دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ - محیط عملکرد علوفه لاین‌های امیدبخش سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) با استفاده از مدل AMMI

عظیم خزائی[۱]، فرید گل‌زردی[۲]، محمد شاهوردی[۳]، لیلا نظری[۴]، احمد قاسمی[۵]، سید علی طباطبائی[۶]، عبداله شریعتی[۷] و حسن مختارپور[۸]

۱- استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، (نویسنده مسوول: a.khazaei@areeo.ac.ir)
۲- استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و آموزش لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بروجرد، ایران
۴- استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و آموزش فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
۵- استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران
۶- دانشیار پژوهشی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و آموزش یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
۷- محقق، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و آموزش کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران
۸- استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و آموزش گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۱۱
صفحه: ۱۷۷ تا ۱۸۵

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: با توجه به گسترش خشکسالی‌ها و کمبود علوفه در کشور لازم است ارقام جدید سورگوم علوفه‌ای معرفی شوند. بررسی اثر متقابل ژنوتیپ-محیط با هدف انتخاب ژنوتیپ برتر یکی از مهم‌ترین مراحل برنامه‌های به‌نژادی به شمار می‌رود. در این برنامه‌ها ارزیابی میزان سازگاری ژنوتیپ‌های مختلف نسبت به شرایط محیطی گوناگون از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مواد و روش‌ها: تعداد ۱۰ لاین امیدبخش سورگوم علوفه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در هفت منطقه (بروجرد، زابل، سنندج، شیراز، کرج، گرگان و یزد) به مدت دو سال (۹۸-۱۳۹۷) بررسی شدند. جهت بررسی پایداری عملکرد و سازگاری ژنوتیپ‌ها، از روش AMMI استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال، مکان، سال × مکان، ژنوتیپ، سال × ژنوتیپ، مکان × ژنوتیپ و سال × مکان × ژنوتیپ بر عملکرد علوفه تر و خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر متقابل محیط × ژنوتیپ نشان‌دهنده عکس‌العمل متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف می‌باشد. نتایج تجزیه امی (AMMI) نشان داد که شش مؤلفه اصلی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای عملکرد علوفه تر و خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. برای عملکرد علوفه تر اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل (IPCA1) بیشترین سهم (۲۶/۶ درصد) را در بیان اثر متقابل ژنوتیپ-محیط داشت و مؤلفه‌های اصلی دوم تا هفتم با به‌ترتیب ۱۸/۴، ۱۷، ۱۵/۷، ۱۰/۵، ۷/۵ و ۴/۳ درصد در درجات بعدی اهمیت قرار داشتند. برای عملکرد علوفه خشک اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل (IPCA1) بیشترین سهم (۲۱/۸ درصد) را در بیان اثر متقابل ژنوتیپ-محیط داشت و مؤلفه‌های اصلی دوم تا هفتم با به‌ترتیب ۱۹/۸، ۱۴/۷، ۱۴، ۱۱/۱، ۱۰/۱ و ۸/۵ درصد در جایگاه بعدی اهمیت قرار گرفتند. در مجموع سهم تجمعی هفت مؤلفه اصلی برای عملکرد علوفه تر ۹۸ درصد و برای عملکرد علوفه خشک ۹۷ درصد محاسبه گردید. از لحاظ عملکرد علوفه تر لاین‌های KFS10، KFS12 و KFS17 دارای کمترین مقادیر IPCA1 بودند که به‌عنوان لاین‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا معرفی می‌شوند. از لحاظ ارزش پایداری امی (ASV) برای عملکرد علوفه تر، لاین KFS10 به‌عنوان پایدارترین لاین تعیین شد. از لحاظ عملکرد علوفه خشک لاین‌های KFS2، KFS3، KFS9 و KFS17 دارای کمترین مقادیر IPCA1 بودند که به‌عنوان لاین‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا معرفی می‌شوند. لاین KFS2 از لحاظ عملکرد علوفه خشک دارای کمترین مقدار ASV بود.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی لاین KFS18 با عملکرد علوفه تر و خشک بالا (به‌ترتیب ۱۲۱/۱ و ۳۲/۰۴ تن در هکتار)، IPCA1 پایین و همچنین تولید علوفه مطلوب در اکثر محیط‌ها (با توجه به بای‌پلات مدل AMMI) به‌عنوان ژنوتیپ برتر شناسایی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، پایداری، ژنوتیپ، سازگاری عمومی، عملکرد علوفه خشک

مقدمه

سورگوم [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] از نظر اهمیت در بین گیاهان خانواده غلات بعد از گندم، برنج، ذرت و جو در مقام پنجم قرار دارد و 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 (۲۷). آگاهی از ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ-محیط به به‌نژادگر کمک می‌نماید تا بتواند ژنوتیپ‌ها را با دقت بیشتر ارزیابی کرده و ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری و عملکرد بالاتر را انتخاب نماید. بررسی اثر متقابل ژنوتیپ-محیط با هدف انتخاب ژنوتیپ برتر یکی از مهم‌ترین مراحل برنامه‌های به‌نژادی به شمار می‌رود (۱۴). وجود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باعث کاهش بازده روش‌های اصلاحی می‌شود و مزیت اقتصادی توسعه کشت ژنوتیپ‌های اصلاح‌شده را کاهش می‌دهد، به‌طوری‌که محققین را وادار می‌سازد تا برای مکان‌های مختلف، ژنوتیپ‌های متفاوتی اصلاح نماید (۸). در برنامه‌های به‌نژادی مطالعه و بررسی میزان سازگاری گیاهان زراعی نسبت به شرایط محیطی مختلف، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ازآنجاکه نیاز مبرمی برای تهیه ارقام مناسب و سازگار به مناطق جغرافیایی مختلف و اهداف خاص وجود دارد، برآورد اثر متقابل ژنوتیپ-محیط ضروری است. پدیده اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای دانشمندان علوم ژنتیک، اصلاح نباتات و اصلاح دام دارای اهمیت ویژه‌ای است (۲).

آگاهی از اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به اصلاح نباتات کمک می‌کند تا در ارزیابی ژنوتیپ‌ها، با دقت بیشتری عمل کرده و بهترین ژنوتیپ‌ها را انتخاب کنند (۲۴). در واقع در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل، اصلاح‌گر باید بداند که علاوه بر وجود تفاوت‌های ژنتیکی، پاسخ ژنوتیپ‌ها به محیط‌های مختلف هم متفاوت خواهد بود؛ بنابراین باید ژنوتیپی انتخاب شود که کمترین واریانس را در واکنش به تغییرات محیطی نشان داده است و در صورت عدم وجود اختلاف معنی‌دار باید ژنوتیپ دارای بیشترین عملکرد انتخاب

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jcb.14.42.177]

گردد (۲۰). به‌طورکلی به ارقامی سازگار اطلاق می‌شود که در دامنه‌ای از محیط‌ها، ضمن داشتن عملکرد بالا، پایدار نیز باشند. ارقام با سازگاری وسیع در یکسری از محیط‌ها عملکرد متوسط و پایدار دارند، ولی ارقامی که به‌طور منحصر در شرایط مطلوب، از عملکرد بالایی برخوردارند در شرایط نامساعد، دارای عملکرد ضعیفی هستند و به‌عنوان ارقام با سازگاری محدود شناخته می‌شوند (۱۹). در رابطه با اثر متقابل ژنوتیپ و محیط دو موضوع سازگاری و پایداری ارقام مطرح می‌شود و در صورت وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط پایداری ارقام کاهش می‌یابد و این امر سبب کاهش بازدهی ارقام در محیط‌های مختلف می‌شود (۱۱). از روش‌های کاهش اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و نیز افزایش عملکرد، انتخاب و معرفی لاین‌های با عملکرد بالا و پایدار در مناطق مختلف است (۱۵). پایداری عملکرد ژنوتیپ‌هایی که دارای پتانسیل عملکرد بالایی هستند ولی در شرایط محیطی مختلف عملکرد پایینی دارند بایستی مورد ارزیابی قرار گیرد تا ژنوتیپ‌های سازگار برای مناطق خاص معرفی گردند (۶).

روش‌های گوناگونی برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار ارائه شده است که شامل روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره هستند (۱۶). اگرچه محاسبه و استفاده از روش‌های تک‌متغیره پارامتری و ناپارامتری آسان است ولی این روش‌ها نمی‌توانند ماهیت پیچیده و چندبعدی اثر متقابل را به‌خوبی تفسیر نمایند. از این‌رو، استفاده از روش‌های چند متغیره برای رفع این مشکل پیشنهاد شده است (۲۶). یکی از آماره‌های پارامتری چند متغیره، مدل تجزیه آثار اصلی جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر امی (AMMI) است، مدل AMMI با نقطه‌یابی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها روی بای‌پلات (Biplot) موقعیت ژنوتیپ‌ها را نسبت به یکدیگر و محیط‌های مورد بررسی شناسایی می‌کند (۱). در مدل AMMI آثار اصلی جمع‌پذیر و محیط با استفاده از تجزیه واریانس برآورد می‌شوند، ولی از آنجا که واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها از یک محیط به محیط دیگر باعث اثر متقابل ضرب‌پذیر می‌شود و تجزیه واریانس قادر به تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ–محیط به مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل و مقدار باقیمانده تفکیک می‌گردد (۴). 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، اثر متقابل ژنوتیپ و محیط مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد (۷). تجزیه AMMI اثرات اصلی و متقابل را به‌طور واضعی از هم تفکیک می‌کند و اغلب تفسیر معنی‌دار اگرونومیکی از داده‌ها خواهد داشت، همچنین با استفاده از تجزیه AMMI، ژنوتیپ‌های با سازگاری و پایداری عمومی و خصوصی تعیین می‌شوند (۸). در این روش با استفاده از تجزیه واریانس، اثر اصلی ژنوتیپ و محیط برآورد شده و سپس با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، اثر متقابل ژنوتیپ و محیط مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد (۷). ال- ناگار و همکاران (۳). 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 اثر متقابل ژنوتیپ و محیط هستند. در آزمایش آنان تجزیه واریانس AMMI نشان داد که اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بر عملکرد سورگوم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و بر اساس مدل AMMI، ژنوتیپ‌های BTX TSC-20 و ICSB-1808 را به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با عملکرد و پایداری بالا معرفی کردند، در حالی که ژنوتیپ‌های ICSB-8001 و BTX-407 علی‌رغم داشتن بالاترین پایداری، عملکرد متوسطی داشتند. خزائی و همکاران (۱۷) در ارزیابی پایداری لاین‌های دو منظوره سورگوم دانه‌ای و علوفه‌ای گزارش نمودند که دو مؤلفه اصلی برای عملکرد دانه، عملکرد علوفه خشک و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود و برای عملکرد دانه دو مؤلفه اول ۶۷/۸ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را توجیه نمودند. با توجه به مدل AMMI و پارامتر ارزش پایداری امی (ASV)، لاین‌های شماره ۲ (KDFGS6) و ۳ (KDFGS9) با پایداری بالا، مناسب‌ترین لاین‌ها به‌منظور ارقام دو منظوره با اولویت تولید دانه انتخاب می‌شوند و لاین‌های شماره ۹ (KDFGS26) و ۱ (KDFGS4) به‌عنوان ارقام دو منظوره با اولویت تولید علوفه بودند. خزائی و همکاران (۱۸) با ارزیابی ۱۶ ژنوتیپ سورگوم علوفه‌ای به روش AMMI، گزارش نمودند ژنوتیپ‌های ۸ و ۱۲ با عملکرد و پایداری بالاتر به عنوان ژنوتیپ‌های مناسب شناخته شدند. این مطالعه با هدف بررسی اثر متقابل ژنوتیپ–محیط عملکرد علوفه در لاین‌های امیدبخش سورگوم علوفه‌ای با استفاده از مدل AMMI انجام شد تا مناسب‌ترین ژنوتیپ از نظر عملکرد و پایداری شناسایی شود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در هفت منطقه (بروجرد، زابل، سنندج، شیراز، کرج، گرگان و یزد) اجرا شد. بر اساس نتایج آزمون خاک، نیاز کودی تعیین شد. فسفر به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار (از منبع کود فسفات آمونیوم) و نیتروژن به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت، ۵۰ کیلوگرم در هکتار در زمان ۳۵ تا ۴۰ سانتی‌متری ارتفاع بوته‌ها و همچنین ۵۰ کیلوگرم در هکتار بعد از برداشت چین اول (از منبع کود اوره) به خاک اضافه شدند. هر کرت شامل چهار خط به طول پنج متر با فواصل بین ردیف ۶۰ سانتی‌متر بود و فواصل بین بوته‌ها روی خطوط کاشت، هشت سانتی‌متر در نظر گرفته شد (۱۸). بذور ده لاین امیدبخش شامل KFS2، KFS3، KFS9، KFS10، KFS11، KFS12، KFS15، KFS16، KFS17 و KFS18 بر اساس نقشه آزمایشی در کرت‌های مربوط کشت شدند. پس از سبز شدن بذور و استقرار گیاه، فواصل بین بوته‌ها بر اساس ۸ سانتی‌متر تنک شد. در زمان برداشت جهت برآورد عملکرد علوفه، دو ردیف وسط هر کرت پس از حذف اثرات حاشیه‌ای برداشت شدند. در پایان سال دوم تمام نتایج جمع‌بندی و پس از ارزیابی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی (با روش F_{max} هارتلی)، تجزیه مرکب انجام شد. در مرحله بعد جهت بررسی پایداری عملکرد و سازگاری ژنوتیپ‌ها، از روش AMMI استفاده شد. مدل روش AMMI به‌صورت رابطه ۱ می‌باشد (۱۲).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jcb.14.42.177]

(رابطه ۱)

$$Y_{ger=}\ \mu + \alpha_g + \beta_e + \Sigma_n\lambda_n\alpha_{gn}\gamma_{en} + \rho_{ge} + \varepsilon_{ger}$$

که در آن 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، α_{gn} بردار ویژه ژنوتیپ برای محور gام از n مؤلفه اصلی اثر متقابل، γ_{en} بردار ویژه محیط برای محور eام از n مؤلفه اصلی اثر متقابل، ρ_{ge} مقدار نویز و ε_{ger} مربوط به خطا می‌باشد (۱۲). برای محاسبه آماره پایداری ASV نیز از رابطه ۲ که اولین بار توسط پورشاز (۲۴) به کار برده شد، استفاده گردید.

$$ASV = \sqrt{\left[\frac{SSIPC1}{SSIPC2}(IPC1)\right]^2 + (IPC2)^2} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

از نرم‌افزار SAS 9.0 (۲۵) برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها استفاده شد و نرم‌افزار GENSTAT12.0 (۲۳) برای تجزیه پایداری مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از معیار فاصله اقلیدوسی بر اساس داده‌های استاندارد شده و تجزیه خوشه‌ای با روش حداقل واریانس Ward گروه‌بندی ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای انجام شد. روش Ward بهترین شکل گروه‌بندی (عدم وجود حالت پله‌ای یا زنجیره‌ای) را داشته و به همین علت انتخاب شد. برش دندروگرام بر اساس بیشترین فاصله بین دو ادغام متوالی انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال، مکان، سال×مکان، ژنوتیپ، سال × ژنوتیپ، مکان × ژنوتیپ و سال × مکان × ژنوتیپ بر عملکرد علوفه تر و خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج تجزیه امی (AMMI) برای عملکرد علوفه تر و علوفه خشک در جدول ۲ درج گردیده است. بر اساس نتایج تجزیه امی، اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر عملکرد علوفه تر و عملکرد علوفه خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). برای عملکرد علوفه تر اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل (IPCA1) بیشترین سهم (۲۶/۶ درصد) را در بیان اثر متقابل ژنوتیپ–محیط داشت و مؤلفه‌های اصلی دوم تا هفتم با به‌ترتیب ۱۸/۴، ۱۷، ۱۵/۷، ۱۰/۵، ۷/۵ و ۴/۳ درصد در درجات بعدی اهمیت قرار داشتند (جدول ۲). برای عملکرد علوفه خشک اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل (IPCA1) بیشترین سهم (۲۱/۸ درصد) را در بیان اثر متقابل ژنوتیپ–محیط داشت و مؤلفه‌های اصلی دوم تا هفتم با به‌ترتیب ۱۹/۸، ۱۴/۷، ۱۴، ۱۱/۱، ۱۰/۱ و ۸/۵ درصد در جایگاه بعدی اهمیت قرار گرفتند. در مجموع سهم تجمعی هفت مؤلفه اصلی برای علوفه تر ۹۸ درصد و برای علوفه خشک ۹۷ درصد محاسبه گردید (جدول ۲). معنی‌دار بودن F تیمار از لحاظ عملکرد علوفه تر و خشک نشان‌دهنده اختلاف بین ترکیب‌های مختلف ژنوتیپ و محیط بود. برای عملکرد علوفه تر و خشک، مؤلفه‌های اصلی اول تا ششم اثر متقابل در سطح احتمال یک درصد و مؤلفه اصلی هفتم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲).

جدول ۱- میانگین مربعات لاین‌های امیدبخش سورگوم علوفه‌ای در دو سال و هفت مکان
Table 1. Mean squares of promising forage sorghum lines in two years and seven locations

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		عملکرد علوفه تر	عملکرد علوفه خشک
سال	۱	۸/۱^{ns}	۹/۸^{ns}
مکان	۶	۱۷۱۵/۹**	۱۸۳/۵**
سال × مکان	۶	۱۲۵/۸**	۴/۱**
تکرار (سال × مکان)	۲۸	۱/۲	۰/۱
ژنوتیپ	۹	۳۴/۴**	۲/۳**
سال × ژنوتیپ	۹	۴/۱**	۰/۵**
مکان × ژنوتیپ	۵۴	۱۱/۳**	۰/۷**
سال × مکان × ژنوتیپ	۵۴	۷/۴**	۰/۵**
خطای آزمایشی	۲۵۲	۰/۶	۰/۱

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

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب عملکرد علوفه تر و خشک لاین‌های امیدبخش سورگوم علوفه‌ای بر اساس روش امی
Table 2. Combined analysis of variance of fresh and dry forage yields of promising forage sorghum lines based on AMMI method

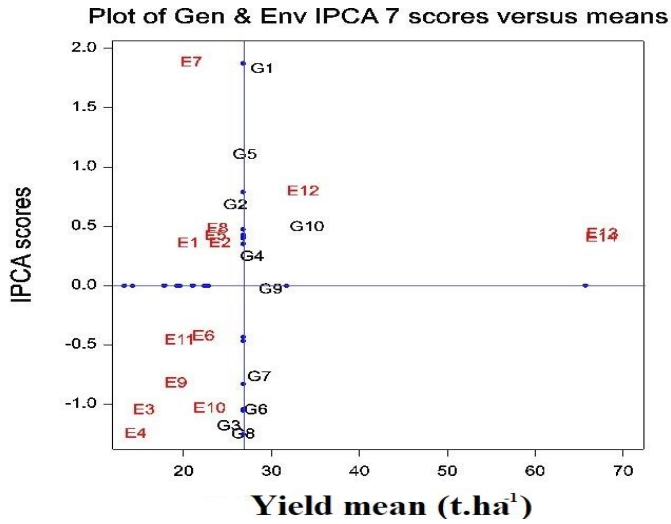
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		عملکرد علوفه تر	درصد واریانس توجیهی	عملکرد علوفه خشک	درصد واریانس توجیهی
محیط	۱۳	۸۵۰۶۸**	-	۸۷۳۷/۴**	-
بلوک (محیط)	۲۸	۱۱۹^{ns}	-	۹/۸^{ns}	-
ژنوتیپ	۹	۳۴۳۵**	-	۲۳۱/۶**	-
محیط × ژنوتیپ	۱۱۷	۸۹۵**	-	۵۹/۰**	-
مؤلفه اصلی اول	۲۱	۱۹۷۲**	۲۶/۶	۹۵/۸**	۲۱/۸
مؤلفه اصلی دوم	۱۹	۱۰۵۲**	۱۸/۴	۸۹/۶**	۱۹/۸
مؤلفه اصلی سوم	۱۷	۹۹۱**	۱۷/۰	۵۶/۳**	۱۴/۷
مؤلفه اصلی چهارم	۱۵	۹۶۵**	۱۵/۷	۵۶/۰**	۱۴/۰
مؤلفه اصلی پنجم	۱۳	۴۹۵**	۱۰/۵	۴۱/۹**	۱۱/۱
مؤلفه اصلی ششم	۱۱	۲۹۵**	۷/۵	۴۰/۱**	۱۰/۱
مؤلفه اصلی هفتم	۹	۱۲۴*	۴/۳	۳۳/۲*	۸/۵
باقیمانده	۱۱	۴۲^{ns}	-	۸/۹^{ns}	-
اشتباه	۲۵۲	۶۴	-	۵/۲	-

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد؛ ns: غیرمعنی‌دار

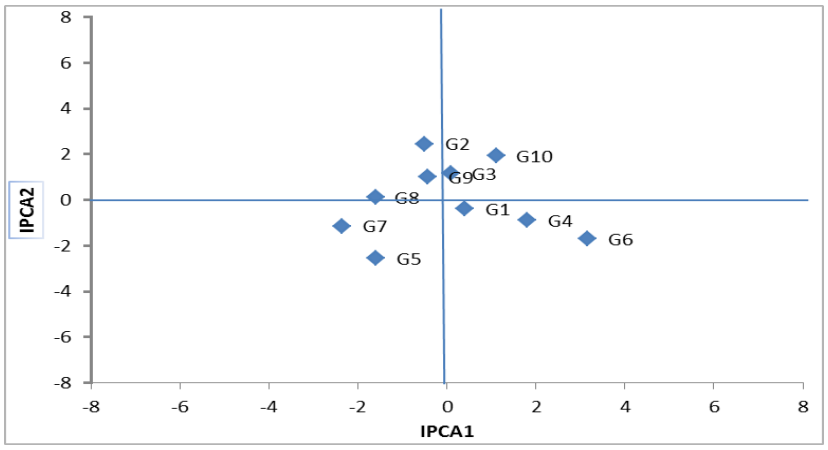
[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jcb.14.42.177]

ارقام دارای IPCA1 بزرگ (مثبت یا منفی) اثر متقابل بالایی با محیط دارند درحالی‌که ارقام و محیط‌های دارای مقادیر اولین مؤلفه اصلی نزدیک به صفر دارای اثر متقابل پایین هستند؛ بنابراین از لحاظ علوفه تر لاین‌های ۴، ۶ و ۹ دارای کمترین مقادیر IPCA1 است که به‌عنوان لاین پایدار با سازگاری عمومی بالا معرفی می‌شود. از لحاظ ارزش پایداری امی (ASV) مجدد لاین ۴ به‌عنوان لاین پایدار تعیین می‌شود (جدول ۳). از لحاظ علوفه خشک لاین‌های ۲، ۳ و ۹ دارای کمترین مقادیر IPCA1 است که به‌عنوان لاین پایدار با سازگاری عمومی بالا معرفی می‌شوند. لاین شماره ۱ از لحاظ عملکرد علوفه خشک دارای کمترین مقدار ASV بود. در روش ارزش پایداری AMMI (ASV)، ژنوتیپی پایدار در نظر گرفته می‌شود که ASV کمتری داشته باشد. بسیاری از محققین (۱۹،۳،۶،۱۸) در بررسی برهمکنش ژنوتیپ× محیط، پارامتر ASV را به‌علت صحت و دقت بالاتر نتایج به‌عنوان پارامتر مهم پایداری معرفی کردند (جدول ۳).

با توجه به عملکرد علوفه تر (۱۲۱/۱ تن در هکتار) و عملکرد علوفه خشک (۳۲/۰۴ تن در هکتار) و IPCA1 پایین و همچنین با توجه به بای‌پلات (Biplot) مدل AMMI، لاین شماره ۱۰ (KFS18) در اکثر محیط‌ها دارای عملکرد بالا بوده و به‌عنوان لاین برتر و مناسب شناخته می‌شود (شکل ۱ و ۲). جهرمی و همکاران (۱۳) اظهار داشتند که پارامتر پایداری AMMI دارای مفهوم زراعی پایداری است که در این مفهوم، یک پاسخ قابل پیش‌بینی نسبت به عوامل محیطی وجود دارد و احتمال افزایش عملکرد ژنوتیپ‌ها با بهبود شرایط محیطی وجود دارد. نجفیان و همکاران (۲۲) نیز در بررسی سازگاری ژنوتیپ‌های گندم هگزاپلوئید در منطقه معتدل، ژنوتیپ پایدار را با استفاده از روش AMMI معرفی کردند.



شکل ۱– بای‌پلات (Biplot) مدل AMMI برای ۱۰ ژنوتیپ در ۱۴ محیط (علوفه خشک)
Figure 1. Biplot AMMI model for 10 genotypes in 14 environments (dry forage)



شکل ۲– بای‌پلات (Biplot) مدل AMMI2 برای ۱۰ ژنوتیپ سورگوم علوفه‌ای در ۱۴ محیط مختلف (علوفه خشک)
Figure 2. Biplot of AMMI2 model for 10 forage sorghum genotypes in 14 different locations (Dry forage)

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jcb.14.42.177]

جدول ۳- مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول تا هفتم و پارامتر ASV برای عملکرد علوفه تر و خشک

Table 3. The values of the first to seventh principal components and the ASV parameter (AMMI stability value) for fresh and dry forage yield

شماره	ژنوتیپ	عملکرد (تن در هکتار)		علوفه تر							علوفه خشک							
		عملکرد علوفه تر	عملکرد علوفه خشک	مؤلفه اصلی اول	مؤلفه اصلی دوم	مؤلفه اصلی سوم	مؤلفه اصلی چهارم	مؤلفه اصلی پنجم	مؤلفه اصلی ششم	مؤلفه اصلی هفتم	مؤلفه اصلی اول	مؤلفه اصلی دوم	مؤلفه اصلی سوم	مؤلفه اصلی چهارم	مؤلفه اصلی پنجم	مؤلفه اصلی ششم	مؤلفه اصلی هفتم	ارزش پایداری امی (علوفه تر)	ارزش پایداری امی (علوفه خشک)
۱	KFS2	۱۰۷/۲	۲۷/۵۸	۲/۰	-۲/۴	۳/۰	۱/۵	-۴/۸	-۱/۵	۰/۷	۰/۴	-۰/۴	-۱/۶	۰/۴	-۱/۷	۱/۲	۱/۸	۴/۴	۰/۶
۲	KFS3	۱۰۹/۵	۲۴/۴۸	-۹/۲	۲/۵	۱/۰	۰/۹	-۱/۰	۱/۳	-۰/۲	-۰/۵	۲/۵	-۰/۹	-۰/۵	-۰/۲	-۲/۵	۰/۷	۱۳/۸	۲/۷
۳	KFS9	۸۹/۲	۲۳/۷۴	-۱/۳	-۲/۰	۲/۴	-۲/۹	۱/۱	-۰/۷	۱/۷	۰/۱	۱/۱	۰/۵	-۲/۳	-۱/۰	۰/۵	-۱/۲	۳/۴	۱/۳
۴	KFS10	۹۶/۶	۲۶/۴۰	-۰/۳	۰/۴	۲/۳	۰/۶	۳/۲	-۳/۴	-۱/۵	۱/۸	-۰/۹	-۰/۸	-۱/۸	۱/۱	۰/۷	۰/۲	۰/۸	۲/۰
۵	KFS11	۱۰۰/۲	۲۵/۵۵	۴/۶	۵/۷	۲/۲	۲/۷	۱/۰	۱/۴	۰/۶	-۱/۶	-۲/۶	۲/۳	-۰/۸	۰/۲	-۰/۹	۱/۱	۴/۳	۳/۳
۶	KFS12	۱۰۳/۱	۲۶/۸۲	-۰/۵	-۱/۸	-۵/۳	۴/۷	۰/۲	-۱/۲	-۰/۲	۳/۲	-۱/۷	-۰/۱	۱/۱	-۰/۳	-۱/۲	-۱/۱	۲/۸	۳/۲
۷	KFS15	۹۹/۳	۲۷/۲۱	۱/۱	۳/۳	-۴/۲	-۳/۰	-۱/۶	-۰/۵	۰/۸	-۲/۴	-۱/۱	-۱/۸	۱/۴	۰/۶	۰/۰	-۰/۸	۴/۹	۲/۸
۸	KFS16	۹۴/۰	۲۵/۳۶	۱/۷	۰/۰	-۰/۵	-۳/۶	-۱/۳	۰/۶	-۳/۱	-۱/۶	۰/۱	۰/۷	۰/۴	-۱/۴	۰/۶	-۱/۳	۲/۴	۱/۷
۹	KFS17	۱۰۷/۳	۲۸/۴۹	۰/۴	-۱/۷	-۱/۸	-۲/۲	۲/۲	۰/۴	۱/۶	-۰/۵	۱/۰	-۰/۲	۰/۰	۲/۴	۰/۸	۰/۰	۲/۵	۱/۲
۱۰	KFS18	۱۲۱/۱	۳۲/۰۴	۱/۴	-۴/۰	۰/۷	۱/۳	۱/۰	۳/۶	-۰/۶	۱/۱	۱/۹	۲/۱	۲/۰	۰/۲	۰/۷	۰/۵	۶/۲	۲/۴

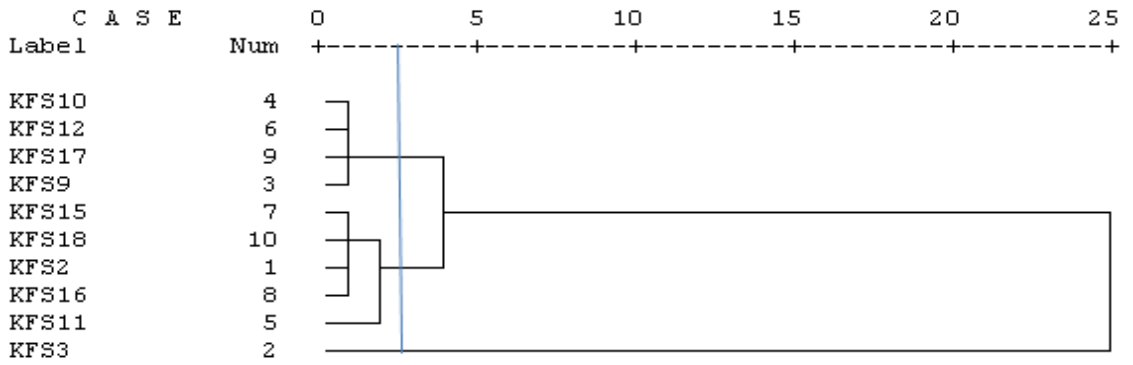
[DOI: 10.52547/jcb.14.42.177] [Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

برای ارزیابی روابط ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها از نمایش گرافیکی بای‌پلات (Biplot) استفاده شد. بای‌پلات (Biplot) رسم شده برای مدل AMMI نموداری است که ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها با هم بر روی آن رسم می‌شوند. مزیت این گراف‌ها این است که روابط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها را قابل مشاهده می‌کند و بر این اساس می‌توان ژنوتیپ‌های مختلف را برای مناطق خاصی معرفی کرد. در بای‌پلات (Biplot) شکل ۱ محور افقی نمایانگر اثرات اصلی جمع‌پذیر یا میانگین عملکرد علوفه بر حسب تن در هکتار و محور عمودی اثرات متقابل ضربی یا مقادیر اولین مؤلفه اصلی (IPCA1) یعنی ضرایب عاملی، برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به‌طور جداگانه می‌باشد (۱). با توجه به بای‌پلات (Biplot) مدل AMMI ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۹ و ۱۰ در اکثر محیط‌ها دارای پایداری می‌باشند و از لحاظ عملکرد علوفه خشک به‌عنوان لاین‌های پایدار شناخته می‌شوند (شکل ۱). توحیدی و همکاران (۲۸) از بای‌پلات AMMI به‌منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف استفاده کردند. باصفا و همکاران (۵) با مطالعه روی ۱۵ لاین سورگوم علوفه‌ای گزارش دادند در محیط‌های مورد بررسی بر اساس نتایج تجزیه AMMI و پارامترهای پایداری موردمطالعه، لاین‌های شماره ۱۵ و ۵ با عملکرد بالاتر از میانگین دارای بیشترین پایداری بودند درصورتی‌که لاین‌های شماره ۱ و ۳ با بیشترین تأثیر در اثر متقابل، ناپایدارترین لاین شناخته شدند. فلاحی و همکاران (۱۰) پایداری ژنوتیپ‌های مختلف گندم را توسط این روش مورد مطالعه قرار دادند. در تحقیقی برای تجزیه اثر متقابل 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، داراب ۲، داراب ۴ و ۴۷ به‌عنوان ارقام پایدار و دارای عملکرد برتر معرفی شدند (۲۱). خزائی و همکاران (۱۷) در بررسی ژنوتیپ‌های دومنظوره سورگوم دانه‌ای و علوفه‌ای گزارش دادند با توجه به مدل AMMI و پارامتر ارزش پایداری امی (ASV)، لاین‌های شماره ۲ (KDFGS6) و ۳ (KDFGS9) با پایداری بالا، مناسب‌ترین لاین‌ها به‌منظور ارقام دومنظوره با اولویت تولید دانه انتخاب می‌شوند و لاین‌های شماره ۹ (KDFGS26) و ۱ (KDFGS4) به‌عنوان ارقام دومنظوره با اولویت تولید علوفه معرفی می‌شوند. با توجه به اهمیت بیشتر علوفه خشک شکل‌های AMMI بر اساس عملکرد علوفه خشک ترسیم شده‌اند. بر اساس شکل ۱ 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 عمودی که از نقطه صفر محور IPCA1 عبور کرده است، نمودار را به دو قسمت تقسیم کرد. ژنوتیپ‌هایی که در قسمت بالای این محور قرار گرفتند به‌عنوان ژنوتیپ‌های با اثر متقابل مثبت شناخته شدند و ژنوتیپ‌هایی که نزدیک محور IPCA1 بودند به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی که دارای کمترین اثر متقابل بودند معرفی شدند. براین‌اساس ژنوتیپ‌های ۱ و ۸ به ترتیب بیشترین اثر متقابل مثبت و منفی داشتند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار شناخته شدند. ژنوتیپ‌های ۴، ۹ و ۱۰ به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار انتخاب شدند و بر اساس مدل AMMI1 قابل توصیه به همه مناطق می‌باشند. در شکل ۲ از مؤلفه‌های اصلی IPCA1 و IPCA2 برای رسم بای‌پلات (Biplot) استفاده شد. در این شکل نیز ژنوتیپ‌هایی که در قسمت بالا و سمت راست نمودار هستند به هر دو محور IPCA1 و IPCA2 اثر متقابل مثبت دارند و ژنوتیپ‌هایی که در قسمت پایین و سمت چپ نمودار قرار گرفته‌اند نسبت به هر دو محور IPCA1 و IPCA2 اثر متقابل منفی دارند. با توجه به این‌که اثر متقابل توجیه شده به‌وسیله IPCA2 کمتر از اثر متقابل توجیه شده به‌وسیله IPCA1 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. ژنوتیپ‌هایی که به مرکز نمودار نزدیک‌تر هستند نسبت به هر دو محور IPCA1 و IPCA2 اثر متقابل کمتری خواهند داشت. با توجه به شکل ۲ ژنوتیپ ۳، ۹، ۸ و ۱ با کمترین مقدار اثر متقابل نسبت به دو محور به‌عنوان ژنوتیپ پایدار شناخته شد و ژنوتیپ‌های ۵ و ۶ بالاترین مقادیر اثر متقابل را داشتند. توحیدی و همکاران (۲۸) نیز به منظور ارزیابی پایداری عملکرد دانه در لاین‌های گندم نان از روش AMMI استفاده کردند و ژنوتیپ پایدار با عملکرد دانه مناسب را معرفی نمودند. فلاحی و همکاران (۱۰) در ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی گندم دوروم از این روش استفاده کردند. مقدم و همکاران (۲۱) در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گلرنگ از روش AMMI استفاده کردند و ارقام پایدار با عملکرد مناسب را معرفی نمودند. در مدل بای‌پلات (Biplot) AMMI ژنوتیپ‌هایی که در مرکز بای‌پلات (Biplot) قرار دارند از پایداری عمومی بالایی برخوردارند و برای اکثر محیط‌ها قابل‌توصیه می‌باشند درحالی‌که ژنوتیپ‌هایی که دور از مرکز قرار دارند دارای پایداری خصوصی هستند (۸). خزائی و همکاران (۱۸) نیز با استفاده از روش AMMI ژنوتیپ‌های سورگوم علوفه‌ای دارای سازگاری به محیط‌های مختلف را معرفی کردند و گزارش کردند که ژنوتیپ‌هایی که در مرکز بای‌پلات قرار گرفته‌اند، اثر متقابل نزدیک به صفر را دارند و دارای پایداری عمومی بیشتری هستند.

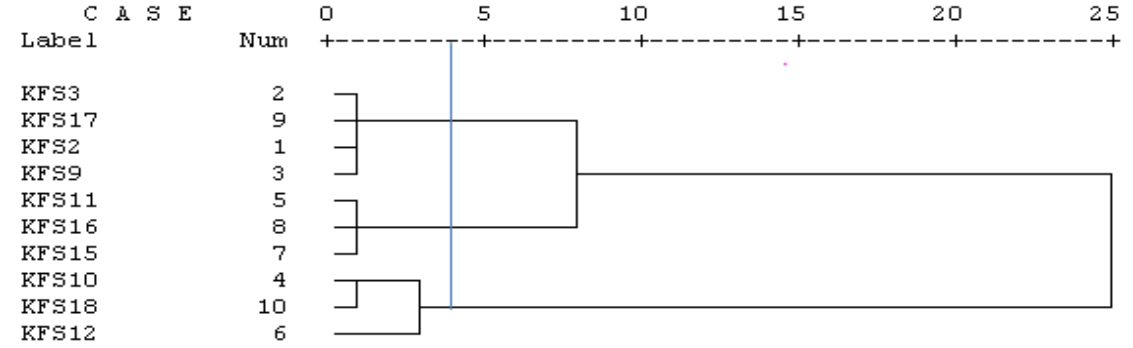
به‌منظور تجزیه واکنش ژنوتیپی (استفاده هم‌زمان از تفکیک‌های دسته‌بندی و برداریابی) و بررسی دقیق‌تر پایداری ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، تجزیه خوشه‌ای بر اساس مقادیر اولین مؤلفه اصلی ژنوتیپ‌ها (شکل ۳ و ۴) انجام شد. تجزیه خوشه‌ای برای عملکرد علوفه تر، سه گروه ژنوتیپی را مشخص نمود که گروه اول شامل ژنوتیپ‌های ۴، ۶، ۹ و ۳ با مقادیر نسبتاً پایین و منفی IPCA1، گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های ۷، ۱۰، ۱ و ۸ با مقادیر متوسط و مثبت IPCA1 و گروه سوم شامل ژنوتیپ شماره ۲ با مقدار خیلی بالا و منفی IPCA1 بودند (شکل ۳). در تجزیه خوشه‌ای علوفه خشک نیز ژنوتیپ‌ها به سه گروه تقسیم شدند که گروه اول شامل ژنوتیپ‌های ۲، ۹، ۱ و ۳ با مقادیر بسیار پایین IPCA1، گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های ۵، ۸ و ۷ با مقادیر منفی IPCA1 و

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jcb.14.42.177]

گروه سوم ژنوتیپ‌های ۴، ۱۰ و ۶ با مقادیر مثبت IPCA1 بودند (شکل ۴).



شکل ۳- دندروگرام گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل (علوفه تر)
Figure 3. The dendrogram of genotypes grouping based on the first principal components of interaction (Fresh forage)



شکل ۴- دندروگرام گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل (علوفه خشک)
Figure 4. The dendrogram of genotypes grouping based on the first principal components of interaction (Dry forage)

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی در شرایط محیطی، 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. خوشبختانه در این پژوهش نیز ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا دارای پایداری مناسبی هم بودند. با توجه به مدل AMMI و پارامتر ارزش پایداری AMMI (ASV)، ژنوتیپ ۱ با کمترین مقدار اثر متقابل نسبت به دو محور به‌عنوان ژنوتیپ پایدار شناخته شد و ژنوتیپ‌های ۲ و ۵ بالاترین مقادیر اثر متقابل را داشتند. با توجه به عملکرد علوفه تر (۱۲۱/۱ تن در هکتار) و عملکرد علوفه خشک (۳۲/۰۴ تن در هکتار) و IPCA1 نسبتاً پایین و همچنین با توجه به بای‌پلات (Biplot) مدل AMMI لاین KFS18 در اکثر محیط‌ها دارای عملکرد بالا بود و به‌عنوان لاین برتر و مناسب شناخته می‌شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله از پروژه تحقیقاتی با عنوان "ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد در لاین‌های امیدبخش سورگوم علوفه‌ای" با شماره مصوب ۹۷۰۳۳۷- ۰۵۲ -۰۳ -۰۳ -۰ که در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر اجرا شده، استخراج گردیده 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

1. Abamuf, J. and A. Allurik. 1998. AMMI analysis of rainfed lowland rice (Orizasativa) traits in Nigeria. Plant Breeding, 117: 395-397.
2. Allard, R.W. and A.D. Bradshaw. 1964. Implication of genotype-environment interactions in applied plant breeding. Crop Science, 4: 503-508.
3. 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. Annual Research & Review in Biology, 23(3): 1-16.
4. Azizi, A.H., S. Sardouie, Gh. Mohammadi Nejad, B. Nakhoda, M. Mardi, S.M.T. Tabatabaei, A. Amini and A. Majidi Hrrvan. 2018. Estimation of genotype by environment interaction and pattern analysis of genotype in varied breat wheat lines under salinity stress condition. Journal of Crop Breeding, 8(19): 80-85 (In Persian).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/jcb.14.42.177]

5. Basafa, M., M. Taheriand and A.R. Beheshti. 2014. Stability analysis for forage yield in sorghum lines. Applied Field Crops Research, 107: 99-107 (In Persian).
6. Bhartiya, A., J.P. Aditya, V. Kumari, N. Kishore, J.P. Purwar, A. Agrawal and L. Kant. 2017. GGE biplot and AMMI analysis of yield stability in multy – environment trail of soybean (*Glycine max* L.) Merrill genotypes under rainfed condition of nodition of noryth western himalyan hills. Journal of Animal and Plant Sciences, 27(1): 227-238.
7. Crossa, J. 1990. Statistical analyses of multilocation trials. Advances in Agronomy, 44: 55-85.
8. Crossa, J., H.G. Gauch and R.W. Zobel. 1996. Additive main effects and multiplication analysis of two international maize cultivar trails. Crop Science, 30: 493-500.
9. 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 Science, 42: 497-506.
10. Fallahi, H.A., J.A. Jafarabi and F. Sidi. 2001. Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. Seed and Plant Improvement Journal, 27(1): 15-22 (In Persian).
11. Farshadfar, E. 2008. Incorporation of AMMI stability value and grain yield in a single non-parametric index (GSI) in bread wheat. Pakistan Journal of Biological Sciences, 11: 1791-1796.
12. Gauch, H.G. 1992. Statistical Analysis of Regional Yield Trials: AMMI Analysis of Factorial Designs. Elsevier, Netherlands, Amsterdam, 256 pp.
13. 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. Iranian Journal of Crop Sciences, 13: 565-579 (In Persian).
14. Kaiser, D.E., J.J. Wiersma and J.A. Anderson. 2014. Genotype and environment variation in elemental composition of spring wheat flag leaves. Agronomy Journal, 106: 324-336.
15. Kang, M.S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials.Consequences for growers. Agronomy Journal, 85: 754-757.
16. Khamari, A., K.H. Mostafavi and A. Mohammadi. 2018. Evaluation of grain yield stability of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars using the main combinations. Journal of Crop Production, 11(2): 185- 195 (In Persian).
17. Khazaei, A., A. Azari, A. Ghasemi, M.R. Shiri, M. Torabi and A.R. Beheshti. 2020. Study of grain and forage yield stability of dual purpose sorghum promising lines. Seed and Plant Improvement Journal, 26(1): 51-70 (In Persian).
18. Khazaei, A., M. Torabi, H. Mokhtarpour and A.R. Beheshti. 2019. Evalaution of yield stability of forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] using analysis. Iranian Journal of Crop Sciences, 21(3): 225-236 (In Persian).
19. Lin, C. and M.R. Binns. 1991. Genetic properties of four types of stability parameter. Theoretical and Appllied Genetics, 82: 505-509.
20. Lin, C.S., M.R. Binns and L.P. Lefcovitch. 1986. Stability analysis: Where do we stand? Crop Science, 26: 894-900.
21. 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 Breeding Journal, 4(1): 47-54 (In Persian).
22. 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. Journal of Agricultural Science and Technology, 12: 213-222 (In Persian).
23. Payane, R.W., S.A. Harding, D.A. Murray, D.M. Sotar, D.B. Baird, A.I. Glaser, I.C.Channing, S.J. Welham, A.R. Gilmour, R. Thompson and R. Webster. 2009. The Guide to Genstat Release 12. VSN International 5 the waterhouse, waterhouse street, Hemel Hemstead Hertford shire HP1 1ES, UK.
24. Purchase, J.L. 1997. Parametric Analysis to Describe Genotype × Environment Interaction and Yield Stability in Winter Wheat.Ph.D. Thesis, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture of the University of the Free State, Bloemfontein, South Africa.
25. SAS Institute. 1996. SAS/STATusers guide. V.6, 4th ed. SAS Inst., Cary, NC.
26. Shiri, M. and T. Bahrampour. 2015. Genotype × environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. Journal of Cereals Research, 5(1): 83-94 (In Persian).
27. Smith, C.W. and R.A. Frederiksen. 2000. Sorghum: Origin, History, Technology, and Production. John Wiley & Sons Inc., New York, USA, 840 pp.
28. 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. Journal of Plant Production Research, 2(22): 189-202 (In Persian).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jcb.14.42.177]

Evaluation of Genotype × Environment Interaction for Forage Yield of Promising Forage Sorghum Lines (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) using AMMI Model

Azim Khazaei[1], Farid Golzardi[2], Mohammad Shahverdi[3], Leyla Nazari[4], Ahmad Ghasemi[5], Seyed Ali Tabatabaei[6], Abdollah Shariati[7] and Hasan Mokhtarpour[8]

1- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. (Corresponding author: a.khazaei@areeo.ac.ir)
2- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3- Assistant Professor, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Borojerd, Iran
4- Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Fars, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
5- Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Sistan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zabol, Iran
6- Associate Professor, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Yazd, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
7- Researcher, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Kordestan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sanandaj, Iran
8- Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Golestan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran
Received: 21 September, 2021 Accepted: 2 November, 2021

Extended Abstract

Introduction and Objective: Due to the spread of droughts and fodder shortages in the country, it is necessary to introduce new cultivars of forage sorghum. Investigating the genotype-environment interaction to select the superior genotype is one of the most important steps of breeding programs. In these programs, evaluating the compatibility of different genotypes to various environmental conditions is important.

Material and Methods: Ten promising lines of forage sorghum were studied in a randomized complete block design with three replications at seven regions of Iran (Boroujerd, Zabol, Sanandaj, Shiraz, Karaj, Gorgan, and Yazd) for two years (2018-2019). The AMMI method was used to evaluate the yield stability and compatibility of genotypes.

Results: The results of combined analysis of variance showed that the effects of year, place, year × place, genotype, year × genotype, place × genotype, and year × place × genotype on the fresh and dry forage yield were significant ($p\leq0.01$). The significant interaction of environment × genotype indicates different reactions of genotypes in different environments. The results of AMMI analysis showed that the six main components of the interaction of environment × genotype were significant for fresh and dry forage yields ($p\leq0.01$). For fresh forage yield, the first main component of interaction (IPCA1) had the largest contribution (26.6%) in the expression of genotype-environment interaction and the second to seventh main components were in the next ranks of importance with 18.4, 17, 15.7, 10.5, 7.5 and 4.3%, respectively. For dry forage yield, the first main component of interaction (IPCA1) had the largest contribution (21.8%) in the expression of genotype-environment interaction and the second to seventh main components were in the next ranks of importance with 19.8, 14.7, 14, 11.1, 10.1 and 8.5%, respectively. In total, the cumulative contribution of the seven main components was 98% for fresh forage yield and 97% for dry forage yield. In terms of fresh forage yield, the KFS10, KFS12, and KFS17 lines had the lowest IPCA1 values, which are introduced as stable lines with high general compatibility. In terms of AMMI stability value (ASV) for fresh forage yield, the KFS10 line was determined as the most stable line. In terms of dry forage yield, the KFS2, KFS3, KFS9, and KFS17 lines had the lowest IPCA1 values, which are introduced as stable lines with high general compatibility. The KFS2 line had the lowest amount of ASV in terms of dry forage yield.

Conclusion: Overall, the KFS18 line with high fresh and dry forage yields (121.1 and 32.04 $t.ha^{-1}$, respectively), low IPCA1, and also optimal forage production in most environments (according to the Biplot model of AMMI) is recognized as a superior genotype.

Keywords: Biplot, Dry forage yield, Genotype, General compatibility, Stability

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/jcb.14.42.177]