"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و سوم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.3.2.0

تجزیه پایداری عملکرد دانه و ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ در محیط برای ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]

Analysis of grain yield stability and assessment of genotype × environment interaction for grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes

عظیم خزائی[۱]، مسعود ترابی[۲]، محمدتقی فیض بخش[۳] و علی آذری نصرآباد[۴]

چکیده

خزائی، ع.، م. ترابی، م.ت. فیض بخش و ع. آذری نصرآباد. ۱۴۰۰. تجزیه پایداری عملکرد دانه و ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ در محیط برای ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۳ (۳):۲۲۲ -۲۱۱.**

برهمکنش ژنوتیپ در محیط باعث ایجاد پیچیدگی در پیش‌بینی عملکرد شده و در برنامه‌های به‌زراعی و به‌نژادی گیاهان زراعی یک چالش محسوب می‌شود. برای ارزیابی عملکرد و برهمکنش ژنوتیپ در محیط در ۱۸ رقم، لاین و هیبرید سورگوم دانه‌ای داخلی و خارجی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار مکان کرج، گرگان، بیرجند و اصفهان در دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که مکان‌ها، ژنوتیپ‌ها و برهمکنش آن‌ها از نظر عملکرد دانه دارای تفاوت معنی‌داری بودند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ ۱۵ (High yield700) با ۷۹۸۶ کیلوگرم در هکتار، دارای بیشترین عملکرد دانه و ژنوتیپ‌های ۱۷، ۶، ۱۶ و ۸ به‌ترتیب با ۶۸۹۴، ۶۱۷۲، ۵۹۶۰ و ۵۹۰۶ کیلوگرم در هکتار، در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۱۷ دارای کمترین واریانس درون مکانی بودند و علاوه بر پایداری بالا، عملکرد مناسبی نیز داشتند. نتایج تجزیه واریانس به روش امی (AMMI) و برازش مؤلفه‌های اصلی به برهمکنش ژنوتیپ در محیط نشان داد که پنج مؤلفه اصلی اول در سطح یک درصد معنی‌دار بودند. این پنج مؤلفه در مجموع ۹۴/۱ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه نمودند. تجزیه خوشه‌ای بر اساس اولین مؤلفه اصلی برهمکنش، چهار گروه ژنوتیپی را مشخص نمود. نتایج این آزمایش نشان داد که ژنوتیپ های با عملکرد دانه بالا دارای پایداری عملکرد مناسبی نیز بودند. با توجه به نتایج مدل امی و پارامتر ارزش پایداری امی (ASV)، ژنوتیپ‌های ۱۷ (Drought tolerant) ، ۴ (Fast green400)، ۶ (FGCSI04)، ۱۵(High yield700) و ۱۶ (Human900) از نظر عملکرد دانه و پایداری عملکرد مناسب تشخیص داده شدند و ژنوتیپ‌های ۱۵ (High yield700) و ۱۷ (Drought tolerant) در کلیه مکان‌ها جزء برترین ژنوتیپ‌ها بوده و قدرت سازگاری عمومی بالایی با محیط‌های مورد مطالعه داشتند.

واژه‌های کلیدی: ارزش پایداری امی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه خوشه‌ای و سورگوم

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۳ این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی شماره ۹۵۱۵۶-۰۳-۰۳-۰۴ مصوب موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال بذر می‌باشد

۱- استادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران (مکاتبه کننده)
(پست الکترونیک: az42095@yahoo.com)
۲- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و آموزش اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۳- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و آموزش گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
۴- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و آموزش خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-09]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.3.2.0]

مقدمه

ارزیابی پایداری عملکرد و سازگاری ارقام و لاین‌ها در شرایط مختلف محیطی در برنامه‌های به‌زراعی و به‌نژادی گیاهان زراعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. عملکرد دانه یک ژنوتیپ در هر محیط شامل اثر اصلی ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ در محیط است (Yan and Kang, 2003). آگاهی از برهمکنش ژنوتیپ در محیط به به‌نژادگران کمک می‌کند تا در ارزیابی ژنوتیپ‌ها، با دقت بیشتر، بهترین ژنوتیپ‌ها را انتخاب کنند (Purchase, 2000). با توجه به لزوم تهیه ارقام مناسب و سازگار به مناطق مختلف جغرافیایی و اهداف خاص، برآورد برهمکنش ژنوتیپ در محیط ضروری است. به‌طور کلی ژنوتیپ‌هایی سازگار محسوب می‌شوند که در محیط‌های مختلف، ضمن دارا بودن عملکرد بالا، پایدار نیز باشند. ژنوتیپ‌های با سازگاری وسیع در یک تعدادی از محیط‌ها عملکرد متوسط و پایدار دارند، ولی ژنوتیپ‌هایی که منحصرا در شرایط مطلوب عملکرد بالایی داشته و در شرایط نامساعد، دارای عملکرد پایینی باشند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های با سازگاری محدود محسوب می‌شوند(Lin and Binns, 1991).

تجزیه اثرات جمع پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) یکی از روش‌های چند متغیره تجزیه پایداری است که سازگاری و پایداری یک ژنوتیپ را پیش‌بینی کرده در دو دهه اخیر برای ارزیابی پایداری به فراوانی مورد استفاده قرار گرفته است (Hongyu *et al*., 2014; Rodrigues *et al*., 2014). روش AMMI ترکیبی از تجزیه واریانس و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است. در این روش با استفاده از تجزیه واریانس، اثر اصلی ژنوتیپ و محیط برآورد شده و سپس با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، برهمکنش ژنوتیپ و محیط مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد (Crossa, 1990). با استفاده از تجزیه AMMI می‌توان اثرات اصلی و برهمکنش را به‌طور واضحی از هم تفکیک کرده و تفسیر معنی‌دار آگرونومیکی از داده‌ها ارائه کرد. بعلاوه با استفاده از این روش می‌توان ژنوتیپ‌های با سازگاری و پایداری عمومی و خصوصی را شناسایی کرد (Ebdon and Gauch, 2002). فرشادفر و سوتکا (Farshadfar and Sutka, 2006) با استفاده از روش AMMI پایداری ۲۲ ژنوتیپ گندم دورم را در ایران مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که ۹۲/۵ درصد از تغییرات مربوط به مجموع مربعات با استفاده از روش‌های AMMI1، AMMI2 وAMMI3 توجیه شد که این میزان ۴/۵ برابر بیشتر از روش تجزیه رگرسیون خطی بود. فرشادفر (Farshadfar, 2008) پایداری ۳۰ ژنوتیپ گندم کشت شده در شرایط تنش خشکی و آبیاری تکمیلی را با استفاده از آماره ارزش پایداری امی (ASV) برای شاخص منفرد غیر پارامتری (GSI) مورد ارزیابی قرار داده و دو ژنوتیپ را با داشتن بیشترین میانگین عملکرد، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی کردند. ال- ناگار و همکاران (Al-Naggar *et al*., 2018) در مقایسه روش‌های مختلف برای ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های سورگوم در محیط‌های مختلف در مصر گزارش کردند که روش‌های AMMI و GGE-biplot مناسب‌ترین مدل‌ها برای ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط هستند. نتایج تجزیه واریانس AMMI نشان داد که اثر ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر عملکرد سورگوم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نامبردگان بر اساس مدل امی، ژنوتیپ‌های BTX TSC-20 و ICSB-1808 را به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با عملکرد و پایداری بالا در محیط‌های مورد بررسی معرفی کردند و ژنوتیپ‌های ICSB-8001 و BTX- 407 علی‌رغم داشتن بالاترین پایداری، عملکرد متوسطی داشتند. خزائی و همکاران (Khazaei *et al*., 2019) در ارزیابی پایداری لاین‌های دو منظوره سورگوم دانه‌ای و علوفه‌ای گزارش نمودند که دو مؤلفه اصلی برای عملکرد دانه، عملکرد علوفه خشک و عملکرد زیستی

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.3.2.0]

معنی‌دار بوده و برای عملکرد دانه دو مؤلفه اول ۶۷/۸ درصد از مجموع مربعات برهمکنش را توجیه نمودند. با توجه به مدل AMMI و پارامتر ارزش پایداری امی (ASV)، لاین‌های ۲ (KDFGS6) و ۳ (KDFGS9) با پایداری بالا، مناسب‌ترین لاین‌های دو منظوره با اولویت تولید دانه شناسایی شده و لاین‌های ۹ (KDFGS26) و ۱ (KDFGS4) ارقام دو منظوره با اولویت تولید علوفه بودند. در ارزیابی ۱۶ ژنوتیپ سورگوم علوفه‌ای، ژنوتیپ‌های ۸ و ۱۲ با عملکرد و پایداری بالاتر به عنوان ژنوتیپ‌های مناسب شناخته شدند (Khazaei *et al.*, 2019).

هدف از این آزمایش انتخاب و معرفی رقم، لاین و یا هیبرید پایدار و سازگار با عملکرد بالا در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای با استفاده از روش AMMI بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار منطقه کرج، گرگان، بیرجند و اصفهان به مدت دو سال (۹۶- ۱۳۹۵) انجام شد. در هر دو سال آزمایش عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و ماله روی قطعه زمین مورد نظرانجام و بر اساس نتایج آزمون خاک، نیاز کودی تعیین شد. کودهای فسفر و پتاس مورد نیاز در زمان شخم به خاک داده شد. کود نیتروژن به مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار (از منبع اوره) در زمان کاشت و ۵۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله ۳۵ تا ۴۰ سانتی‌متری ارتفاع بوته‌ها به خاک داده شد. هر کرت شامل چهار ردیف پنج متری با فواصل ۶۰ سانتی‌متر و فواصل بوته‌ها ۱۰ سانتی‌متر بود. بذرهای ۱۸رقم، لاین و هیبرید سورگوم دانه‌ای (جدول ۱) بر اساس نقشه آزمایشی در کرت‌های مربوط کشت شدند. در زمان برداشت جهت برآورد عملکرد دانه، دو ردیف وسط پس از حذف حاشیه، برداشت شدند. در پایان سال دوم داده‌ها مرتب سازی و پس از ارزیابی همگنی واریانس اشتباهات آزمایشی، تجزیه مرکب انجام شد. جهت ارزیابی پایداری عملکرد و سازگاری، از روش تحلیل اثر اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) استفاده شد. روش AMMI در واقع ترکیبی از مدل تجزیه واریانس (ANOVA) و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی(PCA) بوده و مدل آن به‌صورت رابطه ۱ است (Gauch, 1992).

$$Y_{ger}=\mu + \alpha_g + \beta_e + \sum \lambda_n \gamma_{gn} \delta_{en} + p_{ge} + \varepsilon_{ger}$$ (رابطه ۱)

Y_{ger}: عملکرد ژنوتیپ gام در محیط eام در تکرار rام، μ: میانگین کل آزمایش، α_g و β_e: به‌ترتیب اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط، λ_n: مقدار منفرد برای محور مؤلفه اصلی nام، γ_{gn}: بردار ویژه ژنوتیپ برای محور nام و p_{ge}: مقدار باقیمانده (Noise) و ε_{ger}: عبارت مربوط به خطا هستند. در بخش اول مدل AMMI ($\mu + \alpha_g + \beta_e$) یعنی بخش جمع‌پذیر از تجزیه واریانس معمولی استفاده می‌شود. میانگین کل با اثر ژنوتیپی (α_g) به‌صورت انحراف ژنوتیپ از میانگین کل و اثر محیطی (β_e) به‌صورت انحراف سه محیط از میانگین کل برآورد می‌شود (Gauch, 1992). بخش دوم ($\sum \lambda_n \gamma_{gn} \delta_{en}$)، قسمت ضرب پذیر مدل است که از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به‌منظور تجزیه برهمکنش ژنوتیپ و محیط به یک تا N مؤلفه اصلی استفاده می‌شود. باید توجه داشت که در روش AMMI، محاسبات روی مقادیر برهمکنش ژنوتیپ و محیط صورت می‌گیرد، ولی در مؤلفه‌های اصلی، محاسبات روی تفاضل داده‌های اصلی از میانگین کل داده‌ها انجام می‌شود (Gauch,1988). محاسبه آماره پایداری ASV با استفاده از رابطه ۲ انجام شد (Purchase, 2000).

$$ASV=\sqrt{\frac{SSIPCA1}{SSIPCA2}(IPCA1^2 + IPCA2^2)}$$ (رابطه ۲)

برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها از نرم افزار SAS 9.0 و برای تجزیه پایداری از نرم‌افزار GENSTAT12.0استفاده شد. با استفاده از معیار فاصله اقلیدسی بر اساس داده‌های استاندارد شده و تجزیه خوشه‌ای با روش حداقل واریانس وارد (Ward) گروه‌بندی ژنوتیپ‌های سورگوم انجام شد. روش وارد

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.3.2.0]

بهترین شکل گروه‌بندی (عدم وجود حالت پله‌ای یا زنجیره‌ای) بوده که به همین علت انتخاب شد. برش دندروگرام بر اساس بیشترین فاصله بین دو ادغام متوالی انجام شد.

جدول۱- اسامی و مبدأ ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای

Table 1. Names and origin of grain sorghum genotypes

شماره No.	ژنوتیپ‌های سورگوم Sorghum genotypes	مبدأ Origin	رقم، لاین، هیبرید Cultivar, Line, Hybrid	نام شرکت Name of company
1	FGCSI01	France	Hybrid	Euralis (ES)
2	FGCSI02	France	Hybrid	ES
3	FGCSI03	France	Hybrid	ES
4	Fast green400	USA	Hybrid	NAVAJOSEEDS
5	Payam	Iran	Cultivar	SPII*
6	FGCSI04	France	Hybrid	ES
7	FGCSI05	France	Hybrid	ES
8	Drought tolerant600	USA	Hybrid	NAVAJOSEEDS
9	PGS1	ICRISAT(India)	Hybrid	Pajpal
10	KGS23	Iran	Line	SPII
11	KGS32	Iran	Line	SPII
12	Kimiya	Iran	Cultivar	SPII
13	Sepideh	Iran	Cultivar	SPII
14	FGCSI07	France	Hybrid	ES
15	High yield700	USA	Hybrid	NAVAJOSEEDS
16	Human900	USA	Hybrid	NAVAJOSEEDS
17	Drough Tolerant	USA	Hybrid	NAVAJOSEEDS
18	FS Double	USA	Hybrid	NAVAJOSEEDS

*Seed and Plant Improvement Institute

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که سال‌های انجام آزمایش اختلاف معنی‌دار نداشتند که این موضوع نشان دهنده واکنش یکسان ژنوتیپ‌ها به تغییرات سالانه در هر یک از مکان‌های مورد بررسی بود. مکان‌های اجرای آزمایش در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری داشتند. این معنی‌دار بودن نشان دهنده تفاوت اقلیمی مکان‌ها برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سال اول و دوم عملکرد دانه به‌ترتیب ۵۳۴۲/۶ و ۵۲۹۴/۶ کیلوگرم در هکتار بوده و بیشترین عملکرد دانه (۷۶۲۱ کیلوگرم در هکتار) مربوط به مکان اول (کرج) بود و مکان چهارم (اصفهان) با عملکرد دانه ۶۷۱۸ کیلوگرم در هکتار در رتبه دوم و مکان سوم (بیرجند) با ۴۳۳۹ کیلوگرم در هکتار در رتبه سوم و مکان دوم (گرگان) با ۲۵۹۶ کیلوگرم در هکتار در رتبه چهارم قرار گرفتند (جدول ۲). برهمکنش سال و مکان، سال و ژنوتیپ، مکان و ژنوتیپ و اثرات سه گانه سال، مکان و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری داشتند. تجزیه واریانس مرکب دو سال و چهار مکان نشان داد ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد دارای تفاوت معنی‌داری بودند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ ۱۵ با عملکرد دانه ۷۹۸۶ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین عملکرد بود و ژنوتیپ‌های ۱۷، ۶، ۱۶ و ۸ (به‌ترتیب با عملکرد دانه ۶۸۹۴، ۶۱۷۲، ۵۹۶۰ و ۵۹۰۶ کیلوگرم در هکتار) در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۲). برهمکنش سال در مکان طی دو سال آزمایش بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، یعنی روند تغییرات ژنوتیپ‌ها از سالی به سال دیگر تغییر داشته

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.3.2.0]

و برهمکنش ژنوتیپ در مکان در سطح یک درصد معنی‌دار بود. این موضوع نشان می‌دهد که پاسخ ژنوتیپ‌ها از یک مکان به مکان دیگر یکسان نمی‌باشد. برهمکنش سه گانه سال در ژنوتیپ در مکان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که نشان می‌دهد ژنوتیپ‌ها در مکان‌های مختلف دارای عکس‌العمل‌های متفاوتی بودند. با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش سه گانه، استفاده از میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها به تنهایی جهت شناسایی ژنوتیپ‌های برتر کافی نیست، بنابراین تجزیه پایداری جهت شناسایی ژنوتیپ‌های با سازگاری بالا و مطلوب، ضروری است.

جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای در دو سال (۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) و چهار مکان

Table 2. Mean comparison of grain yield of grain sorghum genotypes in two years (2016 and 2017) and four locations

Treatments		تیمارهای آزمایشی		عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})
		Years	سال	
Year	سال	2016	۱۳۹۵	5342.6
		2017	۱۳۹۶	5294.6
Location	مکان	Karaj	کرج	7621a
		Gorgan	گرگان	2596d
		Birjand	بیرجند	4339c
		Isfahan	اصفهان	6718b
2016	۱۳۹۵	Karaj	کرج	8165a
		Gorgan	گرگان	3309d
		Birjand	بیرجند	3420d
		Isfahan	اصفهان	6477b
2017	۱۳۹۶	Karaj	کرج	7077b
		Gorgan	گرگان	1884e
		Birjand	بیرجند	5258c
		Isfahan	اصفهان	6959b

جدول ۲- (ادامه)

Table 2. (Continued)

شماره No	Sorghum genotypes	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})
1	FGCSI01	5430d-f
2	FGCSI02	4811f-h
3	FGCSI03	4863f-h
4	Fast green400	7039b
5	Payam	4406gh
6	FGCSI04	6172c
7	FGCSI05	5776c-e
8	Drought tolerant600	5906cd
9	PGS1	5001fg
10	KGS23	4930fg
11	KGS32	4207h
12	Kimiya	5017fg
13	Sepideh	5025fg
14	FGCSI07	5146ef
15	High yield700	7986a
16	Human900	5960cd
17	Drought tolerant	6894b
18	FS Double	1165i

در هر ستون میانگین‌هایی دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Tukey's test

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.3.2.0]

برای مطالعه ماهیت برهمکنش ژنوتیپ در محیط از روش AMMI استفاده شد. نتایج حاکی از معنی‌دار بودن مؤلفه‌های برهمکنش اول تا پنجم برای عملکرد دانه بود (جدول ۳). پنج مؤلفه اصلی اول در سطح یک درصد معنی‌دار بودند. این پنج مؤلفه در مجموع ۹۴/۱ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه نمودند (جدول ۴). ژنوتیپ‌های دارای مقادیر اولین مؤلفه اصلی (IPCA1) بزرگ (مثبت یا منفی) برهمکنش بالایی با محیط داشتند، در حالی که ژنوتیپ‌ها و محیط‌های دارای مقادیر اولین مؤلفه اصلی نزدیک به صفر دارای برهمکنش پایینی بودند. بنابراین ژنوتیپ‌های ۱۲، ۹، ۷، ۶، ۵، ۴ و ۱۴ دارای کمترین مقادیر IPCA1 بوده و به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا شناخته شدند (جدول ۵). در روش ارزش پایداری امی (ASV)، ژنوتیپی پایدار در نظر گرفته می‌شود که ASV کمتری داشته باشد. بسیاری از محققان در ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ در محیط، پارامتر ASV را به‌علت صحت و دقت بیشتر نتایج مربوط به آن به‌عنوان پارامتر مهم پایداری معرفی کرده‌اند. مهدوی و همکاران (Mahdavi *et al.*, 2020) در ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های گندم نان اعلام کردند که نتایج ارزش پایداری امی و بای‌پلات با هم همخوانی دارد. آنها گزارش دادند که ژنوتیپ‌های پیشتاز، Wc-4958 و پیشگام با کمترین مقدار ASV، پایدارترین ژنوتیپ‌ها در بین ۲۵ ژنوتیپ مورد بررسی بودند. در این پژوهش ژنوتیپ‌های ۱۱، ۷، ۶، ۵، ۴، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ با کمترین ارزش پایداری امی (ASV) پایدارترین ژنوتیپ‌ها در بین ۱۸ ژنوتیپ سورگوم مورد ارزیابی بودند. ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۸، ۱۵ و ۱۷ با بیشترین ارزش پایداری امی (ASV) به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند (جدول ۴). هرچند این ژنوتیپ‌ها، به جز ژنوتیپ ۱۸، دارای پتانسیل عملکرد بالایی هستند، ولی در مکان‌های مختلف عملکرد آن‌ها به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد، زیرا پایداری مناسبی ندارند. به نظر می‌رسد که این ژنوتیپ‌ها سازگاری خصوصی به شرایط مساعد را داشته و برای کشت در شرایط نامساعد قابل توصیه نیستند. با صفا و همکاران (Basafa *et al.*, 2014) با ارزیابی ۱۵ لاین سورگوم علوفه‌ای گزارش دادند که در محیط‌های مورد بررسی بر اساس نتایج تجزیه AMMI و پارامترهای پایداری مورد مطالعه، لاین‌های ۱۵ و ۵ با عملکرد بالاتر از میانگین، دارای بیشترین پایداری بودند، در صورتی‌که لاین‌های ۱ و۳ با بیشترین تأثیر در برهمکنش، ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند.

بر اساس نتایج تجزیه AMMI در مکان کرج (سال اول و دوم)، ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۶ در مکان گرگان (سال اول و دوم) ژنوتیپ‌های ۴ و ۶، در مکان بیرجند (سال اول و دوم) ژنوتیپ ۱۵ و در مکان اصفهان (سال اول و دوم) ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۷، ۱۵ و ۴ جزء چهار ژنوتیپ دارای اولویت توسط روش AMMI

جدول ۳- مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های سورگوم در محیط‌های آزمایشی

Table 3. The values of the main components for grain yield of sorghum genotypes in experimental environments

محیط Environment	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	مؤلفه اصلی اول IPCA1	مؤلفه اصلی دوم IPCA2	مؤلفه اصلی سوم IPCA3	مؤلفه اصلی چهارم IPCA4	مؤلفه اصلی پنجم IPCA5
1 (Karaj)	8165	23.85	23.09	40.57	-35.15	32.02
2 (Karaj)	7236	28.16	8.89	32.19	9.58	-48.42
3 (Gorgan)	3309	13.13	-5.57	9.80	22.73	17.67
4 (Gorgan)	1884	24.42	-27.43	-6.99	28.87	-1.95
5 (Birjand)	3420	46.50	-34.31	-41.33	-11.75	10.04
6 (Birjand)	5258	-74.46	-56.59	10.56	-21.50	-6.45
7 (Esfahan)	6477	-48.67	41.64	-8.30	39.06	15.94
8 (Esfahan)	6959	-12.93	50.29	-36.49	-31.85	-18.86

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.3.2.0]

جدول ۴- مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول تا پنجم و ارزش پایداری امی برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های سورگوم

Table 4. Values of the first to fifth main components and ASV parameter for grain yield of sorghum genotypes

ژنوتیپ‌های سورگوم Sorghum genotypes	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	مؤلفه اصلی اول IPCA1	مؤلفه اصلی دوم IPCA2	مؤلفه اصلی سوم IPCA3	مؤلفه اصلی چهارم IPCA4	مؤلفه اصلی پنجم IPCA5	ارزش پایداری امی ASV
1 (FGCSI01)	5430	1.44	-0.86	1.21	0.22	-0.69	2.07
2 (FGCSI02)	4811	2.88	-0.27	-1.52	-0.95	-0.31	3.57
3 (FGCSI03)	4863	1.94	-0.42	-0.12	0.43	-0.11	2.45
4 (Fast green400)	7039	-.050	-1.33	-2.11	1.05	1.34	1.64
5 (Payam)	4406	0.67	0.59	0.76	0.01	0.11	1.10
6 (FGCSI04)	6172	0.77	-1.02	0.56	0.26	1.13	1.58
7 (FGCSI05)	5776	0.61	-1.49	1.33	0.04	-0.19	1.98
8 (Drought tolerant600)	5906	-1.80	0.01	-0.66	-1.50	-0.46	2.22
9 (PGS1)	5001	-0.41	1.68	-0.24	-0.92	-1.02	2.13
10 (KGS23)	4930	1.65	0.04	0.19	-0.31	0.14	2.03
11 (KGS32)	4207	0.92	-0.46	-0.93	0.71	-0.51	1.27
12 (Kimiya)	5017	0.35	1.03	-0.44	-1.64	0.25	1.34
13 (Sepideh)	5025	-1.30	0.23	-0.04	0.53	-0.79	1.63
14 (FGCSI07)	5504	0.44	-1.09	2.00	-0.12	0.17	1.45
15 (High yield700)	7986	-3.89	0.63	0.95	-0.75	1.47	4.86
16 (Human900)	5960	-3.10	0.49	0.04	1.58	-1.38	3.87
17 (Drought tolerant)	6894	-2.20	-1.51	-1.05	0.04	0.01	3.29
18 (FS Double)	1165	1.50	3.75	0.07	1.33	0.85	4.98
Cumulative Percentage	–	41.4	62.5	76.1	86.2	94.1	–

جدول ۵- نتایج تجزیه امی برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر سورگوم در هر محیط (ترکیب سال و مکان)

Table 5. Result of AMMI analysis for identification of superior sorghum genotypes in each environment (combination of year and location)

محیط Environment	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	اولین ژنوتیپ First genotype	دومین ژنوتیپ Second genotype	سومین ژنوتیپ Third genotype	چهارمین ژنوتیپ Fourth genotype
1 (Karaj)	8165	G4	G17	G6	G15
2 (Karaj)	7236	G1	G7	G17	G6
3 (Gorgan)	3309	G4	G17	G6	G15
4 (Gorgan)	1884	G4	G1	G10	G6
5 (Birjand)	3420	G14	G6	G15	G1
6 (Birjand)	5258	G15	G8	G9	G12
7 (Esfahan)	6477	G16	G4	G17	G15
8 (Esfahan)	6959	G15	G17	G16	G4

شناخته شدند (جدول ۵). جهرمی و همکاران (Jahromi *et al.*, 2011) اظهار داشتند که پارامتر پایداری AMMI دارای مفهوم زراعی پایداری است که در این مفهوم از پایداری، یک پاسخ قابل پیش‌بینی نسبت به عوامل محیطی وجود دارد و احتمال افزایش عملکرد ژنوتیپ‌ها با بهبود شرایط محیطی وجود دارد. نجفیان و همکاران (Najafian *et al.*, 2010) در ارزیابی سازگاری بین ژنوتیپ‌های گندم هگزاپلوئید در منطقه معتدل، روش AMMI را روش مفیدی برای تجزیه پایداری و تعیین سازگاری ژنوتیپ‌ها اعلام کردند.

در شکل ۱ جایگاه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف نشان داده شده است. محیط‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۸ که به ترتیب کرج (سال اول)، کرج (سال دوم) ، گرگان (سال اول) و گرگان (سال دوم) و اصفهان (سال دوم) هستند، دارای کمترین مقدار (IPCA1) بودند و بنابراین دارای کمترین برهمکنش بوده و محیط‌هایی هستند که

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-09]

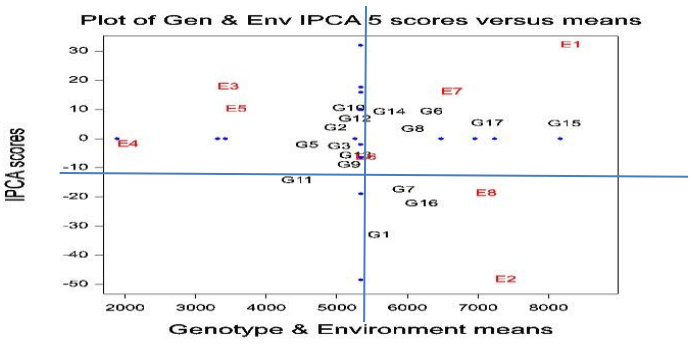
[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.3.2.0]

نسبت به سایر محیط‌ها پایداری عملکرد بهتری داشتند. محیط‌های ۱ تا ۵ دارای مقادیر IPCA1 با علامت مثبت برهمکنش مثبت داشته و محیط‌های ۶ تا ۸ دارای مقادیر IPCA1 با علامت منفی، برهمکنش منفی داشتند.

به‌منظور بررسی روابط ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها از نمایش گرافیکی بای پلات استفاده شد. در بای پلات ارائه شده در شکل ۱ محور افقی نشان دهنده اثرات اصلی جمع پذیر با میانگین عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار و محور عمودی اثرات متقابل ضربی یا مقادیر اولین مؤلفه اصلی(IPCA1) یعنی ضرایب عاملی، برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها (به طور جداگانه) می‌باشد. در بای پلات مذکور دو جفت از داده‌ها روی محور نمایش داده شده‌اند. اولین جفت مربوط به میانگین عملکرد هر ژنوتیپ (محور افقی) و مقادیر اولین مؤلفه اصلی هر ژنوتیپ (محور عمودی) و دومین جفت مربوط به میانگین عملکرد هر محیط (محور افقی) و مقادیر اولین مؤلفه اصلی هر محیط (محور عمودی) می‌باشند. ژنوتیپ‌هایی که در مرکز بای پلات قرار گرفته‌اند، برهمکنش نزدیک به صفر داشته و دارای پایداری عمومی بیشتری هستند. ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۷، ۶ و ۸ دارای برهمکنش کم می‌باشند. ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۱۷ به‌علت دارا بودن میانگین عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های با پایداری مطلوب مورد توجه قرار گیرند.

توحیدی و همکاران (Tohidi *et al*., 2015) از بای پلات AMMI به‌منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های گندم در محیط‌های مختلف استفاده کردند. فلاحی و همکاران (Fallahi *et al*., 2011) پایداری ژنوتیپ‌های گندم دوروم را با استفاده از این روش مورد ارزیابی قرار دادند. در یک آزمایش برای تجزیه برهمکنش ژنوتیپ و محیط در ژنوتیپ‌های بدون خار گلرنگ از روش AMMI و ضرایب مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل (IPCA) استفاده شد و ارقام گلرنگ ایرانی ۴۱۱، داراب۲، داراب۴ و ۴۷ به‌عنوان ارقام پایدار و دارای عملکرد برتر شناخته شدند (Moghaddam *et al*., 2014).

به‌منظور تجزیه واکنش ژنوتیپی(استفاده هم‌زمان از تفکیک‌های دسته بندی و برداریابی) و بررسی دقیق تر پایداری ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، تجزیه خوشه‌ای بر اساس مقادیر اولین مؤلفه اصلی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها انجام شد (شکل ۲). تجزیه خوشه‌ای برای عملکرد دانه مقادیر اولین مؤلفه اصلی برای ژنوتیپ‌ها، چهار گروه ژنوتیپی را مشخص نمود که گروه اول شامل ژنوتیپ‌های ۱، ۱۰، ۱۸ و ۳ با مقادیر نسبتاً بالا و مثبت IPCA1، گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های ۴ ، ۶ ، ۱۲، ۱۴، ۷، ۶ و ۱۱ با مقادیر کمتر از یک و اکثراً مثبت IPCA1، گروه سوم

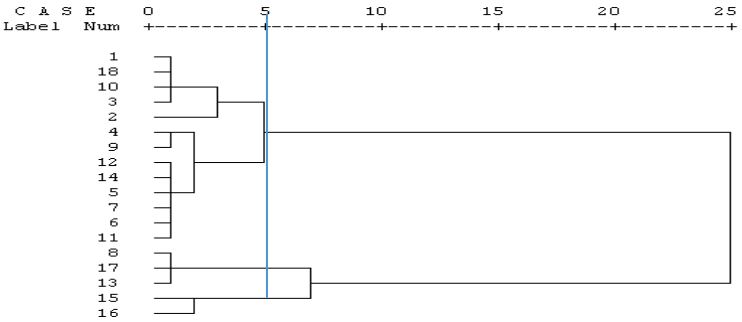


شکل ۱- بای‌پلات میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های سورگوم و محیط‌ها و مقادیر اولین مؤلفه اصلی آن‌ها

Fig. 1. Biplot of mean of grain yield of sorghum genotypes and environments and the values of the first principal components

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.3.2.0]



شکل ۲- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های سورگوم بر اساس اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ و محیط

Fig. 2. Grouping of sorghum genotypes based on the first principal components of interaction of genotype and environment

شامل ژنوتیپ‌های ۸، ۱۷ و ۱۳ با مقادیر خیلی پایین و منفیIPCA1 و گروه چهارم شامل ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۱۶ با مقادیر پایین ومنفیIPCA1 بودند.

نتیجه‌گیری

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های این آزمایش نشان دهنده معنی‌دار بودن اثر سال، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در سال برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های سورگوم بود. معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ نشان دهنده تنوع ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی از نظر عمکرد دانه است. در شرایط محیطی، عامل پایداری نسبت به پتانسیل عملکرد، دارای اهمیت بالاتری است و ژنوتیپ‌های پایدار نسبت به ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در بعضی از محیط‌ها ترجیح داده می‌شوند. در آزمایش حاضر ژنوتیپ‌های سورگوم با عملکرد دانه بالا دارای پایداری مناسبی هم بودند. با توجه به نتایج مدل AMMI و ارزش پایداری امی (ASV)، ژنوتیپ‌های ۱۷ (Drought tolerant)، ۴ (Fast green400)، ۶ (FGCSI04)، ۱۵ (High yield700) و ۱۶ (Human900) از نظر عملکرد دانه و پایداری عملکرد مناسب تشخیص داده شدند و ژنوتیپ‌های ۱۵ (High yield700) و ۱۷ (Drought tolerant) در کلیه مکان‌های جزء برترین ژنوتیپ‌ها بوده و قدرت سازگاری عمومی بالایی با مکان‌های مورد محیط‌های داشتند.

سپاسگزاری

این مقاله از پروژه تحقیقاتی با عنوان "ارزیابی پایداری و سازگاری عملکرد ارقام، لاین‌ها و هیبریدهای سورگوم دانه‌ای" با شماره ۹۵۱۵۶- ۰۳- ۰۳- ۰۴ مصوب مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر استخراج شده است. بدینوسیله از همکاری و مساعدت مسئولین محترم مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و مراکز تحقیقاتی همکار تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

References

Al-Naggar, A.M.M., R.M. Abd El-Salam, M.R. Asran and Y.S. Yaseen. 2018. Yield adaptability and stability of grain sorghum genotypes across different environments in Egypt using AMMI and GGE-biplot models. Annu. Res. Rev. Biol. 23(3): 1-16.

Basafa, M., M. Taheriand and A.R. Beheshti. 2014. Stability analysis for forage yield in sorghum lines.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.3.2.0]

Agron. J. (Pajouhesh and Sazendagi) 107: 99 -107 (in Persian with English abstract).

Crossa, J. 1990. Statistical analyses of multilocation trials.Adv. Agron. 44: 55-85.

Ebdon, J.S. and H.G. Gauch. 2002. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turf grass performance trials: II. Cultivar recommendations. Crop Sci. 42: 497-506.

Fallahi, H.A., J.A. Jafarabi and F. Sidi. 2001. Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. J. Seed Plant. 1(27): 15-22. (In Persian with English abstract).

Farshadfar, E. 2008. Incorporation of AMMI stability value and grain yield in a single non-parametric index (GSI) in bread wheat. Pak. J. Biol. Sci. 11: 1791-1796.

Farshadfar, E., and J. Sutka. 2006. Biplot analysis of genotype-environment interaction in durum wheat using the AMMI model. Acta Agronomica Hungarica, 54(4): 459-467.

Gauch, H.G. 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction. Biometrics, 44(3): 705-715.

Gauch H.G. 1992. Statistical Analysis of Regional Yield Trials: AMMI Analysis of Factorial Designs. (1st Ed.) Elsevier, Amsterdam.

Hongyu, K., M. García-Peña, L.B.D. Araújo and S. Dias. 2014. Statistical analysis of yield trials by AMMI analysis of genotype× environment interaction. Biometric. Letters. 51(2): 89-102.

Jahromi, M.A., M. Khodarahmi, A.R. Mohammadi and A. Mohammadi. 2011. Stability analysis for grain yield of promising durum wheat genotypes in southern warm and dry agro-climatic zone of Iran. Iran. J. Crop Sci. 13: 565-579. (In Persian with English abstract).

Khazaei, A., M. Torabi, H. Mokhtarpour and A.R. Beheshti. 2019. Evaluation of yield stability of forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] using AMMI analysis. Iran. J. Crop Sci. 21(3): 225 – 236. (In Persian with English abstract).

Khazaei, A., M.R. Shiri, M.Torabi, A. Ghasemi, A.R. Behesti and A. Azari Nasrabad. 2020. Genotype × environment interaction and grain and forage yield stability of promising lines of dual purpose sorghum. Seed Plant 36(1): 51 – 70. (In Persian with English abstract).

Lin, C.S. and M.R. Binns. 1991. A method of analyzing cultivar× location× year experiments: A new stability parameter. Theor. Appl. Genet. 75: 425-430.

Mahdavi, A.M., N. Babaeian Jelodar, E. Farshadfar and N. Bagheri. 2020. Evaluation of stability and adaption of bread wheat genotypes using univariate statistics parameters and AMMI. Plant Genet. Res. 7(1): 19-32. (In Persian with English abstract).

Moghaddam, M.J., M.E. Torbaghanb and A. Mirzaee. 2014. Analysis of genotypes × environment interaction for seed yield in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. Crop Breed. J. 4(1):47-54. (In Persian with English abstract).

Najafian, G., A.K. Kaffashi and A. Jafar-Nezhad. 2010. Analysis of grain yield stability in hexaploid wheat genotypes grown intemperate regions of Iran using additive main effects and multiplicative interaction. J.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.3.2.0]

Agric. Sci. Technol. 12: 213-222. (In Persian with English abstract).

Purchase, J.L., H. Hatting and C.S. Van Deventer. 2000. Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: Stability analysis of yield performance. S. Afr. J. Plant Soil. 17(3): 101-107.

Rodrigues, P.C., M. Malosetti, H.G. Gauch and F.A. van Eeuwijk. 2014. A weighted AMMI algorithm to study genotype-by-environment interaction and QTL-by-environment interaction. Crop Sci. 54(4): 1555-1570.

Tohidi, B., G.H. Mohammadi Nejad, B. Nakhoda and H. Sabouri. 2015. Evaluation of grain yield stability of recombinant inbred lines in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) based on AMMI method. J. Plant Prod. Res. 2(22): 189-202. (In Persian with English abstract).

Yan, W. and L.A. Kang. 2003. GGE Bioplot Analysis: A graphical Tool for Breeders, Geneticists and Agronomist. CRC Press, Boca Raton, FL. USA.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.3.2.0]

Analysis of grain yield stability and assessment of genotype ×environment interaction for grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes

Khazaei, A.[1], M. Torabi[2], M.T. Fyzbakhsh[3] and A. Azari Nasrabad[4]

ABSTRACT

Khazaei, A., M. Torabi, M.T. Fyzbakhsh and A. Azari Nasrabad. 2021. Analysis of grain yield stability and assessment of genotype × environment interaction for grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes. **Iranian Journal of Crop Sciences. 23(3): 211-222. (In Persian).**

The interaction of genotype × environment creates complications in yield prediction and is a challenge for agronomy and plant breeding programs. To evaluate grain yield stability and genotype × environment interaction for 18 local and exotic grain sorghum cultivars, lines, and hybrids, a field experiment was conducted using randomized complete block design with three replications in four regions of Karaj, Gorgan, Birjand, and Isfahan, Iran in two cropping seasons (2016 and 2017). Combined analysis of variance showed that locations, genotypes and their interaction effect were signifinat on grain yield. Mean comparisons showed that genotype No. 15 (High yield700) had the highest grain yield (7986 kg.ha^{-1}) followed bygenotypes No. 17, 6, 16, and 8 with grain yield of 6894, 6172, 5960, and 5906 kg.ha^{-1}, respectively. Genotypes No. 15 and 17 had the lowest year within location variance, and in addition to high grain yield stability had optimal grain yield. Analysis of variance by AMMI model and fitting of principal components to the interactions of genotype × environment showed that five main components were significant ($P \leq 0.01$). These five components explained 94.1% of the observed variance of genotype × environment interaction. Cluster analysis identified four genotypic groups based on the first main component of genotype × environment interaction. In this study, high yielding genotypes also had good grain yield stability. AMMI model and AMMI stability value (ASV) parameter showed that genotypes No. 17 (Drought tolerant), 4 (Fast green400), 6 (FGCSI04), 15 (High yield700) and 16 (Human900) had high grain yield and yield stability. Genotypes No. 15 and 17 identiifed as superior genotypes well adapted to different test environments, in this study.

Key words: AMMI stability value, Cluster analysis, Principle component analysis, Adaptatability and Sorghum

Received: January, 2021 Accepted: July, 2021

1. Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran (Corresponding author) (Email: az42095@yahoo.com)
2. Assistant Prof., Agricultural and Natural Resources Research and Education center of Esfahan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Esfahan, Iran
3. Assistant Prof., Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Golestan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran
4. Assistant Prof., Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Southern Khorasan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Birjand, Iran

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1400.23.3.2.0]