



بررسی پایداری عملکرد کنجد با استفاده از پارامترهای آماری و روش‌های گرافیکی GGE بای پلات

بهرام مسعودی^{۱*}، محمد عباسعلی^۱، احمد آئین^۲ و صابر سیف امیری^۳

^۱استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
^۲استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب
استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران
^۳استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)،
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
تاریخ دریافت: ۹۹/۰۳/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۸/۱۱

چکیده

سابقه و هدف: کنجد یک گیاه روز کوتاه به شمار می‌رود و به نور، گرما و تنش‌های رطوبتی حساس می‌باشد و از نظر عملکرد در سال‌ها و مکان‌های مختلف دارای تغییرات گسترده‌ای می‌باشد. یک رقم تجاری برای اینکه از لحاظ تجاری بتواند موفق باشد بایستی عملکرد بسیار خوبی در طیف وسیعی از شرایط کشاورزی و اقلیمی داشته باشد. بخش قابل توجهی از کارهای به‌نژادی محققان مختلف در سراسر جهان در مورد برآورد اثر متقابل ژنوتیپ در محیط از طریق انجام آزمایشات چند مکانی دارای تکرار می‌باشد.

مواد و روش‌ها: به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار و توصیه بهترین این ژنوتیپ‌ها برای مناطق مختلف کشت کنجد به منظور تقویت تولید کنجد در این مناطق، تعداد ۳۶ توده بومی کنجد (دریافت شده از بانک ژن ملی موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر) در سه منطقه کرج، مغان و جیرفت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به مدت دو سال زراعی (۱۳۹۷-۱۳۹۶) کشت شدند. هر ژنوتیپ در ۳ خط ۱/۵ متری با فاصله دو بوته روی هر خط ۸-۷ سانتی‌متر و فاصله بین دو ردیف ۶۰ سانتی‌متر کشت گردید. در پایان دوره رشد و پس از رسیدگی فیزیولوژیکی عملکرد دانه هر ژنوتیپ برآورد و بر اساس کیلوگرم در هکتار گزارش شد. نتایج مربوط به عملکرد دانه ارقام برای هر منطقه به طور جداگانه مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و در ادامه عملکرد دانه ارقام برای کلیه مناطق و سال‌ها مورد تجزیه واریانس مرکب قرار گرفت. سپس از آماره‌های تک متغیره ضریب رگرسیون، واریانس انحراف از رگرسیون، واریانس پایداری شوکلا و اکووالانس ریک برای ارزیابی میزان پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها استفاده شد. در نهایت به منظور تحلیل بهتر اثرات متقابل ژنوتیپ با محیط از تجزیه مدل GGE بای پلات استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج تجزیه مرکب داده‌ها حاکی از معنی‌دار بودن اثر مکان، سال، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ با مکان و سال برای عملکرد دانه بود. نتایج نشان داد که عملکرد دانه به میزان زیادی تحت تاثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرند. بر اساس کلیه پارامترهای پایداری مورد محاسبه ژنوتیپ شماره ۱۰ انتخاب شد که دارای عملکرد بیش‌تر از میانگین کل، اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا پایین‌تر، ضریب رگرسیون معادل یک و کم‌ترین واریانس انحراف از خط رگرسیون بود. این نتیجه دقیقاً

*مسئول مکاتبه: bmasoudi@gmail.com

در تجزیه بای پلات نیز مورد تایید قرار گرفت. از دیگر ژنوتیپ‌های پایدار و با میانگین عملکرد بالا می‌توان به ۱۱، ۸، ۹ و ۷ اشاره نمود.

نتیجه‌گیری: ژنوتیپ شماره ۱۰ که یک توده بومی از منطقه حاجی‌آباد هرمزگان می‌باشد، نوسانات کم‌تری را در محیط‌های مورد آزمون نشان داده است و از نظر میانگین عملکرد نیز در جایگاه مناسبی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها قرار داشته و می‌توان از پتانسیل آن در برنامه‌های اصلاحی آتی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ- محیط، پارامترهای پایداری، توده‌های بومی، کنجد.

مقدمه

در محیط، تجزیه مرکب نمی‌تواند پایدارترین واریته را مشخص نماید (۱۲). به دلیل اثر متقابل ژنوتیپ با محیط، گزینش ژنوتیپ‌های پایدار که در محیط‌های مختلفی که در آن‌ها رشد می‌کنند دارای اثرات متقابل کم‌تری باشند، بسیار لازم است (۲۰). ابره‌ارت و راسل (۱۹۶۶) نشان دادند که اگر عملکرد تحت کنترل ژنتیکی باشد، برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار ارزیابی ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف می‌تواند قابل برنامه‌ریزی باشد (۸). یک رقم تجاری برای اینکه از لحاظ تجاری بتواند موفق باشد بایستی عملکرد بسیار خوبی در طیف وسیعی از شرایط کشاورزی و اقلیمی داشته باشد (۲۵). همچنین، می‌توان ژنوتیپ‌هایی که دارای اثر متقابل ژنوتیپ در محیط پایینی هستند را از طریق تقسیم‌بندی محیط‌های ناهمگن به محیط‌های کوچک‌تر که همگن‌تر می‌باشند و همچنین، به وسیله گزینش ژنوتیپ‌ها با پایداری بهتر در گستره‌ای از محیط‌ها توسعه داد (۱۱). در نتیجه اثر متقابل ژنوتیپ با محیط می‌تواند هم یک فرصت و هم یک چالش برای به‌نژادگران باشد. بنابراین، برای دانستن تأثیرات محیطی بر بیان فنوتیپی یک واریته راحت‌ترین روش کشت آن در محیط‌ها و مکان‌های مختلف می‌باشد. برای تعیین ژنوتیپ برتر در صورت وجود اثر متقابل می‌توان پارامترهای پایداری را برآورد نمود. بسیاری از محققین بر اهمیت اثر متقابل ژنوتیپ محیط اشاره داشته و ابراز نموده‌اند

پایداری عملکرد یک گیاه زراعی در واقع عبارت از توانایی تولید موفقیت آمیز آن در محیطی خاص و در زمان‌های مختلف است. به طوری که یک گیاه بایستی بتواند سرما، گرما، کمبود یا اضافه بودن آب، تغییرات طول روز، شدت نور و دامنه وسیعی از شرایط شیمیایی و فیزیکی خاک را در جهت رشد و نمو موفقیت آمیز خود تحمل نماید. تغییرات در شرایط محیطی از جمله اثر مکان، نوسانات فصلی و اثر متقابل آن‌ها با هم به شدت بر عملکرد ژنوتیپ‌ها در رابطه با پتانسیل عملکرد تاثیر دارد (۱). کنجد (*Sesamum indicum* L.) از معروف‌ترین و باستانی‌ترین محصولات دانه‌های روغنی به شمار می‌رود که سرشار از روغن (۵۳ درصد) و پروتئین (۲۶ درصد) بوده و روغن آن پایداری و کیفیت بالایی دارد. از آنجا که کنجد یک گیاه روز کوتاه به شمار می‌رود و به نور، گرما و تنش‌های رطوبتی حساس می‌باشد، از نظر عملکرد پایدار نبوده و دارای تغییرات گسترده‌ای می‌باشد (۳۲). زمانی که ژنوتیپ‌ها به تغییرات محیطی پاسخ‌های متفاوتی می‌دهند گفته می‌شود که پدیده اثر متقابل ژنوتیپ با محیط رخ داده است (۳۹). در این شرایط پیش‌بینی فنوتیپ دشوار می‌گردد و سودمندی فرآیند انتخاب که در به‌نژادی شدیداً به کیفیت پیش‌بینی‌های فنوتیپی بستگی دارد، کاهش می‌یابد. در صورت وجود اثر متقابل ژنوتیپ

پیشنهاد فیلی و ویلکینسون (۱۹۶۳) فراگیر گردید (۱۲). آن‌ها با استفاده از این روش، پایداری ارقام جو مورد مطالعه در استرالیا را تعیین نمودند و بیان نمودند که روش رگرسیون می‌تواند در امر ارزیابی پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها در آزمایش‌های ناحیه‌ای عملکرد به کار رود. در این روش اگر ژنوتیپی دارای ضریب رگرسیون نزدیک به یک باشد، به عنوان ژنوتیپی با پایداری متوسط معرفی می‌شود. واریانس پایداری شوکلا نیز مشابه اکولانس ریک است که توسط شوکلا (۱۹۷۲) ارائه گردید و مجموع اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را به اجزای مرتبط به هر یک از ژنوتیپ‌ها تقسیم و سهم هر یک را در تشکیل این اثر متقابل تعیین می‌کند (۳۰). استفاده از روش GGE بای‌پلات و مدل AMMI در سال‌های اخیر به عنوان ابزار تجزیه برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ با محیط مورد استفاده قرار گرفته است (۱۴، ۳۶) تفاوت این دو روش در این است که در GGE بای‌پلات اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط از هم تفکیک نشده‌اند. بعضی از محققین معتقد هستند که روش AMMI به علت تفکیک این اثرات از یکدیگر همواره بر GGE بای‌پلات ارجحیت دارد و یا حداقل از نظر دقت با آن برابر است (۱۳)، اما محققینی نیز هستند که اعتقاد دارند که GGE بای‌پلات از نظر تجزیه داده‌های ژنوتیپ در محیط از روش AMMI موفق‌تر است (۳۸)، چرا که از دیدگاه به‌نژادگران گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس اثر اصلی ژنوتیپ و یا اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به تنهایی مدنظر نیست و لذا بررسی این دو اثر باید به صورت توأم صورت پذیرد (۱۸) به همین دلیل یان و همکاران (۲۰۰۷) معتقدند که روش GGE بای‌پلات از نظر تجزیه داده‌های ژنوتیپ در محیط از روش AMMI موفق‌تر است (۳۸). روش بای‌پلات به دلیل استفاده آن در بررسی محیط‌های متعدد، ارزیابی ژنوتیپ‌ها و ارزیابی مناطق

که محاسبه میانگین عملکرد، به تنهایی مطلوب نیست و بنابراین، باید بر ارزیابی ژنوتیپ‌ها که می‌توانند عملکرد بهتری حتی با وجود نوسان در محیط داشته باشند تاکید گردد (۲۳، ۱۵). یک وارپته یا ژنوتیپ زمانی به عنوان سازگارترین یا پایدارترین ژنوتیپ در نظر گرفته می‌شود که میانگین عملکرد بالا داشته، اما دارای نوسان کم عملکرد در محیط‌های متنوع باشد (۴). بنابراین، تجزیه‌های آماری اثر متقابل ژنوتیپ با محیط که موسوم به تجزیه پایداری هستند، گامی اساسی در جهت پیشرفت برنامه‌های اصلاحی محسوب می‌شوند.

بخش قابل توجهی از تحقیقات به‌نژادی محققان مختلف در سراسر جهان در مورد برآورد اثر متقابل ژنوتیپ در محیط از طریق انجام آزمایشات چند مکانی دارای تکرار می‌باشد (۲۴، ۱۶). تفسیر اثرات متقابل، شناسایی محیط‌های هدف و معرفی ژنوتیپ‌های مناسب با سازگاری خصوصی و عمومی برای محیط‌های مورد مطالعه و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار در سال‌های مختلف از اهداف مهم در بررسی ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مختلف می‌باشد.

روش‌های بی‌شماری برای تجزیه و تحلیل آزمایشات چند منطقه‌ای به منظور به‌دست آوردن الگوی اثر متقابل ژنوتیپ با محیط و برآورد پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها به وسیله دانشمندان مختلف ایجاد شده است (۸، ۱۲، ۱۴) و هر کدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی می‌باشد. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش GGE بای‌پلات (اثر اصلی ژنوتیپ به‌علاوه اثر متقابل ژنوتیپ با محیط) (۳۵) اشاره نمود. شاخص پایداری اکولانس ریک از پرکاربردترین روش‌های تعیین پایداری است که برای هر ژنوتیپ مستقیماً به اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بستگی داشته و توسط ریک (۱۹۶۲) ارائه شده است (۳۳). استفاده از ضریب شیب خط رگرسیون با

به طور فزاینده‌ای توسط به‌نژادگران مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۶). این روش از طریق نمایش گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ با محیط به به‌نژادگر کمک می‌نماید تا به سادگی پایداری ژنوتیپ‌ها و ترکیب پایداری با عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف را ارزیابی نموده و همچنین، استفاده از این روش امکان بررسی روابط میان محیط‌ها و شناسایی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌نژادی را آسان می‌نماید. مطالعات مختلف، موفقیت این تکنیک را در یافتن الگوی پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها بین محیط‌ها، تایید کرده‌اند. کلیه روش‌های معرفی شده از نظر کارایی تشخیص واریته پایدار توسط محققین مختلف مورد مقایسه و مطالعه قرار گرفته‌اند به طوری که هر گروه از محققین نسبت به برخی از روش‌ها ایراداتی وارد و برخی دیگر را مورد تایید قرار دادند، اما در هر حال روش کاملاً قابل قبول و قطعی وجود ندارد. بنابراین، هر گروه از محققین یکی از روش‌ها و یا ترکیبی از روش‌ها را در مطالعات خود جهت یافتن واریته‌های پر محصول و پایدار به کار می‌برند. سووارنا و همکاران (۲۰۱۱) با ارزیابی ۱۵ ژنوتیپ کنجد در ۶ منطقه، تفاوت معنی‌داری برای عملکرد دانه گزارش نموده و برای مناطق مختلف ژنوتیپ‌های امیدبخشی را شناسایی نمودند (۳۱). براکی و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی ۱۳ ژنوتیپ کنجد در ۷ منطقه طی دو سال در اتیوپی توسط تجزیه GGE بای پلات مشخص نمودند که ژنوتیپ Acc-031 در محیط با عملکرد بالا بهترین ژنوتیپ و ژنوتیپ Acc-034 در محیط‌های متوسط و کم بازده بهترین ژنوتیپ می‌باشند (۵). کیندیا (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای تعداد ۱۷ ژنوتیپ کنجد را در ۱۰ منطقه اتیوپی مختلف مورد بررسی قرار داد و با استفاده از تجزیه GGE بای پلات و AMMI ژنوتیپ‌های پایدار را شناسایی نمود (۱۹).

در ارتباط با کنجد که دارای پایداری عملکرد در گستره‌ای از مناطق هستند، مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ با محیط می‌تواند به ارزیابی موفقیت آمیز ارقام کنجد بیانجامد. در این راستا، این آزمایش به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار و توصیه برترین ژنوتیپ‌ها برای مناطق مختلف کشت کنجد به منظور تقویت تولید کنجد در این مناطق بود.

مواد و روش‌ها

تعداد ۳۶ ژنوتیپ کنجد (دریافت شده از بانک ژن ملی موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر) در سه منطقه کرج، مغان و جیرفت (به ترتیب نماینده منطقه معتدل، گرم شمال و گرم جنوب) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به مدت دو سال کشت شدند. نام و منشاء هر کدام از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. منطقه کرج به دلیل داشتن ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز خشک، جزء مناطق آب و هوایی مدیترانه‌ای گرم و خشک و با داشتن زمستان سرد و مرطوب و تابستان گرم و خشک جزء رژیم رطوبتی خشک محسوب می‌شود و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۲۱ متر است. بر اساس اطلاعات ۳۰ ساله هواشناسی کرج، متوسط بارندگی منطقه ۲۴۳ میلی‌متر در سال است. مغان دارای آب و هوای گرم و مرطوب است و از سطح دریا به طور متوسط ۴۵ متر ارتفاع دارد. در زمستان دمای هوا به زیر صفر درجه می‌رسد و در تابستان دما تا ۴۰ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. میزان بارندگی سالیانه تقریباً ۳۰۰ میلی‌متر است. مشخصات اقلیمی جیرفت عبارت است از ارتفاع از سطح دریا ۶۲۷ متر، متوسط بارندگی ۱۷۰ میلی‌متر، رطوبت نسبی ۵۵ تا ۶۵ درصد، حداکثر درجه حرارت ۴۸ درجه سلسیوس و حداقل درجه حرارت یک درجه سلسیوس که در بعضی از سال‌ها به یک تا دو درجه زیر صفر نیز می‌رسد.

مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و در ادامه عملکرد دانه ارقام برای کلیه مناطق و سالها مورد تجزیه واریانس مرکب قرار گرفت. سپس از آماره های تک متغیره ضریب رگرسیون، واریانس انحراف از رگرسیون، واریانس پایداری شوکلا و اکووالانس ریک برای ارزیابی میزان پایداری عملکرد دانه ژنوتیپها استفاده شد. در نهایت به منظور تحلیل بهتر اثرات متقابل ژنوتیپ با محیط از تجزیه مدل GGE بای پلات استفاده گردید. از نرم افزارهای SAS (نسخه ۶/۱۲)، R (نسخه ۳/۱) و GenStat (نسخه ۱۲) جهت تجزیه های آماری استفاده شد.

زمین آزمایشی با انجام عملیات زراعی شامل شخم پاییزه و بهاره، دو دیسک عمود برهم، تسطیح با لندلولر و کوددهی بر اساس نیاز غذایی خاک و ایجاد جوی و پشته به فواصل ۶۰ سانتی متر تهیه شد. هر ژنوتیپ در سه خط یک و نیم متری با فاصله دو بوته روی هر خط ۸-۷ سانتی متر کشت گردید. در طی فصل رشد مراقبت های زراعی لازم از جمله آبیاری، مبارزه با آفات و علف های هرز انجام پذیرفت. در پایان دوره رشد و پس از رسیدگی فیزیولوژیکی عملکرد دانه هر ژنوتیپ برآورد و بر اساس کیلوگرم در هکتار گزارش شد. نتایج مربوط به عملکرد دانه ارقام برای هر منطقه به طور جداگانه

جدول ۱- اسامی و مبدا ژنوتیپ های مورد بررسی.

Table 1. Name and origin of the studied genotypes.

شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	مبدا	شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	مبدا
Genotype No.	Genotype name	Origen	Genotype No.	Genotype name	Origen
1	TN78-23	مازندران - Mazandaran	20	TN78-440	فارس - Fars (فارس)
2	TN78-41	فلسطین اشغالی - Palestine	21	TN78-446	سروستان - Fars (Sarvestan)
3	TN78-76	کرمان (جیرفت) - Kerman (Jiroft)	22	TN78-449	فارس (داراب) - Fars (Darab)
4	TN78-84	خراسان (طبس) - Khorasan (Tabas)	23	TN78-464	فارس (زرقان) - Fars (Zarqan)
5	TN78-159	بوشهر (دشتستان) - Bushehr (Dashtestan)	24	TN78-551	مازندران - Mazandaran
6	TN78-164	بوشهر (دشتستان) - Bushehr (Dashtestan)	25	TN78-560	یزد - Yazd
7	TN78-166	بوشهر (دشتستان) - Bushehr (Dashtestan)	26	TN78-570	یزد - Yazd
8	TN78-220	کرمان (جیرفت) - Kerman (Jiroft)	27	TN78-572	یزد - Yazd
9	TN78-229	هرمزگان (حاجی آباد) - Hormozgan (Hajjiabad)	28	TN78-573	یزد - Yazd
10	TN78-230	هرمزگان (حاجی آباد) - Hormozgan (Hajjiabad)	29	TN78-714	زنجان - Zanjan
11	TN78-66	خراسان (سبزه وار) - Khorasan (Sabzevar)	30	TN78-730	آذربایجان غربی - West Azerbaijan
12	TN78-369	هرمزگان (بندرعباس) - Hormozgan (Bandar Abbas)	31	Darab 1 - ۱	داراب - Darab
13	TN78-384	فارس (داراب) - Fars (Darab)	32	Dashtestan - ۱	دشتستان - Dashtestan
14	TN78-389	فارس (ارسنجان) - Fars (Arnsjan)	33	Halil - ۱	هلیل - Halil
15	TN78-390	فارس (نی ریز) - Fars (Neyriz)	34	Naz - ۱	ناز - Naz
16	TN78-393	کرمان (کرمان) - Kerman (Kerman)	35	Oltan - ۱	اولتان - Oltan
17	TN78-400	فارس (آباده) - Fars (Abadeh)	36	Yellow white - ۱	یلو وایت - Yellow white
18	TN78-415	فارس (زرقان) - Fars (Zarqan)			
19	TN78-418	فارس (زرقان) - Fars (Zarqan)			

نتایج و بحث

بررسی از نظر عملکرد دانه در تمامی محیطها تفاوت معنی داری وجود داشت. اثر تکرار فقط در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در منطقه مغان معنی دار بود (جدول ۲).

تجزیه واریانس ساده برای هر کدام از محیطها به طور جداگانه انجام شد که نتایج حاکی از اثر معنی دار ژنوتیپ بود که نشان می داد بین ژنوتیپهای مورد

جدول ۲- تجزیه واریانس ساده صفت عملکرد دانه در واحد سطح در مکانها و سالهای مختلف.

Table 2- Simple analysis of variance of grain yield per unit area at different locations and years.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات عملکرد در واحد سطح در مکانها و سالهای مختلف					مغان (۶) Moghan (5) 2016-17
		Mean square of yield per unit area at different locations and years					
		جیرفت (۱) Moghan (6) 2017-2018	جیرفت (۲) Jiroft (1) 2016-17	کرج (۳) Jiroft (2) 2017-2018	کرج (۴) Karaj (3) 2016-17	مغان (۵) Karaj (4) 2017-2018	
بلوک Block	2	125464.47 ^{ns}	39162.32 ^{ns}	25523.31 ^{ns}	71652.74 ^{ns}	26047.23 [*]	25681.06 ^{ns}
ژنوتیپ Genotype	35	311065.01 ^{**}	197209.24 [*]	56422.76 ^{**}	102143.27 ^{**}	11917.39 [*]	48206.69 ^{**}
خطای آزمایشی Error	70	64293.91	118211.22	13619.07	32149.41	6905.47	24713.37
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		34.66	28.73	36.07	34.33	15.25	20.84

* معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵، ** معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و n.s معنی دار نیست.

*, ** show significancy at 0.05 and 0.01 of probability level, n.s: not-significant.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفت عملکرد دانه در واحد سطح.

Table 3- Combined analysis of variance of grain yield per unit area.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات عملکرد در واحد سطح Mean square of yield per unit area
مکان Location	2	26838266.7 ^{**}
سال Year	1	11779913.96 ^{**}
مکان * سال Location * Year	2	2345288.23 ^{**}
اشتباه ۱ Error 1	12	702682.45
ژنوتیپ Genotype	35	5818277.34 ^{**}
ژنوتیپ * مکان Genotype*Location	70	10084419.94 ^{**}
ژنوتیپ * سال Genotype*Year	35	3765829.33 ^{**}
ژنوتیپ * مکان * سال Genotype*Location*Year	70	3301966.44 ^{ns}
اشتباه ۲ Error 2	420	45098.67

* معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵، ** معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و n.s معنی دار نیست.

*, ** show significancy at 0.05 and 0.01 of probability level, n.s: not-significant.

شده است. معنی دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ با مکان و سال نشان می دهد که ژنوتیپها در واکنش به مکانها و سالها دارای نوساناتی بودند. محققین دیگر نیز در آزمایشات پایداری خود به معنی دار بودن اثرات سال، مکان و ژنوتیپ در ژنوتیپهای کنجد مورد بررسی خود اشاره نموده اند (۵). برای تشخیص ژنوتیپی که در تمام مناطق عملکرد قابل قبولی داشته و سازگاری وسیعی را با محیطهای مختلف دارا باشد، بایستی

نتایج تجزیه مرکب داده ها حاکی از معنی دار بودن اثر مکان، سال و ژنوتیپ برای عملکرد دانه بود (جدول ۳). معنی دار بودن اثر ساده مکان و سال، نشان می دهد که عوامل جوی (میزان بارندگی، طول روز، حداقل و حداکثر دما هوا) و همچنین، عوامل جغرافیایی (خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا) سبب اختلاف در میزان عملکرد ژنوتیپهای مورد مطالعه

۲۸ و ۵ کم‌ترین اکووالانس را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی به خود اختصاص دادند و لذا این ژنوتیپ‌ها به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. همچنین، به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۳۳، ۳۱، ۳۴ و ۲۴ دارای بیش‌ترین میزان اکووالانس در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بودند. بنابراین، به عنوان ژنوتیپ‌هایی با پایداری پایین شناسایی شدند. بررسی نتایج جدول ۴ حاکی از این است که نتایج حاصل از بررسی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها با استفاده از دو پارامتر اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا با هم مشابه می‌باشند که این موضوع حاکی از تشابه این دو پارامتر در تعیین ژنوتیپ‌های پایدار می‌باشد. همان‌طوری که لین و همکاران (۱۹۸۶) اظهار نمودند مشابه بودن آمارهای درون یک گروه مورد انتظار می‌باشد (۲۱). دهقانپور (۲۰۰۶) نیز مشابه بودن نتایج دو آماره اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا را اعلام نمود (۷). متوسط مربعات انحرافات یا انحراف از رگرسیون میانگین ژنوتیپ‌ها بر روی شاخص محیطی، سهم هر ژنوتیپ و محیط را توضیح می‌دهد. بر اساس روش واریانس انحراف از خط رگرسیون، هرچه مقدار واریانس انحراف نزدیک به صفر یا حداقل باشد ژنوتیپ‌ها پایدارتر هستند. بنابراین، به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۲۸، ۷ و ۳۴ دارای کم‌ترین میزان واریانس انحراف از خط رگرسیون بوده و به عنوان ارقام پایدار شناسایی شدند. همچنین، به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۳۳، ۳۱، ۱۲ و ۲۶ دارای بیش‌ترین میزان واریانس انحراف از خط رگرسیون بوده و به عنوان ارقام با پایداری پایین شناسایی شدند. اگر بخواهیم بر اساس کلیه پارامترهای پایداری مورد محاسبه ژنوتیپی را انتخاب کنیم که دارای عملکرد بیش‌تر از میانگین کل، اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا پایین‌تر، ضریب رگرسیون معادل یک و کم‌ترین واریانس

اقدام به بررسی سازگاری ژنوتیپ‌ها و پایداری عملکرد آن‌ها در محیط‌های مختلف نمود که این امر با استفاده از برآورد آماره‌های پایداری مورد نظر انجام پذیرفت و انتخاب برترین ژنوتیپ، با توجه به میانگین عملکرد بالاتر و از طرفی نوسان عملکرد کم‌تر صورت پذیرفت (۹).

معیارهای پایداری عملکرد با استفاده از روش‌های مختلف تعیین شد (جدول ۴) و نتایج نشان داد که میانگین مربعات ژنوتیپ‌ها برای عملکرد دانه معنی‌دار است. همان‌طور که در جدول تجزیه واریانس (جدول ۴) مشاهده گردید اثر متقابل بین ژنوتیپ با سال و مکان معنی‌دار است و در اینجا نیز همان‌طور که مشاهده می‌شود شیب خط رگرسیون ژنوتیپ‌ها متفاوت است. بر اساس روش رگرسیون میانگین عملکرد دانه، به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۳۱، ۳۳، ۹ و ۳۰ با ضریب رگرسیون بیش‌تر از یک دارای حساسیت بیش‌تری به تغییرات محیطی بوده و سازگاری خصوصی بیش‌تری به محیط‌های پر بازده دارند، در حالی که به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۳۴، ۲۴، ۳۵ و ۲۹ با ضریب رگرسیون کم‌تر از یک دارای تحمل بیش‌تری به تغییرات محیطی بوده و سازگاری بیش‌تری با محیط‌های کم بازده دارند. بر اساس روش پیشنهادی شوکلا، هرچه مقدار واریانس پایداری شوکلا کم‌تر باشد، رقم یا ارقام پایدارتر هستند. بنابراین، به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۲۰، ۲۸ و ۵ دارای کم‌ترین میزان واریانس پایداری شوکلا در بین ارقام مورد بررسی بوده و به عنوان ارقام پایدار شناسایی شدند. همچنین، به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۳۳، ۳۱، ۳۴ و ۲۴ دارای بیش‌ترین میزان واریانس پایداری شوکلا در بین ارقام مورد بررسی بودند و بنابراین، به عنوان ارقام با پایداری پایین شناسایی شدند. بر اساس پارامتر پایداری اکووالانس ریک به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۲۰،

انحراف از خط رگرسیون باشد می‌توان ژنوتیپ شماره ۱۰ را انتخاب نمود. دابا و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی ۱۰ ژنوتیپ کنگد در چهار منطقه اتیوپی به مدت دو سال با استفاده از پارامترهای پایداری مشخص کردند که ژنوتیپ‌های EW002 و BG006 پایدارترین و بهترین عملکرد دانه را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارا می‌باشد (۶).

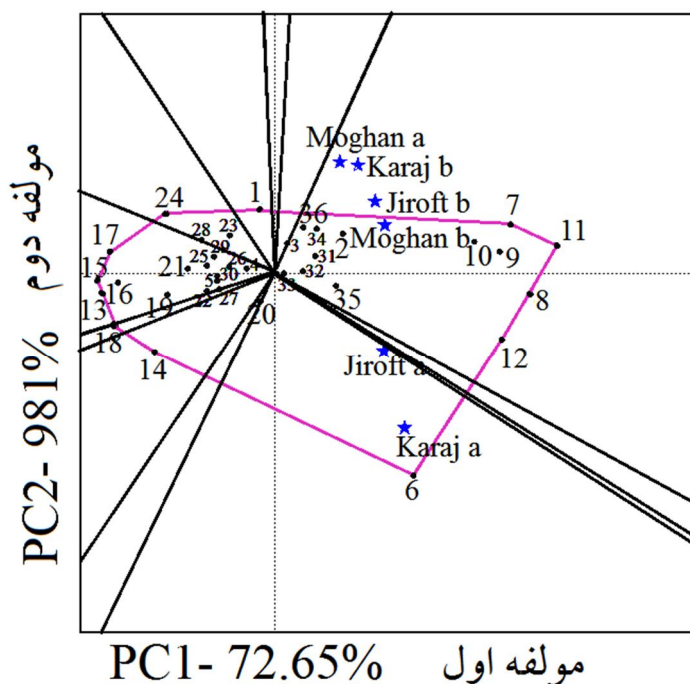
جدول ۴- مقادیر برخی آماره‌های پایداری برای ژنوتیپ‌های کنگد در دو سال اجرای آزمایش.

Table 4- Values of some stability statistics for sesame genotypes in two years of experiment.

شماره ژنوتیپ Genotype no.	میانگین Mean	اکووالانس ریک (W_i^2) Wricke's ecovalence	واریانس پایداری شوکلا (σ_i^2) Shukla's stability variance	ضریب رگرسیون (b_i) Regression coefficient	واریانس انحراف از خط رگرسیون (S_{di}^2) Deviation from regression parameter
1	778.5 (5)	89776 (19)	18263 (19)	1.18 (8)	6632.5 (15)
2	761.3 (9)	78949 (21)	15971 (21)	1.17 (9)	5760.1 (21)
3	493.5 (35)	107589 (13)	22036 (13)	0.74 (31)	3230.5 (25)
4	528.8 (34)	29728 (30)	5547 (30)	0.88 (28)	1732.7 (28)
5	672 (16)	15336 (33)	2500 (33)	0.9 (25)	361.4 (32)
6	639.1 (23)	78350 (22)	15844 (22)	1.09 (15)	9729.5 (10)
7	667.1 (20)	8943 (36)	1146 (36)	0.92 (23)	150.4 (34)
8	772.5 (7)	103405 (16)	21150 (16)	1.18 (7)	8699.3 (13)
9	878.6 (3)	149996 (9)	31016 (9)	1.29 (3)	6433.2 (18)
10	762.9 (8)	20415 (32)	3575 (32)	0.91 (24)	1341.2 (30)
11	612.8 (26)	65783 (24)	13183 (24)	0.77 (29)	57 (36)
12	772.6 (6)	178338 (5)	37018 (5)	1.2 (5)	18173.3 (3)
13	638 (24)	29899 (29)	5584 (29)	0.96 (21)	4001.6 (24)
14	569.5 (31)	157519 (8)	32609 (8)	0.7 (32)	6092 (20)
15	670 (18)	47644 (26)	9341 (26)	1.16 (10)	2017.7 (27)
16	733.8 (11)	105735 (14)	21643 (14)	1.18 (6)	9144.3 (12)
17	616.7 (25)	95514 (18)	19479 (18)	1.09 (14)	12088 (7)
18	668.7 (19)	54586 (25)	10811 (25)	0.92 (22)	6546.2 (17)
19	678.5 (15)	86519 (20)	17574 (20)	0.88 (27)	9922.5 (9)
20	707.8 (12)	13054 (35)	2017 (35)	1.09 (16)	515.1 (31)
21	604.1 (27)	67582 (23)	13564 (23)	1.04 (17)	9429.7 (11)
22	753 (10)	103993 (15)	21274 (15)	1.1 (13)	12919.1 (5)
23	602 (29)	162812 (6)	33730 (6)	0.76 (30)	12642.6 (6)
24	529.8 (33)	196143 (4)	40788 (4)	0.67 (35)	8456.2 (14)
25	692.1 (13)	96202 (17)	19624 (17)	1.14 (12)	10079.7 (8)
26	682.9 (14)	130757 (11)	26942 (11)	1.14 (11)	14924.2 (4)
27	591.8 (30)	32863 (28)	6211 (28)	0.96 (20)	4469.9 (23)
28	551.5 (32)	13974 (34)	2211 (34)	0.9 (26)	125.4 (35)
29	646.4 (22)	157908 (7)	32692 (7)	0.69 (33)	4935.1 (22)
30	884 (2)	112414 (12)	23057 (12)	1.23 (4)	6574.5 (16)
31	912.1 (1)	523998 (2)	110216 (2)	1.47 (1)	34282.5 (2)
32	602.9 (28)	44171 (27)	8606 (27)	1.02 (18)	6233.7 (19)
33	783.2 (4)	813014 (1)	171420 (1)	1.45 (2)	79309.9 (1)
34	481.1 (36)	322240 (3)	67491 (3)	0.5 (36)	263.9 (33)
35	671.5 (17)	132624 (10)	27337 (10)	0.69 (34)	1457.6 (29)
36	662.2 (21)	21979 (31)	3906 (31)	1.01 (19)	3134.1 (26)
Max/حداکثر	912.1	813013.5	171419.7	1.47	79309.9
Min/حداقل	481.1	8942.5	1145.9	0.5	57

(۱۱، ۷، ۱، ۲۴، ۱۵، ۱۳، ۱۸، ۱۴، ۶، ۱۲ و ۸) بهترین و یا ضعیف‌ترین عملکرد دانه را در برخی از محیط‌ها و یا همه محیط‌ها داشتند، چرا که آن‌ها بیش‌ترین فاصله از مرکز بای‌پلات را دارند (۳۷). با توجه به خطوط عمودی بر هر ضلع پلی‌گون، محیط‌ها به دو و ژنوتیپ‌ها به نه گروه تفکیک شدند.

نمایش چندضلعی حاصل از تجزیه GGE بای‌پلات ۳۶ ژنوتیپ در ۶ محیط در شکل ۱ نشان داده شده است. دو مولفه اصلی اول مدل رگرسیون مکانی، ۸۲ درصد از کل تغییرات مشاهده شده (مجموع اثرات ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط) را توجیه نمودند. ژنوتیپ‌های تشکیل‌دهنده رئوس چند ضلعی



شکل ۱- نمای چند ضلعی GGE بای‌پلات برای تعیین ژنوتیپ‌های برتر در محیط‌های مختلف: PC1: اولین مولفه اصلی، PC2: دومین مولفه اصلی، a و b: به ترتیب سال اول و دوم.

Figure 1- GGE Biplot polygon view to identify superior genotypes in different environments; PC1: first principal component, PC2: second principal component, a and b: first and second year, respectively.

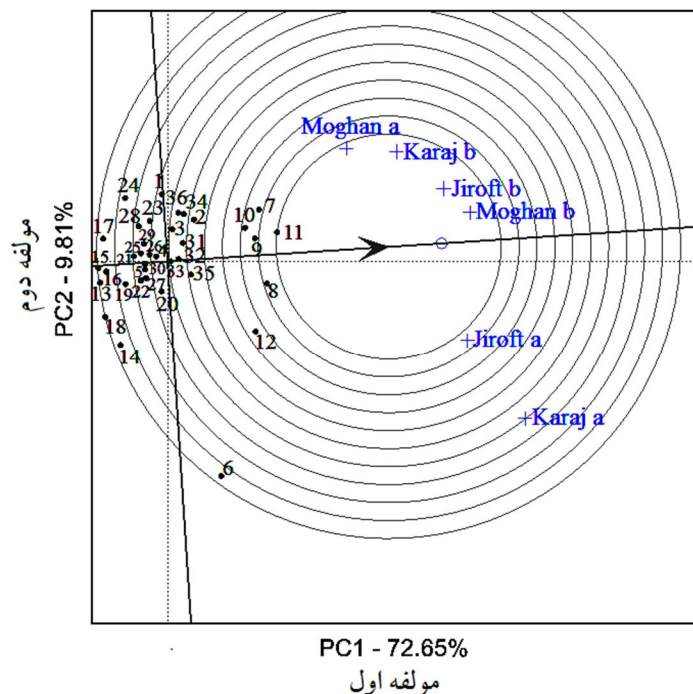
متوسط، از کم‌ترین برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط برخوردار بودند و می‌توان ابراز نمود که از سازگاری عمومی خوبی برخوردار می‌باشند. براکی و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی ۱۳ ژنوتیپ کنجد در ۷ منطقه طی دو سال در اتیوپی توسط تجزیه GGE بای‌پلات مشخص نمودند که ژنوتیپ Acc-031 در محیط با عملکرد بالا بهترین ژنوتیپ و ژنوتیپ Acc-034 در محیط‌های متوسط و کم بازده بهترین ژنوتیپ می‌باشند (۵). کیندیا و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی ۱۷ ژنوتیپ کنجد در ۱۰ منطقه اتیوپی مشخص نمودند

در اولین گروه محیطی اکثر محیط‌ها (۴ محیط از تمامی ۳ منطقه اجرای آزمایش طی دو سال) واقع شده‌اند و ژنوتیپ‌های ۱۱، ۸ و ۷ بیش‌ترین عملکرد را در این محیط‌ها داشتند. در دومین گروه محیطی (شامل سال اول کرج و جیرفت) ژنوتیپ ۶ بیش‌ترین عملکرد را داشت. ژنوتیپ‌های ۲۴، ۱۷، ۱۵، ۱۳، ۱۸ و ۱۴ در هیچ یک از محیط‌ها برتر نبودند و کم‌ترین متوسط عملکرد را در تمامی محیط‌ها داشتند. همچنین، ژنوتیپ‌های واقع در نزدیکی مرکز بای‌پلات (۳۳، ۳۲، ۳، ۴ و ۲۰) ضمن داشتن عملکردی

تعیین گرافیکی فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ ایده‌آل ایجاد شده است (شکل ۲). بنابراین، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۹، ۸، ۷ و ۱۰ را می‌توان به عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب در نظر گرفت، چرا که آن‌ها به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر بوده و از میانگین عملکرد و پایداری بالایی برخوردار هستند. در مقابل ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۳، ۱۶، ۱۸ و ۱۷ به عنوان ژنوتیپ‌های نامطلوب تعیین شدند، زیرا دارای بیش‌ترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل بودند. محققین متعددی نیز نتایج مشابهی را در کنگد ذرت و گندم ذکر نموده‌اند (۹، ۱۹، ۲۱، ۲۵). بایستی به این مطلب توجه داشت که پایداری به تنهایی بی‌معنی است یعنی اینکه ارقام کم‌تر پایدار که متوسط عملکرد خوبی دارند، بهتر از ارقام پایداری هستند که عملکرد خوبی ندارند (۳۲).

که ژنوتیپ Abuseffa و Land race Gumero در محیط‌های خوب بالاترین عملکرد را داشتند و ژنوتیپ HuRC-4 در محیط‌های متوسط و کم بازده بهترین ژنوتیپ می‌باشند (۱۹).

ژنوتیپ ایده‌آل بایستی از بیش‌ترین میانگین عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه و پایدار نسبت به شرایط محیطی برخوردار باشد (۳۸). چنین ژنوتیپی به عنوان ژنوتیپی که دارای بیش‌ترین طول بر روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و دارای حداقل نقش در برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط باشد، تعریف شده است. اگرچه چنین ژنوتیپی در عمل وجود ندارد اما می‌تواند به صورت یک رفرنس برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار گیرد. ژنوتیپ ایده‌آل است که به این رفرنس نزدیک‌تر باشد. بنابراین، برای استفاده از ژنوتیپ ایده‌آل به عنوان مرکز ارزیابی، دایره‌های هم‌مرکز در بای‌پلات به‌منظور

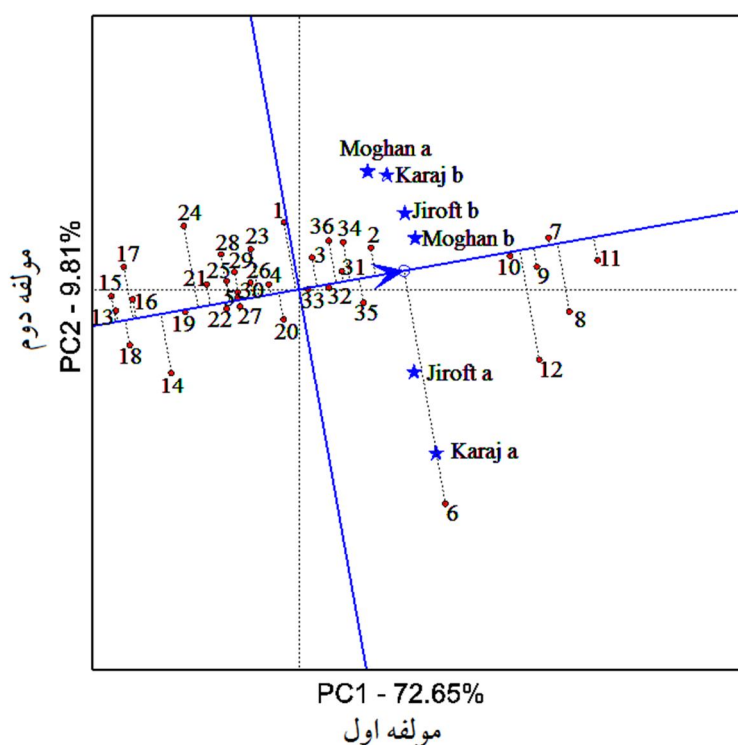


شکل ۲- نمودار GGE بای‌پلات بر اساس مقیاس‌بندی متمرکز شده روی ژنوتیپ‌ها برای مقایسه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل در ۶ محیط: a و b: به ترتیب سال اول و دوم.

Figure 2- GGE-biplot based on genotype-focused scaling for comparison of genotypes with the ideal genotype in 6 environments, a and b = first and second year, respectively.

ژنوتیپ‌های ۱۱، ۹، ۲، ۳۱ و ۳۵ جزو ژنوتیپ‌هایی با پایداری متوسط محسوب می‌شوند. ژنوتیپ‌های شماره ۶، ۱۲، ۸ و ۲۴ ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها محسوب شدند. خط عمود بر این خط ژنوتیپ‌ها را به دو گروه تقسیم می‌کند: گروه اول (سمت راست) ژنوتیپ‌هایی که دارای میانگین عملکرد بالاتر از میانگین متوسط هستند و گروه دوم (سمت چپ) ژنوتیپ‌هایی که دارای میانگین عملکرد پایین‌تر از میانگین متوسط هستند. بنابراین، با توجه به نکات گفته شده ژنوتیپ شماره ۱۰ پایدارترین ژنوتیپ و با متوسط عملکرد بالاتر از میانگین شناخته می‌شود. شیم و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی ۱۰ ژنوتیپ کنج در هشت منطقه با به کارگیری از این نمودار اعلام کردند که ژنوتیپ Yangbaek به عنوان ژنوتیپ با عملکرد بالاتر از میانگین و پایدار می‌باشد (۲۹).

ارزیابی هم‌زمان ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد و پایداری یکی از جنبه‌های مهم مدل GGE بای‌پلات است. شکل ۳ رتبه‌بندی ۳۶ ژنوتیپ بر اساس عملکرد دانه و پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف را نشان می‌دهد. خط دارای علامت فلش که از مرکز بای‌پلات و از نقطه ایده‌آل (که نماینده متوسط ضرایب دو مولفه اول برهم‌کنش در مدل GGE بای‌پلات است) می‌گذرد، خط متوسط عملکرد محیطی (AEC) نامیده می‌شود (۳۶). ژنوتیپ‌هایی که به خط متوسط عملکرد محیطی نزدیک‌تر باشند دارای پایداری عملکرد بیشتری دارند. هر چه ژنوتیپ‌ها از این خط AEC فاصله بیشتری داشته باشند در برهم‌کنش نقش بیشتری داشته و پایداری کمتری خواهند داشت. بر این اساس ژنوتیپ‌های ۷، ۱۰، ۳۲ و ۳۳ جزو پایدارترین ژنوتیپ‌ها محسوب می‌شوند. همچنین،



شکل ۳- نمای خط متوسط عملکرد محیطی بر اساس مقیاس بندی متمرکز شده روی محیط‌ها برای میانگین عملکرد دانه و پایداری ژنوتیپ‌ها در ۶ محیط؛ a و b: به ترتیب سال اول و دوم.

Figure 3- Average environment coordination (AEC) views of the GGE-biplot based on environment-focused scaling for the means performance and stability of genotypes in 6 environments; a and b: first and second year, respectively.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که عملکرد دانه به میزان زیادی تحت تاثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرند و ثبات رفتاری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف فرق می‌کند و ما یک رده‌بندی ثابتی در محیط‌های مختلف نداریم. همان‌طور که در انتهای قسمت انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس پارامترهای پایداری ذکر شد بر اساس این پارامترها (اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا پایین‌تر، ضریب رگرسیون معادل یک و کم‌ترین واریانس انحراف از خط رگرسیون به همراه عملکرد بیش‌تر از میانگین کل) ژنوتیپ شماره ۱۰ انتخاب گردید. به منظور آشکار ساختن الگوی اثرات متقابل ژنوتیپ با محیط از تجزیه GGE بای‌پلات استفاده گردید و دو مولفه اصلی اول تقریباً ۸۲/۴۶ درصد از کل تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. نتایج تجزیه GGE بای‌پلات مشخص کرد که ژنوتیپ شماره ۱۰

پایدارترین ژنوتیپ با متوسط عملکرد بالاتر از میانگین می‌باشد که این نتیجه دقیقاً در پارامترهای پایداری نیز مورد تایید قرار گرفته بود. هر چند که نتایج پارامترهای آماری با نتایج بای‌پلات تطابق صد درصد نداشت و در بعضی موارد نتایج این دو قسمت عکس یکدیگر عمل می‌کنند و این مطلب توسط سایر محققین نیز اشاره شده است (۱، ۲، ۲۷ و ۲۸). البته باید در نظر داشت که در GGE بای‌پلات، اثر اصلی ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط از هم قابل تفکیک نیستند. ژنوتیپ شماره ۱۰ که یک ژنوتیپ محلی از منطقه حاجی‌آباد هرمزگان می‌باشد، یک توده بومی بوده و نوسانات کم‌تری را در محیط‌های مورد آزمون نشان داده است و از نظر میانگین عملکرد نیز در جایگاه مناسبی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشته است و می‌توان از پتانسیل آن در برنامه‌های اصلاحی آتی استفاده نمود.

منابع

1. Abate, M. 2015. Genotype x Environment analysis for seed yield and its components in sesame (*Sesamum indicum* L.) evaluated across diverse agro-ecologies of the awash valleys in Ethiopia. J. Adv. Agri. Bio. Env. Sci. (JABE). 2: 4. 1-14.
2. Alberts, M. 2004. A Comparison of Statistical Methods to Describe Genotype x Environment Interaction and Yield Stability in multiplication maize trials. Ph.D. Thesis, Department of Plant Sciences (Plant Breeding), Faculty of Natural and Agricultural Sciences of the University of the Free State, Bloemfontein, South Africa. Pp: 7-35.
3. Alwala, S., Kwolek, T., McPherson, M., Pellow, J., and Meyer, D. 2010. A comprehensive comparison between Eberhart and Russell joint regression and GGE biplot analyses to identify stable and high yielding maize hybrids. Field Crops Res. 119: 2-3. 225-230.
4. Arshad, M., Bakhsh, A., Haggani, A.M., and Bashier, M. 2003. Genotype x Environment Interaction for grain yield in chick pea (*Cicer arietinum* L.). Pak. J. Bot., 35: 22. 181-186.
5. Baraki, F., Tsehaye, Y., and Abay, F. 2016. Analysis of genotype x environment interaction and seed yield stability of sesame in Northern Ethiopia. J. Plant Breed. Crop Sci. 8: 11. 240-249.
6. Daba, C., Ayana, A., Zeleke, H., and Wakjira, A. 2014. Association of stability parameters and yield stability of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in Western Ethiopia. East Afric J. Sci. 8: 2. 125-134.
7. Dehghanpour, Z. 2006. Study of yield and stability in early maturing hybrids of maize (*Zea mays* L.). Seed. Plant Improv J. 22: 1. 45-53. (In Persian)
8. Eberhart, S.A., and Russell, W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 6: 1. 36-40.
9. Farshadfar, E. 1998. Application of biometrical genetics in plantb. Second

- edition. Razi University Publications. Kermanshah, Iran, 396 p. (In Persian)
10. Farshadfar, E., Mohammadi, R., Aghaee, M., and Vaisi, Z. 2012. GGE biplot analysis of genotype x environment interaction in wheat-barley disomic addition lines. *Aust. J. Crop Sci.* 6: 6. 1074-1079.
 11. Farshadfar, E., Vaisi, Z., and Yaghotipoor, A. 2011. Non parametric estimation of phenotypic stability in wheat-barley disomic addition lines. *Ann. Biol. Res.* 2: 6. 586-598.
 12. Finlay, K.W., and Wilkinson, G.N. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Aust. J. Agric. Res.* 14: 6. 742-754.
 13. Gauch, H. G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop sci.* 46: 4. 1488-1500.
 14. Gauch, H.G. 1992. Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs. [Online] Amsterdam, Netherland, Elsevier Science Publishers. Available from: <http://www.cabdirect.org/>.
 15. Golmirzaie, A.M., Schmidt, J.W., and Dreier, A.F. 1990. Components of variance and stability parameters in studies of cultivators x environment interactions in winter wheat. *Cereal Res. Commun.* 18: 3. 249-256.
 16. Hendawey, M.H., and Farag, H.I.A. 2010. Comparative studies between some sesame cultivars grown under different edaphic and climatic conditions. *Arab Universities J. Agri. Sci.* 18: 1. 97-121.
 17. Ilker, E., Tonk, F.A., Caylak, O., Tosun, M., and Ozmen, I. 2009. Assessment of genotype x environment interactions for grain yield in maize hybrids using ammi and gge biplot analyses. *Turk. J. Field Crops.* 14: 2. 123-135.
 18. Kang, M.S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers. *Agron. J.* 85: 3. 754-757.
 19. Kindeya, Y.B., Mekbib, F., and Alle, E.A. 2020. AMMI and GGE Bi-plot Analysis for Seed Yield and Oil Content of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Genotypes in Tigray, Northern Ethiopia. *J. Agric. Crop.* 6: 4. 58-67.
 20. Kumaresan, D., and Nadarajan, N. 2010. Genotype x environment interactions for seed yield and its components in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Electron. J. Plant Breed.*, 1: 4. 1126-1132.
 21. Lin, C.S., Binns, M.R., and Letkovitch, L.P. 1986. Stability analysis: Where do we stand?. *Crop Sci.* 26: 5. 894-900.
 22. Mehari, M., Tesfay, M., Yirga, H., Mesele, A., Abebe, T., Workineh, A., and Amare, B. 2015. GGE biplot analysis of genotype-by-environment interaction and grain yield stability of bread wheat genotypes in South Tigray, Ethiopia. *Commun. Biometry Crop Sci.* 10: 1. 17-26.
 23. Mehrata, N., Malik, D.S., and Choudary, B.D. 1980. Studies in stability parameters in cluster bean for seed yield in rainfed conditions. *Haryana Agri. University J. Res.* 10: 77-80.
 24. Mekonnen, Z., and Mohammed, H. 2009. Study on genotype x environment interaction of oil content in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Middle East J. Scient. Res.* 4: 2. 100-104.
 25. Mirza, M.Y., Khan, M.A., Amjad, M., and Nawaz, M.S. 2013. Stability analysis for economic traits in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Pak. J. Agric. Sci.* 26: 3. 168-177.
 26. Mitrović, B., Stanisavljević, D., Treskić, S., Stojaković, M., Ivanović, M., Bekavac, G., and Rajković, M. 2012. Evaluation of experimental maize hybrids tested in multi-location trials using AMMI and GGE biplot analyses. *Turk. J. Field Crops.* 17: 1. 35-40.
 27. Muluken, B. 2007. Genotype by environment interaction and stability analysis for yield and quality traits of malting barley (*Hordeum vulgare* L.) in North Western Ethiopia. MSc Thesis Presented to the School of Graduate Studies of Haremaya University. 57 p.
 28. Nigussie, K. 2012. Genotype x environment interaction of released common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties, in Eastern Amhara region. Pp: 35-40.

29. Shim, K. B., Shin, S. H., Shon, J. Y., Kang, S. G., Yang, W. H., and Heu, S. G. 2015. Interpretation of genotype \times environment interaction of sesame yield using GGE biplot analysis. *Korean J Crop Sci.* 6: 3. 349-354.
30. Shukla, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity.* 29: 2. 237-245.
31. Suvarna, M., Manjunath, H., Nehru, S.D., and Manjunath, A. 2011. Stability analysis of sesame varieties during early. *Indian J. Agric. Res.* 45: 3. 244-248.
32. Velu, G., and Shunmugavallig, N. 2005. Genotype \times environment interaction in sesame (*Sesame indicum* L.). In: J. Fernandez Martinez (eds), *Sesame and safflower newsletter*. Institute of Sustainable Agriculture (ISA), Spain. No. 20, Pp: 1-5.
33. Wricke, G. 1962. Uber eine methode zur refassung der okologischen streubreite in feldversuchen. *Z. Flazenzuecht.* 47: 92-96.
34. Yan, W. 2001. A study on the methodolgy of cultivar evaluation based on yield trial data with special reference to winter wheat in Ontario. 1139-1139.
35. Yan, W. 2002. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi environment trial data. *Agron. J.* 94: 5. 990-996.
36. Yan, W., and Kang, M.S. 2003. *GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists* CRC Press, Boca Raton, FL.
37. Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., and Szlanics, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40: 3. 597-605.
38. Yan, W., Kang, M.S., Ma, B., Woods, S., and Cornelius, P.L. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype by environment data. *Crop sci.* 47: 2. 643-655.
39. Yang, R.C., and Baker, R.J. 1991. Genotype-environment interactions in two wheat crosses. *Crop Sci.* 31: 1. 83-87.