دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

بررسی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های پیشرفته عدس دیم با بهره‌گیری از روش چند متغیره AMMI

امین نامداری[۱]، پیام پزشکپور[۲]، اصغر مهربان[۳]، امیر میرزایی[۴] و بهروز واعظی[۵]

۱- استادیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران، (نویسنده مسوول: aminnamdari61@gmail.com)
۲- استادیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران
۳- استادیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران
۴- استادیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام ، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام ایران
۵- مربی پژوهشی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۱
صفحه: ۱۶۹ تا ۱۷۶

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و سازگاری به دامنه گسترده‌ای از محیط‌ها یکی از هدف‌های عمده در برنامه‌های به‌نژادی گیاهان زراعی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های پیشرفته عدس، ۱۴ ژنوتیپ برگزیده از آزمایش‌های گذشته به همراه دو رقم شاهد گچساران و سپهر، در چهار منطقه گچساران، خرم‌آباد، مغان و ایلام، طی دو سال زراعی ۹۸-۹۷ و ۹۹-۹۸، مورد ارزیابی قرار گرفتند. به‌منظور ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها و برهمکنش ژنوتیپ در محیط، از مدل اثرهای اصلی افزایشی و اثرهای متقابل ضرب پذیر (AMMI) استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس AMMI، برهمکنش ژنوتیپ و محیط را بسیار معنی‌دار نشان داد. تجزیه برهمکنش ژنوتیپ- محیط به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که مؤلفه‌های اول و دوم نزدیک به ۷۰ درصد (به ترتیب ۴۲/۷ و ۲۷ درصد) برهمکنش ژنوتیپ- محیط را توجیه می‌کنند. محاسبه آماره پایداری AMMI (ASV) نشان داد که از بین ژنوتیپ‌های آزمایشی، ژنوتیپ‌های ۹، ۸، ۱ و ۱۲ کمترین مقدار ASV و بالاترین پایداری را دارند. در میان این ژنوتیپ‌ها، تنها ژنوتیپ ۹، واجد عملکردی بالاتر از شاهد برتر (رقم سپهر) بود. تحلیل بای‌پلات‌های AMMI 1 و AMMI 2 نشان داد که ژنوتیپ‌های ۹ و ۱۰، ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالاتر از میانگین و پایداری مطلوب، می‌باشند، در حالی‌که ژنوتیپ‌های ۱۱ و ۵ ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها از حیث عملکرد دانه هستند. ژنوتیپ ۱۱ با عملکرد بالا، فاقد سازگاری عمومی بوده و سازگاری خصوصی به محیط ۱ و تا حدی ۲ نشان داد که به منطقه گچساران مربوط می‌شوند و ژنوتیپ ۵ سازگاری خصوصی به منطقه خرم‌آباد نشان داد. ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۸ با وجود پایداری مناسب، عملکردی کمتر از میانگین نشان دادند. بر پایه نمودار بای‌پلات دو مؤلفه اول، محیط‌های ۸ و ۷ (ایلام) در کنار ۲ و ۴ بیشترین سهم را در برهمکنش ژنوتیپ- محیط داشتند.

نتیجه‌گیری: در مجموع ژنوتیپ‌های ۹ و ۱۰ با عملکرد بالا و پایداری مناسب، واجد سازگاری عمومی به محیط های آزمایشی بودند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، برهمکنش ژنوتیپ و محیط، سازگاری خصوصی، سازگاری عمومی

مقدمه

برهمکنش ژنوتیپ و محیط موجب کاهش سرعت معرفی رقم جدید گیاهان زراعی می‌شود؛ چرا که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون واکنش متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. ارزیابی و سنجش برهمکنش ژنوتیپ و محیط در آزمایش‌های چند مکانی، توسط روش‌های آماری انجام می‌شود که به‌طور کلی روش‌های تجزیه پایداری نامیده می‌شوند (۱۲). یکی از ویژگی‌های اصلی ژنوتیپ‌های پیشرفته، جهت معرفی به‌عنوان رقم، افزون بر عملکرد بالا، پایداری عملکرد می‌باشد که بیانگر سازگاری ژنوتیپ به محیط‌های گوناگون است. در رابطه با سازگاری ژنوتیپ‌ها، دو مفهوم سازگاری عمومی و سازگاری خصوصی، وجود دارند. ژنوتیپ‌هایی با میانگین عملکرد مناسب در محیط‌های گوناگون واجد سازگاری عمومی می‌باشند، در حالی که ژنوتیپ‌هایی که در محیط‌هایی محدود و ویژه، بیشینه عملکرد را بروز می‌دهند و در سایر محیط‌ها عملکرد آن‌ها نوسان بالایی دارد، واجد سازگاری خصوصی می‌باشند (۴). پایداری عملکرد را می‌توان به‌صورت ثبات عملکرد در محیط‌های گوناگون تعریف نمود و در این‌باره دو مفهوم پایداری استاتیک (زیستی) و پایداری پویا (زراعی) باید مورد توجه قرار گیرند. پایداری زیستی به‌منزله پاسخ محدود ژنوتیپ به تغییرات محیطی است و پایداری پویا به مفهوم پیش‌بینی پذیری واکنش ژنوتیپ به دگرگونی‌های محیطی می‌باشد (۱۴). پایداری زیستی عموماً به ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد پایین مربوط می‌باشد، در حالی که در پایداری زراعی، پتانسیل عملکرد بالا نیز مورد توجه است (۱۷). رایج‌ترین روش آماری به‌منظور ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط در آزمایش‌های چند محیطی، تجزیه مرکب می‌باشد. البته مؤثر بودن این روش منوط به یکنواختی واریانس خطا و افزایشی بودن اثرها می‌باشد و در صورت نقض این شرایط، موجب خطا در برآورد برهمکنش محیط و ژنوتیپ می‌شود. به‌منظور چیره شدن بر این محدودیت‌ها، روش‌های گوناگون تجزیه پایداری پیشنهاد شده‌اند (۶).

روش‌های ارزیابی پایداری به‌طور کلی به دو دسته تک متغیره و چند متغیره دسته‌بندی می‌شوند. روش اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (AMMI[1]) از جمله کارآمدترین روش‌های چند متغیره تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها می‌باشد. در این روش نخست اثرهای ژنوتیپ و محیط که به آن‌ها اثرات اصلی جمع‌پذیر یا افزایشی گفته می‌شود، با تجزیه واریانس معمولی برآورد می‌شوند، سپس برهمکنش بین ژنوتیپ و محیط که اثرات متقابل ضرب‌پذیر نامیده می‌شود، توسط تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تجزیه و تحلیل می‌شود (۱۰). مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل در تجزیه AMMI جهت

1- Additive Main effects and Multiplicative Interactions

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.52547/jcb.14.42.169]

ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون بکار می‌روند (۲). مزیت روش AMMI این است که در آن بخش عمده‌ای از مجموع مربعات اثر متقابل توجیه شده و اثرات اصلی و متقابل از یکدیگر جدا می‌شوند (۵). تجزیه AMMI به‌عنوان روشی کارآمد برای ارزیابی سازگاری عمومی و خصوصی ژنوتیپ‌ها شناخته شده است (۳). در روش AMMI با رسم نمودارهای بای‌پلات می‌توان جایگاه ژنوتیپ‌ها را در محیط‌های گوناگون و نسبت به یکدیگر سنجید و ارزیابی دقیقی از وضعیت پایداری آن‌ها به دست آورد. در بررسی پایداری ژنوتیپ های گندم دوروم، گزارش شد که در مقایسه روش‌های ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ- محیط، روش تجزیه AMMI در مقایسه با روش رگرسیون، کارایی بالاتری دارد (۱۸). همچنین در پژوهشی دیگر، گزارش شد که روش AMMI قادر به توجیه بیش از ۹۵ درصد برهمکنش ژنوتیپ و محیط در ارزیابی پایداری لاین‌های گندم می‌شود که به‌مراتب بالاتر از روش مبتنی بر رگرسیون می‌باشد (۷). در همین زمینه گزارش شده است که روش‌های مبتنی بر رگرسیون، قادر به تفکیک کامل اثرهای اصلی و برهمکنش‌ها نیستند (۱۵).

در زمینه کشت حبوبات و به‌ویژه عدس در مناطق دیم یکی از فاکتورهای محدودکننده عملکرد، نبود رقم‌های پر پتانسیل می‌باشد. در سال‌های اخیر در زمینه معرفی رقم‌های با پتانسیل عملکرد بالا و در عین حال با سازگاری عمومی بالا، پژوهش‌های زیادی در مناطق سردسیری، معتدل و گرمسیری انجام پذیرفته است که به معرفی رقم‌های جدیدی نیز منجرشده است. هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی پایداری عملکرد دانه ۱۴ لاین پیشرفته عدس دیم به‌وسیله روش AMMI بود تا ژنوتیپ‌های برتر در مقایسه با رقم‌های موجود، پس از سپری نمودن آزمایش‌های ترویجی، وارد فرآیند معرفی به‌عنوان رقم جدید گردند.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در قالب آزمایش‌های ناحیه‌ای با ۱۴ ژنوتیپ برگزیده از آزمایش های پیشرفته به همراه دو رقم گچساران و سپهر به‌عنوان شاهد، اجرا شد. اجرای آزمایش طی دو سال زراعی ۹۸-۹۷ و ۹۹-۹۸ در چهار منطقه گچساران، خرم‌آباد، ایلام و مغان، انجام پذیرفت. فهرست محیط‌های آزمایشی (سال و مکان) در جدول ۱ و فهرست شجره ژنوتیپ‌های برگزیده در جدول ۲ ارائه شده است. اجرای آزمایش در هر محیط، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام پذیرفت. هر واحد آزمایشی شامل چهار خط کاشت شش متری و با در نظر گرفتن تراکم ۲۰۰ بوته در مترمربع بود. مبارزه با علف‌های هرز در طی فصل رشد به صورت دستی و طی دو مرحله انجام پذیرفت. با در نظر گرفتن دو خط کاشت در هر کرت به‌عنوان حاشیه، برداشت در هر کرت از سطح ۴/۵ مترمربع انجام پذیرفت. تاریخ کاشت در مناطق مختلف متناسب با روی دادن بارندگی مؤثر و در حد فاصل آذرماه تا اواسط دی‌ماه انجام پذیرفت.

به‌منظور اطمینان از همگنی واریانس‌ها، آزمون بارتلت مورد استفاده قرار گرفت (۱۷). پس از اطمینان از همگنی واریانس‌های خطای آزمایشی، تجزیه مرکب برای هشت محیط انجام پذیرفت. محاسبه برهمکنش ژنوتیپ- محیط با بهره‌گیری از مدل AMMI و مطابق رابطه زیر انجام شد (۸).

$$Y_{ger} = \mu + \sigma_g + \beta_e + \sum\lambda_n y_{gn} \delta_{en} + P_{ge} + \varepsilon_{ger}$$

در این رابطه Y_{ger} عملکرد ژنوتیپ gام در محیط eام در تکرار rام است، μمیانگین کل آزمایش، α_g و β_e به‌ترتیب اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط، λ_n مقدار ویژه برای محور مؤلفه اصلی nام، y_{gn} بردار ویژه ژنوتیپ برای محور gام از n مؤلفه اصلی برهمکنش، δ_{en} بردار ویژه محیط برای محور eام از n مؤلفه اصلی برهمکنش، P_{ge} مقدار نویز و ε_{ger} مربوط به خطا می باشد. محاسبه آماره‌های ارزش پایداری AMMI (ASV)، شاخص پایداری ژنوتیپ (GSI) و مجموع قدر مطلق مقادیر ویژه ژنوتیپی مؤلفه‌های باقیمانده در مدل (SIPC) با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای CROPSTAT و SAS انجام پذیرفت. به روابط محاسبه هر یک از این آماره‌ها در زیر اشاره شده است (۱۷). بای‌پلات‌های AMMI1 و AMMI2 توسط نرم‌افزار Genstat ترسیم گردیدند.

$$ASV_i = \sqrt{\left[\frac{SSIPCA1}{SS_{G\times E}} \times IPCA1\ Score\right]^2 + \left[\frac{SSIPCA2}{SS_{G\times E}} \times IPCA2\ Score\right]^2}$$

$$GSIi = RASVi + RYi$$

$$SIPC = \Sigma_n \left| \lambda^{0.5} \delta_{in} \right|$$

GSIi: شاخص پایداری ژنوتیپ iام در محیط‌ها، RASVi: رتبه ASV ژنوتیپ iام RYi: رتبه میانگین عملکزد ژنوتیپ iام (۱۷). در رابطه SIPC، $\lambda^{0.5}$ جذر ریشه مشخصه مؤلفه nام و δ_{in} بردار ویژه ژنوتیـپ برای مؤلفه nام می‌باشد.

جدول ۱- فهرست محیط‌های آزمایشی

Table 1. Names and codes of the genotypes

محیط	کد محیط	محیط	کد محیط
گچساران سال اول	E1	مغان سال اول	E5
گچساران سال دوم	E2	مغان سال دوم	E6
خرم آباد سال اول	E3	ایلام سال اول	E7
خرم آباد سال دوم	E4	ایلام سال دوم	E8

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.52547/jcb.14.42.169]

جدول ۲- نام/شجره لاین‌ها و رقم‌های مورد استفاده در آزمایش
Table 2. Name/pedigree of lines and cultivars used in the experiment

شماره ژنوتیپ	نام/شجره	شماره ژنوتیپ	نام/ شجره
G1	FLIP2012-2L(ILL10977)-ILL7985/ILL6037	G9	FLIP2012-240L(ILL11215)-ILL7711XILL8176
G2	PRECOZ(ILL4605)-ILL 5888 / ILL 5782	G10	FLIP2012-244L(ILL11219)-ILL7711XILL5480
G3	FLIP2011-43L(ILL10947)-ILL 7537 X ILL 590	G11	FLIP2014-103L(ILL11513)-ILL9892 x ILL7978 ICARDA 3 111 139 45 4.0 732 98 C
G4	FLIP2014-021L(ILL11431)-ILL9977 x ILL 1005	G12	ILL8006
G5	FLIP2014-032L(ILL11442)-ILL5883 x ILL6458	G13	FLIP2010-95L(ILL10825)-ILL 7620 X 91517
G6	FLIP2014-031L(ILL11441)-ILL5883 x ILL6458	G14	FLIP 86-16L(ILL6002)-ILL 4349 x ILL 4605
G7	FLIP2014-029L(ILL11439)-ILL6037 x ILL7012	G15	Gachsaran (Check 1)
G8	FLIP2012-77L(ILL11052)-ILL6129XILL7980	G16	Sepehr (Check 2)

نتایج و بحث

تجزیه واریانس ساده برای هشت محیط جداگانه انجام شد و پس از اطمینان از همگنی واریانس‌های خطای آزمایشی به‌وسیله آزمون بارتلت، تجزیه مرکب برای هشت محیط انجام پذیرفت. نتایج تجزیه واریانس بر اساس مدل AMMI، نشان داد که اثر محیط و برهمکنش ژنوتیپ در محیط بسیار معنی‌دار می‌باشند (جدول ۳). معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ در محیط، نشان‌دهنده واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون می‌باشد. تجزیه برهم کنش ژنوتیپ و محیط در مدل AMMI نشان داد که مؤلفه‌های اول و دوم معنی‌دار می‌باشند. مؤلفه اول ۴۲/۷ و مؤلفه دوم ۲۷ درصد از برهمکنش ژنوتیپ و محیط را توجیه نمودند که در مجموع حدود ۷۰ درصد از برهمکنش ژنوتیپ- محیط با این دو مؤلفه توجیه می‌شود (جدول ۳). نمودار گرمایی پراکنش عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها در شکل ۱ ارائه شده است. در این شکل رنگ‌های تیره تر، نشان‌دهنده عملکرد بالاتر در محیط مربوطه هستند و رنگ‌های روشن‌تر نیز نشان‌دهنده عملکرد پایین‌تر می‌باشند. محیط‌های آزمایشی در سه دسته کلی و ژنوتیپ‌ها در دو دسته کلی قرار گرفتند که در شکل مشخص شده‌اند. همانگونه که در شکل ۱ نمایش داده شده است، محیط‌های ۱و ۲ که هر دو به گچساران مربوط می‌باشند در یک دسته قرار گرفته‌اند و در مورد محیط‌های ۵ و ۶ نیز که به مغان مربوطند، وضعیت مشابهی دیده شد. به عبارتی نتایج آزمایش در دو سال اجرا در این مناطق ثبات بیشتری داشته است در حالیکه در مورد دو منطقه خرم آباد و ایلام وضعیت در دو سال متفاوت بود. در شکل ۲ میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر یک از محیط‌ها به نمایش گذاشته شده است. همان‌گونه که مشخص است، ایستگاه‌های گچساران (۱ و ۲) و مغان (۵ و ۶) کمترین تغییر عملکرد کلی را طی دو سال داشته‌اند، در حالیکه مقدار این تغییرات در ایستگاهای خرم‌آباد (۳ و ۴) و ایلام (۷ و ۸) بالاست. این موضوع می‌تواند از نوسان‌های بیشتر در وضعیت اقلیمی دو سال اجرای آزمایش در این دو منطقه که واجد اقلیم معتدل‌تری هستند، ناشی شود. در مجموع ایستگاه مغان از کمترین عملکرد، در طی هر دوسال برخوردار بود.

با توجه به اینکه در محاسبه شاخص پایداری امی (ASV) هر دو مؤلفه اول و دوم دخیل هستند، این آماره، بخش بزرگتری از برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط را پوشش داده و نتایج دقیق‌تری را بدست می‌دهد (۱۴). هر چه عدد ASV کوچکتر باشد، نشان‌دهنده پایداری بیشتر عملکرد آن ژنوتیپ است (۱۴). در این رابطه همانگونه که در جدول ۴ نشان داده شده است، ژنوتیپ‌های ۹، ۸، ۱ و ۱۲ کمترین مقدار آماره ASV را داشتند و به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها با این روش شناسایی شدند، البته در میان این ژنوتیپ‌ها، تنها ژنوتیپ ۹ عملکردی بالاتر از شاهد برتر (ژنوتیپ ۱۶) داشت. دو ژنوتیپ ۱۱ و ۵ نیز با دارا بودن بالاترین مقدار ASV، کمترین پایداری را نشان دادند. این دو ژنوتیپ به‌ترتیب سازگاری خصوصی بالا به دو منطقه گچساران (E1 و E2) و خرم‌آباد (E3 و E4) نشان دادند (شکل ۳). ژنوتیپ ۱۰ به‌عنوان یکی از ژنوتیپ‌های پرمحصول از نظر آماره ASV در رتبه مناسبی قرار نگرفت، اما در عین حال همچنان نسبت به هر دو رقم شاهد از نظر رتبه ASV و عملکرد، برتر بود. آماره ASV به مفهوم زراعی پایداری، مربوط است. در مفهوم زراعی، پاسخ ژنوتیپ به تغییرات محیطی قابل پیش‌بینی است و عملکرد با دگرگونی شرایط محیطی، تغییر می‌یابد (۹). در مورد دو آماره دیگر مدلAMMI، یعنی شاخص پایداری ژنوتیپ (GSI) و مجموع قدر مطلق مقادیر ویژه ژنوتیپی مؤلفه‌های باقیمانده در مدل (SIPC) نیز روند تقریبا مشابهی دیده شد. شاخص پایداری ژنوتیپ (GSI)، ژنوتیپ‌ها را همزمان براساس عملکرد و پایداری گزینش می‌کند و ژنوتیپ‌هایی با کمترین مقدار GSI به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار شناخته می‌شوند (۱۷). بر این اساس ژنوتیپ‌های ۱، ۹، ۸ و ۱۲ کمترین مقدار آماره GSI را داشتند و به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. مشابه آنچه در مورد آماره ASV گفته شد، در این بین به جز ژنوتیپ ۹، سایر ژنوتیپ‌های برتر از نظر GSI، عملکردی پایین‌تر از شاهد برتر (ژنوتیپ ۱۶) داشتند. سومین شاخص مدل AMMI، SIPC بود. در مورد این آماره نیز ژنوتیپ‌های ۸، ۹، ۱ و ۱۲ کمترین مقدار را داشتند و به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. دو ژنوتیپ ۵ و ۱۱ بر پایه این آماره نیز ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند و ژنوتیپ پرعملکرد ۱۰ نیز از این نظر در وضعیت متوسط (رتبه ۸) قرار داشت که از هر دو رقم شاهد، به طور قابل توجهی بهتر بود. در مدل AMMI، استفاده دو مؤلفه نخست شرایط بهتری را برای ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط، فراهم می‌آورد (۱). در همین زمینه، گزارش شده است که بهترین حالت در تجزیه AMMI اینست که تنها دو مؤلفه نخست معنی‌دار شوند و سایر مؤلفه‌ها درصد کمی از واریانس را به خود اختصاص داده باشند (۱۳). در مدل AMMI

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.52547/jcb.14.42.169]

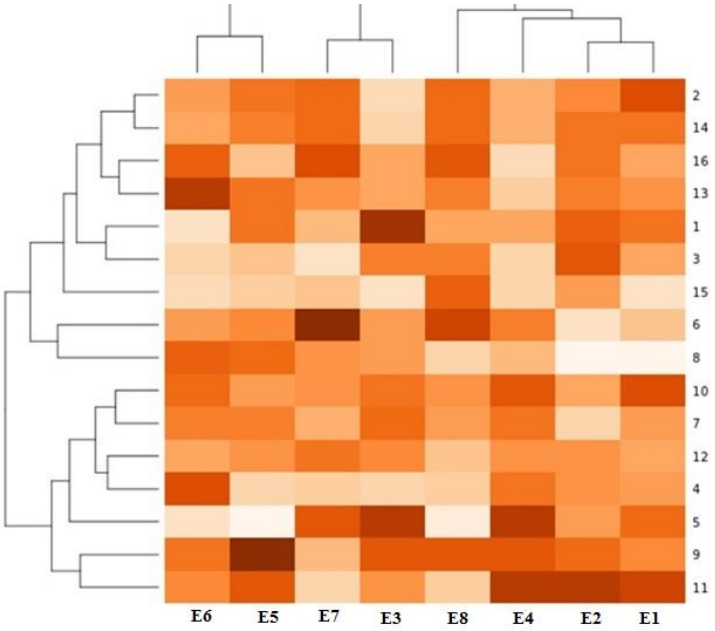
ضریب مؤلفه نخست (IPCA 1) و ضریب مؤلفه دوم (IPCA 2) به‌عنوان پارامترهای پایداری شناخته می‌شوند که می‌توانند مثبت یا منفی باشند و هرچه مقدار آنها به صفر نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده پایداری بالاتر لاین مربوطه است (۱۱).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه بر اساس مدل AMMI

Table 3. Analusis of variance according to AMMI model

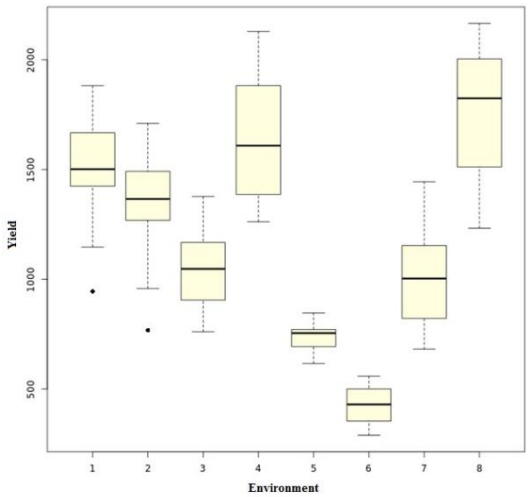
منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درصد از برهم کنش ژنوتیپ × محیط
محیط	۷	۱۰۴۸۱۷۱۸***	
تکرار	۱۶	۲۵۱۴۷۹***	
ژنوتیپ	۱۵	۱۷۳۷۳۱	
ژنوتیپ × محیط	۱۰۵	۱۳۷۶۶۳***	
مؤلفه نخست	۲۱	۲۹۴۱۸۵***	۴۲/۷
مؤلفه دوم	۱۹	۲۰۵۷۰۷***	۲۷
نویز	۶۵	۶۴۲۰۴	
خطا	۲۵۶		

***: معنی دار در سطح ۰/۰۰۱ درصد



شکل ۱- نمودار گرمایی پراکنش عملکرد دانه ۱۶ ژنوتیپ در ۸ محیط آزمایشی

Figure 1. Thermal diagram of distribution of 16 lenil genotypes in 8 environments



شکل ۲- نمایش باکس پلات میانگین عملکرد دانه در محیط‌های هشت گانه

Figure 2. Boxplot showing average grain yield in eight environments

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.52547/jcb.14.42.169]

جدول ۴- مقدارهای مؤلفه اول و دوم و آماره‌های مدل AMMI

Table 4. First and second component values and estimation of AMMI model statistics

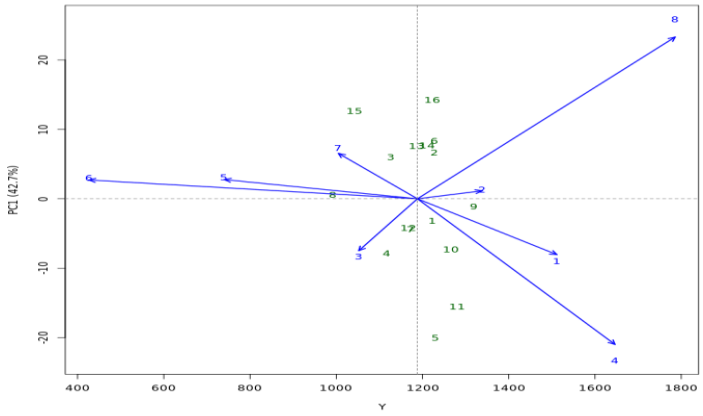
ژنوتیپ	IPCA 1	IPCA 2	ASV	ASV rank	عملکرد دانه GY (Kg ha^{-1})	GSI	GSI rank	SIPC 1	SIPC1 rank
G1	−۳/۲	−۷/۴	۳/۶	۳	۱۲۲۳	**۱۰**	۱	۳/۲	۳
G2	۶/۶	−۴/۹	۱۷/۶	۱۰	۱۲۲۸	**۱۸**	۹	۶/۶	۷
G3	۶	−۱۱/۵	۷	۵	۱۱۲۷	**۱٤**	۵	۶	۶
G4	−۷/۸	− ۱/۲	۱۴/۷	۸	۱۱۱۷	**۱۸**	۷	۷/۸	۱۱
G5	−۲۰	۶/۹	۹۵/۲	۱۶	۱۲۳۰	**۲٤**	۱۶	۲۰	۱۶
G6	۸/۳	۱۷/۴	۱۵/۸	۹	۱۲۲۷	**۲۰**	۱۱	۸/۳	۱۲
G7	−۴/۴	۶/۵	۲۶/۵	۱۲	۱۱۷۱	**۲۰**	۱۲	۴/۴	۵
G8	۰/۵	۱۷/۷	۰/۹	۲	۹۹۲	**۱۱**	۳	۰/۵	۱
G9	−۱/۲	−۳/۴	۰/۳	۱	۱۳۲۰	**۱۰**	۲	۱/۱	۲
G10	−۷/۳	۰/۹	۲۱/۱	۱۱	۱۲۶۶	**۲۰**	۱۰	۷/۳	۸
G11	−۱۵/۶	−۱۲/۴	۴۵/۱	۱۵	۱۲۸۱	**۲۱**	۱۳	۱۵/۶	۱۵
G12	−۴/۲	۳/۴	۴/۴	۴	۱۱۶۹	**۱۱**	۴	۴/۲	۴
G13	۷/۶	−۳/۸	۱۱/۷	۷	۱۱۸۶	**۱۵**	۶	۷/۶	۹
G14	۷/۷	− ۱/۴	۱۱/۴	۶	۱۲۰۹	**۱۸**	۸	۷/۶	۱۰
G15	۱۲/۶	−۳	۲۹/۱	۱۳	۱۰۴۳	**۲۲**	۱۴	۱۲/۶	۱۳
G16	۱۴/۳	−۰/۳	۳۷/۳	۱۴	۱۲۲۲	**۲۲**	۱۵	۱۴/۳	۱۴

مدل AMMI 1، پراکنش ژنوتیپ‌ها را بر اساس عملکرد دانه و مؤلفه اول نشان می‌دهد (شکل ۳). کانون بای‌پلات AMMI 1، میانگین عملکرد را نشان می‌دهد و ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست خط افقی قرار دارند، عملکردی بیشتر از میانگین دارند. هرچه فاصله ژنوتیپ‌ها از خط افقی کمتر باشد، نشان‌دهنده مقدار قدرمطلق کمتر مؤلفه اول و پایداری بیشتر عملکرد ژنوتیپ‌ها می‌باشد. با توجه به نمایش گرافیکی عملکرد و پایداری در نمودار یادشده، امکان مقایسه ژنوتیپ‌ها با میانگین کلی عملکرد و میانگین رقم‌های شاهد فراهم میشود که گزینش را آسانتر می‌سازد. بر این اساس ژنوتیپ‌های ۹، ۱۰، به عنوان ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالاتر از میانگین و پایداری مطلوب شناسایی شدند. ژنوتیپ‌های ۱۱ و ۵ ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۸ با وجود پایداری مناسب، عملکردی کمتر از میانگین نشان دادند. ژنوتیپ ۱ با وجود پایداری مناسب، عملکردی برابر با شاهد برتر (ژنوتیپ ۱۶) داشت. رقم گچساران (ژنوتیپ ۱۵) هم از نظر پایداری و هم عملکرد در رتبه پایینی قرار داشت. رقم سپهر با وجود عملکرد کمی بیشتر از میانگین، پایداری بالایی نشان نداد.

از آنجایی که دو مؤلفه یک و دو به ترتیب ۴۷/۲ و ۲۷ درصد برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه می‌کنند، بای پلات مؤلفه اول و دوم ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها رسم شد (شکل ۴). این بای پلات توجیه‌گر حدود ۷۰ درصد از برهم کنش ژنوتیپ × محیط میباشد. زاویه میان بردارها در بای پلات نشان‌دهنده همبستگی عملکرد در محیط‌ها میباشد. بدین ترتیب که زاویه حاده نشان‌دهنده همبستگی مثبت، زاویه عمودی نشان‌دهنده عدم همبستگی و زاویه باز، نشانگر همبستگی منفی می‌باشد (۲۰). همانگونه که در شکل ۳ نشان داده شده است، عملکرد دو سال اجرای آزمایش در هر یک از ایستگاه‌های گچساران (۱،۲)، مغان (۵،۶) و خرم آباد (۳،۴)، همبستگی مثبت دارند در حالیکه کمترین همبستگی در داده‌های دو سال ایلام (۷،۸) مشاهده شد که تقریبا هیچ همبستگی بین این دو سال وجود نداشت. طول بردارهای آبی نشان‌دهنده سهم هر محیط در برهم کنش بین ژنوتیپ و محیط است (۱۷). درمجموع، محیط‌های ۸ و ۷ (ایلام) در کنار ۲ و ۴ بیشترین سهم را در بر همکنش ژنوتیپ × محیط داشتند. کمترین سهم نیز مربوط به محیط‌های ۵ و ۶ (مغان) بود. می‌توان اختلاف‌ها در پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها به محیط‌ها را به صورت کمی با استفاده از نمودار بایپلات ارزیابی کرد. در نمودار، ژنوتیپ‌هایی که در مرکز بایپلات قرار دارند از پایداری عمومی برخوردار هستند و برای کشت در اکثر محیط‌ها توصیه می‌شوند و ژنوتیپ‌هایی که دور از مرکز بایپلات و در مجاورت محیط‌های ویژه‌ای پراکنش یافته‌اند، دارای پایداری خصوصی به آن محیط‌ها می‌باشند (۱۶). بر این اساس ژنوتیپ‌های ۹، ۱۰ و ۱۲ از بالاترین پایداری برخوردار بوده و واجد سازگاری عمومی تشخیص داده شدند. ژنوتیپ ۱۱ با عملکرد بالا، فاقد سازگاری عمومی بوده و سازگاری خصوصی به محیط ۱ و تا حدی ۲ نشان داد که به منطقه گچساران مربوط می‌شوند. لازم به ذکر است که این ژنوتیپ از نظر میانگین عملکرد در منطقه گچساران در رتبه ۱ قرار داشت اما مقدار عملکرد ان در ایستگاههای دیگر و بویژه در ایلام، افت قابل توجهی داشته است. مورد مشابهی هم در رابطه با ژنوتیپ ۵ مشاهده شد. این ژنوتیپ از نظر میانگین عملکرد دوساله در منطقه خرم‌آباد، در رتبه نخست قرار داشت، حال انکه در سایر ایستگاه‌ها، نوسان عملکرد بالایی داشت و در مجموع چهار منطقه در رتبه به مراتب ضعیف‌تری قرار گرفت. همانگونه که در شکل ۴ نیز نشان داده شده است، این ژنوتیپ واجد سازگاری خصوصی به محیط‌های ۳ و ۴ (خرم آباد) می‌باشد. برای تفکیک ژنوتیپ‌ها، محیط‌هایی که مؤلفه اول برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط در آنها نزدیک به صفر باشد، مناسب نیستند و عکس این موضوع برای محیط‌هایی با مقدار مؤلفه اصلی بالا صادق می‌باشد (۱۹). بر این اساس در این آزمایش، محیط‌های ۸، ۴، ۱ و ۳ بیشترین نقش را در تفکیک ژنوتیپ‌ها داشته‌اند.

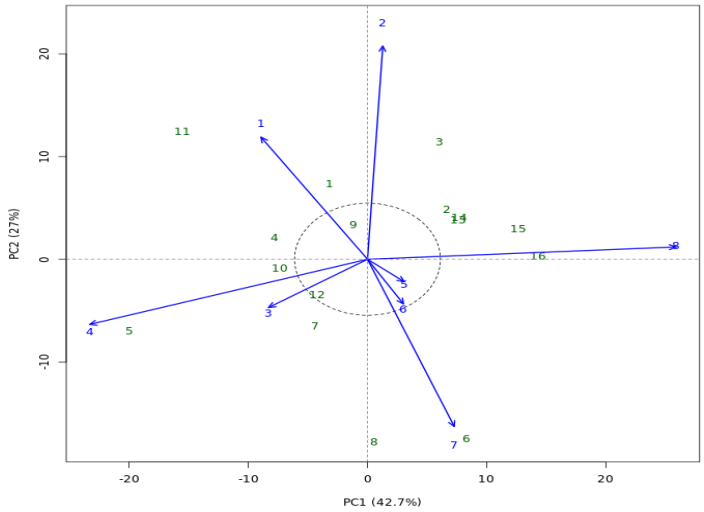
[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.52547/jcb.14.42.169]



شکل ۳- بای پلات مؤلفه اصلی نخست (PC1) و عملکرد دانه (Y) (کیلوگرم در هکتار) در مدل AMMI 1 برای عملکرد ۱۶ ژنوتیپ عدس در ۸ محیط

Figure 3. Biplot diagram of first main component (PC1) and grain yield (Kg ha^{-1}) for 16 lentil genotypes in 8 environments



شکل ۴- بای پلات دو مؤلفه اصلی (PC1 و PC2) برهم کنش ژنوتیپ × محیط در مدل AMMI 2 برای عملکرد ۱۶ ژنوتیپ عدس در ۸ محیط

Figure 4. Biplot diagram of two first main components of GE interaction (PC1 and PC2) for 16 lentil genotypes in 8 environments

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ × محیط درمطالعه اخیر، تجزیه پایداری به روش AMMI نشان داد که دو مؤلفه اول توجیه گر حدود ۷۰ درصد از این برهمکنش می‌باشند. محاسبه آماره‌های AMMI و تحلیل بای پلات‌های AMMI1 و AMMI2 نشان داد که در مجموع با در نظر گرفتن اهمیت عملکرد دانه بیشتر در کنار پایداری عملکرد، ژنوتیپ‌های ۹ و ۱۰ واجد پایداری عمومی در مناطق آزمایشی بودند. همچنین ژنوتیپ‌های ۱۱ و ۵ به ترتیب به مناطق گچساران و خرم‌آباد، سازگاری خصوصی نشان دادند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.52547/jcb.14.42.169]

منابع

1. Akcura, M., Y. Kaya and S. Taner. 2005. Genotype-environment interaction and phenotypic stability analysis for grain yield of durum wheat in the central Anatolian region. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 29(5): 369-37520.
2. Baxevanos, D., C. Goulas, J. Rossi and E. Braojos. 2008. Separation of cotton cultivar testing sites based on representativeness and discriminating ability using GGE biplots. Agronomy Journal, 100: 1230-1236.
3. Crossa, J., P.L. Cornelius and W. Yan. 2001. Biplot of linear-bilinear models for studying crossover genotype × environment interaction. Crop Science, 41: 158-163.
4. De Vita, P., A.M. Mastrangelo, L. Matteu, E. Mazzucotelli, N. Virzi, M. Palumbo, M.L. Storto, F. Rizza and L. Cattivelli. 2010. Genetic improvement effects on yield stability in durum wheat genotypes grown in Italy. Field Crops Research, 119: 68-77.
5. Ebdon J.S. and H.G. Gauch. 2002. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turf grass performance trials: Interpretation of genotype × environment interaction. Crop Science, 42: 489-496.
6. Elias, A.A., K.R. Robbins, R.W. Doerge and M.R. Tuinstra. 2016. Half a century of studying genotype × environment interactions in plant breeding experiments. Crop Science, 58: 2090-2105.
7. Farshadfar, E. and J. Sutka. 2003. Locating QTLS controlling adaptation in wheat using AMMI Model. Cereal Research Communication, 31: 3-4.
8. Ferreira, D.F., C.G.B. Demetrio, B.F.J. Manly, A.D.A. Machado and R. Vencovsky. 2006. Statistical model in agriculture: Biometrical methods for evaluating phenotypic stability in plant breeding. Cerne Lavras, 12: 373-388.
9. Haji Mohammad Ali Jahromi, M., M. Khodarahmi, A.R. Mohammadi and A. Mohammadi. 2011. Stability analysis for grain yield of promising durum wheat genotypes in Southern warm and dry agroclimatic zone of Iran. Iranian Journal of Crop Sciences, 13: 565-579 (In Persian).
10. Hasani, M., H. Hamze and H. Mansori. 2021. Evaluation of Adaptability and Stability of Root Yield and White Sugar Yield *(Beta vulgaris* L.) in Sugar Beet Genotypes using Multivariate AMMI and GGE Biplot Method. Journal of Crop Breeding, 13: 222-235 (In Persian).
11. Hu, X.Y., S.W. Yan and K.L. Shen. 2013. Heterogeneity of error variance and its influence on genotype comparison in multi-location trials. Field Crops Research, 149: 322-328.
12. Karadavut, U., C. Palta, Z. Kavur and Y. Block. 2010. Some grain yield parameters of multienvironmental trials in faba bean (*Vicia faba*) genotypes. International Journal of Agriculture and biology, 12(2): 217-220.
13. 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. European Journal of Agronomy, 73: 152-159.
14. Mofidian, S.M.A. and A. Mogadam. 2013. Analysis of ecotype × location interaction in cold-region alfalfa ecotypes. Iranian Journal of Crop Sciences, 15(2): 181-195 (In Persian).
15. Nachit, M.M., M.E. Sorrells, R.W. Zobel, H.G. Gauch, R.A. Fischer and W.R. Coffman. 1992. Association of environmental variables with sites' mean grain yield and components of genotypeenvironment interaction in durum wheat. Journal of Plant Breeding and Genetics, 46: 369-372.
16. Nikkhah, H.R., A. Yousefi, S.M. Mortazavian and M. Arazmjoo. 2007. Analysis of yield stability of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes using additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) model. Iranian Journal of Crop Sciences. 1(33): 1-12 (In Persian, abstract in English).
17. Pezeshkpour, P., R. Karimizadeh, A. Mirzaei and M. Barzali. 2021. Analysis of Yield Stability of lentil Genotypes using AMMI Method. Journal of Crop Breeding, 13(37):132-145 (In Pearsian).
18. Rharrabti, Y., L.F. Garcia., D.Villegas and C. Royo. 2003. Durum wheat quality in Mediterranean environments ill: Stability and Comparative methods in analyzing G×E interaction. Field Crop Research, 80: 141-146.
19. Stanley, O., P.B. Samante, T. Wilson, M.M. Anna and J.C. Medley. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environment using AMMI and SREG GGE Biplot analysis. Crop Science, 45: 2414-2424.
20. Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Science, 42: 11-2.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.52547/jcb.14.42.169]

Evaluation of Grain Yield Stability of Advanced Rainfed Lentil Genotypes using Multivariate AMMI Method

Amin Namdari[1], Payam Pezeshkpoor[2], Asghar Mehraban[3], Amir Mirzaie[4] and Behruz Vaezi[1]

1- Dryland Agricultural Research Institute, Kohgiloyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran, (Corresponding author: aminnamdari61@gmail.com)
2- Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran
3- Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran
4- Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ilam, Iran
Received: 2 October, 2021 Accepted: 22 November, 2021

Extended Abstract

Introduction and Objective: Identification of high-yield genotypes with adaptation to a wide range of environments is one of the major goals in crop breeding programs.

Material and Methods: In order to evaluate the yield stability of advanced lentil genotypes, 14 advanced genotypes along with two local cultivars (Gachsaran and Sepehr), were evaluated in four regions of Gachsaran, Khorramabad, Moghan and Ilam, during two cropping years 2018-2019 and 2019-2020. In order to evaluate the yield stability and genotype*environment interaction, the model of "additive main effects and multiplicative interactions" (AMMI) was used.

Results: The results of AMMI analysis of variance showed very significant interaction between genotype and environment. The first two main components of the AMMI model accounted for nearly 70% of GE interaction. ASV statistic in AMMI model showed that genotypes 9, 8, 1 and 12 showed the lowest amount of ASV and therefore the highest stability. Among these genotypes, only genotype 9 , had higher yield than the superior control cultivar (Sepehr). AMMI 1 (PC1 and yield) and AMMI 2 (PC1 and PC2) biplot diagrams showed that genotypes 9 and 10 were identified as genotypes with higher yield and stability (copmared to Sepehr cultivar). Accordingly, genotypes 11 and 5 were the most unstable genotypes. High-yield genotype 11 lacked general adaptation and showed private adaptation to environment 1 and 2 that they belong to Gachsaran region. Genotype 5 showed private adaptation to Khorramabad region. Genotypes 12 and 8 showed lower than average yield despite suitable stability. Based on the biplot diagram of the first two main components, environments 8 and 7 (Ilam) along with 2 and 4 had the largest share in its GE interaction.

Conclusion: Overall, G9 and G10 genotypes due to higher grain yield and stability were determined as superior genotypes.

Keywords: Biplot, GE interaction, General adaptation, Private adaptation

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.52547/jcb.14.42.169]