

ارزیابی پایداری عملکرد و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط تحت شرایط دیم با استفاده از تجزیه گرافیکی GGE-biplot در لاین‌های پیشرفته جو

لیلا نعیم زاده^۱، حمید حاتمی ملکی^۱، بهروز واعظی^۲، ناصر صباغ نیا^{۱*}

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، ایران
۲- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه: جو از غلات مهم جهان و ایران است و در همه نواحی معتدل و در بسیاری از نقاط سردسیر به عمل می‌آید. این گیاه با تولید سالیانه ۱۵۷ میلیون تن (۳ میلیون تن در ایران) و با سطح زیر کشت ۵۶ میلیون هکتار (۱/۷ میلیون هکتار در ایران)، جزء یکی از مهم‌ترین غلات دنیا است. روش GGE بای پلات یکی از روش‌های جدید در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بوده که در آن اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط تفکیک نشده و گزینش ارقام پایدار بر اساس هر دو اثر مذکور صورت می‌گیرد.

روش‌شناسی پژوهش: در این پروژه ۱۶ لاین پیشرفته جو زراعی به همراه دو رقم جو خرم و ماهور در پنج منطقه گچساران، مغان، گنبد، لرستان و ایلام به مدت ۳ سال در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه سال و در چهار تکرار کشت گردیدند. در هر سال تجزیه واریانس اولیه روی عملکرد ارقام برای هر مکان به طور جداگانه انجام شد. سپس تجزیه واریانس مرکب (با در نظر گرفتن تمامی مکان‌ها و سال‌های آزمایش) انجام گرفت.

یافته‌های پژوهش: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنوتیپ و مکان و اثر متقابل ژنوتیپ × مکان در سال‌های ۱۳۹۲، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ معنی‌دار بود. بررسی بای پلات چندضلعی منجر به شناسایی ۵ ژنوتیپ برتر (۱۷، ۳، ۶، ۸ و ۷) و ۳ محیط کلان شد. بررسی همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱، ۳ و ۱۵ با عملکرد زیاد دارای پایداری عملکرد بیشتری نیز بودند. بر اساس نمودار محیط‌های ایده‌آل فرضی، محیط ایلام به این محیط نزدیک‌تر بود. در بررسی بای پلات همبستگی بین محیط‌ها مشخص شد که بین مکان‌های مغان با گچساران، مغان با ایلام و گنبد با لرستان به علت وجود زاویه کم و احتمالاً شرایط اقلیمی نسبتاً مشابه، همبستگی بالایی وجود داشت که نشان دهنده پاسخ مشابه ژنوتیپ‌ها در این مکان‌ها بود و مکان‌های لرستان با ایلام با داشتن همبستگی نزدیک به صفر سبب ایجاد عملکرد مستقل ژنوتیپ‌ها در این مکان‌ها شدند. این روش ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۳ و ۱۵ را به عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی کرد.

کلمات کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، پایداری عملکرد، جو، سازگاری



* نگارنده مسئول: sabaghnia@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۲

مقدمه

بر تغییر مرتبه ارقام می‌باشند و روش مجموع رتبه کنگ (Kang, 1993; Kang, 1998) که از جمله روش‌های ناپارامتری هستند که می‌توانند معیارهای معتبری برای انتخاب ژنوتیپ های برتر باشند. روش‌های مختلفی برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار ارائه شده است که شامل روش‌های تک متغیره، چند متغیره و ناپارامتری می‌باشند (Dehghanpour et al., 2007). از میان روش‌های چند متغیره می‌توان به روش بای‌پلات که بر مبنای تجزیه به مولفه‌های اصلی است، اشاره نمود. روش بای‌پلات بر خلاف مرسوم‌ترین روش چندمتغیره تجزیه پایداری که تنها اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را مد نظر قرار می‌دهد، از اثر اصلی ژنوتیپ نیز استفاده می‌کند. با توجه به این که در آزمایشات ناحیه‌ای عملکرد، محیط بیشترین منبع ایجاد تغییرات بوده و از طرفی غیر قابل کنترل است، از این رو در روش بای‌پلات از منابع تغییرات ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط استفاده می‌شود تا بتوان نتایج قابل اعتمادی را به دست آورد (Yan et al., 2001; Yan et al., 2007). معیار استفاده از انواع روش‌های تجزیه پایداری به نوع طرح آزمایشی، گیاه، نظر محقق، محیط آزمایش و سایر شرایط بستگی دارد (Fattahi and Yossefi, 2006). آلارد و برادشا (Allard and Bradshaw, 1964) فاکتورهای موثر بر اثر متقابل ژنوتیپ و محیط را به دو دسته قابل پیش بینی: آن‌هایی که به طور منظم رخ داده یا تحت کنترل انسان هستند، مثل نوع خاک، تاریخ کاشت، فاصله بین ردیف‌ها، تراکم گیاهی و مقادیر کود مورد استفاده و غیر قابل پیش بینی: شامل آن‌هایی که فاقد ثبات و دارای نوسان هستند مثل بارندگی، دما و رطوبت نسبی تقسیم بندی کردند. فعل و انفعالات بین ژنوتیپ و اثرهای محیطی را اثرهای متقابل

گیاه جو (*Hordeum vulgare*) یکی از چهار غله مهم در دنیا بوده و از نظر اهمیت اقتصادی در کنار گندم، برنج و ذرت قرار می‌گیرد (Milomirka madic et al., 2005). این گیاه دامنه انتشار و سازش اقلیمی وسیعی داشته و اغلب برای کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک سازگار می‌باشد. گاه جو در تغذیه دام از ارزش علوفه بالاتری نسبت به گاه گندم برخوردار بوده و حتی از نظر ارزش تغذیه ای قابل مقایسه با ارزش علوفه‌ای دانه ذرت است. جو در مقایسه با گندم مقاومت بیشتری نسبت به تنش های خشکی و بیماری داشته بطوری که در شرایط نامساعد محیطی عملکرد آن بیشتر از گندم است (Noormohammadi et al., 2005). اثر متقابل ژنوتیپ در محیط برای به‌نژادگران گیاهی دارای اهمیت ویژه‌ای بوده و یکی از مسائل پیچیده برنامه‌های به نژادی گیاهی به منظور تولید ژنوتیپ پرمحصول و پایدار به شمار می‌رود (Gauch, 2006). آگاهی از ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به نژادگران گیاهی کمک می‌کند تا بتوانند ژنوتیپ‌ها را با دقت بیشتری ارزیابی نموده و ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری و عملکرد بالا را انتخاب نمایند (Roy, 2000). روش‌های پارامتری زیادی برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ارائه شده است. استفاده از روش مبتنی بر رگرسیون (Finaly and Wilkinson, 1963; Eberhart and Russell, 1996)، در زمره اولین روش‌های مورد استفاده است. سایر روش‌های آماری از جمله روش امی^۱ (Gauch and Zobel, 1996)، روش شمی^۲ یا مدل ضرب پذیر متغیر (Cornelius and Crossa, 1999) و مدل بای‌پلات^۳ (Yan, 2001) نیز زیاد مورد استفاده قرار گرفته‌اند، ضمن این که برای تعیین مدل پایداری، معیارهای ناپارامتری هان (Huhn, 1996) که مبتنی

³ GGE BIPLLOT

¹ AMMI

² SHAMMI

زابل و مغان به عنوان محیط‌های کلان با توانایی تمایز و نمایندگی بالا برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. از طرفی دیربوی و همکاران (Derbew *et al.*, 2024) با استفاده از روش‌های آماری بای پلات و امی، ژنوتیپ‌های جو را در شرایط چندمحیطی جنوب اتیوپی ارزیابی کردند. نتایج تحلیل بای پلات نشان داد که دو ژنوتیپ عملکرد بالا و پایداری خوبی در محیط‌های مختلف داشتند و یک ژنوتیپ به عنوان ژنوتیپ سازگار با عملکرد مطلوب در بیشتر محیط‌ها معرفی شد. این مطالعه تأکید بر اهمیت کاربرد روش بای پلات در تحلیل تعامل ژنوتیپ × محیط و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر برای بهبود جو در مناطق متنوع اقلیمی داشت. کارایی روش‌های امی و بای پلات توسط (Saeidi *et al.*, 2024) با استفاده از ارزیابی ۱۸ ژنوتیپ جو بهاره طی دو سال زراعی (۲۰۲۲-۲۰۲۳) در ایستگاه تحقیقاتی کشاورزی ورامین نیز به اثبات رسیده است. نتایج آن‌ها نشان داد که یک ژنوتیپ در شرایط تنش کم‌آبی، عملکرد برتر و پایداری بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشت. همچنین، دو ژنوتیپ دیگر در شرایط کم‌آبی دارای محتوای بالاتر کلروفیل و کاروتنوئید در بافت‌های برگ، ساقه و دمگل بودند که نشان‌دهنده تحمل بالای آن‌ها به خشکی است. این مطالعه کارایی روش‌های امی و بای پلات را در انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم و با عملکرد بالا تحت تنش آبی به اثبات رساند. همچنین جرما و همکاران (Germa *et al.*, 2025)، ۲۵ ژنوتیپ جو بدون پوشینه را در ۶ محیط مختلف اتیوپی بررسی کردند تا ژنوتیپ‌های مقاوم و پربازده شناسایی شوند. نتایج نشان داد عملکرد دانه تحت تأثیر ژنوتیپ، محیط و تعامل آن‌ها است. تحلیل بای پلات سه منطقه اقلیمی اصلی را تعیین کرد و دو ژنوتیپ برتر به عنوان مقاوم‌ترین و پربازده‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. این ژنوتیپ‌ها در شرایط مختلف عملکرد

ژنوتیپ و محیط می‌دانند و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط باعث کاهش همبستگی بین ژنوتیپ و فنوتیپ می‌شود، در نتیجه کارایی انتخاب کاهش می‌یابد. مهم‌ترین مسئله که تحت تأثیر اثر متقابل ژنوتیپ و محیط قرار می‌گیرد، مسئله سازگاری به شرایط محیط است. وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط نشان‌دهنده این است که بهترین ژنوتیپ در یک محیط ممکن است که در محیط‌های دیگر بهترین ژنوتیپ نباشد (Perkins and Jinks, 1971). اثر متقابل ژنوتیپ و محیط می‌تواند جنبه‌های مختلفی داشته باشد. مثلاً یک اختلاف محیطی مخصوص می‌تواند روی برخی از ژنوتیپ‌ها بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها تاثیر داشته باشد. عکس‌العمل ژنوتیپ‌های مختلف معمولاً به دلیل پاسخ متفاوت آن‌ها و با قدرت تظاهر متفاوت آن‌ها در محیط‌های مختلف است (Falconer, 1981). تجزیه پایداری مهم‌ترین روشی است که برای پی بردن به ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ و محیط کاربرد دارد و با توجه به آن می‌توان ارقام پایدار و سازگار را شناسایی و مورد استفاده قرار داد. در بررسی پایداری لاین‌های امیدبخش جو در ۵ مکان مشخص گردید که نتایج بای پلات ۶۴ درصد تغییرات را توجیه کرده است (Barati *et al.*, 2021). در تحقیق دیگری رحمتی و همکاران (Rahmati *et al.*, 2024) با استفاده از روش‌های آماری امی و بای پلات تعامل ژنوتیپ × محیط را در ۱۸ ژنوتیپ جو طی دو فصل زراعی در مناطق گرم ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که دو مولفه اصلی نخست^۱ در مجموع ۴۹/۳۶ درصد از کل تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. میانگین داده‌های دو ساله نشان داد که سه ژنوتیپ از نظر عملکرد دانه و پایداری در محیط‌های مختلف به طور معنی‌داری برتر بودند و قابلیت معرفی به عنوان کاندیداهای مناسب برای کشت تجاری در این مناطق را داشتند. همچنین، مناطق

^۱ PCA1, PCA2

قبیل مبارزه با علف‌های هرز در زمان قبل از به ساقه رفتن و پنجه‌زنی با سم شیمیایی 2,4-D در تاریخ مورد نظر به مقدار ۲/۵-۲ لیتر در هکتار انجام شد. زمان برداشت محصول، یادداشت‌برداری از عملکرد دانه بر حسب گرم در پلات انجام گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: تجزیه واریانس مرکب برای هر سال و بین مکان‌های آزمایشی انجام گرفت. تجزیه‌های آماری ذکر شده با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گرفت. به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های با پایداری عملکرد بالا و سازگار به محیط‌های مختلف از روش GGE biplot در نرم افزار GGE biplot نسخه ۱,۴ استفاده شد (Yan, 2001). در مدل GGE بای پلات که به منظور بررسی همزمان اثر ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GE) استفاده می‌شود،

مدل ترکیبی G+GE را می‌توان به دو مولفه اصلی بصورت ذیل تجزیه نمود (Yan et al., 2000):

$$\widehat{Y}_{ij} - \mu - \beta_j = g_{i1}e_{1j} + g_{i2}e_{2j} + \varepsilon_{ij}$$

که در آن \widehat{Y}_{ij} عملکرد مورد انتظار ژنوتیپ i در محیط j ، μ میانگین کل، β_j اثر اصلی محیط j ، g_{i1} و e_{1j} : مقادیر اولیه برای ژنوتیپ i و محیط j ، g_{i2} و e_{2j} : مقادیر ثانویه برای ژنوتیپ i و محیط j و ε_{ij} باقی مانده غیر قابل توضیح است. محاسبات مربوط به روش‌های تجزیه به مقادیر منفرد، مطابق فرمول زیر انجام می‌گیرد (Yan et al., 2000):

$$\widehat{Y}_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{1j} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{2j} + \varepsilon_{ij}$$

که در آن، λ_1 و λ_2 : مقادیر منفرد مربوط به مولفه‌های اصلی اول و دوم (PC1 و PC2)، ξ_{i1} و ξ_{i2} برابر بردارهای ویژه ژنوتیپ i برای PC1 و PC2، η_{1j} و η_{2j} معادل بردارهای ویژه محیط j برای PC1 و PC2، و ε_{ij} خطای مدل است.

پایدار و قابل اطمینانی داشتند. نتایج تأکید می‌کند که این ژنوتیپ‌ها می‌توانند در برنامه‌های اصلاح نباتات جهت افزایش تولید جو در شرایط تغییرات اقلیمی مورد استفاده قرار گیرند. از طرفی براتی و همکاران (Barati et al., 2025) با استفاده از مدل‌های امی و بای پلات به شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی و پرمحصول جو در مناطق مستعد خشکسالی ایران پرداختند. سه ژنوتیپ مقاوم و پایدار شناسایی شدند. همچنین، منطقه ورامین به عنوان محیط ایده‌آل برای انتخاب ژنوتیپ‌های با کیفیت بالا معرفی شد. در نهایت، دو ژنوتیپ برتر به عنوان کاندیداهای مناسب برای معرفی تجاری در مناطق خشک ایران پیشنهاد گردیدند. هدف از انجام این پژوهش، استفاده از روش بای پلات برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و همچنین شناسایی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایدار و نیز شناسایی محیط‌های مطلوب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی: در این پروژه ۱۶ لاین پیشرفته جو معمولی به همراه دو رقم جو خرم و ماهور به عنوان شاهد در مراکز تحقیقاتی گچساران، مغان، گنبد، لرستان و ایلام با ویژگی‌های جغرافیایی متنوع (جدول ۲) بصورت دیم کشت گردیدند. کشت در سال‌های زراعی ۹۲-۱۳۹۱، ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ طبق عرف منطقه انجام گردید. لاین‌های مزبور انتخابی از آزمایش مقایسه عملکرد جو در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا و در کرت‌هایی به ابعاد $۱/۰۵ \times ۷/۰۳$ متر مربع در ۶ خط به طول $۷/۰۳$ متر و به فاصله $۱۷/۵$ سانتی‌متر از هم‌دیگر توسط دستگاه بذر کار آزمایشات غلات در زمان مناسب کشت شدند. مراقبت‌های لازم از

جدول ۱- کد و شجره ژنوتیپ‌های جو مورد استفاده در مطالعه

Table 1. Code and pedigree of the barley genotypes used in study.

کد	شجره ژنوتیپ / لاین
1	Mahor
2	Khorram
3	Soufara-02/3/RM1508/Por//Wi2269/4/Hml-02-ArabiAbiad//ER/Apm ICB92-0926-0AP-18AP-0AP- 3TR-0AP(7-RBYTA1-2010-11)
4	Soufara02/3/RM1508/Por//Wi2269/4/Hml02ArabiAbiad//ER/Apm ICB92-0926-0AP-18AP-0AP- 17TR-0AP(16-PRBYT2009-10)(9-RBYTA1-2010-11)
5	Lignee527/Arar ICB92-0755-22AP-0AP-6AP-0AP-0AP-1AP-0AP(2-RBYTA1-2010-11)
6	Moroc9-75//WI2291/CI01387/3/WI2291*2/WI2269 ICB00-0070-0AP-16AP-0AP(10-RBYTA1-2010-11)
7	ALELI/GOB//E.QUEBRACHO/3/MSEL CBSS00Y00227T-K-0Y-OM-2Y-1M-0M(18-RBYTA1-2010-11)
8	TOCTE/5/ABETO//GLORIA-BAR/COME/3/SEN/4/CBSS00Y00485T-S-0Y-0M-2Y-0M(17-RBYTA1- 2010-11)
9	Rt013/4/Rhn03//Lignee527/NK1272/3/Lignee527/Chn-01//Losaika ICB98-0888-0AP-8AP-0AP-5TR-0AP(14-RBYTA2-2010-11)
10	Hml/Galleon ICB93-1096-0AP-12AP-25TR-3TR-0AP(13-RBYTA2-2010-11)
11	AwBlack/Aths//Rhn-08/3/Malouh(5-RBYTA2-2010-11)
12	ESCOBA/MORADILLA/3/ZHEDAR#2/ND B112//MORA/4/...CBSS00Y00241T-E-OY-0M-2Y- 0M(3- RBYTA2-2010-11)
13	Avt/Attiki//M-Att-73-337-1/3/Aths/Lignee686/4/M-Att-73-337-1/3/Mari/Aths*2//Avt/Attik(8-RBYTA2-2010-11)
14	Alanda/Hamra//Alanda-01(10-RBYTA2-2010-11)
15	Eldorado//Alanda/Hamra-01 ICB94-0189-0AP-18AP-0AP(12-RBYTA2-2010-11)
16	GOB/HUMAI10/3/MPYT169(15-RBYTA2-2010-11)
17	Courlis/Rhn-03 ICB93-0923-0AP-2AP-0AP(11-RBYTA2-2010-11)
18	MONA//MZQ/DL71/3/5.(7-RBYTA2-2010-11)

جدول ۲- ویژگی‌های جغرافیایی مناطق اجرای آزمایش

Table 2. Characteristics of the test execution ranges.

متوسط بلند مدت بارندگی (میلی متر) Long-term average precipitation (mm)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation AMSL (m)	ایستگاه تحقیقاتی Research station
443	30°18'N	50°59'E	668	گچساران Gachsaran
312	39°39'N	47°28'E	100	مغان Moghan
466	55°12'E	37°16'N	45	گنبد Gonbad
520	33°39'N	48°28'E	1125	لرستان Lorestan
550	33°44'N	46°36'E	975	ایلام Ilam

نتایج و بحث

اثر متقابل ژنوتیپ و محیط: تجزیه واریانس و تحلیل اثرات ژنوتیپ، مکان و تعامل آن‌ها در سه سال مورد مطالعه نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در هر سه سال مطالعه (۹۲-۱۳۹۱، ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳)، اثر ژنوتیپ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده است که بیانگر وجود تفاوت‌های عملکردی قابل توجه بین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف مورد بررسی (گچساران، مغان، لرستان، گنبد و ایلام) می‌باشد. این تفاوت‌ها عمدتاً ناشی از عوامل متنوع محیطی مانند ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، موقعیت جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، رطوبت و شرایط آب و هوایی است که منجر به واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌ها در مکان‌های مختلف شده‌اند. اثر مکان نیز در هر سه سال به طور معنی‌داری تفاوت‌های محیطی را تایید کرده است و بیانگر تنوع قابل توجه بین مناطق آزمایشی است. همچنین، اثر متقابل ژنوتیپ × مکان در هر سه سال به طور معنی‌داری مشاهده شده است، که نشان می‌دهد واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف یکنواخت نبوده و هر ژنوتیپ دارای سازگاری ویژه‌ای با مکان‌های مورد بررسی بوده است. با توجه به جدول ۳، در سال اول (۹۲-۱۳۹۱)، مکان ۷۰/۴٪ از تغییرات واریانس عملکرد را توضیح داد، در حالی که ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × مکان به ترتیب ۱۳/۶٪ و ۱۶٪ از تغییرات را توجیه کردند. سال دوم (۹۳-۱۳۹۲)، درصد تبیین تغییرات واریانس توسط مکان ۳۶/۴٪، ژنوتیپ ۲۵/۲۰٪ و اثر متقابل ژنوتیپ × مکان ۳۸/۴٪ بود که نشان از افزایش نقش اثر تعامل ژنوتیپ و مکان دارد (مطابق جدول ۴). در سال سوم (۹۴-۱۳۹۳)، مکان ۷۴/۱۲٪، ژنوتیپ ۷/۴۰٪ و اثر متقابل ژنوتیپ × مکان ۱۸/۴۶٪ از

تغییرات واریانس را توضیح دادند. این نتایج تاکید می‌کند که سازگاری ژنوتیپ‌ها با مکان‌های مختلف متغیر بوده و عملکرد نسبی آن‌ها به شرایط محیطی بستگی دارد. بنابراین، در انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب جهت کشت در هر منطقه، توجه به اثر متقابل ژنوتیپ و مکان ضروری است.

تجزیه GGE-biplot: بر اساس مدل GGE بای‌پلات، ژنوتیپ‌هایی که عملکرد و پایداری بالایی دارند، بایستی نزدیک به نقطه مطلوب بر روی خط ATC^۱ بوده و کمترین فاصله را با خط ATC داشته باشند. در شکل ۱ (A)، ژنوتیپ‌های ۱، ۳ و ۱۵ با قرار گرفتن در سمت مثبت محور افقی بالاترین میزان عملکرد و پایداری را دارند و ژنوتیپ ۸ با قرار گرفتن در جهت منفی محور کمترین میزان عملکرد را نشان می‌دهد. در بررسی که (Sayyad *et al.*, 2014)، برای تعیین پایداری عملکرد بر روی ۱۸ لاین جو در شش منطقه و سه تکرار انجام دادند ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۵ و ۱۶ از پایداری بسیار بالایی برخوردار بودند. شناسایی ژنوتیپ ایده‌آل فرضی براساس مفاهیم پایداری و عملکرد بالا است. به عبارت دیگر بر اساس ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ژنوتیپی مطلوب، تعریف می‌شود که دارای حداکثر عملکرد و حداکثر پایداری باشد و هر ژنوتیپی که نزدیک‌ترین فاصله را به این ژنوتیپ فرضی داشته باشد به عنوان یک ژنوتیپ برتر محسوب می‌شود (Yan and Kang, 2003). مرکز دوایر متحدالمرکز جایی است که ژنوتیپ‌های ایده‌آل در آن قرار می‌گیرند. در شکل ۱ (B)، ژنوتیپ‌های ۱، ۳ و ۶ با قرار گرفتن در مرکز دوایر به منزله نزدیک‌ترین ژنوتیپ‌ها به ژنوتیپ ایده‌آل فرضی هستند و ژنوتیپ‌های ۱۰، ۴، ۱۷، ۱۵، ۲ بعد از آن در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

¹ Average Tester Coordinate

جدول ۳- تجزیه واریانس ژنوتیپ در محیط برای عملکرد دانه در سه سال آزمایش

Table 3. Analysis of genotype variance in the environment for grain yield in three experimental years.

The third year سال سوم		The second year سال دوم		The first year سال اول		درجه آزادی DF	منابع Resources
میانگین مربعات Mean squares	% از ژنوتیپ، مکان و اثر متقابل % of G+L+GL	میانگین مربعات Mean squares	% از ژنوتیپ، مکان و اثر متقابل % of G+L+ GL	میانگین مربعات Mean squares	% از ژنوتیپ، مکان و اثر متقابل % of G+L+G L		
74.12	48413353.896**	36.40	7083664.490**	70.4	19208550.247**	4	مکان Location
	1148597.122		819393.338		342781.505	15	خطای اول First error
7.4	1137920.827**	25.19	1153704.366**	13.6	875470.204**	17	ژنوتیپ Genotype
18.46	709475.469**	38.40	439628.809**	16.0	256052.232**	68	اثرمتقابل ژنوتیپ × مکان GL interaction
	216387.706		215438.869		79919.483	255	خطای دوم Second error

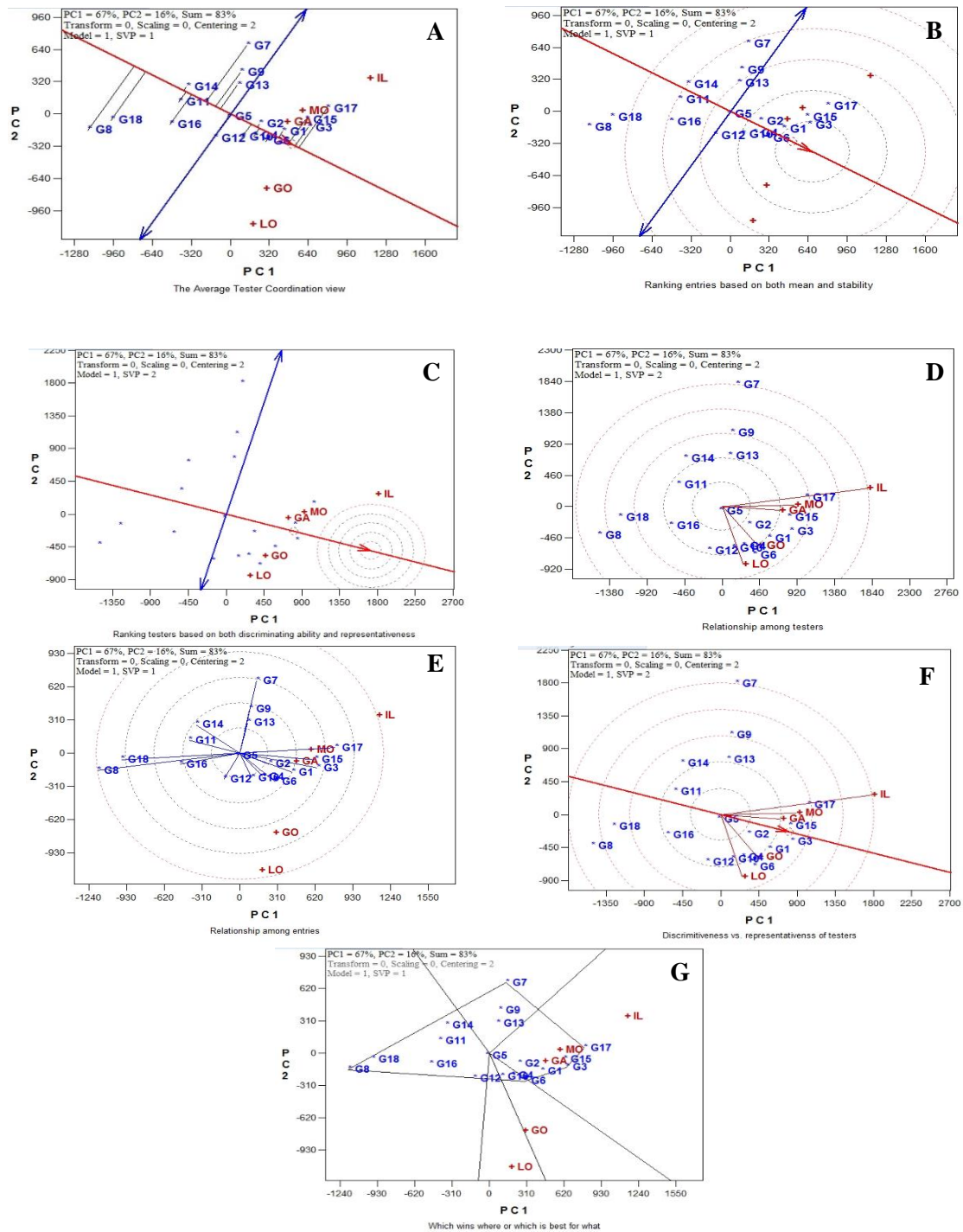
** معنی داری در سطح آماری یک درصد
Significant at 1% level

همبستگی بین محیطها از طریق زاویه‌ای که بین آن‌ها وجود دارد، تعیین می‌شود، بردار کنار این گراف در واقع نشان دهنده میزان زاویه بین مکانها است. زاویه بین بردارهایی که کوچکتر از ۹۰ درجه باشد نشان از همبستگی مثبت بین آن‌ها دارد. زاویه ۹۰ درجه بین بردارها نیز نشان دهنده مستقل بودن محیطها است. زاویه بزرگتر از ۹۰ درجه نیز به معنای همبستگی منفی بین محیطها است (Yan *et al.*, 2000). با توجه به شکل (D)، بین مکانهای مغان با گچساران، مغان با ایلام و گنبد با لرستان به علت وجود زاویه کم، همبستگی بالایی وجود داشته و مکانهای لرستان با ایلام با داشتن همبستگی نزدیک به صفر سبب ایجاد عملکرد مستقل ژنوتیپها در این مکانها می‌شوند. شریفی نسب و همکاران (Shahriarinasab *et al.*, 2015)، در بررسی ۱۴ هیبرید ذرت دانه‌ای در شش محیط طی دو سال به این نتیجه رسیدند که همبستگی مثبتی بین محیطهای جیرفت و کرج و همبستگی منفی بین محیطهای مشهد و کرج وجود داشت. در شکل

کوچکی و همکاران (Kouchaki *et al.*, 2012)، در بررسی پایداری گیاه جو با روش بای پلات به این نتیجه رسیدند که ژنوتیپ ۱۷ نزدیکترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل بود و بعد از آن ژنوتیپهای شماره ۱۵ و ۲۰ در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. محیط ایده‌آل نشان دهنده ایده‌آلترین الگوی پاسخ ژنوتیپی است. بدین منظور، از مبدأ مختصات خطی به میانگین محیطها وصل می‌شود و به دو طرف ادامه پیدا می‌کند. بهترین محیط، محیطی است که متمایل به انتهای مثبت این محور بوده و فاصله عمود آن از این خط کمترین مقدار باشد (Yan *et al.*, 2000). بر اساس شکل (C)، بهترین محیط ایلام است و محیطهای مغان، گچساران، گنبد و لرستان در گروه بعدی و بعد از آن قرار دارند تقی زاده و همکاران (Taghizadeh *et al.*, 2016) در بررسی پایداری جو با روشهای چند متغیره به این نتیجه رسیدند که محیط E8 (میان‌دوآب)، دارای نزدیکترین فاصله به محیط ایده‌آل فرضی بود.

استفاده از روش GGE بای پلات پرداختند و به این نتیجه رسیدند که محیط‌های زنجان، قاملو، کوهدشت و سرارود در شرایط بدون تنش رطوبتی دارای قابلیت تمایز بیشتری هستند. شمای چند ضلعی یک بای پلات GGE که اولین بار توسط Yan (۱۹۹۹) ارائه شد، ابزاری موثر و برازنده را برای نمایش الگوی "کدام-برتر-کجا" در یک مجموعه از داده‌های آزمایش‌های چند محیطی (MET) فراهم می‌کند. چند ضلعی با پیوستن ارقامی که دورترین فاصله را از مبداء بای پلات دارند ترسیم شده است به طوری که ارقام دیگر درون چند ضلعی قرار گرفته‌اند. چند ضلعی را می‌توان بدنه محدب نامید و ارقام در گوشه چند ضلعی را می‌توان ارقام رأس نامید. بنابراین، ارقام رأس آن‌هایی هستند که دورترین فاصله را از مبداء بای پلات دارند. سایر ارقام در جهت‌های مربوط به خود واکنش کمتر نشان می‌دهند. در شکل ۱ (G)، پنج بخش و سه محیط بزرگ مشخص وجود دارد و پنج ژنوتیپ ۱۷، ۳، ۶، ۸ و ۷ که در رئوس چند ضلعی قرار دارند ژنوتیپ‌های برتر هستند. اولین محیط بزرگ واقعی شامل ایلام، مغان و گچساران با ژنوتیپ برتر شماره ۱۷، دومین محیط بزرگ شامل گنبد با ژنوتیپ برتر شماره ۳ و سومین محیط بزرگ شامل لرستان با ژنوتیپ برتر ۶ است. در بخشی که ژنوتیپ ۷ در رأس قرار دارد هیچ محیطی قرار نگرفته که بیانگر این است که این ژنوتیپ در هیچ یک از محیط‌ها بیشترین عملکرد را نداشته و جزء ارقام ضعیف در اکثر محیط‌ها به شمار می‌آید.

۱(E)، ژنوتیپ‌های ۷، ۹ و ۱۳ همبستگی مثبت با یکدیگر دارند. بین ژنوتیپ ۷ با ژنوتیپ ۱۱ و همچنین بین ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۳ با ژنوتیپ‌های ۱۳، ۹ و ۷ به خاطر زاویه حدود ۹۰ درجه همبستگی مثبت یا منفی وجود ندارد. ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۵ با ژنوتیپ‌های ۱۸ و ۱۱ همبستگی منفی نشان می‌دهند. اگرچه آزمایش‌های چند محیطی برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها به کار می‌روند، آن‌ها را می‌توان برای ارزیابی محیط‌ها نیز به کار برد. یک محیط ایده‌آل بایستی به طور واضح اختلاف بین ژنوتیپ‌ها را نشان دهد و همزمان نماینده خوبی از محیط هدف باشد (Yan *et al.*, 2010). اگر یک محیط آزمون نمایانگر محیط هدف نباشد، نه تنها بی فایده است، بلکه به علت فراهم نمودن اطلاعات آریب دار احتمالی درباره ارقام مورد آزمایش، می‌تواند گمراه کننده نیز باشد (Letta *et al.*, 2008). قابلیت تمایز یکی از ویژگی‌های مهم هر محیط بوده به طوری که محیط‌های فاقد قابلیت تمایز نمی‌توانند اطلاعات مفیدی در مورد ارقام را ارائه نمایند (Yan and Kang, 2003). علاوه بر قابلیت تمایز محیط یکی دیگر از ویژگی‌های مهم میزان بیانگری یا نمایندگی محیط آزمایشی از محیط بزرگ است. میزان مطلوبیت محیط‌ها به وسیله فاصله آن‌ها از محیط ایده‌آل سنجیده می‌شود. در شکل ۱ (F)، به ترتیب محیط‌های گچساران، مغان، ایلام، گنبد و لرستان قابلیت تمایز بالایی دارند. پورداد و جمشیدمقدم (Pordad *et al.*, 2012) (۱۳۹۱)، در تحقیقی به مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در گلرنگ با



شکل ۱- نتایج بای پلات شامل میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپها (A)، تعیین ژنوتیپ ایده‌آل (B)، تعیین محیط ایده‌آل (C)، بررسی روابط بین محیطها (D)، بررسی روابط میان ژنوتیپها (E)، توانایی تمایز و نماینده بودن محیطها (F)، تعیین محیط کلان (G)

Figure 1 - Biplot results including average yield and stability of genotypes (A), determination of ideal genotype (B), determination of ideal environment (C), examination of relationships between environments (D), examination of relationships between genotypes (E), ability to differentiate and visualize environments (F), determination of macroenvironment (G).

سازگار هستند، در حالی که برخی دیگر توانایی سازگاری گسترده‌تری دارند. تغییرپذیری میزان اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در سال‌های مختلف نیز حاکی از آن است که سازگاری ژنوتیپ‌ها ثابت نبوده و تحت تأثیر تغییرات اقلیمی سالانه قرار می‌گیرد. برای نمونه، سهم بالای اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در سال دوم (۱۳۹۳) نسبت به سال‌های اول و سوم نشان می‌دهد که ارزیابی ژنوتیپ‌ها باید در چندین سال تکرار شود تا توان سازگاری و ثبات عملکرد آن‌ها به‌درستی مشخص گردد. یافته‌های (Carvalho *et al.*, 2016) و (Bornhofen *et al.*, 2017) نیز بر اهمیت ارزیابی چندساله و چندمکانه برای توصیه ارقام جدید تأکید داشته‌اند. از دیدگاه برنامه‌های به‌نژادی، وجود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بالا بیانگر آن است که صرفاً تکیه بر میانگین عملکرد برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر کافی نیست. در این شرایط، استفاده از روش‌های پایداری و به‌ویژه تحلیل GGE بای پلات ابزاری مناسب برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و یا دارای سازگاری اختصاصی با یک محیط خاص می‌باشد.

نتیجه گیری کلی

بر اساس این پژوهش، برخی لاین‌ها می‌توانند برای مناطق خاصی مانند مغان یا گچساران توصیه شوند، در حالی که برخی دیگر که عملکرد یکنواخت‌تری در محیط‌های مختلف داشتند، گزینه مناسبی برای معرفی در سطح وسیع‌تر خواهند بود. به‌طور کلی، معنی‌دار بودن اثرات ژنوتیپ، محیط و GEI در این مطالعه نشان‌دهنده پیچیدگی عوامل تعیین‌کننده عملکرد در جو است. بنابراین راهبردهای اصلاحی باید علاوه بر انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول، به سازگاری آنها با محیط‌های هدف نیز توجه نمایند. به‌کارگیری تحلیل GGE بای پلات در این مسیر می‌تواند ضمن شناسایی محیط‌های همگن (مگا محیط‌ها) و ژنوتیپ‌های پایدار، چارچوب مناسبی برای توسعه و معرفی ارقام جدید فراهم سازد.

کانونی و همکاران (Kanuni *et al.*, 2016)، در مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در نخود دو محیط کلان‌شناسایی کردند. محیط کلان اول شامل ارومیه و مراغه با ژنوتیپ برتر G6 و محیط کلان دوم شامل کردستان و همدان با ژنوتیپ برتر G4 بود.

نتایج این تحقیق نشان داد که اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه در طی مکان‌ها و سال‌های مختلف داشتند. معنی‌داری اثر ژنوتیپ در هر سه سال مطالعه نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی قابل توجه میان لاین‌های پیشرفته جو و ارقام شاهد بود که بیانگر پتانسیل بالای انتخاب و به‌نژادی در این مجموعه ژرم پلاسم می‌باشد. این یافته با گزارش‌های پیشین هم‌خوانی دارد که به وجود پایه ژنتیکی گسترده در جو و توانایی واکنش متفاوت آن در برابر شرایط محیطی اشاره کرده‌اند (Nadolska-Orczyk *et al.*, 2017). اثر محیط در این تحقیق، اهمیت عوامل منطقه‌ای مانند حاصلخیزی خاک، ارتفاع از سطح دریا، شرایط دمایی و الگوی بارش را در تعیین عملکرد روشن ساخت. به‌ویژه در سال‌های اول و سوم، محیط بیش از ۷۰ درصد از تغییرات عملکرد را توضیح داد که نشان‌دهنده نقش غالب شرایط اقلیمی و خاکی مناطق مورد مطالعه (از جمله گچساران، مغان و ایلام) در بهره‌وری بود. این نتیجه با یافته‌های ال‌حداد و همکاران (El Haddad *et al.*, 2021) مطابقت دارد که گزارش کردند در اغلب آزمایش‌های چند مکانه جو، محیط بیشترین سهم را در تغییرات عملکرد دارد. همچنین، مشاهده اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در تمامی سال‌ها نشان داد که واکنش ژنوتیپ‌ها به تغییرات محیطی یکنواخت نبوده است. در سال دوم، سهم اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بیش از سهم ژنوتیپ و محیط بود که بر اهمیت نقش تعامل در پایداری عملکرد تأکید دارد. چنین الگویی در مطالعات مشابه روی چغندر قند نیز گزارش شده است (Hassani *et al.*, 2023) و نشان می‌دهد که برخی ژنوتیپ‌ها به‌طور اختصاصی با یک محیط خاص

- Allard RW, Bradshaw AD. 1964. Implication of genotype environmental interaction in applied plant breeding. *Crop Science* 4(5): 503-508
- Barati A, Lakzadeh I, Jabari M, Poodineh O, Alt Jafarby J, Shahbazi Homonlo K, Gholipour A, Tabatabaei Fard NA. 2021. Evaluation of grain yield stability of irrigated barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines in warm regions of Iran using GGE biplot analysis. *Iranian Journal of Crop Sciences* 22(3): 212-224 (in Persian)
- Barati A, Pour-Aboughadareh A, Arazmjoo E, Tabatabaei SA, Bocianowski J, Jamshidi B. 2025. Identification of high yielding and stable barley genotypes for drought conditions in the moderate climate of Iran using AMMI model and GGE Biplot analysis. *Journal of Crop Health* 77(8)
- Bornhofen E, Benin G, Storck L, Woyann LG, Duarte T, Stoco MG, Marchioro SV. 2017. Statistical methods to study adaptability and stability of wheat genotypes. *Bragantia* 76: 1-10
- Carvalho LCB, Damasceno-Silva KJ, de Moura Rocha M, Oliveira GCX. 2016. Evolution of methodology for the study of adaptability and stability in cultivated species. *African Journal of Agricultural Research* 11(12): 990-1000
- Cornelius PL, Crossa J. 1999. Prediction assessment of shrinkage estimators of multiplicative models for multi-environment cultivar trials. *Crop Science* 39: 998-1009
- Dehghanpour Z, Karimizadeh R, Dehghani H, Sabaghnia N. 2007. Determination of adaptability and stability of seed early maturity corn hybrids. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 38: 249-257 (in Persian)
- Derbew S, Mekbib F, Lakew B, Bekele A, Bishaw Z. 2024. AMMI and GGE Biplot analysis for barley genotype yield performance and stability under multi-environment condition in Southern Ethiopia. *Agrosystems, Geosciences & Environment* 7(3): e20565
- Eberhart SA, Russell WA. 1996. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6: 36-40
- El Haddad N, Sanchez-Garcia M, Visioni A, Jilal A, El Amil R, Sall AT, Bassi FM, Lagesse W, Kumar SH. 2021. Crop wild relatives crosses Multi-location assessment in durum wheat, barley, and lentil. *Agronomy* 11(11): 2283
- Falconer DS. 1981. *Introduction to Quantitative Genetics*. 2nd edn. London, UK: Longman
- FAO. 2008. *Production Yearbook*, Rome. <http://faostat.fao.org>
- Fattahi F, Yossefi A. 2006. Evaluation of yield stability of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) using repeatable stability parameters and pattern analysis of AMMI model. *Iranian Journal of Agricultural Science* 37: 317-326 (in Persian)
- Finlay KW, Wilkinson GN. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Australian Journal of Agricultural Research* 14(6): 742-754
- Gauch HG, Zobel RW. 1996. AMMI analysis of yield trials. In: Kang, M. S. and H. G. Jr. Gauch (eds), *Genotype-by-environment interaction* (pp.85-122). CRC Press, Boca Raton, Florida
- Gauch HG. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science* 46: 1488-1500
- Germa G, Tola M, Birhano CH. 2025. A multi-model approach to predict a resilient and highly productive hullless barley genotypes in the context of current climate change. *The Journal of Crop Science and Biotechnology* 28: 361-378
- Hassani M, Mahmoudi SB, Saremirad A, Taleghani D. 2023. Genotype by environment and genotype by yield* trait interactions in sugar beet analyzing yield stability and determining key traits association. *Scientific Reports* 13(1): 23111
- Huhn M. 1996. Nonparametric analysis of genotype \times environment interaction by ranks. In: Kang, M.S. H.G. Jr. Gauch(eds), *Genotype-by-environment interaction*. CRC press, Boca raton. Florida app: 235-271
- Kang MS. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance genotype \times environment 239 trials: consequences for growers. *Agronomy Journal* 85: 754-757
- Kang MS. 1998. Using genotype \times environment interaction for crop cultivar development. *Advanced in Agronomy Journal* 62: 192-252

- Kanuni H, Farayadi Y, Sabbaghpour H, Saeid A. 2016. Evaluation of genotype \times environment interaction on grain yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) lines in winter cultivation. Iranian Journal of Agricultural Sciences 18(1): 63-75 (in Persian)
- Kouchaki AR, Sorkhi Allahlu B, Eslamzadeh Hesari MR. 2012. Sustainability of promising barley genotypes in cold regions of Iran using the GGE biplot method. Journal of Seed and Plant Improvement 4(28): 533-543 (in Persian)
- Letta T, D'Egidio MG, Abinasa M. 2008. Analysis of multi-environment yield trials in durum wheat based on GGE-biplot. Journal of Food, Agriculture and Environment 6(2): 217-221
- Milomirka Madic A, Paunovic D, Knezevic D. 2005. Correlation and path coefficient analysis for yield and yield components in winter barley. Acta Agriculturae Serbica 20: 3-9
- Nadolska-Orczyk A, Rajchel IK, Orczyk W, Gasparis S. 2017. Major genes determining yield-related traits in wheat and barley. Theoretical and Applied Genetics 130(6): 1081-1098
- Noormohammadi GH, Siadat A, Kashani A. 2005. Crop cultivation. Chamran University Press (in Persian)
- Perkins JM, Jinks JL. 1971. Environmental and genotype \times environment components of variability. III. Multiple line and crosses. Heredity 23: 339-356
- Pordad S, Jamshid Moghaddam M. 2012. Investigation of genotype \times environment interaction using the GGE biplot method in spring safflower. Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products 2(6): 99-107 (in Persian)
- Rahmati S, Azizi-Nezhad R, Etminan A, Shooshtari L, Pour-Aboughadareh A. 2024. Analysis of genotype-by-environment interaction effect in barley genotypes using AMMI and GGE biplot methods. Heliyon 10(9): e38131
- Roy D. (2000). Plant breeding: Analysis and exploitation of variation. Alpha Science Int'l Ltd
- Saeidi A, Barati A, Ghazvini H, Hajibarat Z. 2024. Combination of AMMI, GGE biplot, stability parameters, and physiological traits in promising barley genotypes under water-deficit condition. Agrosystems, Geosciences & Environment 7(4): e20575
- Sayyad S, Khodarahm M, Nikkhah H, Sarkhi Allahlu B, Tajalli H, Taheri M, Hasani F, Taherian M, Mahalouji M. 2014. Evaluation of barley genotype yield stability using the GGE biplot method. Journal of Plant Breeding of Agricultural and Horticultural Crops 2(1): 47-58 (in Persian)
- Shahriarinasab M, Chogan R, Khodarahmi M, Masoumi A, Khavarani Khorasani S. 2015. Genotype \times environment interaction analysis for grain yield of maize hybrids using the GGE biplot model. Journal of Crop Breeding Research 7(16): 123-129 (in Persian)
- Taghizadeh A, Sarkhi Allahlu B, Nakhjavan Sh. 2016. Stability analysis of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) using multivariate statistical methods. Journal of Crop Breed 8(17): 87-95 (in Persian)
- Yan W, Cornelius PL, Crossa J, Hunt LA. 2001. Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data. Crop Science 41: 656-663
- Yan W, Fregeau Reid J, Pageau D, Martin R, Mitchell Fetch J, Etienne M, Rowsell J, Scott P, Price M, Haan BD, Cumiskey A, Lajeunesse J, Durand J, Sperry E. 2010. Identifying essential test locations for oat breeding in eastern Canada. Crop Science 50: 504-515
- Yan W, Kang MS, Ma B, Woods SH, Cornelius PL. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. Crop Science 47: 643-653
- Yan W, Kang MS. 2003. GGE Biplot Analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press. Boca Raton, FL, 605 pp
- Yan W. 1999. A study on the methodology of cultivar evaluation based on yield trial data – with special reference to winter wheat in Ontario, PhD thesis. University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada
- Yan W. 2001. GGE biplot a Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two –way data. Agronomy Journal 93: 1111-1118

DOI: 10.22092/idaj.2026.370962.452

Evaluation of yield stability and genotype \times environment interaction under dryland conditions using GGE-biplot graphical analysis in advanced barley lines

Leyla Naeemzadeh¹, Hamid Hatami Maleki¹, Behrouz Vaezi², Naser Sabghnia^{1*}

1- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maghreh, Maragheh, Iran

2- Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yasuj, Iran

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Barley is one of the most important cereals worldwide and in Iran, and is cultivated in all temperate regions as well as many cold regions. With an annual production of 157 million tons (3 million tons in Iran) and a cultivated area of 56 million hectares (1.7 million hectares in Iran), it holds a key position among cereal crops. The GGE biplot method is a novel approach for evaluating genotype-environment interaction effects, in which the genotype effect and the genotype-environment interaction effect are not separated, and the selection of stable genotypes is based on both effects.

Methodology: In this project, 16 advanced common barley lines, along with two barley cultivars Khoram and Mahur were grown in five regions: Gachsaran, Moghan, Gonbad, Lorestan and Ilam. The experiment was conducted over three years using a randomized complete block design with four replications. Each year, an analysis of variance was first conducted for the yield of the varieties separately for each year and location. Subsequently, a combined analysis of variance (considering all locations and years of the trial) was performed.

Research findings: The results of analysis of variance showed that the effects of genotype, environment, and genotype \times environment interaction were significant in 2013-2014-2015. Polygonal biplot analysis led to the identification of five superior genotypes (17, 3, 6, 8, 7) and three main environments. Simultaneous assessment of genotype stability and performance indicated that genotypes 1, 3 and 15 not only exhibited high performance but also higher performance stability. Based on the diagram of hypothetical ideal environments, the environment in Ilam came closer to this ideal. In the biplot analysis, the correlations between environments showed that the correlations between Moghan and Gachsaran, Moghan and Ilam, and Gonbad and Lorestan were high due to small angles, indicating similar responses of genotypes in these locations. In contrast, the correlation between Lorestan and Ilam was close to zero, suggesting independent performance of the genotypes in these environments. This approach identified genotypes 3, 1, and 15 as the superior genotypes.

Keywords: Adaptation, Barley, Genotype \times Environment interaction, Yield stability

* Corresponding author: sabaghnia@yahoo.com
Submit date: 2025/10/08 Accept date: 2026/02/21

