



"مقاله پژوهشی"

بررسی اثر متقابل ژنتیک در محیط برای عملکرد دانه در ژنتیک‌های لوبياچیتی

عادل غدیری^۱, سیده سودابه شبیری^۲ و علی‌اکبر اسدی^۳

^۱- پژوهشگر، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران

^۲- استادیار، دکترای زراعت، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

^۳- استادیار، دکترای اصلاح نباتات، ژنتیک بیومتری، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران، (نوبنده مسؤول: asadipm@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۱

صفحه: ۱۷۲ تا ۱۸۲

چکیده مبسط

مقدمه و هدف: وجود اثر متقابل ژنتیک در محیط برای صفات کمی مثل عملکرد دانه می‌تواند انتخاب ژنتیک‌های برتر را برای توسعه ارقام اصلاح شده محدود کند. به منظور محاسبه اثر متقابل ژنتیک در محیط، بهمنزادرگان ژنتیک‌ها را در چندین محیط ارزیابی می‌کنند تا ژنتیک‌های با عملکرد و پایداری بالا شناسایی شوند. این آزمایش به منظور بررسی اثر متقابل ژنتیک در محیط بر روی تعداد ۱۱ ژنتیک چیتی با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری و مدل GGE با پلات به منظور ارزیابی ژنتیک‌ها و محیط‌ها، شناسایی ژنتیک ایده‌آل انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این آزمایش تعداد ۹ لاین لوبياچیتی به همراه ارقام غفار و لاین (در مجموع ۱۱ لاین)، طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در دو ایستگاه خمین و زنجان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بهمنظور دستیابی به ارقام لوبياچیتی با عملکرد بالا و بازارپسندی مطلوب انجام گرفت. جهت انتخاب ژنتیک‌های پارامتری و ناپارامتری و چهت گریش ژنتیک‌های برتر و سازگار با محیط‌های انجام آزمایش از تجزیه GGE با پلات استفاده شد.

یافته‌ها: وجود اثر متقابل معنی‌دار ژنتیک × محیط حاکی از واکنش متفاوت ژنتیک‌ها به محیط‌های مختلف بود. در روش‌های پارامتری ژنتیک‌های G4, G8, G9 و تا حدودی G2 و در روش‌های ناپارامتری ژنتیک‌های G2, G3, G8, G4 و تا حدودی G9 با عنوان ارقام پایدار معرفی شدند. تجزیه با پلات نشان داد که ژنتیک Cos16 در محیط‌های زنجان سال اول و دوم و ژنتیک G2 در محیط‌های خمین سال اول و دوم بیشترین عملکرد را از خود نشان داد. ژنتیک‌های G11 و G7 با بیشترین فاصله تا خط ATC دارای عملکرد پایین و نیز پایداری ژنتیک‌ها به عنوان ژنتیک مطلوب که دارای میانگین عملکرد بالا و نیز پایداری عملکرد بالا باشد و وجود داشتند ولی ژنتیک G2 و در مرحله بعد ژنتیک G4 در فاصله اندکی نسبت به ژنتیک ایده‌آل قرار داشتند. هیچ کدام از محیط‌های مورد بررسی نیز به محیط ایده‌آل نبود و بنابراین نمی‌توان هیچ کدام از آن‌ها را به عنوان نماینده محیط‌ها برای تفکیک ژنتیک‌ها در نظر گرفت.

نتیجه‌گیری: شاهد Cos16 در محیط‌های خمین سال اول و دوم و ژنتیک G2 در محیط‌های زنجان سال اول و دوم بیشترین عملکرد را دارا هستند. هیچ ژنتیک ایده‌آلی مشاهده نشد ولی دو ژنتیک شاهد Cos16 و G4 را می‌توان به عنوان ژنتیک‌های برتر معرفی کرد.

واژه‌های کلیدی: پایداری، روش‌های پارامتری، سازگاری، عملکرد

در برنامه‌های بهمنزادری تولید ارقام با پتانسیل عملکرد بالا، هدف نهایی پژوهشگران در افزایش تولیدات محصولات کشاورزی است. علاوه‌بر این که آزمایش ژنتیک‌های در محیط‌های مختلف می‌تواند به شناسایی ژنتیک‌های برتر کمک کند، اثر متقابل ژنتیک در محیط، از یک طرف همبستگی بین اثرات ژنتیکی و فتوتیپی و از طرف دیگر، امکان گریش ژنتیک‌های برتر را به ویژه در شرایط تنش، کاهش می‌دهد (۱۵, ۴۸). اثر متقابل ژنتیک در محیط GEI^۱ اهمیت زیادی در برنامه‌های بهمنزادری لوبيا داشته که به عنوان پاسخ فتوتیپی ژنتیک‌ها به تغییرات محیطی تعریف می‌شود (۳۸) که از تغییرات بزرگ‌نمایی اختلافات بین ژنتیک‌ها در محیط‌های مختلف یا از تغییرات نمره‌دهی نسبی ژنتیک‌ها به دست می‌آید (۶). بالا بودن اثر متقابل ژنتیک در محیط برای صفات کمی مثل عملکرد دانه می‌تواند انتخاب ژنتیک‌های برتر را برای توسعه ارقام اصلاح شده محدود کند (۱۱, ۹). به منظور محاسبه اثر متقابل ژنتیک در محیط، بهمنزادرگان ژنتیک‌ها را در چندین محیط ارزیابی می‌کنند تا ژنتیک‌های با عملکرد و پایداری بالا شناسایی شوند. ژنتیک‌های با اثر متقابل ژنتیک در محیط غیر معنی‌دار به عنوان ژنتیک‌های پایدار در نظر گرفته می‌شوند (۲۷, ۴۰).

مقدمه
لوبیا (Phaseolus vulgaris L.) از خانواده بقولات بوده که دانه آنها به دلیل داشتن ارزش غذایی بالا نقش مهمی در زندگی انسان دارد و در بین آنها از لحاظ سطح زیرکشت و ارزش اقتصادی مقام اول متعلق به انواع لوبيا است. همچنین این گیاهان به سبب خصوصیات ویژه در تنابوب با سایر گیاهان زراعی و تثبیت نیتروژن اهمیت فراوانی در کشاورزی دارند (۴۵, ۱۷). سطح زیرکشت حبوبات و لوبيا در جهان بهترتب در حدود ۹۳ و ۳۵ میلیون هکتار می‌باشد. ایران با سطح زیرکشت حبوبات به میزان ۷۵۹ هزار هکتار و تولید محصول ۵۰.۸ هزار تنی در سال و لوبيا خشک به میزان ۸۳ هزار هکتار و تولید ۱۷۰ هزار تنی در سال از مهم‌ترین کشورهای تولیدکننده این محصولات می‌باشد (۸). گیاه لوبيا انواع مختلفی دارد که از نظر کمیت و کیفیت باهم متفاوت هستند، از مهمترین آنها میتوان به لوبيا سفید، قرمز و چیتی اشاره کرد. لوبيا چیتی یکی از مطلوبترین و پرمصرف‌ترین نوع لوبيا است که به علت قابلیت هضم بهتر، خوش‌خوارکی و زودپیزی حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به حساسیت این نوع لوبيا به عوامل محیطی برای کشت لازم است به شرایط مطلوب کشت آن توجهی ویژه داشت (۱۷, ۲۸).

محیط استفاده می‌شود تا بتوان نتایج قابل اعتمادتری را به دست آورد (۳۶، ۱۶). با توجه به کارایی روش GGE بای‌پلات، از این روش در سنجش پایداری گونه‌های مختلف زراعی به طور موافقیت‌آمیزی بهره گرفته شده است که از آن جمله می‌توان به جو (۱)، کلزا (۳۲)، گلنگ (۲۶)، آفتابگردان (۳۹)، برنج (۴)، گندم دوروم (۲۰) اشاره نمود. هدف از این پژوهش بررسی اثر متقابل ژنتیک در محیط بر روی تعداد ۱۱ ژنتیک لوبیا با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری و مدل GGE بای‌پلات به منظور ارزیابی ژنتیک‌ها و محیط‌ها، تعیین روابط بین ژنتیک‌ها و محیط‌ها و شناسایی ژنتیک ایده‌آل بود.

مواد و روش‌ها

به منظور دستیابی به ارقام لویاچیتی با عملکرد بالا و بازارپسندی مطلوب پروژه‌ای ملی در شهرستانهای خمین و زنجان طی دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱۴۰۰ و ۱۳۹۹-۱۴۰۱ اجرا شد. در این آزمایش تعداد ۹ لاین لویاچیتی انتخاب شده از آزمایشات گذشته، به همراه ارقام غفار و لاین Cos16 (درمجموع ۱۱ لاین)، در قالب طرح بلوك‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۱). رقم غفار، رقمی ایستاده، رشد نامحدود مقاوم به کنه دو نقطه‌ای با بازارپسندی خوب ولی دیررس می‌باشد. همچنین رقم Cos16، رقمی ایستاده، حساس به کنه دونقطه‌ای با بازارپسندی متوسط می‌باشد. عملیات تهیه زمین شامل شخم عمیق پائیزه، شخم سطحی بهاره، دیسک، تسطیح و لولر بود. قبل از کاشت، با توجه به نتایج آزمون خاک از عناصر ماقر و میکرو به مقدار لازم مصرف شد. همچنین به منظور کنترل علف‌های هرز از علف‌کش پیش کاشت تریفلورالین به مقدار ۲ لیتر در هکتار استفاده شد. جهت انجام کاشت اقدام به ایجاد جوی و پشته به فواصل ۵۰ سانتیمتر از یکدیگر گردید و پس از پیاده‌سازی نقشه آزمایش بذور هر یک از لاین‌ها بر روی چهار خط به طول ۳ متر کشت گردید به طوری که فواصل بوته‌ها بر روی ردیف ۵ سانتیمتر بود. آبیاری با استفاده از نوارهای تیپ انجام می‌شد. در طول دوران رشد مراقبت‌های زراعی شامل آبیاری، مبارزه با آفات و بیماری‌ها و مبارزه مکانیکی و شیمیایی علیه علف‌های هرز انجام شد. برای اندازه‌گیری عملکرد هر کرت بوته‌های هرز یک از لاین‌ها به صورت جداگانه برداشت و کوبیده و وزن شد.

اهمیت اثر متقابل ژنتیک در محیط در ارزیابی ارقام و برنامه‌های بهترادی در اکثر محصولات ثابت شده است (۲۴، ۵۴).

تجزیه پایداری مهم‌ترین روشی است که برای پی بردن به ماهیت اثر متقابل ژنتیک در محیط مورد استفاده قرار می‌گیرد و با توجه به نتایج آن می‌توان ارقام پایدار و سازگار را شناسایی کرد. روش‌های مختلفی برای بررسی اثر متقابل ژنتیک در محیط و تعیین ژنتیک‌های پایدار ارائه شده است که شامل روش‌های تک متغیره و چند متغیره پارامتریک و ناپارامتریک هستند (۲۱). اگرچه محاسبه و استفاده از روش‌های تک متغیره پارامتری و ناپارامتری آسان است، ولی این روش‌ها نمی‌توانند ماهیت پیچیده و چند بعدی اثر متقابل را به خوبی تفسیر نمایند (۵۰). برای رفع این مشکل استفاده از روش‌های چند متغیره پیشنهاد شده است. واکنش متفاوت ژنتیک‌ها در محیط‌های مختلف همان اثر متقابل ژنتیک در محیط است. داده‌های حاصل از این آزمایش‌ها برای تعیین GEI به روش‌های مختلف تجزیه می‌شوند. در این آزمایش‌ها می‌توان با استفاده از روش GGE بای‌پلات و با لحاظ نمودن اثر اصلی ژنتیک و اثر متقابل ژنتیک در محیط، دو مؤلفه اول و دوم را تعریف نموده و پایداری و عملکرد ژنتیک‌ها را به طور همزمان سنجید (۵۲). بهره‌گیری از مدل GGE بای‌پلات، گزینش ژنتیک‌های پایدار بر اساس هر دو اثر ژنتیک و اثر متقابل ژنتیک در محیط را ممکن می‌کند. مدل GGE بای‌پلات یکی از متدائل‌ترین روش‌های چند متغیره در ارزیابی و تحلیل اثر متقابل ژنتیک در محیط است که همانند روش AMMI بر پایه تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام می‌شود (۵۲). با بهره‌گیری از نمودارهای ارائه شده در روش GGE بای‌پلات می‌توان پی برده که کدام رقم در کدام محیط، واکنش بهتری نشان داده است (۱۸). در مقایسه روش GGE با روش AMMI به عنوان دیگر روش مهم تجزیه پایداری چند متغیره، گزارش شده است که GGE بای‌پلات به منظور تحلیل اثر متقابل ژنتیک در محیط، توانمندتر از روش AMMI می‌باشد (۴۷). در آزمایش‌های چندمحیطی اثر مکان در بیشتر موارد بسیار بزرگ است، اما در عین حال قابل تجزیه و تحلیل و ارزیابی نیست، بنابراین حذف اثر مکان و تمرکز بر اثر ژنتیک و اثر متقابل ژنتیک در محیط، در رسیدن به نتایج قابل اطمینان‌تر، می‌تواند مؤثر باشد (۵۲). در روش GGE بای‌پلات، از اثر ساده ژنتیک و اثر متقابل ژنتیک در

جدول ۱- فهرست لاین‌های لویاچیتی مورد ارزیابی

Table 1. List of evaluated pinto bean lines

ROW ردیف	Abbreviation sign علامت اختصاری	Line Code کد لاین
1	G1	COS16(Control)
2	G2	KBC-22103
3	G3	KBC-23120
4	G4	KBC-22125
5	G5	Ks-21383
6	G6	Ghaffar(Control)
7	G7	KBC-22136
8	G8	KBC-21136
9	G9	KBC-22136
10	G10	KBC-22127
11	G11	Ks-21214

تجزیه مرکب داده‌ها انجام شد. برای آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی و تجزیه مرکب داده‌ها از نرم‌افزار SAS، برای برآورد پارامترهای پایداری از برنامه اینترنی آنلاین STABILITYSOFT (۳۱) و نرم‌افزار EXCEL و GGE-Biplot (۳۲) از نرم‌افزار RStudio استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه اختلافات معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین عملکرد دانه ژنتیپ‌های مورد ارزیابی وجود اختلافات معنی‌دار بین ژنتیپ‌های مورد آزمایش را نشان داد. همچنین اثر متقابل معنی‌دار ژنتیپ × محیط مشاهده شد که حاکی از تفاوت‌های معنی‌دار در واکنش ژنتیپ‌ها به محیط‌های مختلف اجرای آزمایش بود. اثر اصلی محیط و اثر متقابل ژنتیپ در محیط بهترتبیب با ۲۲/۳ درصد و ۲۲ درصد بیشترین سهم و ژنتیپ با ۱۸/۸ درصد کمترین سهم را درمجموع مربعت کل واریانس مشاهده شده در آزمایشات داشتند (به جز اثرات مربوط به خطای آزمایش) (جدول ۱).

با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنتیپ در محیط، برای تعیین سازگاری و پایداری ژنتیپ‌ها از روش‌های مختلف تجزیه شامل واریانس محیطی رومر (۳۳)، اکووالانس ریک (۳۴)، روش رگرسیون فینلی و ویلکینسون (۱۰)، واریانس پایداری شوکلا (۴۱)، ضرب تغییرات محیطی فرانسیس و کاننبرگ (۱۱)، مجموع رتبه کانگ (۱۴)، آماره پلاستد و پترسون (۳۰)، آماره پلاستد (۲۹)، آماره‌های ناپارامتریک تنرازو (۴۳)، آماره‌های ناپارامتریک هیون (۱۲) و در انتهای از روش GGE با پلات استفاده شد. در این مطالعه بای پلات‌ها برای نمایش الگوی تعیین‌کننده ژنتیپ بهتر در هر محیط (Which-win-Where)، رتبه‌بندی گرافیکی ژنتیپ‌ها بر اساس ترکیب هم‌زمان عملکرد دانه با پایداری، قابلیت نمایندگی محیط‌ها و قدرت تمایز محیط‌ها در تفکیک ژنتیپ‌های مورد بررسی و رتبه‌بندی گرافیکی ژنتیپ‌ها بر اساس ژنتیپ ایده‌آل بکار گرفته شدند. قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها و محاسبه پارامترهای پایداری آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی (آزمون بارتلت) تائید و سپس

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه برای ۱۱ ژنتیپ لوپیا ارزیابی شده در ۴ محیط مورد آزمایش

Table 2. Combined analysis of variance of grain yield for 11 bean genotypes evaluated in 4 experimental environments

Percentage of total sum of square	Mean of square	Sum of square	Degree of freedom	S.O.V.
درصد از کل مجموع مربعت	میانگین مربعت	مجموع مربعت	درجه آزادی	منابع تغییر
23.3%	4780666**	14341998	3	(Environment)
7%	554403	4435224	8	محیط × تکرار(Rep × Environment)
18.8%	1157813**	11578130	10	ژنتیپ (Genotype)
22%	452378**	13571340	30	ژنتیپ × محیط (Genotype × Environment)
28.9%	219769	17581520	80	باقیمانده (Residual)
		61508212	13	کل (Total)
		14%		ضریب تغییرات (CV%)

**, *: Significant in 0.01% and 0.05% respectively

* و **: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد بهترتبیب

است بنابراین ضرب رگرسیون بهنهایی قادر به شناسایی ژنتیپ‌های پایدار نیست و نمی‌تواند به عنوان یک معیار پایداری عمومی در نظر گرفته شود. دشتكی و همکاران (۳) در بررسی پایداری ۲۰ ژنتیپ گندم در سه سال و هفت منطقه با استفاده از تجزیه رگرسیون بیان داشتند که به علت معنی‌دار نبودن واریانس انحرافات از خط رگرسیون و قرارگیری اکثر ژنتیپ‌ها در حول خط رگرسیون، از این دو پارامتر نتوانستند برای گزینش ژنتیپ‌های پایدار استفاده کنند.

بر اساس شاخص‌های اکووالانس ریک (۴۶) و واریانس پایداری شوکلا (۴۱) ژنتیپ‌های G8، G4، G9 و G3 در محیط‌های مورد بررسی دارای اکووالانس و واریانس کمتر بودند و به عنوان ژنتیپ‌های پایدار شناسایی شدند. به دلیل این که واریانس پایداری شوکلا ترکیبی خطی از اکووالانس است بنابراین این دو شاخص از نظر رتبه‌بندی ژنتیپ‌ها دارای ارزش یکسان هستند بنابراین یکسان بودن نتایج حاصل از این دو روش دور از انتظار نبود. روستایی و همکاران (۳۵) دو شاخص واریانس پایداری شوکلا و اکووالانس ریک را جهت

نتایج حاصل از روش‌های پارامتری و ناپارامتری تجزیه پایداری در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس ضرب رگرسیون خطی فینلی و ویلکینسون (۱۰) ژنتیپ‌های G4، G3 و G8 تا حدودی دارای ضرب رگرسیون نزدیک به یک بودند. بیشترین ضرب رگرسیون مربوط به ژنتیپ G10 و کمترین مربوط به ژنتیپ G9 بود. واریانس انحراف از خط رگرسیون S_{di}^2 سهم هر ژنتیپ را در اثر متقابل ژنتیپ در محیط نشان می‌دهد. بنابراین اگر ژنتیپی دارای انحراف از خط رگرسیون صفر یا حداقل باشد آن رقم پایدار است (۴۲). براین اساس ژنتیپ‌های G10، G7، G8 و تا حدودی G9 دارای کمترین میزان انحراف از خط رگرسیون بودند. بدینه ژنتیپ‌ها انحراف از خط رگرسیون بالاتری را نشان دادند؛ بنابراین تغییرات عملکردی این ژنتیپ‌ها در طول تغییرات خطی با شاخص محیطی (محیط‌های اجرای آزمایش) دارای نوسان بوده است.

فینلی و ویلکینسون (۱۰) اظهار داشتند که ضرب رگرسیون هر ژنتیپ وابسته به سایر ژنتیپ‌های موجود در آزمایش

استفاده قرار گیرند (۵۳، ۴۴). در روش پلاستد و پترسون (۳۰) ژنوتیپ‌های G11، Cos16، G2 و G7 به عنوان ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری انتخاب شدند؛ زیرا از مقادیر پایین θ_i برخوردار بودند. بدین معنی که این ژنوتیپ‌ها سهم کمتری در اثر متقابل ژنوتیپ در محیط داشتند. ولی به دلیل پایین بودن عملکرد ژنوتیپ‌های G11 و G7 از میانگین کل عملکرد فقط ژنوتیپ‌های Cos16 و G2 که دارای میانگین عملکرد بالاتری بودند، به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها با توجه به این آماره در این بررسی انتخاب شدند. در روش پلاستد (۲۹) واریانس اثر متقابل باقیمانده θ_{ij} در برگیرنده مقادیر زیاد می‌باشد، بنابراین ژنوتیپ‌های G8، G4، G9 و G3 به عنوان ژنوتیپ‌هایی انتخاب شدند که سهم کمتری در برهمکنش اثر متقابل را داشتند؛ اما به دلیل پایین بودن میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها فقط ژنوتیپ G4 که دارای عملکرد مطلوبی بود به عنوان پایدارترین ژنوتیپ معرفی شد.

انتخاب ارقام پر محصول در شرایط دیم بسیار مناسب دانستند. این دو روش بیشتر تأکید بر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط دارند به همین دلیل منجر به انتخاب ارقام پایدار و پر محصول می‌شوند. رمضانی (۳۳) نیز با استفاده از روش واریانس پایداری شوکلا، سه ژنوتیپ پایدار و سازگار به شرایط آب و هوایی در گیاه برنج را شناسایی و معرفی کرد.

مقایسه پایداری ژنوتیپ‌ها از نظر واریانس محیطی نشان داد که ژنوتیپ‌های Cos16، G8، G9 و G3 به ترتیب با کمترین مقدار واریانس محیطی از پایداری بیشتری برخوردارند. بر اساس ضریب تغییرات محیطی نیز ژنوتیپ‌های Cos16، Ghaffar، G9 و G11 دارای کمترین مقدار ضریب تغییرات بودند. برخی محققین در بررسی‌های خود در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار از ضریب تغییرات محیطی و واریانس درون مکانی استفاده کرده و اظهار داشتند که این دو روش بیانگر پایداری بیولوژیک بوده و به دلیل وراثت پذیر بودن می‌توانند به عنوان معیارهای مناسب برای انتخاب ارقام پایدار مورد

جدول ۳- میانگین عملکرد دانه و آماره‌های پایداری برای ۱۱ ژنوتیپ لویا در محیط‌های مورد بررسی

Table 3. Mean grain yield and stability statistics for 11 bean genotypes in the studied environments

Plaisted	Plaisted and Peterson	Coefficient of environmental variation	Regression Deviation	Regression coefficient	Shukla's stability variance	Equivalence wricke	Environmental variance	Grain yield	Genotype
روش پلاستد	روش پلاستد و پترسون	ضریب تغییرات محیطی	انحراف از رگرسون	ضریب رگرسون	پایداری شوکلا	اکوالانس ریک	واریانس محیطی	عملکرد دانه	ژنوتیپ
136262.9	224553.7	8.12	14567.9	-0.24	296089.77	767791.06	245015	2530.39	G1
142866.2	194839.1	25.71	40335.7	1.86	230057.31	605811.4	703508	3004.65	G2
160522.6	115385.1	17.51	22324.7	0.81	53492.82	172425.83	295742	2185.62	G3
162743.1	105392.7	18.46	15620.8	1.14	31287.54	117921.96	333502	2569.5	G4
156612.1	132982.5	26.54	10099.2	1.68	92598.23	268411.83	458193	2471.35	G5
154945.1	140483.7	12.96	24096.4	0.43	10967.56	309327.46	250033	2225	G6
155831.9	136493.2	34.18	1690	1.8	100399.82	287561.19	586063	2008.98	G7
164495.7	97506.3	23.3	1144.9	1.39	1376.15	74905.09	265732	2295.31	G8
161384.1	109442.7	11.92	5674	0.52	40287.57	140012.9	369753	1919.35	G9
143216.7	193261.8	34.68	3790.85	2.15	226552.2	597207.92	694524	2370.94	G10
119379.5	300529	15.09	22879.9	-0.53	464923.85	1182301.98	337060	2038.44	G11

ادامه جدول ۳

NP4	NP3	NP2	NP1	$S_i^{(6)}$	$S_i^{(3)}$	$S_i^{(2)}$	$S_i^{(1)}$	Kang rank	Genotype
								مجموع رتبه کانگ	ژنوتیپ
0.62	0.57	0.47	4.25	1.87	6.53	16.33	4.67	13	G1
0.22	0.41	0.24	3.75	0.56	1.1	3.58	2.17	10	G2
0.53	0.36	0.27	1.25	1.2	2.8	4.67	2.67	12	G3
0.21	0.26	0.21	1.5	0.5	0.75	2	1.67	4	G4
0.49	0.36	0.29	2.25	1.2	3.97	9.67	3.67	9	G5
0.73	0.45	0.56	2.25	1.82	6	11	4	14	G6
0.76	0.64	0.69	2.25	1.87	3.93	4.92	2.83	16	G7
0.32	0.26	0.21	1	0.87	1.17	2.25	1.83	7	G8
0.8	0.82	1.25	1.75	2	3.6	3	2	14	G9
0.77	0.66	0.5	4	2.08	7.16	14.92	4.83	13	G10
1.04	1.06	0.78	4.75	3.11	10.89	16.33	4.67	20	G11

$S_i^{(1)}$: میانگین اختلاف رتبه مطلق یک ژنوتیپ در تمام محیط‌های آزمایش شده، $S_i^{(2)}$: واریانس بین رتبه‌های کلی محیط‌های آزمایش شده، $S_i^{(3)}$: مجموع انحرافات مطلق برای هر ژنوتیپ نسبت به میانگین رتبه‌ها، $S_i^{(6)}$: مجموع مجدد روابط رتبه برای هر ژنوتیپ نسبت به میانگین رتبه‌ها، NP1، NP2، NP3، NP4: پارامترهای پایداری تنارازو بر مبنای میانگین‌های تعديل شده

$S_i^{(1)}$: the average absolute rank difference of a genotype in all the tested environments, $S_i^{(2)}$: the variance between the overall ranks of the tested environments, $S_i^{(3)}$: the sum of the absolute deviations for each genotype compared to the average of the ranks, $S_i^{(6)}$: total Rank squares for each genotype relative to the mean of ranks, NP1, NP2, NP3, NP4: tenarazo stability parameters based on adjusted means

پایدار شناخته شدند. روستایی و همکاران (۳۵) با استفاده از روش مجموع رتبه کانگ پایدارترین رقم گندم را در بررسی خود معرفی کرده و نشان دادند که این روش در شرایط دیم بهتر از سایر روش‌ها در گزینش ارقام پایدار و پر محصول بهتر از گردن را کمک می‌کند. صباغ نیا و همکاران (۳۷) روش مجموع مریعات کانگ را به عنوان بهترین روش غیرپارامتری در تعیین ژنوتیپ‌های برخوردار از عملکرد بالا و پایدار معرفی

آماره‌های ناپارامتری پایداری مورد مطالعه برای انتخاب لاین‌های پایدار لویا بر اساس معیارهای پیشنهادی هیون (۱۲)، تنارازو (۴۳) و مجموع رتبه کانگ در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس روش مجموع رتبه کانگ (۱۶) ژنوتیپ‌های دارای کمترین مجموع رتبه کانگ در جدول ۳ ارائه شده میانگین‌های شناسایی می‌شوند. بر این اساس ژنوتیپ‌های مطلوب شناسایی می‌شوند. ۱۶ ژنوتیپ با ترتیب با کمترین مجموع رتبه کانگ (G1) و G2 به عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب

پارامترها بر اساس رتبه میانگین‌های تعدیل شده ژنوتیپ‌ها در هر محیط محسوبه می‌شوند. مقادیر پایین این آماره‌ها نیز نشان‌دهنده ثبات بالای ژنوتیپ‌ها می‌باشد؛ بنابراین بر اساس این آماره‌ها نیز ژنوتیپ‌های G4، G8 و G3 دارای کمترین میزان رتبه در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بودند؛ بنابراین به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته شدند. روش‌های ناپارامتری به منظور انتخاب ارقام و لاین‌های پایدار از نظر عملکرد در گندم دوروم (۳۰)، گلنگ (۱۹)، جو (۴۴)، عدس (۳۷)، نخود زراعی (۵۴) و گندم تان (۵۵) مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

مجموع رتبه کانگ (۱۴) از عملکرد و $S_i^{(1)}$ به عنوان معیار انتخاب استفاده می‌کند. این پارامتر برای شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار، وزنی برابر با یک به آمار عملکرد و پایداری می‌دهد. ژنوتیپ با بالاترین عملکرد و $S_i^{(2)}$ کمتر رتبه یک را به خود اختصاص می‌دهد. سپس رتبه‌های عملکرد و پاریانس پایداری برای هر ژنوتیپ اضافه می‌شود و ژنوتیپ‌هایی که کمترین مجموع رتبه‌ها را دارند، مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها هستند. براین اساس ژنوتیپ‌ها معرفی شدند که از بین این ارقام ژنوتیپ G2 و G4 دارای عملکرد بیشتری بودند.

کردند. عبادی و همکاران (۵) نیز نشان دادند که روش مجموع رتبه به دلیل همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه می‌تواند به عنوان یک معیار پایداری مفید در شناسایی ارقام پایدار و پرمحصول به کار گرفته شود.

هیون (۱۲) و ناصر و هیون (۲۵) چهار آمار ناپارامتریک را پیشنهاد کردند: $S_i^{(1)}$ یا میانگین اختلاف رتبه مطلق یک ژنوتیپ در تمام محیط‌های آزمایش شده، $S_i^{(2)}$ یا واریانس بین رتبه‌های کلی محیط‌های آزمایش شده، $S_i^{(3)}$ یا مجموع انحرافات مطلق برای هر ژنوتیپ نسبت به میانگین رتبه‌ها و $S_i^{(6)}$ یا مجموع مجذورات رتبه برای هر ژنوتیپ نسبت به میانگین رتبه‌ها. برای محاسبه این آماره‌ها، داده‌های میانگین عملکرد باید به رتبه‌هایی برای هر ژنوتیپ و محیط تبدیل شوند و اگر رتبه‌های آن‌ها در بین محیط‌های پایین و مشابه باشد، ژنوتیپ‌ها پایدار در نظر گرفته می‌شوند. کمترین مقدار برای هر یک از این آمارها نشان‌دهنده پایداری بالا برای یک ژنوتیپ خاص است. با این حال نتایج این پارامترها متفاوت بود و به طور کلی بر این اساس ژنوتیپ‌های G4، G8 و G3، G2 دارای کمترین میزان رتبه در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بودند بنابراین به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار ناپارامتری جایگزین هستند که توسط تتراسو (۴۳) تعریف شده‌اند. این جدول ۴- میانگین عملکرد دانه در دو ایستگاه و دو سال مورد بررسی

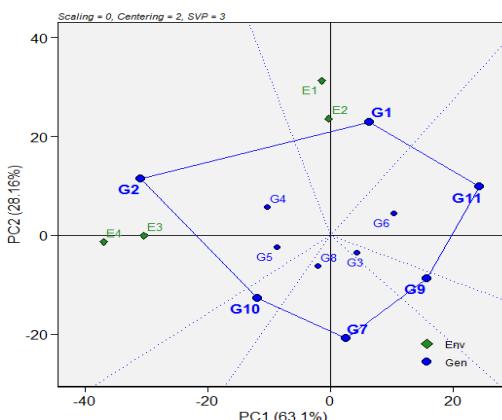
Table 4. Average grain yield in two stations and two years

Mean میانگین	Khomein		Zanjan		Genotype ژنوتیپ
	219-2020 ۱۳۹۹-۱۴۰۰	2018-2019 ۱۳۹۸-۱۳۹۹	219-2020 ۱۳۹۹-۱۴۰۰	2018-2019 ۱۳۹۸-۱۳۹۹	
2530.39	2375	2432	2831.25	2483.33	G1
3004.65	3736.67	3605.67	2289.58	2386.67	G2
2185.62	2405	2586.67	1737.5	2013.33	G3
2569.5	2986.67	2971.33	2116.67	2203.33	G4
2471.35	2848.33	2971.33	2418.75	1570	G5
2225	2216.67	2365	2491.67	1826.67	G6
2008.98	2573.33	2558	1747.92	1156.67	G7
2285.31	2703.33	2716.67	2114.58	1606.67	G8
1919.35	2033.33	2182	1685.42	1776.67	G9
2370.94	3083.33	3010	2010.42	1380	G10
2038.44	1670	1951.67	2402.08	2130	G11
2328.14	2602.89	2675.21	2167.8	1866.67	Mean

جهت‌های مربوط به خود واکنش کمتر نشان می‌دهند (۱). لاین‌های رأس در این مطالعه COS16، G11، G9، G7، G10 و G2 بودند. این لاین‌ها از نظر عملکرد دانه بهترین و یا ضعیفترین ژنوتیپ‌ها در بعضی از محیط‌ها و یا همه محیط‌ها بودند، زیرا بیشترین فاصله را از مرکز بای‌پلات داشتند. خطوط عمود به ضلع‌ها، چندضلعی بای‌پلات را به چند بخش تقسیم می‌کنند. هر بخش دارای یک ژنوتیپ رأس است و سایر ژنوتیپ‌ها در برخی یا تمام محیط‌های آزمون از کمترین عملکرد برخوردار هستند. ژنوتیپ COS16 در محیط‌های E1 و E2 و ژنوتیپ G2 در محیط‌های E3 و E4 بیشترین عملکرد را از خود نشان دادند. هیچ محیطی در بخشی که ژنوتیپ‌های G9، G7، G10 و G11 به عنوان رقم رأس محسوب می‌شد، قرار نداشتند. این امر نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های رأس مذکور در هیچ‌یک از محیط‌ها بهترین

الگوی کدام- برتر- کجا شکل ۱، نمایش چندضلعی (پلی گون) از تجزیه بای‌پلات برای ۱۱ ژنوتیپ مورد بررسی لوپیا در چهار محیط را نشان می‌دهد. تجسم الگوی کدام- برتر- کجا در داده‌های چند محیطی برای مطالعه امکان وجود محیط‌های کلان در یک منطقه اهمیت دارد. نمای چندضلعی بای‌پلات، بهترین روش برای تجسم الگوهای اثر متقابل بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و تفسیر صحیح یک بای‌پلات است (۴۸). چندضلعی با پیوستن ژنوتیپ‌هایی که دورترین فاصله را از مبدأ بای‌پلات دارند (ارقام رأس)، بهوسیله خطوط مستقیم ترسیم شده است، به طوری که ژنوتیپ‌های دیگر در درون چندضلعی قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های رأس، بردارهای طوبیلی در جهت‌های مربوط به خود دارند که معیاری از میزان پاسخ به محیط است و لذا در زمرة لاین‌های واکنش‌پذیر هستند. سایر ژنوتیپ‌ها در

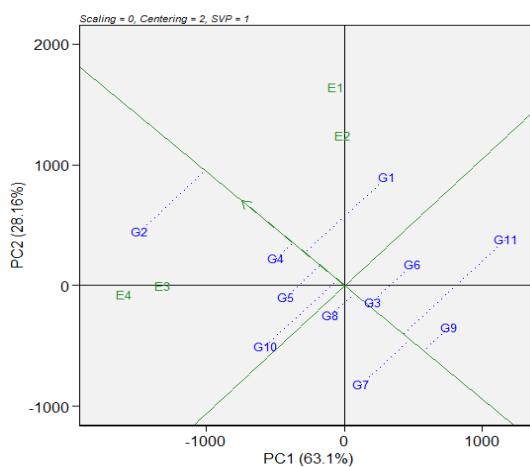
نیوتن. افزون براین نشان می‌دهد که این ژنتیپ‌ها در برخی یا همه محیط‌ها دارای کمترین عملکرد هستند.



شکل ۱- نمایش گرافیکی انتباق ژنتیپ‌های لوبیا با محیط‌های مورد مطالعه
Figure 1. Graphical display for bean genotypes adapted to the environments studied

تا خط ATC یعنی خط پیکان افقی از عملکرد پایین و نیز پایداری عملکرد پایین برحوردار بودند. از سوی دیگر ژنتیپ‌های G3 و G9 دارای عملکرد پایین ولی پایداری عملکرد بالا بودند. این اطلاعات می‌توانند توسط بهنژادگران برای انتخاب ژنتیپ‌های با عملکرد بیشتر از میانگین و با پایداری عملکرد اندک که بهترین پاسخ را به محیط‌های خاصی داشته و دارای سازگاری خصوصی هستند، کمک نماید. ژنتیپ G2 و شاهد Cos16 با عملکرد بالا سازگاری خصوصی به محیط‌های متفاوت را نشان دادند.

میانگین عملکرد و پایداری
شکل ۲ رتبه‌بندی ژنتیپ‌ها را بر اساس عملکرد دانه و میزان پایداری عملکرد در محیط‌های تحت بررسی نشان می‌دهد. لاین‌هایی که سمت چپ خط پیکان عمودی واقع شده‌اند دارای عملکردی بیشتر از میانگین و لاین‌هایی که سمت راست خط پیکان عمودی قرار گرفته‌اند دارای عملکردی کمتر از میانگین هستند (۱). بر این اساس ژنتیپ‌های G4 و G5 جزو ژنتیپ‌های برتر از نظر عملکرد و پایداری تا حدودی G7 با ژنتیپ‌های G11 و G1 با بیشترین فاصله عملکرد بالا بودند. ژنتیپ‌های G11 و G7 با بیشترین فاصله



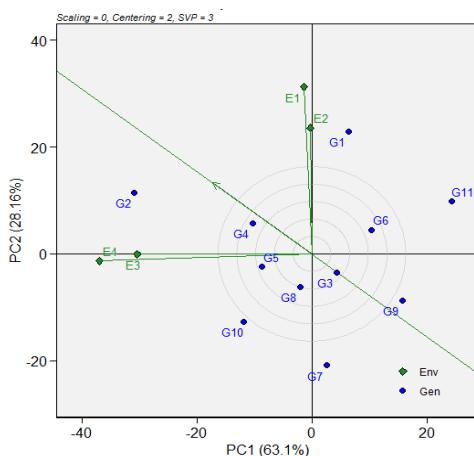
شکل ۲- گرینش همزمان برای عملکرد دانه و پایداری ژنتیپ‌های جو در محیط‌های مختلف
Figure 2. Simultaneous selection for grain yield and stability of barley genotypes in different environments

زاویه بین محیط‌ها در درون دو گروه محیطی فوق کمتر از ۹۰ درجه بود که حاکی از رفتار مشابه در رتبه‌بندی و تفکیک ژنتیپ‌ها می‌باشد از شکل ۳ می‌توان نتیجه گرفت که ژنتیپ G2 به محیط‌های E3 و E4 و ژنتیپ E1 به محیط E2 سازگاری بیشتری نشان می‌دهند. اگرچه آزمایش‌های چند محیطی اغلب برای ارزیابی ژنتیپ‌ها به کار می‌روند اما

روابط بین محیط‌ها و ژنتیپ‌ها
بررسی روابط بین محیط‌ها وجود همبستگی بسیار بالایی را بین محیط‌های E1 و E2 نشان داد. همچنین محیط‌های E3 و E4 نیز همبستگی بالایی را با یکدیگر به نمایش گذاشتند. زاویه کمتر از ۹۰ درجه در بین محیط‌ها حاکی از عملکرد مشابه آن‌ها در شناسایی و تفکیک ژنتیپ‌ها می‌باشد (۱).

یک محیط بیانگر این است که محیط موردنظر تا چه میزان نماینده شرایط سایر محیط‌های آزمایشی است؛ بنابراین محیط ایده‌آل باید ترکیبی از این دو ویژگی را داشته باشد تا بتواند ژنوتیپ‌های سازگار را تشخیص دهد. این خصوصیت در مدل GGE بای‌پلات پلات تحت عنوان قدرت تفکیک محیط‌ها در برابر میزان نماینده‌گی آن‌ها (Discrimitiveness vs. Representativeness) ارائه شده است (۴۸). بر اساس شکل ۳ هیچ‌کدام از محیط‌های مورد بررسی به محیط ایده‌آل نزدیک نبودند بنابراین نمی‌توان هیچ‌کدام از آن‌ها را به عنوان نماینده محیط‌ها برای تفکیک ژنوتیپ‌ها در نظر گرفت.

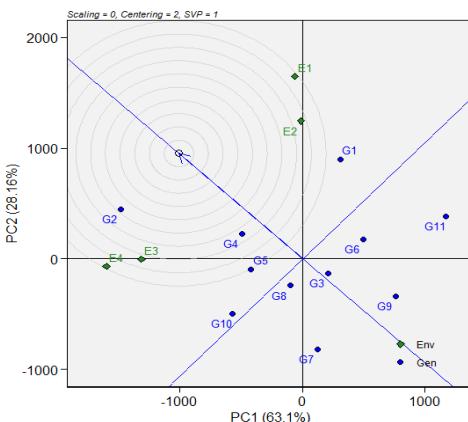
می‌توان از اطلاعات به دست‌آمده برای ارزیابی محیط‌ها نیز بهره برد. یک محیط ایده‌آل بایستی به طور واضح اختلاف بین ژنوتیپ‌ها را نشان دهد و هم‌زمان نماینده خوبی از محیط‌های دیگر باشد. مفهوم محیط ایده‌آل برای محیط‌هایی به کار می‌رود که دو ویژگی عملده را دارا هستند، ۱- توانایی بالای در تفکیک و تمایز بین ژنوتیپ‌ها را داشته باشد ۲- نماینده‌ای خوب برای محیط‌های دیگر باشد (۴۹,۴۸). این مفهوم از محیط‌های ایده‌آل برای محصولات مختلف از جمله ذرت (۷)، پنبه (۲) و گندم دوروم (۲۲) بکار گرفته شده است. توانایی تفکیک و تمایز یک محیط به توانایی محیط برای نشان دادن حداکثر تنوع بین ژنوتیپ‌ها برمی‌گردد ولی توانایی نماینده‌گی



شکل ۳- روابط میان محیط‌ها و مقایسه هم‌زمان محیط‌ها از نظر قابلیت تفکیک ژنوتیپ‌ها در مقابل نماینده بودن آن‌ها
Figure 3. The relationship among testing environments and compares the environments based on their discriminativeness vs. representativeness

بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ ایده‌آل ترسیم شده است (شکل ۴). ژنوتیپی که در مرکز دایره‌ها قرار می‌گیرد ژنوتیپی با میانگین عملکرد بالا و دارای پایداری عملکرد بالاست (۱). بنابراین هیچ‌کدام از ژنوتیپ‌ها را نمی‌توان به عنوان ژنوتیپ مطلوب که دارای میانگین عملکرد بالا و نیز پایداری عملکرد بالایی هست، در نظر گرفت. ولی ژنوتیپ G2 و در مرحله بعد ژنوتیپ G4 در فاصله اندکی نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل قرار دارند. ولی ژنوتیپ‌های G9، G7 و G11 با بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل به عنوان ژنوتیپ‌های نامطلوب شناخته شدند.

رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل
یک ژنوتیپ ایده‌آل باید بیشترین میانگین عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه را داشته باشد و نسبت به شرایط محیطی نیز از پایداری عملکرد برخوردار باشد (۵۱). چنین ژنوتیپی به عنوان ژنوتیپی که دارای بیشترین طول بر روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و دارای کمترین نقش در پدیده اثر متقابل ژنوتیپ در محیط باشد، تعریف شده است به طوری که در شکل به صورت یک دایره کوچک روی محور میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها به آن اشاره شده است برای استفاده از ژنوتیپ ایده‌آل به عنوان مرکز ارزیابی، دایره‌های هم مرکزی در بای‌پلات پلات به منظور تعیین گرافیکی فاصله



شکل ۴- ارزیابی ژنوتیپ‌ها نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل

Figure 4. Evaluation of genotypes compared to the ideal genotype

پایین ولی پایداری عملکرد بالا بودند که نشان می‌دهد می‌توان این ژنوتیپ‌ها را به عنوان ژنوتیپ‌هایی با پایداری عمومی بالا در نظر گرفت. هیچ‌کدام از ژنوتیپ‌ها به عنوان ژنوتیپ مطلوب که دارای میانگین عملکرد بالا و نیز پایداری عملکرد بالایی باشند وجود نداشتند ولی ژنوتیپ G2 و در مرحله بعد ژنوتیپ G4 در فاصله اندکی نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل قرار داشتند. هیچ‌کدام از محیط‌های مورد بررسی نیز به محیط ایده‌آل نزدیک نبوده و بنابراین نمی‌توان هیچ‌کدام از آن‌ها را به عنوان نماینده محیط‌ها برای تفکیک ژنوتیپ‌ها در نظر گرفت. در مجموع نتایج نشان داد که روش GGE با پلات روش مناسبی جهت شناسایی ژنوتیپ‌های برتر براساس باپلات‌های مختلف و گزینش همزمان ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد و پایداری عملکرد می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

وجود تفاوت معنی‌دار در بین ژنوتیپ‌ها نشان می‌دهد که این ژنوتیپ‌ها از نظر زنگنه با یکدیگر متفاوت می‌باشند. وجود اثر متقابل معنی‌دار ژنوتیپ × محیط حاکی از تفاوت‌های معنی‌دار در واکنش ژنوتیپ‌ها به محیط‌های مختلف اجرای آزمایش بوده. در روش‌های پارامتری ژنوتیپ‌های G8، G4 و G9 و تا حدودی G2 و در روش‌های ناپارامتری ژنوتیپ‌های G2، G3، G8 و تا حدودی G9 با عنوان ارقام پایدار معرفی شدند. تجزیه باپلات پلات نشان داد که شاهد Cos16 در محیط‌های زنجان ۱ و ۲ و ژنوتیپ G2 در محیط‌های خمین ۱ و ۲ بیشترین عملکرد را از خود نشان دادند. ژنوتیپ‌های G11 و G7 با بیشترین فاصله تا خط ATC دارای عملکرد پایین و نیز پایداری عملکرد پایین بودند. از سوی دیگر ژنوتیپ‌های G3 و G9 دارای عملکرد

منابع

- Barati, A., I. Lakzadeh, M. Jabbari, O. Poodineh, J. Jafarbby, K. Shahbazihomonlo, A. Gholipour and N.A. Tabatabaei Fard. 2020. 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 Science, 22: 212-224 (In Persian).
- Blanche, S.B. and G.O. Myers. 2006. Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. Crop Science, 46: 946-949.
- Dashtaki, M., A. YazdanSepas, T. NajafiMirak, M.R. Ghanadha, R. Joukar, M.R. Islampour, A.A. Moayedi, M. Nazeri, M.S. AbediOskooie, G. Aminzadeh, R. Soltani, S. Ashouri and A.R. Kouchaki. 2004. Stability of grain yield and harvest index in winter and facultative bread wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. Seed and Plant Improvement Journal, 20(3): 263-280 (In Persian).
- Donoso-Ñanculao, G., M. Paredes, V. Becerra, C. Arrepol and C. Balzarini. 2018. GGE-Biplot analysis of multienvironment yield trials of rice produced in a temperate climate. Chilean Journal of Agricultural Research, 76(2): 152-157.
- Ebadi Segherloo, A., S.H. Sabaghpoor, H. Dehghani and M. Kamrani. 2008. Nonparametric measures of phenotypic stability in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). Euphytica, 162: 221-229.
- Ebdon, J.S. and H.G. Gauch. 2002. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of national turf grass performance trials. Crop Science, 42: 497-506.
- Fan, X.M., M.S. Kang, H. Chen, Y. Zhang, J. Tan and C. Xu. 2007. Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. Agronomy Journal, 99: 220-228.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2020. Production and Trade yearbook, 2007. FAO, Rome.
- Farshadfar, E. and J. Sutka. 2000. Combining ability analysis of drought tolerance in wheat over different water regimes. Acta Agronomica Hungarica, 48: 353-361.
- Finlay, K.W. and G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in plant breeding program. Australian Journal of Agricultural Research, 14: 752-754.

11. Francis, T.R. and L.W. Kannenberg. 1978. Yield stability studies in short-season maize: I- A descriptive method for grouping genotypes. Canadian Journal of Plant Science, 58: 1029-1034.
12. Huehn, V.M. 1990. Non-parametric measures of phenotypic stability. Part I: Theory. Euphytica, 47: 189-194.
13. Kang, M.S. 1990. Understanding and utilization of genotype-by-environment interaction in plant breeding, 52-68 pp. In: Kang, M.S. (ed.) Genotype- by- Environment, Interaction and Plant Breeding, Louisiana State University, Department of Agronomy, Baton Rouge, Louisiana, USA.
14. Kang, M.S. 1988. A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. Cereal Research Communications, 16: 113-115.
15. Kaya, Y., M. Akcura and S. Taner. 2006. GGE-Biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 30: 325-337.
16. Laffont, J.L., M. Hanafi and K. Wright. 2007. Numerical and graphical measures to facilitate the interpretation of GGE biplots, Crop Science, 47: 990-996.
17. Majnou Hosseini, N. 2015. Agriculture and production of cereals (new edition of cereals in Iran). Tehran University Jihad Publishing Organization. 283 p.
18. Makumbi, D., A. Diallo, K. Kanampiu, S. Mugo and H. Karaya. 2015. Agronomic performance and genotype × environment interaction of herbicide-resistant maize varieties in Eastern Africa. Crop Science, 55: 540-555.
19. Moghaddam, M.J. and S.S. Pourdad. 2009. Comparison of parametric and nonparametric methods for analyzing genotype × environment interactions in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Agricultural Science, Cambridge, 147: 601-612.
20. Mohammadi, R., M. Armion, E. Zadhaman and M. Eskandari. 2014. Analysis of genotype and environment interaction for grain yield in rain-fed durum wheat. Iranian Dryland Agronomy Journal, 1(4): 23-32 (In Persian).
21. Mohammadi, R., M. Armion, E. Zadhaman, M.M. Ahmadi and D. Sadeghzadeh Ahari. 2012. Genotype environment interaction for grain yield of rainfed durum wheat using the GGE bipot model, Seed and Plant Journal, 28(3): 503-518 (In Persian).
22. Mohammadi, R., R. Haghparast, A. Amri and S. Ceccarelli. 2010. Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. Crop and Pasture Science, 61: 92-101.
23. Mohammadi, R., A. Abdulahi, R. Haghparast and M. Armion. 2007. Interpreting genotype × environment interactions for durum wheat grain yields using nonparametric methods. Euphytica, 157: 239-251.
24. Najafian, G., A.K. Kaffashi and A. Jafar-Nezhad. 2010. Analysis of grain yield stability in hexaploid wheat genotypes grown in temperate regions of Iran using additive main effects and multiplicative interaction. Journal of Agricultural Science and Technology, 12: 213-222 (In Persian).
25. Nassar, R. and M. Huehn. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. Biometrics, 43: 45-53.
26. Omrani, S., A. Omrani, M. Afshari, A. Saremi-rad, S. Bardehjji and P. Foroozesh. 2019. Application of multivariable of additive main effects and multiplicative interaction and Biplot graphical analysis multivariate methods on the study of genotype environment interaction on safflower genotypes grain yield. Journal of Crop Breeding, 11(31): 153-163.
27. Osiru, M.O., O.M. Olanya, E. Adipala, R. Kapinga and B. Lemaga. 2009. Yield stability analysis of *Ipomoea batatas* L. cultivars in diverse environments. Australian Journal of Crop Science, 3: 213-220.
28. Perez de la Vega, M., M. Santalla, and F. Marsolais. 2017. The common bean genome. Springer International Publishing. 304 p.
29. Plaisted, R.L. 1960. A shorter method for evaluating the ability of selections to yield consistently over locations. American Potato Journal, 37: 166-172.
30. Plaisted, R.L. and Peterson, L.C. 1959. A technique for evaluation the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. American Potato Journal, 36: 281-285.
31. Pour-Aboughadareh, A., M. Yousefian, H. Moradkhani, P. Poczai and K.H.M. Siddique. 2019. STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits. Applications in Plant Sciences, 7(1): e1211.
32. Pourdad, S. and M. Jamshidi Moghaddam. 2013. Study on genotype and environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica napus* L.) in rain-Fed condition. Journal of Crop Breeding, 5(12): 12-23 (In Persian).
33. Ramazani, A. 2012. The study of yield stability of rice genotypes in Isfahan province. Cereal Research, 2(3): 181-192 (In Persian).
34. Romer, T. 1917. Sind die ertragsreichen sorten ertragssichers? Milt. DLG. 32: 87-89.
35. Roustaie, M., D. Sadeghzadeh Ahari, A. Hesami, K. Soleymani, H. Pashapour, K. Nader-Mahmoudi, M.M. Pour Siahbidi, M. Ahmadi, M. Hassanpour Hosni, and M. Abedi-Asl .2003. Study of adaptability and stability of grain yield of bread wheat genotypes in cold and moderate-cold dry land areas. Seed and Plant Improvement Journal. 19(2): 263-275 (In Persian).

36. Sabaghnia, N., H. Dehghani and S.H. Sabaghpoor. 2008. Graphic analysis of genotype and environment interaction for lentil (*Lens culinaris* Medik) yield in Iran. *Agronomy Journal*, 100: 760-764 (In Persian).
37. Sabaghnia, N., H. Dehghani and S.H. Sabaghpoor. 2006. Nonparametric methods for interpreting genotype \times environment interaction of lentil genotypes. *Crop Science*, 46: 1100-1106.
38. Sabah, M.A., M.M. El-Hady, A.M. El-Taweel and E.H. El-Harty. 2007. Stability statistics of some faba bean genotypes. *Annals of Agricultural Sciences*, 45: 525-544.
39. Saremi Rad, A., K. Mostafavi and A. Mohammadi. 2020. Genotype-environment interaction study base GGE biplot method for kernel yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. *Journal of Crop Breeding*, 12(34): 43-53.
40. Ssemakula, G. and A. Dixon. 2007. Genotype \times environment interaction, stability and agronomic performance of carotenoid-rich cassava clones. *Scientific Research and Essays*, 2: 390-399.
41. Shukla, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype - environmental components of variability. *Heredity*, 29: 237-245.
42. Soughi, H.A., N.A. Babaeian Jelodar, G.A. Ranjbar and M. Hadi Pahlevani. 2016. Simultaneous selection based on yield and yield stability in bread wheat genotypes. *Journal of Crop Breeding*, 8(18): 119-125 (In Persian).
43. Thennarasu, K. 1995. On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. Ph.D. Thesis. P.J. School, IARI, New Delhi, India.
44. Vaezi, B., J. Ahmadi and A.R. Pour-Aboughadareh. 2015. Stability analysis of barley advanced lines under Gachsaran tropical environment. *Cereal Research*, 5(3): 261-272.
45. Van Schoonhoven, A. and O. Voystest. 1993. Common beans: research for crop improvement. CIAT, Cali, Colombia, 980 p.
46. Wricks, G. 1962. über eine method zur erfassung der okoiogschen streubreite in feldversuchen. *Z. Pflanzenzuchtg*, 47: 92-96.
47. Yan, W., M.S. Kang, B. Ma, S. Woods and P.L. Cornelius. 2007. GGE-Biplot vs AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47: 643-655.
48. Yan, W. and N.A. Tinker. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86: 623-645.
49. Yan, W. and M.S. Kang. 2003. GGE Biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists.' CRC Press: Boca Raton, FL.
50. Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, 42: 11-20.
51. Yan, W. 2002. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data. *Agronomy Journal*, 94: 990-996.
52. Yan, W., P.L. Cornelius, J. Crossa and L.A. Hunt. 2001. Two types of GGE biplots for analyzing multi environment trial data. *Crop Science*, 41: 656-663.
53. Zaifizadeh, M., M. Mogaddam, M. Ghasemi, S. Mahfouzi and A. Ahmadi. 1996. Stability analysis of grain yield of spring bread wheat cultivars in Caspian Sea regions. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 7(1): 45-51 (In Persian).
54. Zali, H., E. Farshadfar and S.H. Sabaghpoor. 2011. Non-parametric analysis of phenotypic stability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in Iran. *Crop Breeding Journal*, 1: 89-100 (In Persian).
55. Zarei, L., E. Farshadfar, R. Haghparast, R. Rajabi, M. Mohammadi Sarab Badieh and H. Zali. 2012. Comparison of different methods of stability evaluation in bread wheat genotypes under drought stress conditions. *Electronic Journal of Crop Breeding*, 5(3): 81-97 (In Persian).

Genotype × Environment Interactions Effects on Grain Yield in Chitti Bean Genotypes

Adel Ghadiri¹, Seyedeh Soudabeh Shobeiri² and Ali Akbar Asadi³

1- Researcher of Crop and Horticultural Science Research Department, Arak Agriculture and Natural Resources Research and Education Center (AREOO), Arak, Iran

2- Assistant Professor of Crop and Horticultural Science Research Department, Zanjan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center (AREOO), Zanjan, Iran,

3-Assistant Professor of Crop and Horticultural Science Research Department, Zanjan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center (AREOO), Zanjan, Iran, (Corresponding Author: asadipm@gmail.com)

Received: 22 June, 2022 Accepted: 11 September, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: Existence of genotype × environment interaction for quantitative traits such as grain yield can limit the selection of superior genotypes for the development of improved cultivars. In order to calculate the interaction of genotype × environment, breeders evaluate genotypes in several environments to identify genotypes with high yield and stability. This experiment was performed to investigate the interaction of genotype in the environment on 11 bean genotypes using parametric and nonparametric methods and GGE biplot model to evaluate genotypes and environments, determine the relationship between genotypes and environments and identify the ideal genotype.

Material and Methods: In this experiment, 9 lines of pinto beans along with Ghaffar cultivars and Cos16 lines (11 lines in total) were performed in a randomized complete block design with three replications in order to achieve high yield and marketable bean cultivars. Parametric and non-parametric methods were used to select stable genotypes with high yield and GGE biplot analysis was used to select superior genotypes that are compatible with regional environments.

Results: There was a significant interaction between genotype and environment, indicating significant differences in the response of genotypes to different environments of the experiment. In parametric methods G4, G8, G9 and to some extent G2 genotypes and in nonparametric methods G2, G8, G3, G4 and to some extent G9 genotypes were introduced as stable cultivars. Biplot analysis showed that G1 genotype in Zanjan in first and Second years and G2 genotype in Khomein n first and second environments showed the highest yield. G11 and G7 genotypes with the longest distance to the ATC line had low yield and low yield stability. None of the genotypes were found to be desirable genotypes with average yield and high yield stability, but G2 genotype and later, G4 genotype was a short distance from the ideal genotype. None of the studied environments is close to the ideal environment and therefore none of them can be considered as representative of environments for genotype segregation.

Results: Zanjan in first and Second years and G2 genotype in Khomein n first and second environments have the highest yield. No ideal genotypes were observed, but two genotypes, G1 and G4, can be introduced as superior genotypes.

Keywords: Compatibility, Performance, Parametric methods, Stability