"مجله علوم زراعی ایران"
جلد بیست و یکم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸

ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های سورگوم علوفه‌ای [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] با استفاده از تجزیه AMMI

Evaluation of yield stability of forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes using AMMI analysis

عظیم خزائی[۱]، مسعود ترابی[۲]، حسن مختارپور[۳] و علی‌رضا بهشتی[۴]

چکیده

خزائی، ع.، م. ترابی، ح. مختارپور و ع. ر. بهشتی. ۱۳۹۸. ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های سورگوم علوفه‌ای [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] با استفاده از تجزیه AMMI. **مجله علوم زراعی ایران. ۲۱ (۳): ۲۳۶-۲۲۵.**

سورگوم گیاه علوفه‌ای مهمی جهت تولید سیلاژ، علوفه تر و علوفه خشک محسوب می‌شود. به‌منظور ارزیابی پایداری عملکرد شانزده رقم، لاین و هیبرید سورگوم علوفه‌ای، آزمایش‌هایی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال‌های ۹۶- ۱۳۹۵ در مناطق کرج، اصفهان، گرگان و مشهد اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر مکان، سال، ژنوتیپ و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد علوفه معنی‌دار بودند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های ۸ (Siloking) و ۱۲ (FGCSI12) به ترتیب با تولید ۱۳۰/٦ و ۱۲۷/۵ تن در هکتار علوفه تر و ۲٦/۹۷ و ۲۷/۱۷ تن در هکتار علوفه خشک، نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتر بودند. ژنوتیپ‌های ۲ (Speedfeed)، ۹ (PHFS-27) ۵ (Juicy Sweet BMR SSH.1) و ۱۳(Sucarose-Photo-BMR) به ترتیب با عملکرد ۱۰۵/٦، ۱۰۷/۸، ۱۰۸/۲ و ۱۰۷ تن علوفه تر در هکتار در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. تجزیه واریانس به روش امی (AMMI) و برازش مؤلفه‌های اصلی به اثر متقابل ژنوتیپ و محیط نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول و دوم برای عملکرد علوفه تر و خشک معنی‌دار بودند. بر اساس نتایج مدل امی و پارامتر ارزش پایداری‌امی، ژنوتیپ‌های ۸ (Siloking) و ۱۲ (FGCSI12) با عملکرد و پایداری بالاتر، به‌عنوان مناسب‌ترین ژنوتیپ‌های سورگوم علوفه‌ای شناخته شدند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه امی، سورگوم، عملکرد علوفه و مؤلفه‌های اصلی.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۰ این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی مصوب شماره ۹۵۱۵۵-۰۳-۰۳-۰۴ مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر می‌باشد.

۱- استادیار پژوهشی 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 پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و آموزش اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۳- استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و آموزش گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
۴- دانشیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و آموزش خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.3.2.6]
[DOI: 10.29252/abj.21.3.225]

مقدمه

سورگوم [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] از نظر اهمیت در بین گیاهان غلاتی 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 ایالات‌متحده آمریکا بعد از گندم و ذرت در مقام سوم قرار دارد (Smith *et al*., 2000). سطح زیر کشت سورگوم در جهان حدود ۴۸ میلیون هکتار است که ۹۰ درصد آن را ارقام دانه‌ای تشکیل می‌دهند، بنابراین سورگوم در دنیا در درجه اول به‌عنوان یک غله دانه‌ای مطرح است. هندوستان با سطح زیر کشت حدود نه میلیون هکتار در مقام اول قرار داشته و ایالات متحده آمریکا با سطح زیر کشت حدود سه میلیون هکتار، بیشترین محصول سورگوم در جهان را تولید می‌کنند. سطح زیر کشت سورگوم در ایران ۴۴ هزار هکتار است. میزان تولید سورگوم در جهان ۶۳ میلیون تن است که بیشترین میزان تولید به ترتیب ۲۱، ۲۳ و ۱۹ میلیون تن محصول مربوط به قاره آفریقا، آمریکا و آسیا می‌باشد (FAO, 2016). سورگوم از نظر فیزیولوژیکی جزء گیاهان چهار کربنه است بنابراین در مقایسه با اکثر گیاهان علوفه‌ای، کارایی فتوسنتزی بالایی دارد (Dogget,1988). برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط روش‌های متعددی ارائه شده است. این روش‌ها به سه گروه پارامتری، ناپارامتری و چند متغیره تقسیم‌بندی می‌شوند (Gauch,1992). گزارش شده است که در میان روش‌های چند متغیره مدل اثرات اصلی افزایشی و اثر متقابل ضرب پذیر (AMMI)، روش کارآمدی برای حذف خطا و آشکار کردن الگوی مناسب داده‌ها است (Yan and Hunt, 2002). این روش یکی از روش‌های مناسب برای تجزیه و تحلیل در آزمایش‌های سازگاری است و 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. اگر در تجزیه امی فقط مؤلفه اصلی اول معنی‌دار باشد و به عبارت دیگر مؤلفه اصلی اول بیش از ۹۰ درصد تغییرات را توجیه کند، مدل از نوع امی۱ (AMMI1) خواهد بود و اگر دو مؤلفه اصلی اول بیش از ۹۰ درصد تغییرات را توجیه کنند مدل از نوع امی۲ (AMMI2) خواهد بود و به همین ترتیب برای مؤلفه‌های بعدی اقدام می‌شود. حال اگر هیچ‌کدام و یا مجموع چند تا از مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار نشوند مدل امی صفر (AMMI0) نامیده می‌شود که فاقد محورهای IPCA (تجزیه به مولفه‌های اصلی) است و همان مدل تجزیه واریانس است (Gauch,1992). هرچه مقادیر IPCA به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده پایداری بیشتر ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد آزمون است. 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 پایین هستند. ژنوتیپ‌های دارای مقادیر IPCA1 با علامت منفی اثر متقابل منفی ایجاد می‌کنند و ژنوتیپ‌های با IPCA1 با علامت مثبت، اثر متقابل مثبت ایجاد می‌کنند. با صفا و همکاران (Basafa *et al*., 2015) با ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط روی عملکرد علوفه تر ۱۵ لاین سورگوم علوفه‌ای با استفاده از تجزیه مدل اثرات اصلی افزایشی و ضرب پذیر امی (AMMI) و نیز ارزیابی ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها و اثرات متقابل آن‌ها با استفاده از آماره‌های پایداری نشان دادند که اثرات اصلی ژنوتیپ، محیط، اثرات متقابل آن‌ها و دو مؤلفه اول اثر متقابل، معنی‌دار بودند. در محیط‌های مورد بررسی بر اساس تجزیه امی و پارامترهای پایداری مورد ارزیابی، ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۵ با عملکرد بالاتر از میانگین دارای بیشترین پایداری بودند، در صورتی که ژنوتیپ‌های ۱ و ۳ با بیشترین تأثیر در اثر متقابل، ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. شیری

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.3.2.6]
[DOI: 10.29252/abj.21.3.225]

(Shiri, 2016) با ارزیابی هفت رقم سورگوم علوفه‌ای گزارش داد که بر اساس منابع تغییر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، رقم Nectar از نظر علوفه تر در هر دو شرایط کشت تابستانه و بهاره و از نظر علوفه خشک رقم Nectar در شرایط کشت تابستانه و رقم Speed feed در شرایط کشت بهاره ارقام برتر با سازگاری خصوصی بالا بودند. بر اساس بای‌پلات رقم ایده‌ال فرضی، رقم Nectar بر اساس هر دو مقوله پایداری و میانگین عملکرد برتر از سایر ارقام در هردو شرایط بوده و سازگاری عمومی بالایی داشت.

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 امی و GGE-biplot مناسب‌ترین مدل‌ها برای ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط هستند. در آزمایش آنان تجزیه واریانس امی نشان داد که اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل 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، در حالی که ژنوتیپ‌های ICSB-8001 و BTX- 407 علی‌رغم داشتن بالاترین پایداری، عملکرد متوسطی داشتند.

روش‌های معرفی‌شده از نظر کارایی تشخیص رقم پایدار توسط محققان مختلف مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است، اما یک روش کاملاً قابل‌قبول و قطعی برای این منظور وجود ندارد، بنابراین هرگروه از محققان از یکی از روش‌ها و یا ترکیبی از روش‌ها جهت شناسایی رقم‌های پایدار و پر محصول استفاده می‌کنند. هدف از این پژوهش شناسایی رقم، لاین و یا هیبرید پایدار و سازگار سورگوم علوفه‌ای با عملکرد بالا بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ رقم، لاین و هیبرید سورگوم علوفه‌ای و با سه تکرار در چهار منطقه کرج، اصفهان، گرگان و مشهد به مدت دو سال (۹۶- ۱۳۹۵) انجام شد. اسامی ارقام، لاین‌ها و هیبریدهای سورگوم علوفه‌ای همراه با منشاء آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. در هر سال، عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و ماله روی قطعه زمین مورد نظر انجام و بر اساس نتایج آزمون خاک، نیاز کودی تعیین شد. تمام کودهای فسفر و پتاس مورد نیاز در زمان تهیه زمین توزیع شدند. فسفر (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع کود فسفات آمونیوم و نیتروژن (۵۰ کیلوگرم در زمان کاشت و ۵۰ کیلوگرم در مرحله ۳۵ تا ۴۰ سانتیمتری بوته‌ها) از منبع کود اوره، به خاک داده شدند. هر کرت شامل چهار خط کاشت پنج متری با فواصل ردیف ۶۰ سانتی‌متر بود. بذرهای ۱۶ رقم، لاین و هیبرید سورگوم بر اساس نقشه آزمایش در کرت‌های مربوطه کاشته شده و پس از سبز شدن بذرها و استقرار گیاهچه‌ها و تنک بوته‌های اضافی، فواصل بین آنها بر اساس هشت سانتی‌متر، تنک و تنظیم شد. بعد از برداشت چین اول، هم‌زمان با آبیاری مجددا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به خاک داده شد. در طول دوره رویش از صفات مهم زراعی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد پنجه‌ها، قطر ساقه، تعداد برگ‌ها، وزن علوفه تر و خشک و عملکرد بیولوژیک یادداشت‌برداری شد. در زمان برداشت جهت برآورد عملکرد، محصول دو خط وسط پس از حذف حاشیه، برداشت شد. در پایان سال دوم نتایج جمع‌بندی و پس از ارزیابی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی، تجزیه مرکب انجام شد و برای تجزیه پایداری از روش تحلیل اثرات اصلی و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) استفاده شد. روش امی ترکیبی از مدل تجزیه واریانس و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) است و مدل آن به‌صورت رابطه ۱ است (Gauch, 1992):

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.3.2.6]
[DOI: 10.29252/abj.21.3.225]

(رابطه ۱) $Yger= \mu+\alpha g+\beta e+\sum\lambda n\gamma gn\delta en+\rho ge+\varepsilon ger$

Yger: عملکرد ژنوتیپ gام در محیط eام در تکرار rام، μ: میانگین کل آزمایش، αg و βe: به ترتیب اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط، λn: مقدار منفرد برای محور مؤلفه اصلی nام، γgn: بردار ویژه ژنوتیپ برای محور nام و ρge: مقدار باقیمانده یا نویز (Noise) و εger: عبارت مربوط به خطا هستند. برای بخش اول مدل امی (μ+αg+βe)، یعنی بخش جمع پذیر، از تجزیه واریانس معمولی استفاده می‌شود. میانگین کل با اثر ژنوتیپی(αg) به‌صورت انحراف ژنوتیپ از میانگین کل و اثر محیطی (βe) به‌صورت انحراف محیط از میانگین کل برآورد می‌شود(Gauch, 1992). بخش دوم (λΣnγgnδen)، قسمت ضرب پذیر مدل است که از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (به‌منظور تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به یک تا N مؤلفه اصلی) استفاده می‌شود. باید توجه داشت که در روش امی، محاسبات روی مقادیر اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط صورت می‌گیرد، ولی در مؤلفه‌های اصلی، محاسبات روی تفاضل داده‌های اصلی از میانگین کل داده‌ها انجام می‌شود (Gauch,1988). برای محاسبه آماره پایداری ASV از رابطه ۲ (Purchase,1997) استفاده شد:

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

برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزارهای SAS 9.0 (برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها) و GENSTAT 12.0 (برای تجزیه پایداری) استفاده شد. با استفاده از معیار فاصله اقلیدسی بر اساس داده‌های استاندارد شده و تجزیه خوشه‌ای با روش حداقل واریانس Ward گروه‌بندی ژنوتیپ‌های سورگوم انجام شد. روش Ward بهترین شکل گروه‌بندی (عدم وجود حالت پله‌ای یا زنجیره‌ای) را داشته و به همین علت انتخاب شد. برش دندروگرام براساس بیشترین فاصله بین دو ادغام متوالی انجام شد.

نتایج و بحث

ابتدا تجزیه واریانس ساده برای هر محیط به‌طور جداگانه انجام و آزمون یکنواختی واریانس اشتباهات آزمایشی انجام شده و برای داده‌های دو سال و چهار مکان، فرض همگنی واریانس خطای آزمایش مورد تأیید قرار گرفت. تجزیه مرکب داده‌ها پس از آزمون یکنواختی واریانس اشتباهات انجام شد. نتایج نشان

جدول۱- اسامی و منشاء ژنوتیپ‌های سورگوم علوفه‌ای

Table1. Names and origin of forage sorghum genotypes

شماره NO.	ژنوتیپ‌های سورگوم Sorghum genotypes	منشاء Origin	نام شرکت Name of company
1	CSSH.1	USA	NAVAJOSEEDS
2	Speed feed	Iran	SPII
3	FGCSI09	France	Euralis (ES)
4	FS one BMR	USA	NAVAJOSEEDS
5	Juicy Sweet BMR SSH.1	USA	NAVAJOSEEDS
6	Juicy Sweet BMR SSH.2	USA	NAVAJOSEEDS
7	Titan	Serbia	Neginsabz borna
8	Siloking	Serbia	Neginsabzborna
9	PHFS27	ICRISAT (India)	Pajpal
10	PFS21	ICRISAT (India)	Pajpal
11	FGCSI10	France	Euralis (ES)
12	FGCSI12	France	Euralis (ES)
13	Sucarose-Photo-BMR	USA	NAVAJOSEEDS
14	KFS2	Iran	SPII
15	KFS18	Iran	SPII
16	Pegah	Iran	SPII

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.3.2.6]
[DOI: 10.29252/abj.21.3.225]

داد که مکان‌ها، سال‌ها، ژنوتیپ‌ها و اثر متقابل آن‌ها از نظر اثر بر عملکرد علوفه تر و علوفه خشک در سطح احتمال یک در صد دارای تفاوت معنی‌داری بودند. تفاوت بین مکان‌ها نشان دهنده غیریکنواخت بودن آن‌ها است. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد عملکرد علوفه تر و علوفه خشک در مکان دوم (اصفهان) نسبت به سایر مناطق دارای برتری بود (جدول ۲). معنی‌دار بودن اثر سال بر عملکرد علوفه تر و علوفه خشک نشان‌دهنده عدم همسانی شرایط محیطی طی دو سال آزمایش است. معنی‌دار بودن تفاوت بین ژنوتیپ‌های سورگوم ا ز لحاظ عملکرد علوفه تر و علوفه خشک نشان دهنده وجود تنوع ژنتیکی بین آن‌ها است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که هیبریدهای ۸ (Siloking) و ۱۲ (FGCSI12) به‌ترتیب با ۱۳۰/۶، ۱۲۷/۵ تن در هکتار علوفه تر و ۲۶/۹۷ و ۲۷/۱۷ تن در هکتار علوفه خشک، نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارای برتری بودند و هیبریدهای ۲ (Speed feed)، ۹ (PHFS-27)، ۵ (Juicy Sweet BMR SSH.1) و ۱۳ (Sucarose-Photo-BMR) به‌ترتیب با ۱۰۵/۶، ۱۰۷/۸، ۱۰۸/۲ و ۱۰۷ تن در هکتار علوفه تر در رتبه دوم قرار گرفتند (جدول ۲). در اثر متقابل سال و مکان و ژنوتیپ‌ها، در سال اول و مکان اول (کرج) هیبرید ۸ به‌ترتیب با ۱۹۲/۴۲ و ۳۵/۲۰ تن در هکتار علوفه تر و علوفه خشک و هیبرید ۱۲ به‌ترتیب با ۱۸۱/۹۴ و ۳۱/۱۷ تن در هکتار علوفه تر و علوفه خشک، دارای برتری بودند. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه مرکب و مقایسه میانگین‌ها، هیبریدهای ۸ (Siloking)، ۱۲ (FGCSI12) ، ۲ (Speed feed)، ۵ (Juicy Sweet BMR SSH.1)، ۱۳ (Sucrose Photo BMR) و ۹ (PHFS-27)، دارای علوفه تر و خشک بالاتری بودند و به‌عنوان هیبریدهای برتر شناسایی شدند.

با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، تجزیه واریانس معمولی قادر به توجیه پایداری ژنوتیپ‌ها نمی‌باشد؛ بنابراین لازم بود با استفاده از روش‌های تجزیه پایداری، اثر متقابل ژنوتیپ و محیط

جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد علوفه تر و علوفه خشک ژنوتیپ‌های سورگوم علوفه‌ای در دو سال (۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) و چهار مکان

Table 2. Mean comparison of fresh and dry forage yield of forage sorghum genotypes in years (2016 and 2017) and four locations

Treatments		تیمارهای آزمایشی		عملکرد علوفه تر Fresh forage yield (t.ha^{-1})	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield (t.ha^{-1})
		Year	سال		
Year	سال	2016	۱۳۹۵	110.1a	23.3a
		2017	۱۳۹۶	90.8b	20.8b
Location	مکان	Karaj	کرج	105.6b	21.7b
		Isfahan	اصفهان	132.1a	27.2a
		Gorgan	گرگان	100.2b	21.2b
		Mashhad	مشهد	63.8c	18.3c
2016	۱۳۹۵	Karaj	کرج	135.3a	26.6b
		Isfahan	اصفهان	124.4b	25.5b
		Gorgan	گرگان	124.4b	25.5b
		Mashhad	مشهد	56.0d	15.7d
2017	۱۳۹۶	Karaj	کرج	75.9c	16.8d
		Isfahan	اصفهان	139.7a	28.8a
		Gorgan	گرگان	75.9c	16.8d
		Mashhad	مشهد	71.6c	20.9c

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.3.2.6]
[DOI: 10.29252/abj.21.3.225]

جدول ۲ (ادامه)

Table 2. (Continued)

ژنوتیپ‌های سورگوم Sorghum genotypes	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield (t.ha^{-1})	عملکرد علوفه خشک Dry forageyield (t.ha^{-1})
CSSH.1	88.1de	20.0ef
Speed feed	105.6b	23.4b-d
FGCSI09	99.7bc	21.0c-f
FS one BMR	90.6cd	21.2c-f
Juicy Sweet BMR SSH.1	108.2b	24.4ab
Juicy Sweet BMR SSH.2	96.1cd	20.1ef
Titan	93.2cd	22.9b-e
Siloking	130.6a	26.9a
PHFS-27	107.8b	23.6bc
PFS-21	80.5e	18.2f
FGCSI10	95.7cd	21.2c-f
FGCSI12	127.5a	27.1a
Sucarose-Photo-BMR	107.0b	22.6b-e
KFS-2	87.1de	20.3d-f
KFS-18	92.9cd	20.7c-f
Pegah	95.8cd	19.6ef

در هر ستون میانگین‌هایی که 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

تجزیه و مورد بررسی قرار گیرد تا ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شوند. مطالعه جامع اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای عملکرد به ابزار آماری قدرتمندتری نیازمند است. نتایج تجزیه واریانس عملکرد علوفه تر و خشک بر مبنای روش امی در جدول ۳ ارائه شده است. منابع تغییرات ژنوتیپ و محیط و نیز اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط و نیز دو مؤلفه اصلی اثر متقابل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. برای علوفه تر، اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل ۵۳ درصد و دومین مؤلفه ۲۴ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را توجیه نمودند و برای علوفه خشک، اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل ۴۲ درصد و دومین مؤلفه شامل ۳۵ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل بود. در مجموع دو مؤلفه اصلی برای علوفه تر و خشک هر کدام ۷۷ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را توجیه نمودند. با استفاده از این دو مؤلفه سهم هر ژنوتیپ در اثر متقابل مشخص شد. هرچه سهم

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد علوفه تر و علوفه خشک ژنوتیپ‌های سورگوم علوفه‌ای با استفاده از روش امی

Table 3. Analysis of variance for fresh and dry forage yield of forage sorghum genotypes using AMMI method

منابع تغییر SOV		درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS) عملکرد علوفه تر Fresh forage yield (t.ha^{-1})	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield (t.ha^{-1})
Total	کل	383	1546	57.3
Genotypes (G)	ژنوتیپ	15	4505**	155**
(E) Environment	محیط	7	54305**	1283.4**
Block	بلوک	16	346	24.5
G×E	ژنوتیپ × محیط	105	791**	63**
IPCA1	مؤلفه اصلی اول	21	2062**	131.9**
IPCA2	مؤلفه اصلی دوم	19	1012**	120**
Residuals	باقیمانده	65	316	24.1
Error	خطا	240	233	15.1

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

**: Significant at 1% probability level

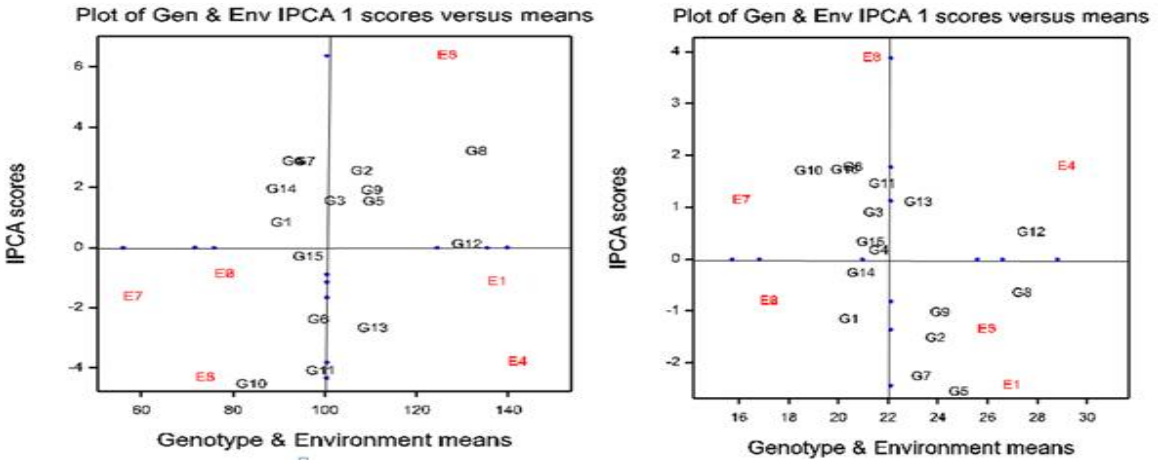
[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.3.2.6]

[DOI: 10.29252/abj.21.3.225]

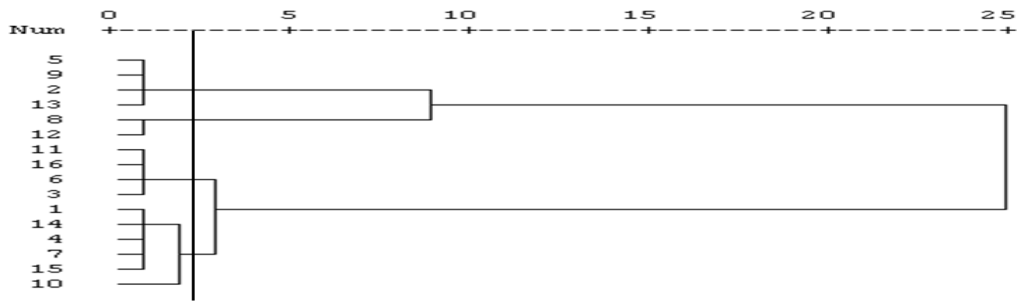
ژنوتیپ از اثر متقابل کمتر باشد، نشان‌دهنده پایداری بیشتر آن ژنوتیپ است. بعضی از محققان اظهار نموده‌اند که بهترین مدل، مدلی است که در آن فقط دو مؤلفه اصلی اول معنی‌دار شوند و سایر مؤلفه‌ها واریانس کمی داشته باشند (Katsura *et al.*, 2016). در آزمایشی روی ۲۰ ژنوتیپ گندم در ۲۴ محیط در شرایط دیم، توجیه ۹۰ درصدی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط توسط اولین و دومین مؤلفه اصلی گزارش شده است (Roostaei *et al.*, 2014). تاراکانوواس و روزگاس (Tarakanovas and Ruzgas, 2006) نیز با استفاده از روش امی، ژنوتیپ‌های پایدار گندم زمستانه و ژنوتیپ‌های دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های مختلف را شناسایی و معرفی کردند. آباموف و آلوریک (Abamuf and Allurik, 1998) نیز در تجزیه امی ارقام برنج آثار اصلی محیط و ژنوتیپ و آثار متقابل ژنوتیپ و محیط معنی‌دار گزارش کرده و این مدل را مناسب‌ترین مدل برای بررسی اثر متقابل اعلام کردند.

برای علوفه تر ژنوتیپ‌های ۲، ۵، ۸، ۱۲ و ۹ دارای IPCA1 پایینی بودند. به‌علاوه میانگین عملکرد علوفه تر این ژنوتیپ‌ها مناسب و بیشتر از میانگین کل بود و بالا شناخته شدند. برای علوفه خشک ژنوتیپ‌های ۱۲،



شکل ۱- بای‌پلات میانگین عملکرد علوفه خشک (راست) و علوفه تر (چپ) ژنوتیپ‌های سورگوم و محیط‌ها و مقادیر اولین مؤلفه اصلی آن‌ها

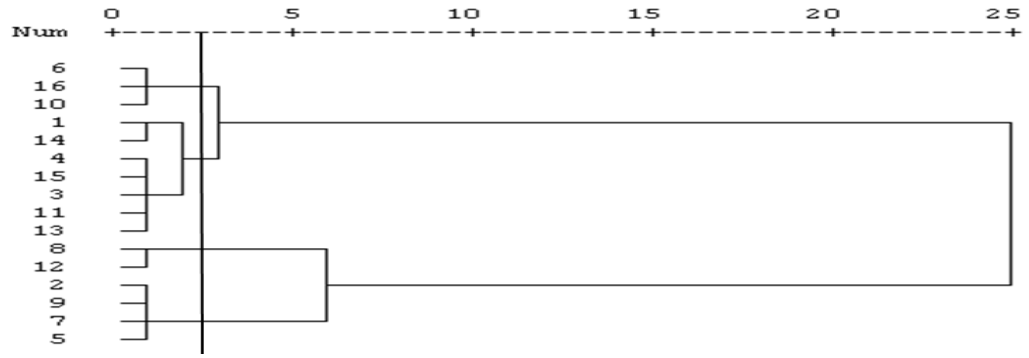
Fig.1. Biplot of mean of dry (right) and fresh (left) forage yield of sorghum genotypes and environments and the values of the first principal components of them



شکل ۲- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های سورگوم علوفه‌ای بر اساس اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل (علوفه تر)

Fig. 2. Grouping of forage sorghum genotypes based on the first principal component of interaction (fresh forage)

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.3.2.6]
[DOI: 10.29252/abj.21.3.225]



شکل ۳- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های سورگوم علوفه‌ای بر اساس اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل (علوفه خشک)

Fig. 3. Grouping of forage sorghum genotypes based on the first principal component of interaction (dry forage)

۴ و ۱۵ دارای کمترین مقدار IPCA1 بوده و عملکرد علوفه خشک بالایی هم داشتند (جدول ۴).

به‌منظور بررسی روابط ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها از نمایش گرافیکی بای‌پلات استفاده شد. در بای‌پلات شکل ۱ محور افقی نشان دهنده 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. در بای‌پلات مذکور دو جفت از داده‌ها روی محورها 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. به‌منظور تجزیه واکنش ژنوتیپی (استفاده هم‌زمان از تفکیک‌های دسته‌بندی و برداریابی) و بررسی دقیق‌تر پایداری ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، تجزیه خوشه‌ای بر اساس مقادیر

جدول ۴- مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم و پارامتر ارزش پایداری امی (ASV) برای ژنوتیپ‌های سورگوم علوفه‌ای

Table 4. The first and second main components and ASV parameter for forage sorghum genotypes

ژنوتیپ‌های سورگوم Sorghum genotypes	علوفه تر Fresh forage				علوفه خشک Dry forage			
	عملکرد Yield ($t.ha^{-1}$)	IPCA1	IPCA2	ASV	عملکرد Yield ($t.ha^{-1}$)	IPCA1	IPCA2	ASV
CSSH.1	88.1	0.80	2.27	5.89	20.0	-1.17	0.99	1.75
Speed feed	105.6	2.52	2.96	4.16	23.4	-1.54	1.14	2.18
FGCSI09	99.7	1.52	-2.28	7.61	21.0	0.88	-0.06	1.01
FS one BMR	90.6	2.84	-4.14	3.04	21.2	0.15	-2.79	3.19
Juicy Sweet BMR SSH.1	108.2	1.50	1.33	5.92	24.4	-2.57	0.70	3.03
Juicy Sweet BMR SSH.2	96.1	-2.42	-3.06	4.32	20.1	1.76	-0.64	2.13
Titan	93.2	2.83	0.29	5.82	22.9	-2.28	1.13	2.90
Siloking	130.6	3.17	2.16	3.09	26.9	-0.66	-0.43	0.90
PHFS27	107.8	1.87	0.80	7.86	23.6	-1.04	-1.83	2.40
PFS21	80.6	-4.56	-2.46	7.25	18.2	1.69	0.25	1.95
FGCSI10	95.8	-4.12	2.42	2.26	21.2	1.44	2.56	3.35
FGCSI12	127.5	0.09	1.49	4.21	27.1	0.51	0.03	0.58
Sucarose-Photo-BMR	107.0	-2.70	-0.63	4.28	22.6	1.09	0.42	1.33
KFS2	87.2	1.92	-2.07	2.39	20.3	-0.28	-1.50	1.74
KFS18	93.0	-0.33	-1.54	8.36	20.7	0.31	-1.16	1.37
Pegah	95.9	-4.92	2.48	5.89	19.6	1.71	1.19	2.38

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.3.2.6]
[DOI: 10.29252/abj.21.3.225]

جدول ۵- چهار ژنوتیپ برتر سورگوم علوفه‌ای به ترتیب اولویت برای هر محیط (ترکیب سال و مکان) با استفاده از روش امی

Table 5. The top four genotypes of forage sorghum in the order of priority for each environment (combination of year and location) using AMMI method

محیط Environment		عملکرد Yield ($t.ha^{-1}$)	Fresh forage علوفه تر				عملکرد Yield ($t.ha^{-1}$)	Dry forage علوفه خشک			
			اولین ژنوتیپ انتخابی First selected genotype	دومین ژنوتیپ انتخابی Second selected genotype	سومین ژنوتیپ انتخابی Third selected genotype	چهارمین ژنوتیپ انتخابی Fourth selected genotype		اولین ژنوتیپ انتخابی First selected genotype	دومین ژنوتیپ انتخابی Second selected genotype	سومین ژنوتیپ انتخابی Third selected genotype	چهارمین ژنوتیپ انتخابی Fourth selected genotype
Karaj 1	کرج ۱	135.4	8	12	2	16	26.6	5	7	2	nnnnn8
Karaj 2	کرج ۲	75.9	8	12	5	13	16.1	5	8	12	7
Isfahan 3	اصفهان ۳	124.4	8	12	9	2	25.5	9	8	4	12
Isfahan 4	اصفهان ۴	139.7	12	13	6	8	28.8	12	8	4	9
Gorgan 5	گرگان ۵	124.4	8	12	9	2	25.5	9	8	4	12
Gorgan 6	گرگان ۶	75.9	8	12	5	13	16.8	5	8	12	7
Mashhad 7	مشهد ۷	56.0	12	8	13	5	15.7	11	12	8	13
Mashhad 8	مشهد ۸	71.7	12	13	6	10	20.9	12	6	13	11

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.3.2.6]
[DOI: 10.29252/abj.21.3.225]

اولین مؤلفه اصلی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها (شکل‌های ۲ و ۳) انجام شد. تجزیه خوشه‌ای برای عملکرد علوفه تر مقادیر اولین مؤلفه اصلی برای ژنوتیپ‌ها، چهار گروه ژنوتیپی را مشخص نمود که گروه اول شامل ژنوتیپ‌های ۵، ۹، ۲ و ۱۳، گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های ۸ و ۱۲ گروه سوم شامل ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۶، ۶ و ۳ و گروه چهارم شامل ژنوتیپ‌های ۱، ۱۴، ۴، ۷، ۱۵ و ۱۰ بودند. در تجزیه خوشه‌ای برای عملکرد علوفه خشک، مقادیر اولین مؤلفه اصلی برای ژنوتیپ‌ها، چهار گروه ژنوتیپی مشخص شد که گروه اول شامل ژنوتیپ‌های ۶،۱۶ و ۱۰، گروه دوم ژنوتیپ‌های ۱، ۱۴، ۴، ۱۵، ۳، ۱۱ و ۱۳، گروه سوم ژنوتیپ‌های ۸ و ۱۲ و گروه چهارم ژنوتیپ‌های ۲، ۹، ۷ و ۵ بودند. ژنوتیپ‌هایی که در مرکز بای‌پلات قرار گرفته‌اند، اثر متقابل نزدیک به صفر را دارند و دارای پایداری عمومی بیشتری هستند. برای عملکرد علوفه تر ژنوتیپ‌های ۱،۱۵،۱۲،۳،۵،۹ و ۱۴ دارای اثر متقابل کم بوده و برای عملکرد علوفه خشک ژنوتیپ‌های ۲،۴،۸،۱۲،۱۴ و ۱۵ دارای اثر متقابل کم می‌باشند، ولی ژنوتیپ‌های ۸ و ۱۲ به‌علت داشتن میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های با پایداری مطلوب مورد توجه قرار گیرند.

محققان، پارامتر ارزش پایداری‌امی (ASV) را برای انتخاب هم‌زمان عملکرد و پایداری مناسب می‌دانند. در این آزمایش نتایج استفاده از آماره ارزش پایداری امی نشان داد که از لحاظ علوفه تر، ژنوتیپ‌های ۱۴، ۸، ۱۲،۴ و ۲ با داشتن کمترین مقادیر ارزش پایداری (به‌ترتیب ۲/۲۹، ۳/۰۹، ۴/۲۱، ۳/۰۴ و ۴/۱۶) پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند و عملکرد آن‌ها نیز از میانگین کل بیشتر بود. از لحاظ علوفه خشک ژنوتیپ‌های ۸ و ۱۲ دارای کمترین میزان ارزش پایداری بودند (جدول ۴). از مزایای روش امی می‌توان به استفاده هم‌زمان تجزیه واریانس ساده و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نام برد. پارامتر پایداری امی باعث سهولت انتخاب ژنوتیپ‌های برتر می‌شود. در این روش ژنوتیپ‌ها در هر محیط رتبه‌بندی شده و از این رو می‌توان اولویت‌های ژنوتیپی را در محیط‌های مختلف تعیین کرد. در جدول ۵ انتخاب چهار ژنوتیپ برتر به ترتیب اولویت برای هر محیط (ترکیب سال و مکان) توسط روش امی نمایش داده شده است.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این آزمایش، ژنوتیپ‌های ۸ و ۱۲ از لحاظ عملکرد علوفه تر و خشک و ژنوتیپ‌های ۸ و ۷ از لحاظ عملکرد علوفه خشک برای منطقه کرج شناسایی شدند. برای منطقه اصفهان دو ژنوتیپ ۸ و ۱۲ از لحاظ عملکرد علوفه تر و خشک در مجموع دو سال شناسایی شدند. برای منطقه گرگان ژنوتیپ‌های ۸، ۱۲ و ۹ در مجموع دو سال شناسایی شدند و برای منطقه مشهد ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۱۳ از لحاظ عملکرد علوفه خشک و تر در مجموع دو سال دارای برتری بوده و برای مشهد شناسایی شدند (جدول ۵). به‌طور کلی 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. بر این اساس ژنوتیپ‌های ۸ و ۱۲ در درجه اول و ژنوتیپ‌های ۹، ۵، ۲ و ۱۳ در درجه دوم، پایداری و سازگاری عمومی بالایی با محیط‌های مورد آزمایش داشتند و به‌عنوان سازگارترین و پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند که می‌توان از آنها برای مناطق مورد مطالعه استفاده کرد.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]
[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.3.2.6]
[DOI: 10.29252/abj.21.3.225]

منابع مورد استفاده References

Abamuf, J. and A. Allurik. 1998. AMMI analysis of rainfed lowland rice (*Oryza sativa*) traits in Nigeria. Plant Breed. 117: 395-397.

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. Taherian and A. Beheshti. 2015. Stability analysis for forage yield in sorghum lines. Agron. J. (Pashohesh & Sazendagi), 107: 99 -107. (In Persian with English abstract).

Dogget, H. 1988. Sorghum (2nd). Longman. ScientificTechnical. England.

FAO. 2016. FAO data based [online]. Available at, http://faostat.fao.org

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

Gauch, H. G. 1992. Statistical Analysis of Regional Yield Trials: AMMI Analysis of Factorial Designs. Elsevier, Netherlands, Amsterdam, pp. 256.

Katsura, K., Y. Tsujimoto, M. Oda, K. I. Matsushima, B. Inusah, W. Dogbe and J. I. Sakagami. 2016 . Genotype – by - environments interaction analysis of rice (*Oryza* spp) yield in a flood plain ecosystem in West Africa. Europ. J. Agron. 73: 152- 159.

Purchase, J. L. 1997. Parametric Analysis to Describe Genotype × Environment Interaction and Yield Stability in Winter Wheat. PhD Thesis, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture of the University of the Free State, Bloemfontein, South Africa.

Roostaei, M., R. Mohammadi and A. Amri. 2014. Rank correlation among different statistical models in ranking of winter wheat genotypes. Crop J. 2:154-163.

Shiri, M.R. 2016. Evaluation of fresh and dry forage yield stability of forage sorghum varieties (*Sorghum bicolor* L. Moench) in different conditions. Journal of crop breeding Vol.8, No.19. PP:93 – 101.

Smith, C. W. and R. A. Frederiksen. 2000. Sorghum: Origin, History, Technology, and Production. John Wiley & Sons Inc., New York, USA. pp. 840.

Tarakanovas, P. and V. Ruzgas. 2006. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of grain yield of wheat varieties in Lithuania. Agric. Res. 4: 91-98.

Yan, W. and L. A. Hunt. 2002. Biplot analysis of multi-environment trial data, *In:* M. S. Kang, (Ed.), Quantitative Genetics, Genomics and Plant Breeding. CAB International, Willingford.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.3.2.6]

[DOI: 10.29252/abj.21.3.225]

Evaluation of yield stability of forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes using AMMI analysis

Khazaei. A.[1], M. Torabi[2], H. Mokhtararpour[3] and A. R. Beheshti[4]

ABSTRACT

Khazaei. A., M. Torabi, H. Mokhtararpour and A. R. Beheshti. 2019. Evalaution of yield stability of forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes using AMMI analysis. **Iranian Journal of Crop Sciences. 21 (3): 225-236. (In Persian).**

Sorghum is an important forage crop used as silage, fresh forage and dry forage. To evaluate the yield stability of 16 genotypes; cultivars, lines and hybrids, of forage sorghum, experiments were conducted using randomized complete block design with three replications during 2016-17 at Karaj, Isfahan, Gorgan, and Mashhad field stations, Iran. The results of combined analysis of variance showed that the effect of location, year, genotype and their interactions were significant on forage yield. Mean comparison showed that hybrids No. 8 (Siloking) and 12 (FGCSI12) were superior to other genotypes with 130.6 and 127.5 t.ha^{-1} of fresh forage yiled, and 26.97 and 27.17 t.ha^{-1} of dry forage yield, respectively. The hybrid No. 2 (Speedfeed), No. 9 (PHFS-27), No. 5 (Juicy Sweet BMR SSH.1) and No. 13 (Sucarose- Photo- BMR) had also high fresh forage yield of 105.6, 107.8, 108.2 and 107t.ha^{-1}, respectively. The analysis of variance by AMMI method and fitting of principal components to the interaction effects of genotype and environment showed that the two principal components were significant for fresh and dry forage yield. According to the AMMI model and AMMI stability value (ASV), genotypes No. 8 (Siloking) and 12 (FGCSI12) with the high yield and stability were identified as suitable genotypes.

Key words: AMMI analysis, Sorghum, Forage yield and Principal components.

Received: December, 2018 Accepted: November, 2019

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 Isfahan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran
3. Assistant Prof., Agricultural and Natural Resources Research and Education Center Golestan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran
4. Associate Prof., Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Khorasan Razavi, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1398.21.3.2.6]
[DOI: 10.29252/abj.21.3.225]