

Graphic analysis of genotype, environment and genotype × environment interaction for oil yield in coriander

A. Gholizadeh^{1*}, M. Khodadadi²

1. Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

2. Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received 14 July 2021; Accepted 24 August 2021

Extended abstract

Introduction

Coriander is an annual herb of the umbel family and is belonged from North Africa to south-western of Asia. Coriander is one of the important medicinal plant that used in the pharmaceutical industry and it mainly cultivated and widely distributed for the fruits. The dried fruits are widely employed as a condiment, especially for flavoring of sauces, meat products and bakery and confectionery items. Also, coriander fruits are as a source of essential oils and fatty oil. Water deficit stress is one of the most important factors limiting the growth and survival of plants in arid and semi-arid regions of the world. Water is a major component of the fresh produce and significantly effects on weight and quality of plants. Also, water deficit may cause significant changes in the yield and composition of essential oils in aromatic and medicine plants. So that, was reported that water deficit increased essential oil percentage in coriander but decreased essential oil yield. Iran with an average annual rainfall of 240 mm is included among arid and semi-arid regions of the world. Of the million hectares of cultivated region, only five millions are under irrigation because of intense water limitations. However, Iran is one of the world's commercial coriander producers. Coriander has been cultivated for many years in different parts of Iran. Therefore, development of drought-tolerant cultivars with high essential oil yield is important in coriander. This research was conducted in order to evaluate the effect of drought stress on morphological, physiological and phytochemical characteristics of endemic coriander genotypes.

Materials and Methods

F₂ generations derived from half-diallel crosses of six endemic coriander genotypes including Isfahan, Hamedan, Bushehr, Mazandaran, Markazi and Alborz, together with their parents were evaluated in randomized complete block design with three replications in each experiment during growing season of 2016 in the research field of Tarbiat Modares University. Plants were treated with different levels of water treatment: well watered (WW), moderate water stress (MWS) and severe water stress (SWS). Data were collected on fruit yield, oil content and oil yield. GGE biplot statistical method (genotype effect + genotype × environment interaction) was used to study stability of genotypes in the studied environments.

* Corresponding author: Amir Gholizadeh; E-Mail: a.gholizadeh@areeo.ac.ir



Results and Discussion

Results of Combined analysis of variance indicated that the effects of environments, genotypes and genotype \times environment interaction were significant, suggesting that the genotypes responded differently in the studied environment conditions. So, there was the possibility of stability analysis. Results of stability analysis using GGE biplot method indicated that the two first and second principal components of the GGE biplot explained 71.9% of the total essential oil yield variation. Based on the hypothetical ideal genotype biplot, the genotypes G17 (Mazandaran Hamadan) and G4 (Alborz Mazandaran) were better than the other genotypes across environments for essential oil yield and stability and had the high general adaptation to all environments. Furthermore, the genotype G18 (Mazandaran Bushehr) in E2 and E3 environments and genotype G9 (Markazi Mazandaran) in E1 environment were superior genotypes with the high specific adaptation. Comparison of the studied environments showed that the E2 and E3 environments were quite similar in ranking, grouping and assessing stability of the genotypes, whereas the E1 environment was different from the other environments. Overall, the results showed that all environments had high discriminating ability so that could able to show differences between genotypes. The moderate stress environment was the nearest environment to ideal environment that had the highest discriminating ability and representativeness.

Conclusion

Generally, the results indicated that all environments had high discriminating ability so that could able to show differences between genotypes. Also, the genotypes G17 and G4 as stable and drought tolerant genotype can be considered as donor parent which contains drought tolerance genes and could be used to improve coriander high essential oil yield in drought condition.

Acknowledgements

The authors thank from the Gene bank of the Seed and Plant Improvement Institute of Karaj, Iran for making available plant materials.

Keywords: Coriander, Essential oil yield, Ideal genotype, Stability

تجزیه گرافیکی ژنوتیپ، محیط و برهم کنش ژنوتیپ × محیط برای عملکرد روغن در گشنیز

امیر قلی زاده^{۱*}، مصطفی خدادادی^۲

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

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی:	گشنیز یکی از مهم‌ترین گیاهانی است که در صنایع دارویی استفاده می‌شود. بررسی ژنوتیپ‌های مختلف گشنیز تحت شرایط محیطی متفاوت به بهنرآدگران در شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار کمک می‌کند. در این راستا آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت سه شرایط مختلف آبیاری شامل آبیاری نرمال (E1)، تنش ملایم (E2) و تنش شدید (E3) انجام گرفت. از روش GGE بای پلات برای بررسی ۲۱ ژنوتیپ گشنیز در سه محیط استفاده شد. تجزیه مرکب عملکرد روغن نشان داد که اثر محیط، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بود. نتایج حاصل از روش بای پلات نشان داد که مؤلفه اول ۷۱/۹ و مؤلفه دوم ۲۴ درصد (در مجموع ۹۵/۹ درصد) از کل تغییرات را توجیه نمودند. بر اساس بای پلات ژنوتیپ فرضی ایده‌آل، ژنوتیپ‌های G4 و G17 از نظر هر دو عامل پایداری و میانگین عملکرد روغن، بهتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند و سازگاری عمومی بالایی در همه محیط‌های مورد بررسی داشتند. علاوه بر آن، ژنوتیپ G18 در محیط‌های E2 و E3 و ژنوتیپ G9 در محیط E1 ژنوتیپ‌های برتر و با سازگاری خصوصی بالا بودند. بررسی و مقایسه محیط‌ها نیز نشان داد که محیط‌های E2 و E3 از نظر رتبه‌بندی و گروه‌بندی و تعیین سازگاری ژنوتیپ‌ها، کاملاً مشابه هم عمل کردند، در صورتی که محیط E1 متفاوت از سایر محیط‌ها بود. در مجموع نتایج نشان داد که کلیه محیط‌ها دارای قابلیت تمایز بالایی بودند. محیط E2 نزدیک‌ترین محیط به محیط ایده‌آل بود و بیشترین تمایز و بیانگری را نشان داد.
تاریخ دریافت:	
۱۴۰۰/۰۴/۲۳	
تاریخ پذیرش:	
۱۴۰۰/۰۶/۰۲	
تاریخ انتشار:	
تابستان ۱۴۰۲	
۲۸۹-۲۷۷ (۲): ۱۶	

مقدمه

بازدارنده رشد و تولید محصولات در سراسر جهان به شمار می‌رود (Shiri and Bahrapour, 2015). قسمت عمده کشور ایران نیز جز مناطق خشک و نیمه‌خشک است. یکی از راه‌های مقابله با تنش خشکی، تولید و دستیابی به ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی است. ژنوتیپ‌هایی به‌عنوان متحمل به تنش خشکی محسوب می‌شوند که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، پایداری و ثبات عملکرد مطلوبی داشته باشند. برهم کنش شدید ژنوتیپ × محیط باعث می‌شود که شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد مطلوب دشوار گردد (Yau et al., 1991). در برنامه‌های به‌نژادی، ژنوتیپ‌هایی مطلوب

گشنیز گیاهی یک‌ساله و علفی بوده که منشأ آن نواحی جنوب غربی آسیا و مدیترانه گزارش شده است. این گیاه به دلیل سازگاری گسترده به شرایط آب‌وهوایی و اقلیمی مختلف، امروزه در سرتاسر جهان گسترش یافته و کشت می‌گردد (Khodadadi et al., 2016). گشنیز در صنایع مختلفی از جمله بهداشتی، آرایشی، غذایی و دارویی کاربردهای زیادی دارد و میوه آن داری ۰/۳ تا ۱/۲ درصد اسانس و ۱۹ تا ۲۱ درصد روغن دارد (Khodadadi et al., 2016). عوامل محیطی، ژنتیکی و برهم‌کنش آن‌ها عملکرد میوه گشنیز را تحت تأثیر قرار می‌دهند. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل

بدری و همکاران (Badri et al., 2018) به منظور ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم تحت شرایط مختلف تنش رطوبتی از روش GGE بای‌پلات استفاده کرده و گزارش کردند که بر اساس تجزیه GGE بای‌پلات برای عملکرد دانه، محیط‌ها به سه محیط کلان تفکیک و ژنوتیپ‌های سازگار برای هر محیط کلان تعیین شد. شیری و بهرامپور (Shiri and Bahrapour, 2015) نیز از روش GGE بای‌پلات برای ارزیابی پایداری هیبریدهای ذرت دانه‌ای تحت شرایط مختلف تنش آبی استفاده کردند. نتایج تجزیه پایداری هیبریدها با روش GGE بای‌پلات نشان داد که دو مؤلفه اول و دوم GGE بای‌پلات ۹۴/۷ درصد از تغییرات کل عملکرد دانه را توجیه کردند و با استفاده از این روش ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا شناسایی شدند (Shiri and Bahrapour, 2015). از روش GGE بای‌پلات در گیاهان دیگر از قبیل سویا (Yan and Rajcan, 2002)، جو (Dehghani et al., 2006)، پنبه (Blanche and Myers, 2006)، عدس (Sabaghnia et al., 2008)، سورگوم (Rakshit et al., 2012)، فستوکا (Dehghani et al., 2015) و آفتابگردان (Hemmati et al., 2018) برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در آزمایش‌های چند محیطی استفاده شده است. هدف از اجرای این پژوهش، ارزیابی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط با استفاده از روش GGE بای‌پلات به منظور ارزیابی ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها، روابط ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و در نهایت شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد روغن بالا بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۲۱ ژنوتیپ گشنیز شامل شش توده بومی گشنیز اصفهان، همدان، بوشهر، مازندران، مرکزی و توده تجاری کرج و نسل‌های F2 حاصل از تلاقی دی‌آل یک‌طرفه آن‌ها (جدول ۱) در سه آزمایش جداگانه به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی به سه تکرار در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال زراعی ۱۳۹۵ مورد ارزیابی قرار گرفتند. این منطقه دارای مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۳۵۲ متر از سطح دریا با اقلیم نیمه‌خشک است. پس از عملیات تهیه زمین، کشت با تراکم ۱۵ × ۳۰ سانتی‌متر در هر واحد آزمایشی انجام شد. روش آبیاری به صورت غرقابی و بافت خاک محل آزمایش لومی‌شنی

هستند که واریانس اثر متقابل آن‌ها با محیط کم باشد (Eberhart and Russell, 1996).

روش‌های مختلفی برای مطالعه برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار بکار برده شده است که شامل روش‌های پارامتری تک‌متغیره، ناپارامتری و چندمتغیره هستند. در این میان، روش‌های آماری چندمتغیره، اطلاعات جامع‌تر و بیشتری را در مورد تغییرپذیری فنوتیپی و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط در اختیار به‌نژادگران گیاهی قرار می‌دهند (Zobel et al., 1988; Moreno-Gonzalez et al., 2004; Gauch, 2006). از میان روش‌های چندمتغیره، روش GGE بای‌پلات یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای تعیین ژنوتیپ‌های پایدار و بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط است. روش GGE بای‌پلات با استفاده از تصاویر گرافیکی (نمودارهای دوبعدی)، ابزار مناسبی برای تجزیه و تحلیل داده‌ها است و تفسیر نتایج را راحت‌تر می‌کند (Allahgholipour, 2016). این روش برخلاف سایر روش‌ها، به طور هم‌زمان اثر اصلی ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط را مورد استفاده قرار می‌دهد (Yan and Kang, 2003). در تحقیقات گوناگون گزارش شده است که در آزمایش‌های چند محیطی، محیط بخش اعظم تغییرات را به خود اختصاص می‌دهد، در حالی که تغییرات مربوط به اثر ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط اندک است (Shiri and Bahrapour, 2015; Alizadeh et al., 2020; Alizadeh et al., 2021). از آنجایی که محیط یک عامل غیرقابل کنترل است، بنابراین در روش GGE بای‌پلات از منابع تغییرات ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط که قابل توصیه و تفسیر هستند استفاده می‌شود تا نتایج قابل اعتمادتری حاصل شود (Yan et al., 2007, 2000). در روش گرافیکی GGE بای‌پلات، علاوه بر تعیین ژنوتیپ‌های پایدار، امکان بررسی روابط میان محیط‌ها و شناسایی محیط‌های ایده‌آل در برنامه‌های به‌نژادی وجود دارد (Yan et al., 2001).

در بسیاری از پژوهش‌ها روی گیاهان، از روش GGE بای‌پلات استفاده شده است. امیری اوغان (Amiri Oghan et al., 2020) برای ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد دانه کلزای بهاره با به‌کارگیری روش GGE بای‌پلات گزارش کردند که گروه‌بندی لاین‌های بهاره کلزا بر اساس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با استفاده از روش GGE بای‌پلات، رهیافتی مفید برای آزادسازی ارقام کلزای بهاره با پتانسیل عملکرد بالا و پایدار برای محیط‌های هدف است. در پژوهشی دیگری

(محیط E3) مربوط به تنش شدید، آبیاری تاملرله‌ی شروع تشکیل میوه به صورت معمولی انجام و پس از این مرحله آبیاری قطع شد. میزان عناصر موردنیاز گیاه و سایر مراقبت‌های زراعی با توجه به نیاز گیاه اعمال گردید. همچنین در طول فصل رشد وجین علف‌های هرز با توجه به نیاز انجام گردید. با پایان فصل رشد گیاهان برداشت شدند و محتوای روغن میوه با استفاده از دستگاه سوکسله و حلال پترولیوم اتر انجام شد (Alinian and Razmjoo, 2014). عملکرد روغن از حاصل ضرب دو صفت محتوای روغن و عملکرد میوه به دست آمد (Khodadadi et al., 2016).

بود. در آزمایش اول (محیط E1) آبیاری بعد از اندازه‌گیری رطوبت خاک با دستگاه TDR در زمان رسیدن رطوبت خاک به ۵۰ درصد آب در دسترس گیاه انجام شد. به طوری که آب در دسترس گیاه با محاسبه اختلاف رطوبت خاک در زمان ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی به دست می‌آید. در آزمایش دوم (محیط E2) مربوط به تنش ملایم تا زمان شروع ساقه‌دهی آبیاری مانند آزمایش اول انجام شد و از زمان شروع ساقه‌دهی تا شروع تشکیل میوه، آبیاری زمانی صورت گرفت که رطوبت خاک به ۳۰ درصد آب در دسترس گیاه رسیده بود و پس از این مرحله آبیاری قطع شد. در آزمایش سوم

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

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

در رابطه فوق y_{ij} ارزش میانگین ژنوتیپ i ام برای محیط j ام، μ میانگین کل ژنوتیپ‌ها، β_j اثر اصلی محیط j ام، g_{i1} و g_{i2} به ترتیب مقادیر اولیه برای ژنوتیپ i ام و محیط j ام، e_{1j} و e_{2j} به ترتیب مقادیر ثانویه برای ژنوتیپ i ام و محیط j ام، 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 روغن نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بود (جدول ۲). محاسبه درصد مجموع مربعات سه منبع محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به مجموع آن‌ها نشان داد که بیشتر تغییرات موجود در داده‌ها به وسیله واریانس

تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا آزمون نرمال بودن باقی‌مانده داده‌ها از طریق آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) با استفاده از نرم‌افزار SPSS (ver 20) مورد بررسی قرار گرفتند. سپس آزمون بارتلت به منظور بررسی یکنواختی واریانس محیط‌ها انجام شد و در ادامه تجزیه واریانس مرکب انجام شد. برای انجام آزمون بارتلت و تجزیه واریانس از نرم‌افزار آماری SAS ver 9.1 استفاده گردید. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، تجزیه گرافیکی با استفاده از روش GGE بای‌پلات (Yan and Kang, 2003) انجام گردید. به منظور رسم نمودارهای بای‌پلات، میانگین عملکرد روغن 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 زیر است.

محیط‌ها توجیه شده (۴۵/۳۲ درصد) و واریانس بین ژنوتیپ‌ها و نیز واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۳۶/۵۲ و ۱۸/۱۶ درصد از تغییرات را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۲).

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

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

Source of variations	منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	درصد مجموع مربعات Present of sum square
Environment (E)	محیط	2	11.527**	45.32
Replication / E	تکرار درون محیط	6	0.530	
Genotype (G)	ژنوتیپ	20	0.929**	36.52
G × E	ژنوتیپ × محیط	40	0.231**	18.16

** Significant at the 0.01 probability level

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

در رأس چندضلعی و ژنوتیپ‌های دیگر در درون چندضلعی قرار می‌گیرند و سپس خط‌هایی از مبدأ نمودار بای‌پلات و 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، برتر و دارای سازگاری خصوصی بالا در همه محیط‌هایی است که در درون آن قسمت قرار گرفته‌اند (Yan et al., 2000). ژنوتیپ‌هایی که در درون هر قسمت قرار می‌گیرند نیز شباهت بالایی با ژنوتیپ قرار گرفته در رأس چندضلعی دارند و سازگاری خصوصی بالایی با محیط‌های قرار گرفته در آن قسمت دارند. بنابراین، وجود واریانس کم درون محیط‌های بزرگ و واریانس زیاد بین محیط‌های بزرگ، یکی از ویژگی‌های نمودارهای چندضلعی می‌باشد (Gauch and Zobel, 1997). نمودار چندضلعی بای‌پلات برای ژنوتیپ‌های گشنیز نشان داد که پنج ژنوتیپ G21، G18، G9، G7 و G2 که بیشترین فاصله را از مبدأ بای‌پلات داشته و در رأس‌های چندضلعی قرار گرفته‌اند به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شدند (شکل ۱).

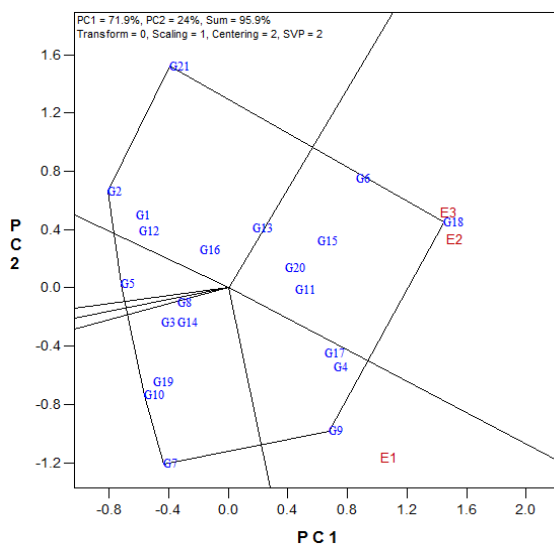
همچنین در این مطالعه دو محیط کلان مشخص گردید که محیط اول شامل دو محیط E2 و E3 بود که ژنوتیپ G18 ژنوتیپ برتر این محیط‌ها بود. محیط دوم فقط شامل محیط E1 بود که ژنوتیپ G9 ژنوتیپ برتر این محیط بود. ژنوتیپ‌های G21، G2 و G7 نیز که در رأس نمودار چندضلعی قرار گرفته بودند، در هیچ‌کدام از محیط‌های کلان قرار نگرفتند که بیانگر عدم تولید عملکرد روغن بالای این ژنوتیپ‌ها در کلیه محیط‌ها بود (شکل ۱). در محیط کلان اول ژنوتیپ‌های G6، G15، G11 و G20 علاوه بر ژنوتیپ

باتوجه به این که محیط‌های آزمایش طیف وسیعی از شرایط مختلف آبیاری (E1، E2 و E3) را دارا بوده، بنابراین اختصاص بیشتر تغییرات به واریانس محیط‌ها قابل توجیه است. سایر محققان در آزمایش‌های چند محیطی خود در محصولات دیگر از قبیل گلرنگ (Jamshidmoghaddam and Pourdard, 2013)، ذرت (Shiri and Bahrapour, 2015)، گندم نان (Jafari and Farshadfar, 2018) و گندم دوروم (Badri et al., 2018) نشان دادند که اثر محیط درصد قابل توجهی از تغییرات موجود در داده‌ها را به خود اختصاص داده است. اثر معنی‌دار ژنوتیپ نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی بین مواد آزمایشی است. همچنین اثر معنی‌دار برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط بیانگر این مطلب است که اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیطی دیگر یکسان نیست و به‌عبارت‌دیگر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در محیط‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی را نشان داده‌اند. همچنین پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌ها به محیط‌های مختلف را می‌توان به پاسخ متفاوت ژن‌ها و یا قدرت تظاهر متفاوت آن‌ها در محیط‌های مختلف نسبت داد (Falconer, 1981; Jafari and Farshadfar, 2018).

نتایج حاصل از روش GGE بای‌پلات نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۷۱/۹ و ۲۴/۰ و در مجموع ۹۵/۹ درصد از تغییرات مربوط به ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند که نشان‌دهنده اعتبار بالای بای‌پلات به‌دست‌آمده در این بررسی در توجیه تغییرات G+GE است (شکل ۱). 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،

استفاده کردند. آن‌ها گزارش کردند که چندضلعی منجر به شناسایی سه محیط کلان و پنج ژنوتیپ برتر شد و در هر محیط هم ژنوتیپ سازگار با آن محیط تعیین شد (Jafari and Farshadfar, 2018). سایر محققان نیز از نمودار چندضلعی به منظور شناسایی محیط‌های (کلان) و نیز جهت شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در محیط‌های مختلف استفاده کردند (Sabaghnia et al., 2008; Choukan, 2011; Changizi et al., 2014; Temesgen et al., 2015).

قرار گرفته در رأس چندضلعی (ژنوتیپ G18) وجود داشتند. در محیط کلان دوم نیز علاوه بر ژنوتیپ G9، ژنوتیپ‌های G4 و G17 نیز وجود داشتند. این ژنوتیپ‌ها نیز شباهت بالایی با ژنوتیپ قرار گرفته در رأس چندضلعی (G9) داشته و سازگاری خصوصی بالایی با محیط‌های قرار گرفته در آن قسمت دارند. جعفری و فرشادفر (Jafari and Farshadfar, 2018) از نمودار چندضلعی در گندم نان برای شناسایی محیط‌های کلان و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در هر محیط



شکل ۱. نمایش چندضلعی بای‌پلات برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در گشنیز؛ PC1: مؤلفه اصلی اول، PC2: مؤلفه اصلی دوم

Fig. 1. Biplot polygon view for grouping the genotypes and environments in coriander; PC1: the first principal component, PC2: the second principal component

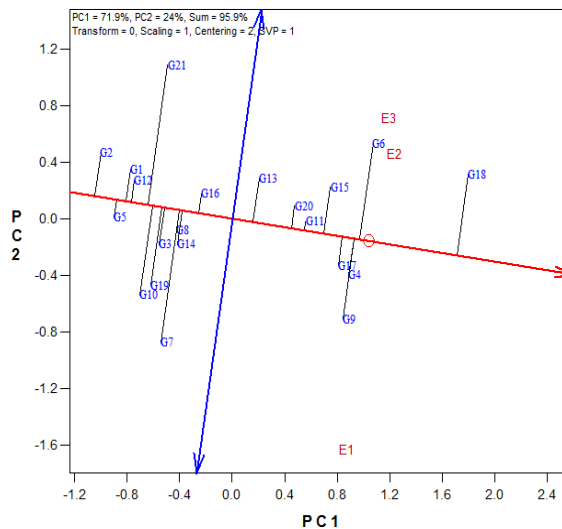
محور عمودی AEC قرار گرفته‌اند. دارای عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل و ژنوتیپ‌هایی که در سمت چپ این محور قرار گرفته‌اند، عملکردی کمتر از میانگین عملکرد کل را دارا هستند. نتایج بای‌پلات مختصات محیط نشان داد که ژنوتیپ‌های G18، G6، G4، G9، G17 و G15 به ترتیب بیشترین عملکرد روغن را دارا بودند و ژنوتیپ‌های G2، G5، G1 و G12 به ترتیب با قرارگرفتن در انتهای محور افقی AEC کمترین مقدار عملکرد روغن را دارا بودند (شکل ۲).

ژنوتیپ‌های G4 و G17 که بافاصله کمتری از محور افقی AEC قرار گرفته‌اند، دارای پایداری بالایی بودند که میانگین عملکرد آن‌ها نیز از میانگین عملکرد کل بالاتر بود. سه ژنوتیپ G18، G6 و G9 با وجود اینکه دارای بیشترین عملکرد بودند، ولی به دلیل داشتن فاصله زیاد از محور افقی AEC از پایداری کمی برخوردار بودند (شکل ۲). در کل باتوجه به نمودار

در این پژوهش از نمودار مختصات محیط متوسط (Average Environment Coordinate; AEC) به منظور بررسی هم‌زمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده گردید (شکل ۲). به این نمودار بای‌پلات 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 ژنوتیپی پایدار محسوب می‌شود که به این محور نزدیک‌تر باشد (Yan et al., 2000). محور عمودی AEC که دارای دو فلش است از مبدأ بای‌پلات می‌گذرد و بر محور افقی AEC عمود است، بیانگر متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها است. به طوری که ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست

مختصات محیط متوسط AEC، ژنوتیپ‌های G4 و G17 به‌عنوان ژنوتیپ با عملکرد روغن و پایداری بالا معرفی می‌شود. از نمودار مختصات محیط متوسط AEC به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول در ذرت (Setimela

et al., 2007)، نخود (Segherloo et al., 2010) و گندم نان (Jafari and Farshadfar, 2018) نیز استفاده شده است.



شکل ۲. نمایش بای‌پلات برای گزینش هم‌زمان عملکرد و پایداری در ژنوتیپ‌های گشنیز؛ $PC1$: مؤلفه اصلی اول، $PC2$: مؤلفه اصلی دوم

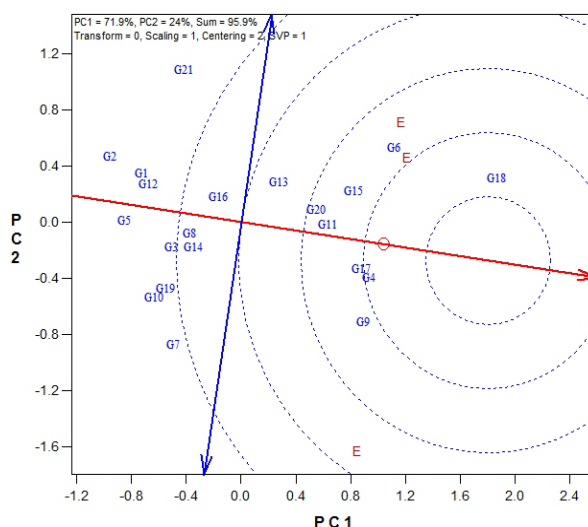
Fig. 2. Biplot view for simultaneous selection of yield and stability in the coriander; $PC1$: the first principal component, $PC2$: the second principal component genotypes

کاربرد دیگر روش GGE بای‌پلات، مقایسه کلیه ژنوتیپ‌ها با یک ژنوتیپ ایده‌آل فرضی است (شکل ۳). ژنوتیپ ایده‌آل فرضی، ژنوتیپی است که کمترین نقش را در اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط دارا بوده و دارای بیشترین عملکرد و پایداری است. ژنوتیپ ایده‌آل فرضی از نظر مکانی به‌صورت یک دایره کوچک روی محور میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها قرار می‌گیرد (Yan and Kang, 2003). ژنوتیپی که فاصله کمتری از ژنوتیپ ایده‌آل دارد، ژنوتیپ مطلوب با عملکرد بالا و پایدار محسوب می‌شود. در شکل ۳، ژنوتیپ‌های G17 و G4 کمترین فاصله را از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی دارند و بنابراین به‌عنوان مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها در این مطالعه شناسایی شدند. ژنوتیپ‌های G4 و G17 حاصل تلاقی توده‌های بومی مازندران، همدان و کرج بودند که نسبت به والدین خود عملکرد روغن و پایداری بیشتری داشتند؛ بنابراین این ژنوتیپ‌ها می‌توانند منشأ ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد روغن بالا باشند. ژنوتیپ‌های دیگری که به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک بودند G11، G20، G15 و G5 بودند که در رتبه دوم ژنوتیپ‌های برتر قرار گرفتند. 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 پی‌بردن 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). 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 (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 (Yan and Kang, 2003). بررسی همبستگی بین محیط‌ها نشان داد (شکل ۴) که زاویه بین بردارهای محیط‌های E3 و E1 نزدیک به ۹۰ درجه بوده و نشان‌دهنده عدم همبستگی بین این دو محیط است. باتوجه‌به این‌که این دو محیط، طیف وسیعی از

شرایط رطوبتی (بدون تنش و تنش شدید) را دارا بوده، بنابراین عدم وجود همبستگی بین این دو محیط را می‌توان به شرایط رطوبتی متفاوت نسبت داد. شیری و بهرام‌پور (Shiri and Bahrapour, 2015) نیز در آزمایش خود بر روی ذرت دانه‌ای گزارش کردند که بین تیمار آبیاری کامل با تیمار قطع آبیاری در مرحله رویشی همبستگی وجود نداشت.

شرایط رطوبتی (بدون تنش و تنش شدید) را دارا بوده، بنابراین عدم وجود همبستگی بین این دو محیط را می‌توان به شرایط رطوبتی متفاوت نسبت داد. شیری و بهرام‌پور (Shiri and Bahrapour, 2015) نیز در آزمایش خود بر روی ذرت دانه‌ای گزارش کردند که بین تیمار آبیاری کامل با تیمار قطع آبیاری در مرحله رویشی همبستگی وجود نداشت.



شکل ۳. نمایش بای‌پلات برای مقایسه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با ژنوتیپ ایده‌آل در گشنیز؛ $PC1$: مؤلفه اصلی اول، $PC2$: مؤلفه اصلی دوم

Fig. 3. Biplot view to compare the studied genotypes with the ideal genotype in coriander; $PC1$: the first principal component, $PC2$: the second principal component

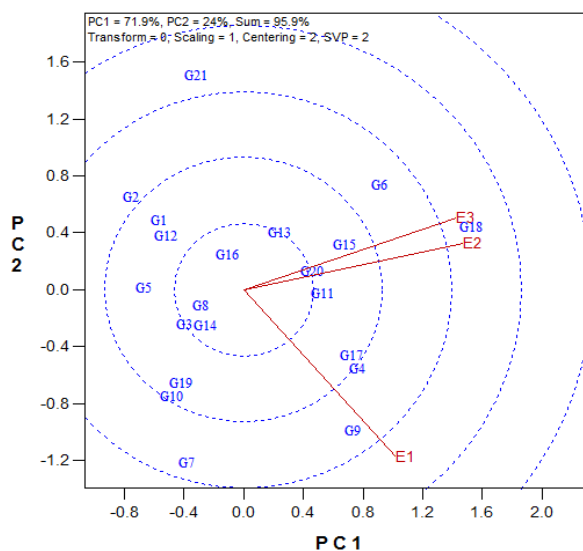
می‌توانند در آزمایش‌های بررسی ارقام در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تمایز مطلوبی ایجاد نمایند. جعفری و فرشادفر (Jafari and Farshadfar, 2018) نیز در آزمایش خود بر روی گندم نان گزارش کردند که محیط‌های دارای تنش رطوبتی (دیم) از قدرت تمایز بالاتری برخوردار بودند. از نمودار بای‌پلات همبستگی محیط‌ها به‌منظور ارزیابی قدرت تمایز محیط‌ها در کلزا (Pourdad and Jamshidi, 2013)، باقلا (Zeleke and Berhanu, 2016)، گندم نان (Jafari and Farshadfar, 2018) و گندم دوروم (Najafi Mirak et al., 2018) 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 هم‌مرکز بای‌پلات قرار دارد (Yan and Kang, 2003). زاویه بین بردار هر محیط و محور مختصات محیط متوسط (محور افقی) شاخصی برای تشخیص میزان بیانگری

باتوجه به نمودار بای‌پلات (شکل ۴)، بین محیط‌های $E2$ و $E3$ همبستگی مثبت بالایی وجود دارد؛ بنابراین می‌توان این دو محیط را به‌عنوان محیط‌های مشابه معرفی کرد و برای افزایش کارایی و صرفه‌جویی در هزینه‌ها، آزمایش‌های ارزیابی ژنوتیپ‌های گشنیز در شرایط تنش خشکی را فقط در یکی از این دو محیط انجام داد. 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 بلند بوده که نشان‌دهنده قدرت تمایز بالا در همه محیط‌های مورد آزمایش بود. در میان محیط‌های مورد مطالعه، محیط $E2$ و پس از آن محیط $E3$ قدرت تمایز بیشتری داشتند (شکل ۴)

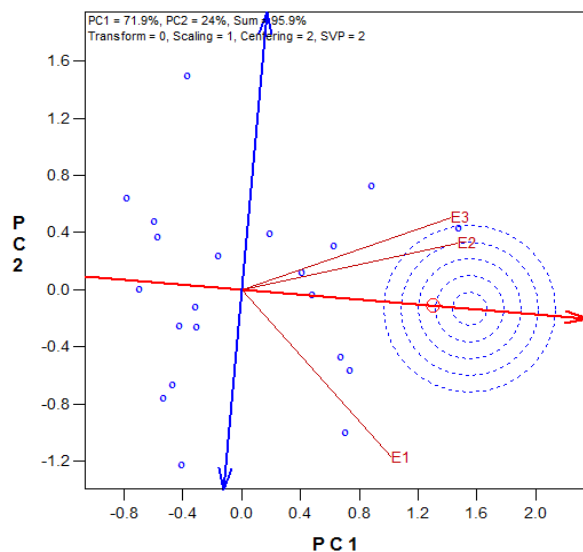
ژنوتیپ‌ها باشد (Jafari and Farshadfar, 2018). در این بررسی محیط E2 نزدیک‌ترین محیط به محیط ایده‌آل فرضی بوده (شکل ۵) و به دلیل داشتن طول بردار بلندتر که بیانگر توانایی تمایز خوب و نیز قدرت نمایندگی بیشتر است، به‌عنوان محیط مطلوب جهت گزینش ژنوتیپ‌های برتر معرفی می‌شود.

یک محیط است. هرچقدر این زاویه کوچک‌تر باشد میزان بیانگری بیشتر بوده و محیط موردنظر 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 نماینده بقیه محیط‌های آزمایش باشد و نیز دارای بیشترین توانایی تمایز



شکل ۴. نمایش بای‌پلات برای بررسی روابط بین محیط‌های مورد مطالعه در گشنیز؛ $PC1$: مؤلفه اصلی اول، $PC2$: مؤلفه اصلی دوم

Fig. 4. Biplot view for displaying the relationships among the studied environments in coriander; $PC1$: the first principal component, $PC2$: the second principal component



شکل ۵. نمایش بای‌پلات برای مقایسه محیط‌های مورد مطالعه با محیط ایده‌آل در گشنیز؛ $PC1$: مؤلفه اصلی اول، $PC2$: مؤلفه اصلی دوم

Fig. 5. Biplot view to compare the studied environments with the ideal environment in coriander; $PC1$: the first principal component, $PC2$: the second principal component

بای‌پلات ژنوتیپ ایده‌آل فرضی نیز ژنوتیپ‌های G4 و G17 از نظر هر دو عامل میانگین عملکرد و پایداری، بهتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند و سازگاری عمومی بالایی در محیط‌های مورد مطالعه داشتند. همچنین بر اساس نتایج نمودار بای‌پلات محیط ایده‌آل، محیط E2 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

به‌طور کلی نتایج نشان داد که روش گرافیکی GGE بای‌پلات روشی با کارایی مناسب 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 G18 در محیط‌های E2 و E3 و ژنوتیپ G9 در محیط E1، ژنوتیپ‌هایی با عملکرد روغن بیشتر و دارای سازگاری خصوصی بالا به این محیط‌ها بودند. بر اساس

منابع

- Alinian, S., Razmjoo, J., 2014. Phenological, yield, essential oil yield and oil content of cumin accessions as affected by irrigation regimes. *Industrial Crops and Products*. 54, 167-174.
- Alizadeh, B., Rezaizad, A., Yazdandoost Hamedani, M., Shiresmaeili, G., Nasserghadimi, F., Khademhamzeh, H., Gholizadeh, A., 2021. Analysis of genotype × environment interaction for seed yield in winter rapeseed cultivars and lines using multivariate method of additive main effects and multiplicative interaction. *Journal of Crop Production and Processing*. 11, 95-108. [In Persian with English Summary].
- Alizadeh, B., Rezaizad, A., Yazdandoost Hamedani, M., Shiresmaeili, G., Nasserghadimi, F., Khademhamzeh, H.R., Gholizadeh, A., 2020. Evaluation of seed yield stability of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes using non-parametric methods. *Journal of Crop Breeding*. 12, 202-212. [In Persian with English Summary].
- Allahgholipour, M., 2016. Genotype × environment interaction effect in rice genotypes using GGE Biplot. *Cereal Research*. 6, 1-14. [In Persian with English Summary].
- Amiri Oghan, H., Rameeh, V., Faraji, A., Fanaei, H.R., Kazerani, N.K., Rahmanpour, S., 2020. Evaluation of seed yield stability of spring rapeseed genotypes using GGE biplot analysis. *Seed and Plant Improvement Journal*. 36, 207-222. [In Persian with English Summary].
- Badri, H., Mohammadi, R., Etminan, A., 2018. Study of genotype × environment interaction for grain yield of durum wheat genotypes under rainfed and supplemental irrigation conditions by GGE biplot. *Cereal Research*. 8, 73-83. [In Persian with English Summary].
- Blanche, S.B., Myers, G.O., 2006. Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. *Crop Science*. 46, 946-949.
- Changizi, M., Choukan, R., Heravan, E.M., Bihamta, 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.
- 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].
- Dehghani, H., Ebadi, A., Yousefi, A., 2006. Biplot analysis of genotype by environment interaction for barley yield in Iran. *Agronomy Journal*. 98, 388-393.
- Dehghani, M., Majidi, M., Saeidi, G., Mirlohi, A., Amiri, R., Sorkhilalehloo, B., 2015. Application of GGE biplot to analyse stability of Iranian tall fescue (*Lolium arundinaceum*) genotypes. *Crop and Pasture Science*. 66, 963-972.
- Eberhart, S.T., Russell, W., 1966. Stability parameters for comparing varieties 1. *Crop Science*. 6, 36-40.
- Falconer, D.S., 1981. Introduction to quantitative genetics. 2nd Ed. Longman, London, UK.
- Gauch, H., Zobel, R.W., 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science*. 37, 311-326.
- Gauch, H.G., 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*. 46, 1488-1500.

- Hemmati, I., Pourdad, S.S., Choukan, R., 2018. Studying the genotype \times 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].
- Jamshidmoghaddam, M., Pourdad, S.S., 2013. Genotype \times environment interactions for seed yield in rainfed winter safflower (*Carthamus tinctorius* L.) multi-environment trials in Iran. Euphytica. 190, 357-369.
- Khodadadi, M., Dehghani, H., Javaran, M.J., Christopher, J.T., 2016. Fruit yield, fatty and essential oils content genetics in coriander. Industrial Crops and Products. 94, 72-81.
- Moreno-Gonzalez, J., Crossa, J., Cornelius, P., 2004. Genotype \times environment interaction in multi-environment trials using shrinkage factors for AMMI models. Euphytica. 137, 119-127.
- 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., Jamshidi Mohjadam, M., 2013. Study on genotype \times 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].
- Rakshit, S., Ganapathy, K., Gomash, S., Rathore, A., Ghorade, R., Kumar, M.N., Ganesmurthy, K., Jain, S., Kamtar, M., Sachan, J., 2012. GGE biplot analysis to evaluate genotype, environment and their interactions in sorghum multi-location data. Euphytica. 185, 465-479.
- Sabaghnia, N., Dehghani, H., Sabaghpour, S.H., 2008. Graphic analysis of genotype by environment interaction for lentil yield in Iran. Agronomy Journal. 100, 760-764.
- 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.
- Segherloo, A.E., Sabaghpour, S., Dehghani, H., Kamrani, M., 2010. Screening of superior chickpea genotypes for various environments of Iran using genotype plus genotype \times environment (GGE) biplot analysis. Journal of Plant Breeding and Crop Science. 2, 286-292.
- 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 \times 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.
- 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., 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., Rajcan, I., 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Science. 42, 11-20.
- Yau, S., Ortiz-Ferrara, G., Srivastava, J., 1991. Classification of diverse bread wheat-growing environments based on differential yield responses. Crop Science. 31, 571-576.

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.

Zobel, R.W., Wright, M.J., Gauch, H.G., 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*. 80, 388-393