

(مقاله پژوهشی)

تحقیقات غلات

دوره یازدهم / شماره اول / بهار ۱۴۰۰ (۷۷-۸۸)

ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای با استفاده از تجزیه AMMI در مناطق مختلف ایران

عظیم خزائی^{۱*}، فرید گل‌زردی^۱، مسعود ترابی^۲، محمد تقی فیض‌بخش^۳، علی آذری نصرآباد^۴، احمد قاسمی^۵، لیلا نظری^۶ و مهدی متقی^۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۲

چکیده

بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و شناسایی ارقام پرمحصول و پایدار از اهمیت زیادی برای به‌نژادگران برخوردار است. در این تحقیق، پایداری و سازگاری عملکرد ۱۰ ژنوتیپ سورگوم دانه‌ای در هفت منطقه کرج، گرگان، بیرجند، اصفهان، شیراز، همدان و زابل به مدت دو سال (۹۹-۱۳۹۸) ارزیابی شد. آزمایش در تمامی سال‌ها و مکان‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، مکان و ژنوتیپ و تمامی آثار متقابل بین آن‌ها بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج حاصل از تجزیه AMMI نیز نشان داد که آثار اصلی ژنوتیپ و محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به همراه پنج مؤلفه اصلی اثر متقابل بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در مجموع سهم تجمعی پنج مؤلفه اصلی ۹۳/۶۱ درصد محاسبه شد. ژنوتیپ‌های ۵ و ۴ به ترتیب بیشترین اثر متقابل مثبت و منفی داشتند. اگرچه این ژنوتیپ‌ها دارای عملکرد دانه بالایی بودند، اما به‌عنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار شناخته شدند. ژنوتیپ‌های ۲ و ۷ به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار انتخاب شدند و بر اساس مدل AMMI1 قابل توصیه به همه مناطق هستند. از نظر ارزش شاخص پایداری AMMI (ASV)، ژنوتیپ شماره ۷ با کم‌ترین مقدار ASV به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ و ژنوتیپ شماره ۱ با بیشترین مقدار ASV به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ شناخته شد. ژنوتیپ شماره ۶ نیز که بالاترین میزان عملکرد دانه (۷۳۷۹ کیلوگرم در هکتار) را داشت، از نظر پایداری بعد از ژنوتیپ‌های ۷ و ۳ قرار گرفت. از لحاظ مقدار اثر متقابل نسبت به دو محور (IPCA1 و IPCA2) نیز ژنوتیپ ۷ با کم‌ترین اثر متقابل به‌عنوان ژنوتیپ پایدار شناخته شد و ژنوتیپ‌های ۲ و ۹ بالاترین مقدار اثر متقابل را دارا بودند. از لحاظ شاخص‌های پایداری دیگر از جمله MASV، SIPC، DZ، EV و ZA نیز ژنوتیپ‌های ۷ و ۳ به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها تعیین شدند.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، ارزش پایداری امی، بای‌پلات، تجزیه پایداری

- ۱- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
- ۲- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
- ۳- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
- ۴- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران

- ۵- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران
- ۶- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
- ۷- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

* نویسنده مسئول: az42095@yahoo.com

مقدمه

فنونتیپی و ژنوتیپی است، زیرا اثر متقابل ژنوتیپ و محیط باعث کاهش همبستگی ارزش های فنونتیپی و ژنوتیپی می شود و تحلیل دقیق نتایج را مشکل می سازد (Pham and Kang, 1988). تجزیه آثار جمع پذیر و اثر متقابل ضرب پذیر (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction) یا AMMI یکی از روش های چند متغیره تجزیه پایداری است که سازگاری و پایداری ژنوتیپ را پیش بینی می کند و یکی از روش هایی که در دو دهه اخیر برای ارزیابی پایداری به فراوانی از آن استفاده شده است (Rodrigues *et al.*, 2014). روش AMMI ترکیبی از تجزیه واریانس و تجزیه به مؤلفه های اصلی است. در این روش با استفاده از تجزیه واریانس، اثر اصلی ژنوتیپ و محیط برآورد می شود و سپس با استفاده از تجزیه به مؤلفه های اصلی، اثر متقابل ژنوتیپ و محیط مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد (Crossa, 1990). تجزیه AMMI اثرات اصلی و متقابل را به طور واضعی از هم تفکیک می کند و اغلب تفسیر معنی دار آگرونومیک از داده ها خواهد داشت. همچنین با استفاده از تجزیه AMMI، ژنوتیپ های با سازگاری و پایداری عمومی و خصوصی تعیین می شوند (Ebdon and Gauch, 2002). ال- ناگار و همکاران (Al-Naggar *et al.*, 2018) در مقایسه روش های مختلف برای ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ های سورگوم در محیط های مختلف در مصر گزارش کردند که روش های AMMI و GGE-biplot مناسب ترین مدل ها برای ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط هستند. در آزمایش ایشان تجزیه واریانس AMMI نشان داد که اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بر عملکرد سورگوم در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود و بر اساس مدل امی، ژنوتیپ های ICSB-20 و BTX TSC-20 و ICSB-1808 را به عنوان ژنوتیپ هایی با عملکرد و پایداری بالا معرفی کردند، در حالی که ژنوتیپ های ICSB-8001 و BTX-407 علی رغم داشتن بالاترین پایداری، عملکرد متوسطی داشتند. خزائی و همکاران (Khazaei *et al.*, 2020) در ارزیابی پایداری لاین های دو منظوره سورگوم دانه ای و علوفه ای گزارش کردند که دو مؤلفه اصلی برای عملکرد دانه، عملکرد علوفه خشک و عملکرد زیستی معنی دار بود و برای عملکرد دانه دو مؤلفه اول ۶۷/۸ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را توجیه کردند. با توجه به مدل AMMI و پارامتر ارزش پایداری امی (ASV)، لاین های شماره ۲ (KDFGS6) و ۳ (KDFGS9) با

سورگوم [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] با توجه به ویژگی های مورفولوژیک و فیزیولوژیک منحصر به فرد، به عنوان شاخص گیاهان زراعی متحمل به خشکی معرفی شده است و نسبت به سایر گیاهان، نیاز آبی کمتری دارد (Ehdaei, 2004). سطح زیر کشت سورگوم در جهان حدود ۴۴ میلیون هکتار است که ۹۰ درصد این سطح زیر کشت را ارقام دانه ای به خود اختصاص داده اند. بنابراین سورگوم در دنیا در درجه اول به عنوان یک غله مطرح است. سطح زیر کشت سورگوم در ایران ۴۴ هزار هکتار است (FAO, 2019). سورگوم در بعضی از کشورها از جمله سودان در مقام اول و در ایالات متحده آمریکا بعد از گندم و ذرت در مقام سوم قرار دارد (Smith *et al.*, 2000).

برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای محققین علوم اصلاح نباتات دارای اهمیت ویژه ای است و یکی از مسائل پیچیده برنامه های به نژادی برای تهیه ژنوتیپ پر محصول و پایدار به شمار می رود (Yanet *et al.*, 2007; Gauch, 2006). آگاهی از ماهیت ژنوتیپ × محیط به به نژادگر کمک می کند تا بتوانند ژنوتیپ ها را با دقت بیشتری ارزیابی و ژنوتیپ های برتر از نظر پایداری و عملکرد بالا را انتخاب کنند (Roy, 2000). مهم ترین مسئله که تحت اثر متقابل ژنوتیپ و محیط قرار می گیرد، مسئله سازگاری به شرایط محیط است. وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط نشان دهنده این است که بهترین ژنوتیپ در یک محیط ممکن است در محیط دیگر بهترین ژنوتیپ نباشد (Perkins and Jinks, 1974). به طور کلی به ارقامی سازگار اطلاق می شود که در دامنه ای از محیط ها، ضمن داشتن عملکرد بالا، پایدار نیز باشند. ارقام با سازگاری وسیع در یک سری از محیط ها عملکرد متوسط و پایدار دارند، ولی ارقامی که به طور منحصر در شرایط مطلوب، از عملکرد بالایی برخوردارند در شرایط نامساعد، دارای عملکرد ضعیفی هستند و به عنوان ارقام با سازگاری محدود شناخته می شوند (Lina and Binns, 1991).

تجزیه پایداری مهم ترین روشی است که برای پی بردن به ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ و محیط کاربرد دارد و با توجه به آن می توان ارقام پایدار و سازگار را شناسایی و مورد استفاده قرار داد. در صورت وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، برای گزینش و اصلاح ژنوتیپ ها به ترتیب در هنگام گزینش نیاز به همبستگی معنی دار ارزش های

پایداری بالا، مناسب‌ترین لاین‌ها به‌منظور ارقام دو منظوره با اولویت تولید دانه و لاین‌های شماره ۹ (KDFGS26) و ۱ (KDFGS4) مناسب‌ترین لاین‌ها به‌عنوان ارقام دو منظوره با اولویت تولید علوفه معرفی شدند. هدف از اجرای پژوهش حاضر نیز استفاده از روش AMMI برای ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط و تعیین پایدارترین ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

برای ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تعیین پایداری لاین‌های امید بخش سورگوم دانه‌ای، ۱۰ لاین سورگوم دانه‌ای (کیمیا، پیام، سپیده، KGS15، KGS19، KGS23، KGS25، KGS27، KGS32 و KGS36) در مجموع در ۱۴ محیط در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس آزمون خاک، نیاز کودی تعیین گردید. تمام فسفر و پتاسیم مورد نیاز در زمان شخم توزیع شد. میزان کود فسفات آمونیوم ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار و ۱۰۰ کیلوگرم اوره در زمان کاشت و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره زمانی که ارتفاع بوته‌ها به ۴۰ - ۳۵ سانتی‌متر رسید، توزیع شد (Khazaei *et al.*, 2019). هر کرت شامل ۴ خط ۵ متری با فواصل ردیف ۶۰ سانتی‌متر و فواصل بوته‌ها ۱۰ سانتی‌متر بود.

در طول دوره رشد، صفات مهم زراعی از قبیل تعداد روز تا گل‌دهی (از کاشت تا ۵۰ درصد گل‌دهی) تعداد روز تا رسیدگی (معیار رسیدگی فیزیولوژیک آشکار شدن نقطه سیاه در نقطه‌ای که بذر به لگوم چسبیده است و رسیدگی کامل زمانی است که رطوبت بذر به ۱۴ تا ۱۶ درصد رسیده باشد)، ارتفاع گیاه (از سطح خاک تا انتهای خوشه)، طول خوشه (از انتهای اولین انشعاب فرعی تا انتهای خوشه)، قطر ساقه، وزن علوفه تر و خشک، وزن خوشه و عملکرد زیستی یادداشت‌برداری به عمل آمد. بعد از برداشت نیز عملکرد دانه و وزن هزار دانه تعیین شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، دو خط میانی پس از حذف حاشیه برداشت شد. در پایان سال دوم و پس از جمع‌آوری داده‌ها، ابتدا همگنی واریانس خط‌های آزمایشی با آزمون بارلت بررسی و سپس تجزیه مرکب داده‌ها انجام شد.

به‌منظور بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها نیز از روش AMMI استفاده شد و شاخص‌های پایداری از قبیل

شاخص ارزش پایداری امی (ASV)، ارزش پایداری امی تغییر یافته (MASV)، ضریب فاصله (DZ)، مجموع نمره‌های محورهای مؤلفه‌ها (SIPC)، مقدار ویژه پارامتر پایداری (EV) و قدر مطلق سهم نسبی IPC در برهمکنش (ZA) طبق روابط ارائه شده در جدول ۱ با استفاده از برنامه AMMI stability در نرم‌افزار R محاسبه شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با نرم‌افزار SAS 9.0 (SAS Institute, 1996) و تجزیه پایداری با نرم‌افزار GENSTAT 12.0 (Payane *et al.*, 2009) انجام شد. برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای از تجزیه خوشه‌ای با معیار فاصله اقلیدوسی بر اساس داده‌های استاندارد شده استفاده شد و روش حداقل واریانس Ward به‌دلیل ارائه بهترین دندروگرام (عدم وجود حالت پله‌ای یا زنجیره‌ای)، انتخاب شد. برش دندروگرام نیز بر اساس بیش‌ترین فاصله بین دو ادغام متوالی انجام شد.

نتایج و بحث

برای آزمون یکنواختی با آزمون بارلت ابتدا برای هر سال و مکان یک تجزیه واریانس جداگانه انجام شد. چون ۱۴ آزمایش جداگانه داشتیم پس ۱۴ آزمایش تجزیه واریانس انجام شد. برای سهولت کار، جدول ۲ تهیه و بر اساس آن مقدار کی‌دو (χ^2 ; Chi square) محاسبه شد. مقدار χ^2 محاسبه شده (۱۸/۹۰) کوچک‌تر از χ^2 جدول (۲۸/۹) بود و بنابراین χ^2 محاسبه شده معنی‌دار نیست، به این معنی که بین واریانس اشتباهات آزمایشی اختلاف معنی‌دار وجود ندارد و واریانس‌ها یکنواخت هستند. به این ترتیب، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها انجام و نتایج در جدول ۳ ارائه شد. مورد مطالعه در دو سال انجام آزمایش در سطح احتمال یک درصد دارای تفاوت معنی‌دار بودند و همچنین صفات مورد بررسی در مکان‌های مختلف در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری نشان دادند. صفات در اثر متقابل سال و مکان اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد داشتند. ارقام و لاین‌ها از لحاظ صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان دادند. اثر متقابل سال و ژنوتیپ از لحاظ ارتفاع گیاه و تعداد برگ در بوته در سطح احتمال ۵ درصد و از لحاظ وزن هزار دانه و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد دارای تفاوت معنی‌دار بودند. اثر متقابل ژنوتیپ و مکان و همچنین اثر متقابل سه گانه ژنوتیپ، مکان و

درصد معنی دار بودند. وجود اختلاف معنی دار بین محیطها نشان دهنده این امر است که مکانهای مورد مطالعه برای کشت لاینهای سورگوم دانه‌ای از لحاظ شرایط محیطی اختلاف داشتند و معنی دار بودن اثر اصلی ژنوتیپ نیز نشان دهنده پاسخهای مختلف لاینها در محیطهای مختلف بود. معنی دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان می‌دهد که ژنوتیپها در واکنش به محیطها دارای نوساناتی بودند.

سال از لحاظ همه صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی داری نشان دادند. معنی دار بودن اثر محیط نشان می‌دهد که محیطها از نظر عملکرد ژنوتیپها با هم اختلاف دارند و معنی دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان دهنده این است که تفاوت عملکرد نسبی بین ژنوتیپها از محیطی به محیط دیگر اختلاف دارد. با توجه به جدول تجزیه واریانس آثار اصلی ژنوتیپ و محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال یک

جدول ۱- شاخصهای پایداری ارزیابی شده برای ژنوتیپهای سورگوم دانه‌ای در این مطالعه

Table 1. Evaluated stability indices for grain sorghum genotypes in this research

Code	Index	Formula	Reference
1	AMMI stability value (ASV)	$ASV = \sqrt{\left[\frac{SSIPC1}{SSIPC2} (IPC1) \right]^2 + (IPC2)^2}$	Purchase, 1997
2	Modified AMMI stability value (MASV)	$MASV = \sum_{n=1}^{N_t-1} \left(\frac{SSIPC_n}{SSIPC_{n+1}} \times PC_n \right)^2 + (PC_{N'})^2$	Zali <i>et al.</i> , 2012
3	Sum of IPCs scores (SIPC)	$SIPC = \sum_{n=1}^N \lambda_n^{0.5} \gamma_{in}$	Sneller, 1997
4	Eigen value (EV) Stability parameter of AMMI	$EV = \sum_{n=1}^N \gamma_{in}^2 / n$	Zobel, 1988
5	Absolute value of the relative contribution of IPCs to the interaction (ZA)	$Z_{ai} = \sum_{n=1}^N \theta_n \gamma_{in} $	Zali <i>et al.</i> , 2012
6	Distance coefficient	$DZ = \sqrt{\sum_{i=1}^n \gamma_{in}^2}$	Zhang <i>et al.</i> , 1998

جدول ۲- آزمون یکنواختی واریانس اشتباه آزمایشی بر اساس آزمون بارتلت

Table 2. Experimental error variance uniformity test based on Bartlett test

Environmet	df _{Ei}	SS _{Ei}	S ² _{Ei}	LnS ² _{Ei}	df _{Ei} LnS ² _{Ei}
1	18	28979621.4	1609978.9	14.29	257.25
2	18	25746088.3	1430338.2	14.17	255.06
3	18	20302377.13	1127909.8	13.94	250.85
4	18	1524403.5	846890.08	13.65	245.68
5	18	3008359.9	167131.11	12.03	216.54
6	18	470898.45	261161.03	12.47	224.50
7	18	1309935.9	720774.2	13.48	242.78
8	18	40813192.1	2267399.6	14.93	268.74
9	18	1114377.7	61909.9	11.53	207.54
10	18	22496092.8	1249782.9	14.94	268.90
11	18	39095955.5	2171997.5	14.59	262.60
12	18	1310949.4	72830.5	11.20	201.53
13	18	4193978.1	232998.8	12.96	233.28
14	18	3615983.2	2000887.9	14.51	261.16
Total	252	193982213.4	769770.7	-	3396.41

$$C = 1 + 1/3(14-1) = 1.03$$

$$X^2 = 1/C(252 \ln S^2_{Ei} - df_{Ei} \ln S^2_{Ei}) = 1.04(252 \ln 769770.7 - 3396.1) = 18.90^{ns} < X^2(df=18, \alpha = \%5) = 29.9$$

تجزیه مرکب داده‌ها فقط اطلاعاتی در مورد وجود یا عدم وجود برهمکنش ژنوتیپ × محیط ارائه می‌دهد و در مورد پایداری و شناسایی ژنوتیپ‌ها اطلاعاتی ارائه نمی‌کند. در چنین شرایطی انتخاب بر اساس عملکرد برای این ژنوتیپ‌ها کافی نیست و برای حصول عملکرد مطلوب دانه نیاز به ژنوتیپ‌هایی است که سازگاری خوبی با شرایط محیطی مورد آزمایش داشته باشند. برای تشخیص ژنوتیپی که سازگاری وسیعی با محیط‌های مختلف داشته و در عین حال عملکرد قابل قبولی در این مناطق داشته باشد، باید سازگاری و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها را در محیط‌های مختلف بررسی کرد. روش‌های مختلفی برای بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط (G×E) وجود دارند که به‌طور کلی می‌توان آن‌ها را به دو گروه اصلی شامل روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره تقسیم کرد. در میان روش‌های چند متغیره، مدل آثار اصلی افزایشی و اثر متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) روش کارآمدی برای حذف خطا و آشکارسازی الگوی مناسب داده‌ها است (Abamuf

and Allurik, 1998). در این تحقیق نیز برای بررسی ماهیت برهمکنش ژنوتیپ × محیط از روش AMMI استفاده شد. نتایج نشان داد که اثر ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط به‌همراه پنج مؤلفه اصلی اثر متقابل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴). معنی‌دار بودن اثر متقابل، نشان‌دهنده اختلاف بین ترکیب‌های مختلف ژنوتیپ و محیط و معنی‌دار بودن مدل بیانگر برازش خوب مدل امی (AMMI) با داده‌ها بود و از این نظر با تحقیقات فرشادفر (Farshadfar, 2008) و د-ویتا و همکاران (De Vita et al., 2010) مطابقت داشت. همچنین، پنج مؤلفه اصلی اثر متقابل در مجموع ۹۳/۶۱ درصد از مجموع مربعات برهمکنش G×E را توجیه کردند و سهم عوامل باقیمانده نیز ۶/۳۸ درصد بود. اولین مؤلفه اصلی (IPCA1) ۲۸/۰۷ درصد از تنوع اثر متقابل را توجیه کرد و مؤلفه‌های بعدی به‌ترتیب با بیان ۲۰/۴، ۱۹/۵۵، ۱۵/۴۸ و ۱۰/۱ درصد از تنوع G×E در درجات بعدی اهمیت قرار گرفتند (جدول ۴).

جدول ۳- میانگین مربعات ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای در دو سال و هفت مکان (۹۹-۱۳۹۸)

Table 3. Mean squares of grain sorghum genotypes in two years and seven locations (2019 -2020)

Source of variations	df	Plant height	Stem diameter	No. of leaves per plant	Biological yield	Panicle length	1000 grain weight	Grain yield
Year (Y)	1	921.4**	1.25**	0.6**	1204.0**	55.0**	1.8**	4681.2
Location (L)	6	13649.4**	26.61**	30.6**	4144.8**	1599.0**	433.4**	191479098.1**
Y×L	6	2495.2**	2.35**	28.5**	4328.1**	47.3**	147.1**	169454402.6**
Replication (Y×L)	28	69.3	0.05	1.5	19.0	5.7	4.0	1462702.9
Genotype (G)	9	1978.7**	1.10**	23.7**	164.4**	271.5**	269.2**	1473835.5**
G×Y	9	54.3*	0.05 ^{ns}	1.3*	31.0 ^{ns}	6.4 ^{ns}	25.3*	3513125.4**
G×L	54	413.5**	0.20**	6.0**	103.6**	56.4**	50.5**	4871903.7**
G×L×Y	54	116.3**	0.07**	1.2**	68.1**	10.5**	22.4**	323639.6**
Error	252	28.4	0.03	0.6	17.6	6.9	2.2	769770.7

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- تجزیه AMMI برای ارزیابی ۱۰ ژنوتیپ سورگوم دانه‌ای در ۷ مکان و طی دو سال

Table 4. AMMI analysis to evaluate 10 promising lines of grain sorghum in 7 locations and during two years

Source of variations	df	Sum of squares	Mean squares	Genotypexenvironment interaction (%)
Total	419	3002645915	7166219	-
Genotypes	9	132640712	14737857**	-
Environment	13	2165601304	166584716**	-
G × E	117	469465847	4012529**	-
IPCA1	21	131771288	6274823**	28.07
IPCA2	19	95809867	5042625**	20.41
IPCA3	17	91765306	5397959**	19.55
IPCA4	15	72676624	4845108**	15.48
IPCA5	13	47484839	3652680**	10.11
Residual	32	29957923	936185 ^{ns}	6.38
Error	252	193982140	769770	

^{ns} and **: Not-significant and significant at 1% probability level, respectively.

ژنوتیپ شناخته شد. از لحاظ ASV، ژنوتیپ ۶ با بالاترین میزان عملکرد دانه (۷۳۷۹ کیلوگرم در هکتار) بعد از ژنوتیپ‌های ۷ و ۳ قرار گرفت (جدول ۵). به نظر می‌رسد که ژنوتیپ شماره ۷ سازگاری عمومی به شرایط مختلف را دارد و برای کشت در شرایط نامساعد هم قابل توصیه می‌باشد. از لحاظ ارزش پایداری امی تغییر یافته (MASV) ژنوتیپ‌های ۷ و ۳ با پایین‌ترین نمره، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند و نتایج مربوط به ارزش پایداری امی (ASV) را مورد تأیید قرار داد. بر اساس شاخص مجموع نمره‌های محورهای مؤلفه‌ها (SIPC)، ژنوتیپ‌های ۷، ۸، ۶ و ۳ و از نظر شاخص ضریب فاصله (DZ) ژنوتیپ‌های ۸، ۳ و ۷ به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. در نهایت، از نظر شاخص مقدار ویژه پارامتر پایداری (EV) ژنوتیپ‌های ۷، ۳ و ۱۰ و از نظر شاخص قدر مطلق سهم نسبی IPC در برهمکنش (ZA) ژنوتیپ‌های ۷، ۸، ۳ و ۶ پایدارتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۵).

به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار، شاخص‌های مختلف پایداری محاسبه و در جدول ۵ ارائه شد. ژنوتیپ‌های دارای مقادیر اولین مؤلفه اصلی (IPCA1) بزرگ (مثبت یا منفی) اثر متقابل بالایی با محیط دارند، درحالی‌که ژنوتیپ‌ها و محیط‌های دارای مقادیر اولین مؤلفه اصلی نزدیک به صفر دارای اثر متقابل کم‌تری هستند. بنابراین ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۷ با کم‌ترین مقدار IPCA1، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا معرفی می‌شوند. از نظر ارزش پایداری AMMI (ASV)، ژنوتیپی پایدار است که ASV کم‌تری داشته باشد. بسیاری از محققین در بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط، پارامتر ASV را به‌علت صحت و دقت بیش‌تر آن به‌عنوان پارامتر مهم پایداری معرفی کرده‌اند. در این آزمون ژنوتیپ شماره ۷ با کم‌ترین مقدار ارزش پایداری AMMI (ASV) به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ و ژنوتیپ شماره ۱ با بیش‌ترین مقدار ASV به‌عنوان ناپایدارترین

جدول ۵- مؤلفه‌های اصلی اول تا پنجم و شاخص‌های پایداری برای ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای

Table 5. First to fifth principal components and stability indices for grain sorghum genotypes

No.	Genotype	Grain yield (kg/ha)	IPCA1	IPCA2	IPCA3	IPCA4	IPCA5
1	Kimiya	6125	-29.67	7.25	-39.20	28.85	-14.62
2	Payam	5628	3.76	53.81	14.46	-29.34	-15.69
3	Sepideh	6466	24.35	4.49	15.06	25.60	2.36
4	KGS15	6804	-35.10	-17.54	39.10	17.96	11.50
5	KGS19	6157	43.03	-19.37	-32.06	-4.13	0.20
6	KGS23	7379	21.86	17.71	5.29	7.90	40.87
7	KGS25	5750	-1.71	-3.10	11.07	3.43	-32.61
8	KGS27	5634	19.58	-21.36	12.79	3.13	-16.84
9	KGS32	5535	-14.97	-33.10	-0.32	-45.73	7.17
10	KGS36	5944	-31.12	11.20	-26.21	-7.66	17.66

The full titles of the indices are presented in the Table 1.

Table 5. Continued

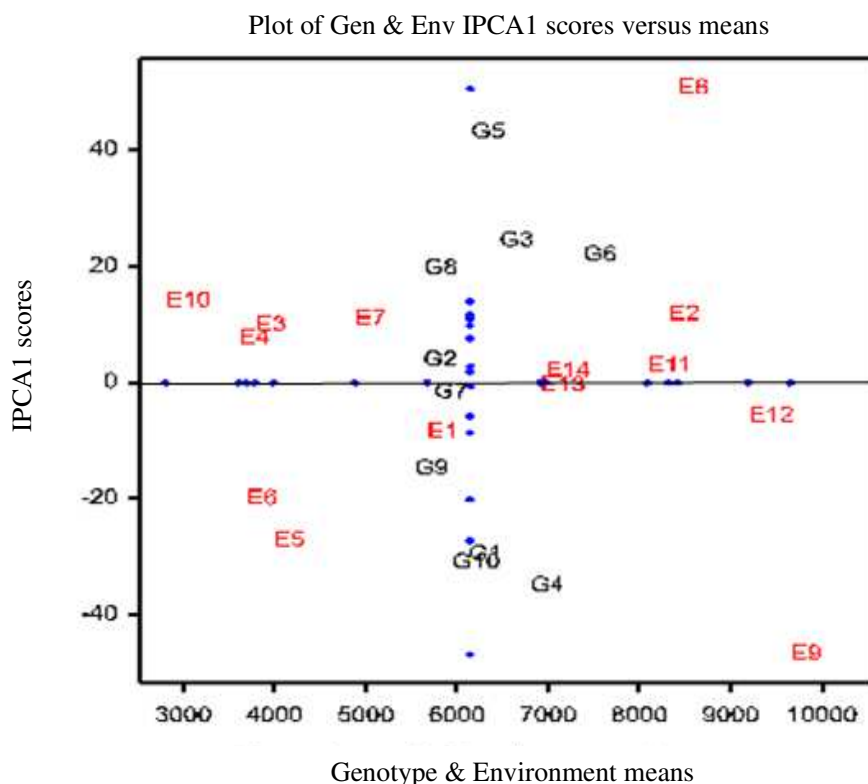
جدول ۵- ادامه

No.	Genotype	ASV	MASV	SIPC (Da)	DZ	EV	ZA
1	Kimiya	121.57	84.71	4424.77	0.80	0.13	0.31
2	Payam	53.81	98.41	4778.23	0.89	0.16	0.29
3	Sepideh	24.75	54.45	2923.37	0.52	0.05	0.20
4	KGS15	39.22	83.40	4542.90	0.79	0.12	0.33
5	KGS19	47.16	76.94	4489.57	0.73	0.11	0.30
6	KGS23	28.07	57.34	3471.09	0.75	0.11	0.22
7	KGS25	3.53	37.54	2745.26	0.54	0.06	0.10
8	KGS27	28.99	48.03	2682.76	0.49	0.05	0.19
9	KGS32	36.29	89.05	4263.03	0.82	0.13	0.26
10	KGS36	33.09	60.93	3529.19	0.62	0.08	0.25

The full titles of the indices are presented in the Table 1.

در مدل AMMI روابط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و اختلاف در پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها نسبت به محیط‌های مختلف را می‌توان به شکل مطلوبی با استفاده از بای‌پلات (Biplot) ارزیابی کرد. مزیت این گراف‌ها این است که روابط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها را قابل مشاهده می‌کند و بر این اساس می‌توان ژنوتیپ‌های مناسب هر یک از مناطق را معرفی کرد. بای‌پلات مدل AMMI در شکل ۱ ارائه شده است. محور افقی نمایانگر آثار اصلی جمع‌پذیر یا میانگین عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار و محور عمودی اثرات متقابل ضرب‌پذیر یا IPCA1 است. با توجه به این شکل، محور عمودی که از میانگین کل ژنوتیپ‌ها عبور می‌کند، ژنوتیپ‌ها را به دو گروه ژنوتیپ‌های با عملکرد بیشتر از میانگین و کم‌تر از

میانگین کل تقسیم کرد. محور افقی که از نقطه صفر محور IPCA1 عبور کرده است نیز نمودار را به دو قسمت تقسیم کرد. ژنوتیپ‌هایی که در قسمت بالایی این محور قرار گرفتند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های با اثر متقابل مثبت شناخته شدند و ژنوتیپ‌هایی که نزدیک محور IPCA1 بودند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های با کم‌ترین اثر متقابل معرفی شدند. بر این اساس ژنوتیپ‌های ۵ و ۴ به ترتیب بیش‌ترین اثر متقابل مثبت و منفی داشتند. هر چند این ژنوتیپ‌ها عملکرد دانه بالایی داشتند، اما به‌عنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار شناخته شدند. ژنوتیپ‌های ۲ و ۷ به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار انتخاب شدند و بر اساس مدل AMMI قابل توصیه به همه مناطق هستند.

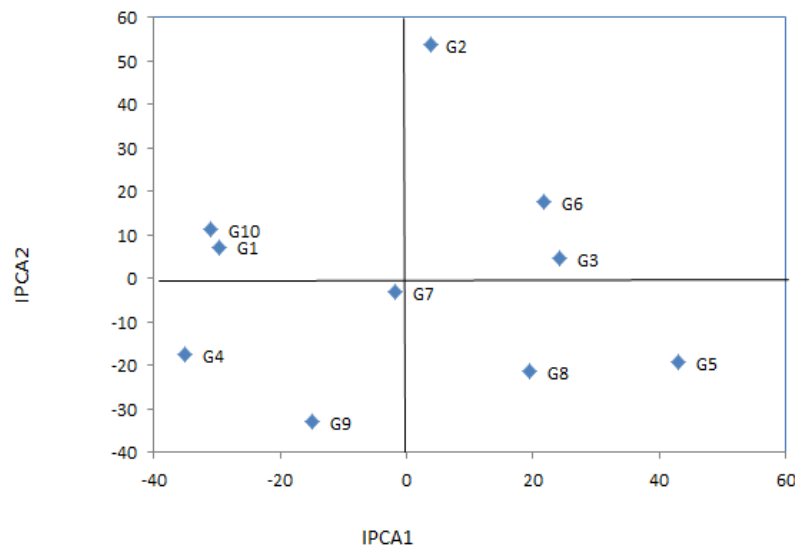


شکل ۱- بای‌پلات (Biplot) مدل AMMI1 برای ۱۰ ژنوتیپ سورگوم دانه‌ای در ۱۴ محیط مختلف
Figure 1. Biplot of AMMI1 model for 10 grain sorghum genotypes in 14 different locations

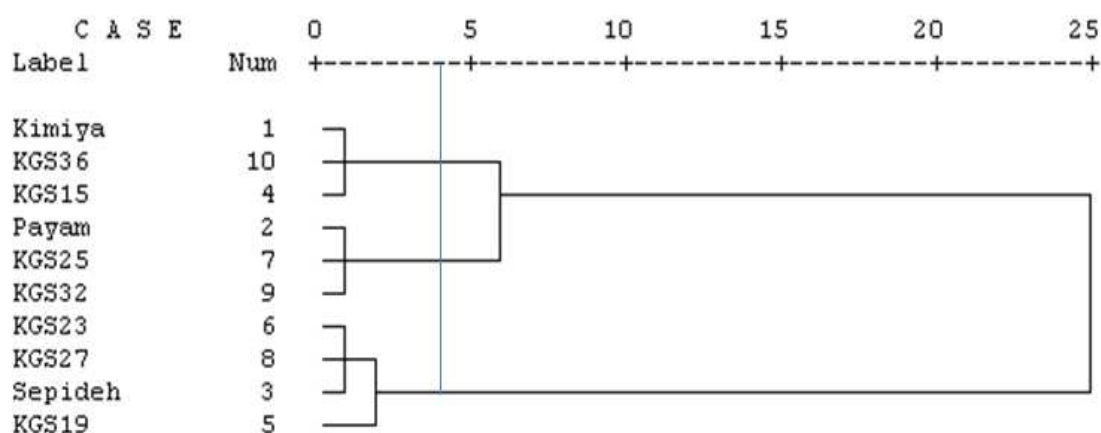
این روش جهت ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های مختلف گندم دوروم استفاده کردند. مقدم و همکاران (Moghaddam *et al.*, 2014) نیز برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در ژنوتیپ‌های بدون خار گلرنگ از روش AMMI و ضرایب مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل (IPCA) استفاده و ارقام گلرنگ ایرانی ۴۱۱، ۴۰۲، ۴۰۴ و ۴۰۷ را به‌عنوان ارقام پایدار و دارای عملکرد برتر معرفی کردند. خزائی و همکاران (Khazaei *et al.*, 2019) نیز با استفاده از روش AMMI ژنوتیپ‌های سورگوم علوفه‌ای سازگار به محیط‌های مختلف را شناسایی و ژنوتیپ‌های واقع در مرکز بای‌پلات را دارای اثر متقابل نزدیک به صفر و پایداری عمومی بیش‌تر معرفی کردند.

به‌منظور تجزیه واکنش ژنوتیپی (استفاده هم‌زمان از تفکیک‌های دسته‌بندی و برداریابی) و بررسی دقیق‌تر پایداری ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، تجزیه خوشه‌ای بر اساس مقادیر اولین مؤلفه اصلی ژنوتیپ‌ها و همچنین محیط‌ها انجام شد (شکل ۳). تجزیه خوشه‌ای بر اساس مقادیر اولین مؤلفه اصلی (عملکرد دانه)، ژنوتیپ‌ها را در سه گروه متفاوت از نظر عملکرد و مشابه از نظر پایداری گروه‌بندی کرد. گروه اول شامل ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۱۰ و ۴ دارای عملکرد متوسط، گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۷ و ۹ دارای عملکرد پایین و گروه سوم شامل ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۶، ۸ و ۵ دارای عملکرد بالا بودند (شکل ۳).

نمودار بای‌پلات بر اساس مؤلفه‌های اصلی IPCA1 و IPCA2 در شکل ۲ ارائه شده است. بر مبنای این شکل نیز ژنوتیپ‌هایی که در قسمت بالا و سمت راست نمودار قرار گرفته‌اند، اثر متقابل مثبت با هر دو محور IPCA1 و IPCA2 و ژنوتیپ‌هایی که در قسمت پایین و سمت چپ نمودار قرار گرفته‌اند، اثر متقابل منفی نسبت به هر دو محور IPCA1 و IPCA2 دارند. با توجه به این که اثر متقابل توجه شده توسط IPCA1 بیش‌تر از اثر متقابل توجه شده به وسیله IPCA2 است، بنابراین ژنوتیپ‌هایی که اثر متقابل مثبت یا منفی بالایی نسبت به IPCA1 در مقایسه با محور IPCA2 داشته باشند، به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با اثر متقابل بالا شناخته می‌شوند. در مقابل، ژنوتیپ‌هایی که به مرکز نمودار نزدیک‌تر هستند، نسبت به هر دو محور IPCA1 و IPCA2 اثر متقابل کم‌تری دارند. در حقیقت، ژنوتیپ‌های دورتر از مرکز، پایداری خصوصی دارند و برعکس، ژنوتیپ‌های نزدیک به مرکز نمودار از پایداری عمومی برخوردارند و قابل توصیه برای بیش‌تر محیط‌ها هستند (Gauch and Zobel, 1996). بنابراین، ژنوتیپ ۷ با کم‌ترین مقدار اثر متقابل نسبت به هر دو محور به‌عنوان ژنوتیپ پایدار شناخته شد و ژنوتیپ‌های ۲ و ۹ بالاترین اثر متقابل را داشتند. توحیدی و همکاران (Tohidi *et al.*, 2015) از بای‌پلات AMMI به‌منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های گندم نان در محیط‌های مختلف و فلاحی و همکاران (Fallahi *et al.*, 2011) از



شکل ۲- بای‌پلات (Biplot) مدل AMMI2 برای ۱۰ ژنوتیپ سورگوم دانه‌ای در ۱۴ محیط مختلف
Figure 2. Biplot of AMMI2 model for 10 grain sorghum genotypes in 14 different locations



شکل ۳- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای به منظور گروه‌بندی ۱۰ ژنوتیپ سورگوم دانه‌ای بر اساس اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل (عملکرد دانه)

Figure 3. Dendrogram of the cluster analysis for grouping 10 grain sorghum genotypes based on the first principal components of interaction (grain yield)

نتیجه‌گیری کلی

تجزیه واریانس مرکب حاکی از معنی‌دار بودن اثر سال، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × سال برای صفت عملکرد دانه بود. معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ، تنوع ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی از نظر صفت عملکرد دانه را نشان داد. در شرایط محیطی، متغییر پایداری، نسبت به پتانسیل عملکرد، دارای اهمیت بالاتری است و ارقام پایدار نسبت به ارقام با عملکرد بالا در بعضی از محیط‌ها ترجیح داده می‌شوند. با توجه به مدل AMMI و پارامتر ارزش پایداری امی (ASV)، ژنوتیپ ۷ با کم‌ترین مقدار اثر متقابل نسبت به دو محور به‌عنوان ژنوتیپ پایدار شناخته شد و ژنوتیپ‌های ۲ و ۹ بالاترین مقادیر اثر متقابل را داشتند. ژنوتیپ ۶ با بالاترین میزان عملکرد دانه (۷۳۷۹ کیلوگرم در هکتار) با توجه به پارامتر ASV بعد از ژنوتیپ‌های ۷ و ۳ قرار گرفت. از لحاظ شاخص‌های پایداری دیگر نیز ژنوتیپ‌های ۷ و ۳ به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی و معرفی شدند.

سپاسگزاری

این مقاله از طرح تحقیقاتی با عنوان "ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد دانه در لاین‌های امید بخش سورگوم دانه‌ای" با شماره مصوب ۹۷۰۳۳۶-۵۱-۰۳-۰۳-۰۳-۰۳

استخراج شده است که در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر اجرا شد. بدین وسیله از همکاری و مساعدت مسئولین محترم مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و مراکز تحقیقاتی همکار تشکر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

- Abamuf, J. and Allurik A. 1998.** AMMI analysis of rainfed lowland rice (*Oriza sativa*) traits in Nigeria. **Plant Breeding** 117: 395-397.
- Al-Naggar, A. M. M., Abd El-Salam, R. M., Asran, M. R. and Yaseen, Y. S. 2018.** Yield adaptability and stability of grain sorghum genotypes across different environments in Egypt using AMMI and GGE-biplot models. **Annual Research & Review in Biology** 23 (3): 1-16.
- Crossa, J. 1990.** Statistical analyses of multilocation trials. **Advances in agronomy** 44: 55-85.
- De Vita, P., Mastrangelo, A. M., Matteua, L., Mazzucotelli, E., Virzic, N., Paloboc, M., Stortod, M., Rizzab, F. and Cottivellia, L. 2010.** Genetic improvement effects on yield stability in durum wheat genotypes grown in Italy. **Field Crops Research** 119 (1): 68-73.
- Ebdon, J. S. and Gauch, H. G. 2002.** Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turf grass performance trials. II. Cultivar recommendations. **Crop Science** 42: 497-506.
- Ehdaei, B. 2004.** Plant breeding. Shahid Chamran University Press.
- FAO. 2019.** FAO statistical database. Available at <http://faostat.fao.org>.
- Fallahi, H. A., Alat Jafarbye, J. and Seyyedi, F. 2001.** Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. **Seed and Plant Improvement Journal** 27-1: 15-22. (In Persian with English Abstract).
- Farshadfar, E. 2008.** Incorporation of AMMI stability value and grain yield in single non-parametric index (GSS) in bread wheat. **Pakistan Journal of Biological Sciences** 11: 1791-1796.
- Gauch, H. G. 2006.** Model selection and validation for yield trials with interaction. **Biometrics** 44: 705-715.
- Gauch, H. G. and Zobel, R. W. 1996.** AMMI analysis of yield trials. In: Kang, M. S. and Gauch, H. G. Jr. (Eds.), *Genotype-by-environment interaction*. CRC Press, Boca Roton. pp: 85-122.
- Khazaei, A., Shiri, M. R., Torabi, M., Ghasemi, A., Beheshti, A. R. and Azarinasrabad, A. 2020.** Genotype × environment and grain and forage yield stability of promising lines of dual purpose sorghum. **Seed and Plant Improvement** 36:51 -70. (In Persian with English Abstract).
- Khazaei, A., Torabi, M., Mokhtarpour, H. and Beheshti, A. R. 2019.** Evaluation of yield stability of forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] using AMMI analysis. **Iranian Journal of Crop Sciences** 21 (3): 225-236. (In Persian with English Abstract).
- Lin, C. and Binns, M. R. 1991.** Genetic properties of four types of stability parameter. **Theoretical and Applied Genetics** 82: 505-509.
- Moghaddam, M. J., Torbaghanb, M. E. and Mirzaee, A. 2014.** Analysis of genotypes × environment interaction for seed yield in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. **Crop Breeding Journal**. 4(1): 47-54. (In Persian with English Abstract).
- Payane, R. W., Harding, S. A., Murray, D. A., Sotar, D. M., Baird, D. B., Glaser, A. I., Channing, I. C., Welham, S. J., Gilmour, A. R., Thompson, R. and Webster, R. 2009.** The guide to Genstat Release 12. VSN International, 5 the Waterhouse, Waterhouse Street, Hemel Hemstead, Hertfordshire HP1 1ES, UK.
- Perkins, J. M. and Jinks, J. L. 1971.** Environmental and genotype environmental components of variability. III. Multiple lines and crosses. **Heredity** 23: 339-356.
- Pham, H. N. and Kang, M. S. 1988.** Inter-relationships among and repeatability of several stability statistics estimated from international maize trials. **Crop Science** 28: 925-928.
- Purchase, J. L. 1997.** Parametric analysis to describe genotype × environment interaction and yield stability in winter wheat. Ph. D. Dissertation, Faculty of Agriculture, University of the Free State, Bloemfontein, South Africa.
- Rodrigues, P. C., Malosetti, M. Gauch, H. G. and van Eeuwijk, F. A. 2014.** A weighted AMMI algorithm to study genotype-by-environment interaction and QTL-by-environment interaction. **Crop Science** 54 (4): 1555-1570.
- Roy, D. 2000.** Plant breeding: Analysis and exploitation of variation. Alpha Science International Ltd., U.K.

- Sneller, C. H., Kilgore-Norquest, L. and Dombek, D. 1997.** Repeatability of yield stability statistics in soybean. *Crop Science* 71: 383-390.
- Tohidi, B., Mohammadi Nejad, Gh., Nakhoda, B. and Sabouri, H. 2015.** Evaluation of grain yield stability of recombinant inbred lines in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) based on AMMI method. *Journal of Plant Production Research* 22 (2): 189-202. (In Persian with English Abstract).
- SAS Institute. 1996.** SAS/STAT users guide. V. 6, 4th ed. SAS Institute, Cary, NC.
- Smith, C. W. and Frederiksen, R. A. 2000.** Sorghum: Origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S. and Cornelius, P. L. 2007.** GGE biplot vs AMMI analysis of genotypes-by-environment data. *Crop Science* 47: 643-655.
- Yan, W. and Kang, M. S. 2003.** GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomist. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Zali, H., Farshadfar, E., Sabaghzadeh, S. H. and Karimzadeh, R. 2012.** Evaluation of genotypexenvironment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI method. *Annals of Biological Research* 3 (7): 3126-3136.
- Zhang, Z., Lu, C. and Xiang, Z. H. 1998.** Analysis of variety stability based on AMMI model. *Acta Agronomica Sinica* 24: 304-309.
- Zobel, R. W., Wright, A. J. and Gaugh, H. G. 1988.** Statistical analysis of a yield trail. *Agronomy Journal* 80: 388-393.



Evaluation of the yield stability of grain sorghum genotypes using AMMI analysis in different regions of Iran

Azim Khazaei^{1*}, Farid Golzardi¹, Masoud Torabi², Mohammad Taghi Fyzbakhsh³, Ali Azari Nasrabad⁴, Ahmad Ghasemi⁵, Leila Nazari⁶ and Mehdi Motaghi⁷

Received: February 20, 2021

Accepted: April 20, 2021

Abstract

Studying the interaction of genotype \times environment and identifying high-yielding and stable cultivars is very important for breeders. In this research, the yield stability and compatibility of ten grain sorghum genotypes were evaluated in seven regions of Iran, Karaj, Gorgan, Birjand, Isfahan, Shiraz, Hamadan and Zabol, during two years (2019-2020). The experiment was performed as randomized complete block design with three replications in all years and regions. The results of combined analysis of variance showed that the effect of location, year and genotype and all their interactions on grain yield significant at 1% probability level. The results of AMMI analysis also showed that the main effect of genotype, environment and interaction of genotype \times environment as well as the first five main components of interaction on grain yield were significant ($p \leq 0.01$). In total, the cumulative share of the five main components was 93.61%. Genotypes 5 and 4 had the most positive and negative interactions, respectively. Although these genotypes had high grain yield, they were known as unstable genotypes. Genotypes 2 and 7 were selected as stable genotypes and are recommended to all regions based on the AMMI1 model. In this experiment, genotype number 7 with the lowest AMMI stability value (ASV) was recognized as the most stable genotype and genotype number 1 with the highest ASV was recognized as the most unstable genotype. In terms of stability, genotype number 6 with the highest grain yield (7379 kg.ha^{-1}) was ranked after genotypes 7 and 3. Genotype number 7 with the lowest value of interaction compared to the two axes (IPCA1 and IPCA2) was known as stable genotype and genotypes 2 and 9 had the highest values of interaction. In terms of other stability indices such as MASV, SIPC, DZ, EV and ZA, genotypes 7 and 3 were determined as the most stable genotypes.

Keywords: AMMI stability value, Biplot, Genotype \times environmental interaction, Stability analysis

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

2. Research Assist. Prof., Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Esfahan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Esfahan, Iran

3. Research Assist. Prof., Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Golestan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

4. Research Assist. Prof., Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of South Khorasan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Birjand, Iran

5. Research Assist. Prof., Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Sistan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zabol, Iran

6. Research Assist. Prof., Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Fars, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

7. Research Assist. Prof., Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Hamadan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Hamadan, Iran

* Corresponding author: az42095@yahoo.com