواند منشأ ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد اسانس باشد. همچنین بر اساس نتایج نمودار بای‌پلات محیط ایده‌آل، محیط E2 (آزمایش تنش خشکی ملایم) بیشترین تمایز و بیانگری را نشان داده و برای انجام بررسی‌های مقایسه ژنوتیپ‌های گشنیز در شرایط تنش خشکی به‌عنوان مناسب‌ترین محیط تشخیص داده شد.

### نتیجه‌گیری نهایی

استفاده از روش‌های چند متغیره برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط یک راهکار قوی و مناسب است. روش GGE بای‌پلات با استفاده از روش‌های چند متغیره و رسم نمودارهای دوبعدی، علاوه بر تجزیه و تحلیل مناسب داده‌ها، تفسیر نتایج را آسان می‌کند. به‌طور کلی نتایج نشان داد که روش GGE بای‌پلات روشی مناسب و کارا برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بوده و اطلاعات خوبی در مورد ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد مطالعه در اختیار قرار می‌دهد. بر اساس نتایج این پژوهش، ژنوتیپ G9 در محیط‌های E1 (آزمایش بدون تنش) و E2 (آزمایش تنش خشکی ملایم) و ژنوتیپ G18 در محیط E3 (آزمایش تنش خشکی شدید)،

### منابع

Bath, G.S., Kumar, H., Gupta, V., Brar, P.S., 2013. GGE biplot analysis for characterization of garlic (*Allium sativum* L.) germplasm based on agro-morphological traits. International Journal of Plant Breeding. 7, 106-110.

Burt, S., 2004. Essential oils: their antibacterial properties & potential applications in foods-a review. International Journal of Food Microbiology. 94, 223-253.



- Cantore, P.L., Iacobellis, N.S., De Marco, A., Capasso, F., Senatore, F., 2004. Antibacterial activity of *Coriandrum sativum* L. & *Foeniculum vulgare* Miller var. vulgare (Miller) essential oils. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 52, 7862-7866.
- Changizi, M., Choukan, R., Heravan, E.M., Bihanta, M.R., Darvish, F., 2014. Evaluation of genotype × environment interaction and stability of corn hybrids and relationship among univariate parametric methods. Canadian Journal of Plant Science. 94, 1255-1267.
- Chithra, V., Leelamma, S., 2000. Coriandrum sativum effect on lipid metabolism in 1, 2-dimethyl hydrazine induced colon cancer. Journal of Ethnopharmacology. 71, 457-463.
- Choukan, R., 2011. Genotype, environment and genotype × environment interaction effects on the performance of maize (*Zea mays* L.) inbred lines. Crop Breeding Journal. 1, 97-103. [In Persian with English Summary].
- Falconer, D., 1990. Selection in different environments: effects on environmental sensitivity (reaction norm) and on mean performance. Genetics Research. 56, 57-70.
- Falconer, D.S., 1981. Introduction to quantitative genetics. 2nd Ed. Longman, London, UK.
- Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. Proceedings of the International Symposium. Taiwan. 13-18, 257-270.
- Gallagher, A., Flatt, P., Duffy, G., Abdel-Wahab, Y., 2003. The effects of traditional antidiabetic plants on in vitro glucose diffusion. Nutrition Research. 23, 413-424.
- Gauch, H., Zobel, R.W., 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. Crop Science. 37, 311-326.
- Hemmati, I., Pourdad, S.S., Choukan, R., 2018. Studying the genotype × environment interaction under different conditions of moisture stress using graphical GGE biplot analysis in synthetic varieties of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences. 11, 471-480. [In Persian with English Summary].
- Jafari, T., Farshadfar, E., 2018. Stability analysis of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) by GGE biplot. Cereal Research. 8, 199-208. [In Persian with English Summary].
- Kubo, I., Fujita, K.I., Kubo, A., Nihei, K.I., Ogura, T., 2004. Antibacterial activity of coriander volatile compounds against *Salmonella choleraesuis*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 52, 3329-3332.
- Msaada, K., Hosni, K., Taarit, M.B., Hammami, M., Marzouk, B., 2009. Effects of growing region and maturity stages on oil yield and fatty acid composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruit. Scientia Horticulturae. 120, 525-531.
- Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., Zali, H., 2018. Evaluation of durum wheat cultivars and promising lines for yield and yield stability in warm and dry areas using AMMI model and GGE biplot. Journal of Crop Breeding. 10, 1-12. [In Persian with English Summary].
- Pourdad, S.S., Jamshid, M.M., 2013. Study on Genotype × Environment Interaction through GGE Biplot for Seed Yield in Spring Rapeseed (*Brassica Napus* L.) in Rain-Fed Condition. Journal of Crop Breeding. 5, 1-13. [In Persian with English Summary].
- Pourmeidani, A., Arefi, H., Jafari, A., Torabi, S., Mirza, M., 2016. Stability analysis of essential oil yield in different populations of thyme (*Thymus kotschyanus*) in different regions of Iran using GGE biplot. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research. 24, 277-286. [In Persian with English Summary].
- Rahimi, A., Zabet, M., 2015. Investigation of genotype × environment interaction for seed yield of cumin genotypes under normal and drought stress using GGE biplot method. The 2th Conference on New Finding in Environment and Agricultural Ecosystems. 9-11 Sep. 2015. Renewable Energy and Environmental Research Institute, University of Tehran, Iran. [In Persian with English Summary].
- Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., Vivekanadan, M.V., 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and Antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology. 161, 1189-1202.
- Saleem, R., Ashraf, M., Khalil, I.A., Anees, M.A., Javed, H.I., Saleem, A., 2016. GGE Biplot: stability a windows based graphical analysis of yield stability and adaptability of

- millet cultivars across Pakistan. *Academia Journal of Biotechnology*. 4, 186-193.
- Sastry, E., Dhirendra, S., Rajput, S., 2013. Stability analysis for water stress tolerance in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*. 73, 287-294.
- Sefidkon, F., Abbasi, K., Jamzad, Z., Ahmadi, S., 2007. The effect of distillation methods and stage of plant growth on the essential oil content and composition of *Satureja rechingeri* Jamzad. *Food Chemistry*. 100, 1054-1058.
- Setimela, P., Vivek, B., Bänziger, M., Crossa, J., Maiden, F., 2007. Evaluation of early to medium maturing open pollinated maize varieties in SADC region using GGE biplot based on the SREG model. *Field Crops Research*. 103, 161-169.
- Shiri, M.R., Bahrapour, T., 2015. Genotype × environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. *Cereal Research*. 5, 83-94. [In Persian with English Summary].
- SPSS Inc., 2010. SPSS 20. Users Guided. Chicago, USA.
- Temesgen, M., Alamerew, S., Eticha, F., 2015. GGE biplot analysis of genotype by environment interaction and grain yield stability of bread wheat genotypes in south east Ethiopia. *World Journal of Agricultural Sciences*. 11, 183-190.
- Tiwari, J.K., 2019. GGE biplot and AMMI model to evaluate spine gourd (*Momordica dioica* Roxb.) for genotype × environment interaction and seasonal adaptation. *Electronic Journal of Plant Breeding*. 10, 264-271.
- Volatil, O., 2000. Coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Plant Foods for Human Nutrition*. 51, 167-172.
- Wangensteen, H., Samuelsen, A.B., Malterud, K.E., 2004. Antioxidant activity in extracts from coriander. *Food Chemistry*. 88, 293-297.
- Yan, W., Cornelius, P.L., Crossa, J., Hunt, L., 2001. Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data. *Crop Science*. 41, 656-663.
- Yan, W., Hunt, L., 2002. Biplot analysis of diallel data. *Crop Science*. 42. 21-30.
- Yan, W., Hunt, L., Sheng, Q., Szlavnic, Z., 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*. 40, 597-605.
- Yan, W., Kang, M.S., 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Yan, W., Kang, M.S., Ma, B., Woods, S., Cornelius, P.L., 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*. 47, 643-655.
- Yan, W., Tinker, N.A., 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*. 86, 623-645.
- Zabet, M., Esmat, K., Izanlo, A., Zohan, M., 2020. Evaluation of salinity stress tolerance of some fennel ecotypes in greenhouse conditions using GTBiplot and GGEBiplot. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*. 27, 216-230. [In Persian with English Summary].
- Zehtab-Salmasi, S., Ghassemi-Golez, K., Moghbeli, S., 2006. Effect of sowing date and limited irrigation on the seed yield and quality of dill (*Anethum graveolens* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 30, 281-286.
- Zelege, A., Berhanu, F., 2016. AMMI and GGE models analysis of stability and GEI of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines in Ethiopia. *Journal of Biology, Agriculture and Helathcare*. 6, 127-135.