



"مقاله پژوهشی"

ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های پیشرفته عدس با استفاده از روش AMMI

پیام پزشکیپور^۱، رحمت‌اله کریمی‌زاده^۲، امیر میرزایی^۳ و محمد برزعلی^۴

۱- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران، (نویسنده مسوول: papezeshkpour@yahoo.com)

۲- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران

۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران

۴- بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۴

صفحه: ۱۳۲ تا ۱۴۵

چکیده

به منظور بررسی اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، برای عملکرد دانه، ۱۸ ژنوتیپ عدس در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار محیط (خرم‌آباد، گچساران، ایلام و گنبد) طی سه سال زراعی (۹۶-۱۳۹۳) مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس تجزیه واریانس مرکب، اثرات اصلی مکان، ژنوتیپ، اثرات متقابل ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × مکان × سال معنی‌دار بودند. نتایج تجزیه واریانس مرکب برای محیط‌های مختلف نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه معنی‌دار گردید. بر اساس نتایج تجزیه واریانس AMMI، محیط منبع اصلی تغییرات بود که ۸۳/۶ درصد از مجموع مربعات کل را به خود اختصاص داد. بر این اساس چهار مؤلفه اثر متقابل بر عملکرد دانه معنی‌دار بودند. دو مؤلفه اصلی اول مدل AMMI، ۵۲/۵۶ درصد از کل واریانس عملکرد را توجیه کردند. نتایج مقادیر پایداری AMMI (ASV) نیز نشان داد که برای عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های شماره ۸، ۷، ۹، ۱۸، ۱۷، ۱۶، ۱۵، ۱۴، ۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱ بیشترین پایداری عمومی به تمام محیط‌های آزمایش را داشتند. ژنوتیپ شماره ۵ با مقدار ASV ۳۳/۷ بیشترین پایداری خصوصی را به محیط دوم (E₂) داشت. در بین ژنوتیپ‌هایی که دارای کمترین ASV بودند، فقط ژنوتیپ‌های ۶ و ۱۶ دارای میانگین عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها بودند. بر اساس مقادیر دو مؤلفه اصلی اول، ارزش پایداری AMMI (ASV) و شاخص پایداری ژنوتیپ (GSI)، ژنوتیپ‌های ۱، ۶، ۱۳ و ۱۶ به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند، و نزدیک‌ترین ژنوتیپ‌ها به ژنوتیپ ایده‌آل بودند.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، ارزش پایداری، ژنوتیپ‌های عدس

مقدمه

داشته باشند حائز اهمیت است. سازگاری و پایداری عملکرد دو مفهوم مهم در برنامه‌های اصلاح گیاهان زراعی می‌باشند (۱۰). توانایی یک ژنوتیپ به دارا بودن حداقل اثر متقابل در برابر تغییرات محیطی، تحت عنوان پایداری عملکرد ژنوتیپ تعریف شده است (۱۳). پایداری عملکرد، یکی از مطلوب‌ترین خصوصیات یک رقم زراعی است که باعث سازگاری آن به اکثر مناطق شده و با عنوان سازگاری عمومی نامیده می‌شود (۲۶). یکی از عوامل مهم اختلاف بین عملکرد بالقوه (پتانسیل) و عملکرد واقعی، عدم پایداری کافی عملکرد است (۹).

از طرف دیگر، جهت دستیابی به حداکثر تولید لازم است سازگاری ارقام مورد نظر به بهترین محیط رشد آن‌ها مشخص شوند که این موضوع تحت عنوان سازگاری خصوصی نامیده می‌شود (۶). در سازگاری خصوصی هدف این است که ژنوتیپی به دست آید که عملکرد خوبی در یک محیط خاص داشته باشد (۶). با توجه به اهمیت اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، معمولاً به‌نژادگران، ژنوتیپ‌های واجد شرایط را جهت تعیین سازگاری عمومی و خصوصی آن‌ها در چند محیط مورد ارزیابی قرار می‌دهند. هدف از انتخاب برای سازگاری عمومی، شناسایی ژنوتیپی است که تقریباً در همه محیط‌ها عملکرد

حیوانات بعد از غلات دومین منبع غذایی انسان به‌شمار می‌روند و در کشور ایران بعد از گندم، اصلی‌ترین ماده غذایی مردم را تشکیل می‌دهند (۲۶). عدس سومین گیاه مهم از گروه حبوبات در جهان و مهم‌ترین آن‌ها در ایران است. سطح زیر کشت عدس در کشور حدود ۱۱۲۴۱۱ هکتار است که از این سطح سالیانه حدود ۶۱۵۵۸ تن عدس برداشت می‌شود (۱). کشاورزان عدس کار به ارقامی نیاز دارند که عملکرد بالایی داشته و این خصوصیت مطلوب را در دامنه وسیعی از شرایط محیطی و در خلال سال‌ها حفظ نمایند (۱۱). به‌منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ برای محیط خاص و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار در دامنه‌ای از محیط‌ها، ارقام و ژنوتیپ‌های عدس در آزمایش‌های ناحیه‌ای ارزیابی شده و عملکرد دانه آن‌ها در سال‌ها و مناطق مختلف مورد مقایسه قرار می‌گیرد (۲۳). عملکرد ژنوتیپ‌های عدس تا حد زیادی به محیط بستگی دارد. به‌طور کلی، ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط عملکرد یک رقم را تعیین می‌کنند (۱۴). با در نظر گرفتن سطح زیر کشت عدس، تنوع شرایط اقلیمی-زراعی مناطق مورد کشت و عکس‌العمل ارقام مختلف در شرایط محیطی متفاوت، معرفی ارقام پرمحصول که سازگاری وسیع

محیط و زاویه بیشتر از آن نقش متضاد دو محیط در تعیین ژنوتیپ سازگار را نشان می‌دهد (۳۶).

معمولاً پایداری به‌عنوان عملکرد غیرقابل تغییر در سال‌ها و یا محیط‌ها تعریف شده است و از دو دیدگاه مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد: ۱- پایداری استاتیک یا مفهوم بیولوژیکی که به عدم پاسخ ژنوتیپ به هر تغییر محیطی اشاره دارد. ۲- پایداری دینامیک یا مفهوم آگرونومیک که به این واقعیت برمی‌گردد که ژنوتیپ به‌طور قابل پیش‌بینی به شرایط رشدی مناسب پاسخ خواهد داد (۲۸). معمولاً مفهوم استاتیک پایداری مربوط به ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین است (۶) درحالی‌که مفهوم آگرونومیک باید با پتانسیل عملکرد خوب تکمیل گردد تا مطمئن شویم که برتری یک ژنوتیپ تحت دامنه وسیعی از محیط‌ها، عملیات مدیریتی و تنش‌های زنده و غیرزنده پایدار می‌ماند (۳۲).

بررسی تأثیر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر عملکرد ۱۶ ژنوتیپ عدس با محتوای آهن بالا در چهار محیط مختلف به‌مدت دو سال در نپال انجام شد و نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که تفاوت‌های زیادی در ژنوتیپ و مکان وجود دارد، اما اثر متقابل محیط (سال × مکان) و ژنوتیپ × سال معنی‌دار نگردید، به‌طور کلی محیط (مکان × سال) ۸۷/۴ درصد از تنوع کل را نشان داد. این چهار محیط تمایز خوبی برای صفت عملکرد دانه با محتوای آهن بالا داشتند. میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس Biofortified HUL-57، PL-4، RL-11 و LG-12 بهترین عملکرد را در محیط‌ها داشتند، و پایداری این ژنوتیپ‌ها نشان داد که با عملکرد بالا از مطلوبیت کافی برخوردار هستند (۱۱). در کشور هندوستان با بررسی ۲۴ ژنوتیپ عدس در سه محیط دو مؤلفه اصلی اول بیش از ۹۰ درصد تغییرات عملکرد دانه را نشان دادند، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با هم بیش از ۱۰ درصد از تنوع کل را تشکیل دادند. تجزیه و تحلیل AMMI نشان داد که ژنوتیپ‌ها سازگاری گسترده‌ای دارند و تحت تأثیر اثر متقابل محیط × ژنوتیپ قرار نگرفتند (۲۳).

افزایش روزافزون نقش حبوبات در امنیت غذایی کشور بسیار مهم است که این موضوع با تولید ارقام پایدار با عملکرد بالا تحقق می‌یابد. هدف از این تحقیق، ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط عملکرد دانه ۱۸ ژنوتیپ و رقم عدس از طریق تجزیه AMMI و بررسی الگوی سازگاری و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های پر محصول بوده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق به‌منظور بررسی پایداری و الگوی سازگاری ژنوتیپ‌ها، ۱۶ ژنوتیپ پیشرفته عدس، همراه با ارقام شاهد کیمیا و گچساران در یک آزمایش مقایسه عملکرد به‌صورت کشت پاییزه، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار منطقه خرم‌آباد، گچساران، ایلام و گنبد طی سه سال زراعی (۱۳۹۳-۹۶) مورد ارزیابی قرار گرفتند. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های محل اجرای آزمایش و کد آن‌ها در جدول ۱ و نام، مبدأ و کد ژنوتیپ‌های عدس مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است.

خوبی داشته باشد. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به‌عنوان تغییر نسبی عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف تعریف شده است که به‌عنوان یک چالش برای به‌نژادگران محسوب می‌شود، زیرا انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را مشکل ساخته و باعث کاهش پیشرفت ژنتیکی می‌شود (۱۲).

اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با استفاده از چندین روش اندازه‌گیری می‌شود که اساس همه آن‌ها ارزیابی ژنوتیپ‌ها در چند محیط هست. آزمایش‌های چند محیطی گیاهان زراعی، نقش مهمی در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در بسیاری از مراحل برنامه‌های اصلاح و معرفی ارقام جدید دارند. متداول‌ترین روش تجزیه آزمایش‌های چند محیطی مبتنی بر فرض یکنواختی واریانس خطا در همه محیط‌های مورد آزمایش است، اما اغلب این موضوع در عمل اتفاق نمی‌افتد و می‌تواند صحت ارزیابی ژنوتیپ‌ها را محدود نماید. پرواضح است که در چنین آزمایش‌هایی، به‌علت اختلاف عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها، واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط تغییر کرده و واریانس باقیمانده در محیط‌ها به‌علت تفاوت در شرایط طبیعی (خاک، آب و هوا) و همچنین عملیات اجرایی در محیط‌های مختلف تغییر می‌کند (۲۲). بکر و لئون (۵) اظهار داشتند که پایداری عملکرد یک ژنوتیپ ارتباط مستقیمی با اثر متقابل ژنوتیپ × محیط داشته و یک ژنوتیپ موفق باید عملکرد و پایداری بالایی در دامنه وسیعی از شرایط محیطی داشته باشد. در صورت وجود اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، لازم است ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد نسبتاً ثابت در دامنه‌ای از محیط‌ها شناسایی شوند. تعیین پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها توسط محققان مورد مطالعه قرار گرفته است (۲۴، ۱۷)، اما هیچ‌کدام از روش‌ها برای تجزیه ساختاری داده‌های چند محیطی در برنامه‌های اصلاحی کارایی کافی را نداشتند (۳۰). در میان روش‌های آماری، تجزیه پایداری به‌روش اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) در مطالعات بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است. در مدل AMMI، ضریب رگرسیون و واریانس محیطی، قابل اعتمادترین ابزار برای محاسبه پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها گزارش شده‌اند (۱۸). در مدل AMMI، مؤلفه‌های افزایشی برای اثرات اصلی (ژنوتیپ و محیط) و مؤلفه‌های ضرب‌پذیر برای اثر متقابل ژنوتیپ × محیط ترکیب می‌شوند (۳۹). این مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل، برای تفسیر کارایی عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌های ارزیابی شده در محیط‌های مختلف استفاده می‌شوند (۷). یکی از خروجی‌های تجزیه AMMI، بای‌پلات‌هایی است که اطلاعاتی درباره اثرات اصلی و متقابل ارائه داده و همچنین اطلاعات مفیدی درباره شباهت محیط‌ها برای پاسخ سازگاری ژنوتیپ ارائه می‌دهند. اطلاعات بای‌پلات‌های AMMI امکان بررسی بصری ارتباطات بین محیط‌ها، ژنوتیپ‌های مورد آزمون و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را فراهم می‌کند. زاویه بین دو بردار محیطی، میزان همبستگی دو محیط را نشان می‌دهد. هر چه زاویه بین دو محیط کمتر باشد، دو محیط همبستگی بیشتر داشته و نقش مشابهی در گزینش ژنوتیپ‌ها دارند. زاویه ۹۰ درجه بین دو بردار محیطی عدم همبستگی دو

جدول ۱- اطلاعات آب و هوایی و مشخصات ایستگاه‌های محل اجرای آزمایش (۱۳۹۳-۱۳۹۶)

Table 1. Meteorological and geographical information of experimental locations (2014-2016)

محیط	طول و عرض جغرافیایی (درجه - دقیقه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	سال زراعی	کد	متوسط دما (درجه سلیسیوس)	بارندگی (میلی متر)
خرم‌آباد	37° 28' N 48° 21' E	۱۱۷۰	۱۳۹۳-۹۴	E1	۱۳/۸	۳۲۶/۳
			۱۳۹۴-۹۵	E5	۱۳/۲	۷۴۲/۴
			۱۳۹۵-۹۶	E9	۲۴/۵	۴۱۶/۳
ایلام	33° 38' N 46° 24' E	۹۷۰	۱۳۹۳-۹۴	E3	۱۴/۷	۳۲۵/۸
			۱۳۹۴-۹۵	E7	۱۷/۷	۷۳۷/۸
			۱۳۹۵-۹۶	E11	۱۶/۸	۴۰۳
گچساران	30° 21' N 50° 48' E	۷۲۲	۱۳۹۳-۹۴	E2	۲۰	۳۵۱/۶
			۱۳۹۴-۹۵	E6	۱۵/۵	۳۹۰/۱
			۱۳۹۵-۹۶	E10	۱۸/۳	۲۳۶/۹
گنبد	37° 17' N 55° 18' E	۵۲	۱۳۹۳-۹۴	E4	۱۵/۵	۲۷۹/۴
			۱۳۹۴-۹۵	E8	۱۶/۶	۵۲۱/۵
			۱۳۹۵-۹۶	E12	۲۶/۶	۳۸۱/۶

جدول ۲- نام، مبدأ و کد ژنوتیپ‌های عدس مورد مطالعه

Table 2. Name, origin and code of the lentil genotypes

نام ژنوتیپ	کد	مبدأ	نام ژنوتیپ	کد	مبدأ
PRECOZ-4605-	G1	ICARDA	FLIP2011-13L-10893-ILL 358 / ILL 590	G10	ICARDA
FLIP 84-51L-5722ILL 883 / ILL 470	G2	ICARDA	FLIP2010-90L-10820-ILL 7115 / AKM 27	G11	ICARDA
FLIP 96-46L-7978	G3	ICARDA	FLIP2011-13L-10893-ILL 358 / ILL 590	G12	ICARDA
FLIP2010-81L-10811-ILL 7620 / ILL 8113	G4	ICARDA	FLIP2007-133L ILL 7978/ILL 98	G13	ICARDA
FLIP2010-88L-10818-AKM 282 / ILL 662	G5	ICARDA	FLIP 2009-52L ILL 5883/91517	G14	ICARDA
FLIP2011-17L-10897-ILL 8114 / ILL 590	G6	ICARDA	ILL 7547 x ILL 8992 2006- 06-0G-0GA-0GA-11	G15	ICARDA
FLIP2010-40L-10770-ILL 8119 / ILL 7686	G7	ICARDA	ILL 6434 x ILL 8008 2006- 02-0G-0GA-0GA-11	G16	ICARDA
FLIP2010-50L-10780-ILL 5883 / ILL 8188	G8	ICARDA	KIMIA	G17	ICARDA
FLIP2010-70L-10800-ILL 6199 / ILL 5769	G9	ICARDA	GACHSARAN	G18	IRAN

ویژه مربوط به همان مؤلفه اصلی است، n: تعداد محورهای PCA باقیمانده در مدل AMMI، Ygn: بردار ویژه ژنوتیپ gam از n مؤلفه اصلی اثر متقابل (IPCA)، δ_{en} : بردار ویژه محیط gam از n مؤلفه اصلی اثر متقابل، Pge: نویز و E_{aer} : خطای آزمایش هستند. تعیین ارزش پایداری امی (ASV) با استفاده از رابطه (۱۹) زیر برآورد گردید:

$$ASV = \sqrt{\left[\left(\frac{s_1}{s_{G \times E}} \times n_{1s} \right)^2 + \left(\frac{s_2}{s_{G \times E}} \times n_{2s} \right)^2 + \left(\frac{s_3}{s_{G \times E}} \times n_{3s} \right)^2 \right]}$$

ج- تعیین شاخص پایداری ژنوتیپ (GSI) (۳۴،۳۵)

$$GSI_i = RASV_i + RY_i$$

GSI_i: شاخص پایداری ژنوتیپ نام در محیط‌ها، RASV_i: رتبه ژنوتیپ نام در محیط‌ها براساس ASV و RY_i: رتبه ژنوتیپ نام در محیط‌ها براساس میانگین عملکرد دانه هستند. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و CROPSTAT انجام شد.

نتایج بحث

بر اساس تجزیه واریانس مرکب، اثرات اصلی محیط، ژنوتیپ و اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بودند (جدول ۳). محیط (ترکیب سال × مکان) به‌تنهایی ۸۳/۶۳ درصد مجموع مربعات کل را تبیین کرد و به‌دنبال آن سهم اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و اثر ژنوتیپ به‌ترتیب برابر ۱۳ و ۲/۴

هر ژنوتیپ در یک کرت شامل چهار خط به طول چهار متر و فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متر کشت شد. فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲ سانتی‌متر بود. میزان بذر ۲۰۰ دانه در متر مربع در نظر گرفته شد. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک، تسطیح و استفاده از دستگاه فاروئر برای تهیه جوی و پشته به‌طور معمول انجام شد. کلیه عملیات داشت شامل کوددهی و وجین به‌صورت یکسان برای همه کرت‌ها انجام شد. برداشت محصول پس از حذف حاشیه شامل دو ردیف کناری و ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت، از سطحی معادل ۱/۷۵ مترمربع انجام شد.

به‌منظور انجام آزمون بارتلت، در ابتدا تجزیه واریانس ساده بر روی عملکرد دانه ارقام و ژنوتیپ‌ها در هر محیط (سال × مکان) انجام شد (نتایج نشان داده نشده است). برای بررسی یکنواختی واریانس خطا در محیط‌های مختلف از آزمون بارتلت استفاده شد. با ثابت در نظر گرفتن اثر ژنوتیپ و تصادفی در نظر گرفتن اثر محیط (مکان × سال)، تجزیه واریانس مرکب صورت گرفت. محاسبات آماری شامل تجزیه واریانس مرکب، تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به‌روش AMMI، تعیین ارزش پایداری ژنوتیپ (۳۵،۱۶) بودند. تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به‌روش AMMI با استفاده از رابطه زیر بر آورد شد:

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

Y_{ger}: عملکرد ژنوتیپ gam در محیط e ام و تکرار m، μ : میانگین کل، σ_g : اثر اصلی ژنوتیپ، β_e : اثر اصلی محیط، λ_n : مقدار منفرد برای محور مؤلفه اصلی، n ام: که برابر با مقدار

کل به خود اختصاص داد که این موضوع نشان‌دهنده دامنه وسیع‌تر اثرات اصلی محیط نسبت به اثرات اصلی ژنوتیپ بود. ابتدا تجزیه واریانس ساده (داده‌های نشان داده نشده است) برای هر محیط انجام و آزمون بارتلت برای بررسی متجانس بودن واریانس‌های خطای آزمایش‌ها نیز انجام شد. با انجام آزمون بارتلت روی داده‌های ۱۲ محیط، فرض همگنی واریانس خطاهای آزمایش مورد تأیید قرار گرفت ($\chi^2=61/94^{ns}$). مقادیر محاسبه شده برای چولگی (۰/۹۱۷) و کشیدگی (۰/۸۱۵) نشان‌دهنده نرمال بودن توزیع داده‌ها است. نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه روی داده‌های میانگین سه‌ساله ۴ منطقه با ۱۸ ژنوتیپ عدس نشان داد که اثر محیط (سال × مکان) بسیار معنی‌دار بود ($p < 0/001$). بین ژنوتیپ‌های عدس تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. اثرهای متقابل مکان × سال، ژنوتیپ در مکان و ژنوتیپ × سال × مکان نیز معنی‌دار بودند (جدول ۴). معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان می‌دهد که بیان فنوتیپی یک ژنوتیپ نسبت به ژنوتیپ دیگر در یک محیط برتر بوده، اما در محیطی دیگر نامطلوب است (۳۲). گزارش شده است که اثر متقابل بالای ژنوتیپ × محیط سرعت روند انتخاب را کاهش می‌دهد و توصیه‌های ژنوتیپی را مشکل می‌سازد (۸). در این پژوهش، اثر محیط بیشترین سهم را در توجیه مجموع مربعات کل به خود اختصاص داد (شکل ۱)، که این موضوع نشان‌دهنده دامنه وسیع‌تر اثرات اصلی محیط نسبت به اثرات اصلی ژنوتیپ بود.

درصد بود (شکل ۱ و جدول ۵). اثر محیط ۶/۴۳ برابر اثرات ژنوتیپ × محیط بود، بنابراین محیط بیشترین تغییرات را در عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس ایجاد کرد. یک رخداد کلی در همه آزمایش‌های منطقه‌ای، آن است که محیط همیشه یک پدیده غالب در منبع تغییرات عملکرد است و اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ در محیط نسبتاً کوچک هستند (۱۸). بزرگی اثر محیط بیانگر تنوع محیط‌هاست که باعث ایجاد تفاوت در عملکرد دانه برای ژنوتیپ‌ها شده است. بزرگی اثر محیط نسبت به اثر ژنوتیپ × محیط نشان‌دهنده وجود گروه‌های محیطی متفاوت و محیط انتخاب برای سازگاری خصوصی را فراهم می‌نماید. ژنوتیپ‌های مورد بررسی، اگرچه از نظر برخی خصوصیات مهم زراعی با یکدیگر تفاوت داشتند، اما از آن‌جا که سال‌های مختلف، برای انتخاب تحت‌گزینه بوده‌اند، بنابراین دامنه تغییرات عملکرد ژنوتیپ‌ها کاهش یافته است. ساموتته و همکاران (۳۱) به بررسی پایداری ارقام برنج با استفاده از دو روش امی (AMMI) و بای‌پلات اشاره می‌کنند که، تجزیه واریانس یک مدل افزایشی است که به خوبی اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط را تفکیک و مقدار آن را تعیین می‌کند و نیز آن‌ها مشخص می‌کنند که اثر متقابل معنی‌دار است یا نه، اما تصویری روشن از اجزاء تشکیل‌دهنده اثر متقابل ارائه نمی‌دهد، در حالی که روش‌های امی و بای‌پلات اجزاء ضرب‌پذیر اثر متقابل را تفکیک و سهم هر یک از اجزاء تشکیل‌دهنده را به‌طور کمی بیان می‌کنند (۳۱). در این پژوهش اثر محیط بیشترین سهم را در توجیه مجموع مربعات

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس در محیط‌های مختلف

Table 3. Combined analysis of variance for seed yield lentil genotypes evaluated in different environments

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
محیط	۱۱	۷۴۶۳۶۵*
تکرار × محیط	۱۷	۱۲۰۵۸۱
ژنوتیپ	۱۷	۱۳۹۰۰۳*
ژنوتیپ × محیط	۱۸۷	۷۳۳۰۰/۹**
خطا	۱۷۰	۶۸۵۷۲/۹

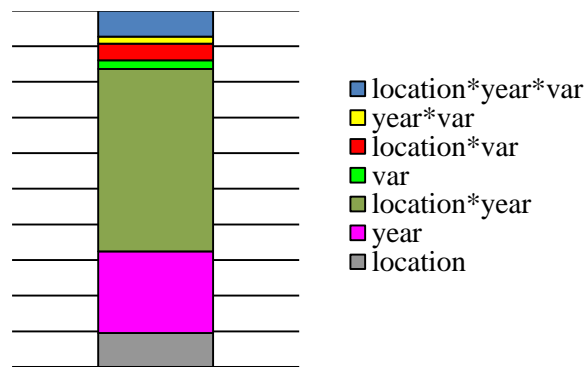
ns * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب ژنوتیپ‌های عدس مورد ارزیابی در سه سال و چهار مکان

Table 4. Combined analysis of variance lentil genotypes evaluated in three years and four locations

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
مکان	۳	۹۳۰۶۶۰۱**
سال	۲	۳۳۸۰۹۷۰ ^{ns}
مکان × سال	۶	۲۵۱۲۷۹۰**
خطای ۱ تکرار در (سال و مکان)	۲۴	۴۰۱۰۲۰
ژنوتیپ	۱۷	۴۱۷۰۷۵*
ژنوتیپ × سال	۵۱	۲۷۰۰۸۳ ^{ns}
ژنوتیپ × مکان	۳۴	۱۶۷۴۱۱*
ژنوتیپ × سال × مکان	۱۰۲	۲۱۲۳۰۵**
خطای ۲	۴۰۸	۷۶۱۹۳
کل	۶۴۷	

ns * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد



شکل ۱- نمایش سهم هر یک از منابع تغییر نسبت به مجموع مربعات کل (پس از حذف خطاهای مورد بررسی) برای عملکرد دانه عدس
Figure 1. Show the contribution of each source of change to the sum of the total squares (after removing the studied errors) for lentil grain yield

عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). این موضوع نشان می‌دهد که پاسخ‌های متفاوت عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس در محیط‌های مورد آزمون به علت اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، بوده است، بنابراین به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های عدس با سازگاری خصوصی یا نسبتاً عمومی، ارزیابی بزرگنمایی و الگوهای اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، اهمیت زیادی در محیط‌های مورد آزمون دارد. مجموع سهم دو مؤلفه اول اثر متقابل برای عملکرد دانه ۵۲/۵۶ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کرد (جدول ۵). با استفاده از دو مؤلفه اول سهم هر ژنوتیپ در برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط مشخص شد (جدول ۶). به طوری که هر چه سهم ژنوتیپ از برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط کمتر باشد، نشان‌دهنده پایداری بیشتر آن ژنوتیپ است. بعضی از محققان اظهار نمودند که بهترین مدل، مدلی است که فقط دو مؤلفه اصلی اول معنی‌دار شوند و سایر مؤلفه‌ها واریانس کمی را به خود اختصاص داده باشند (۲۵). گاج و زوبل (۲۰) در ارزیابی هفت ژنوتیپ سویا در ۳۵ محیط از چهار روش تجزیه واریانس، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، رگرسیون خطی و مدل AMMI استفاده کردند.

نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه در ۱۲ محیط (مکان × سال) اختلاف معنی‌داری را برای اثر ژنوتیپ، محیط و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط نشان داد. معنی‌دار شدن برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط در سطح احتمال یک درصد نشان داد که ارقام و ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف عملکرد متفاوتی داشته‌اند. لذا لازم است با استفاده از روش‌های آماری اثر متقابل ژنوتیپ × محیط تجزیه شود تا بتوان ژنوتیپ‌های پایدار را معرفی کرد.

اثر معنی‌دار ژنوتیپ بیانگر تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها است. اثر معنی‌دار مکان نیز می‌تواند به دلیل عواملی همچون خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و... باشد. اثر معنی‌دار برهم‌کنش ژنوتیپ × سال × مکان نشان‌دهنده اختلاف بین عملکرد ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیط دیگر و وجود نوسان در عملکرد دانه است که نیاز به ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون را برای شناسایی سازگاری عمومی و خصوصی نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که در برهم‌کنش

اسفاهو و همکاران (۳) نیز با ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط روی ۱۶ ژنوتیپ لوبیا قرمز در ۱۸ محیط، بخش عمده تنوع کل را به محیط نسبت دادند. نتایج سایر تحقیقات روی عدس نیز اهمیت محیط را نشان دادند (۱۱، ۲۳). متوسط عملکرد دانه هر ژنوتیپ در محیط، از ۱۱۸۰/۱ تا ۱۶۰۳/۱ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برای ژنوتیپ‌های G_{10} و G_5 متفاوت بود (جدول ۶). متوسط عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف ۱۳۳۳/۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۶). برای بیشتر ژنوتیپ‌ها محیط‌های E_5 و E_7 منجر به عملکرد دانه بیشتری نسبت به سایر محیط‌ها شدند. این موضوع ممکن است با شرایط بهتر رشد مرتبط باشد. محیط‌های E_{11} و E_3 کمترین عملکرد دانه را در مقایسه با سایر محیط‌ها داشتند. دامنه تغییرات عملکرد دانه در محیط‌های آزمایشی ۲۲۱۱ کیلوگرم در هکتار است. لذا می‌توان گفت تفاوت بین محیط‌های آزمایش از نظر شایستگی و توان تولیدی به مراتب بیشتر از تفاوت بین ژنوتیپ‌ها است. طبقه‌بندی محیط‌ها به محیط‌های مطلوب و نامطلوب بر اساس عملکرد دانه عدس، حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش‌های زنده (آفات و بیماری‌ها) و تنش‌های غیرزنده ژنوتیپ‌ها (کمبود آب، تنش دمایی و حاصلخیزی کم خاک) را منعکس می‌کند (۳۱). از میانگین داده‌های سه سال در هر محیط استفاده شد تا به تجزیه و تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ × محیط با استفاده از مدل AMMI و همچنین سایر آماره‌های پایداری برای تعیین پایدارترین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد آزمایش پرداخته شود. نتایج تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان داد که اثر محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه معنی‌دار بودند، و ژنوتیپ‌های عدس از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۳). سهم اثرهای اصلی برای محیط، ژنوتیپ و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه به ترتیب ۸۳/۶۳، ۲/۴ و ۱۳/۹۶ درصد از مجموع مربعات کل بود (جدول ۵) و مؤلفه اصلی باقی‌مانده در مدل ۱۸/۵ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را بیان کردند (جدول ۵). بالا بودن سهم محیط نشان‌دهنده تنوع زیاد بین محیط‌ها است. در تجزیه مدل AMMI چهار مؤلفه اصلی اول برای صفت عملکرد دانه معنی‌دار بودند و به ترتیب ۲۸/۷۱، ۲۳/۸۴، ۱۴/۸۶ و ۱۴/۰۵ درصد از مجموع اثر متقابل ژنوتیپ × محیط

پایداری روش چند متغیره مدل AMMI مورد استفاده قرار می‌گیرند، به طوری که کمترین مقدار (مثبت یا منفی) پایدارترین ژنوتیپ را معرفی می‌کند (۲۱). ژنوتیپ‌های دارای مقادیر اولین مؤلفه اصلی (IPCA₁) بیشتر (مثبت یا منفی) اثر متقابل بالایی با محیط دارند، در حالی که ژنوتیپ‌ها و محیط‌های واجد مقادیر اولین مؤلفه اصلی نزدیک به صفر دارای اثر متقابل پائین هستند، بنابراین ژنوتیپ‌های شماره G8، G17، G18، G7، G12، G9 و G6 دارای کمترین IPCA₁ بودند، ولی فقط میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های شماره G6 و G17 مناسب و بیشتر از میانگین کل است، بنابراین به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با پایداری عمومی بالا معرفی می‌شوند (جدول ۵). وجود تفاوت در ارقام پایدار انتخابی با استفاده از ضرایب مؤلفه اول یا دوم و مشکل بودن انتخاب، بر این نکته تأکید دارد که استفاده از آمار ASV با توجه به تلفیق دو مؤلفه اصلی اول و دوم که منجر به توجیه بخش قابل توجهی از تغییرات اثر متقابل می‌شود، منطقی‌تر به نظر برسد (۲۸). این موضوع زمانی که سهم مؤلفه اول و دوم از تغییرات اثر متقابل پائین باشد، مشهودتر و ضروری‌تر است (۲۸). نتایج مقادیر پایداری AMMI (ASV) نشان داد که برای عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های شماره G1، G7، G8، G16 و G6 کمترین مقدار و در نتیجه بالاترین پایداری عمومی به تمام محیط‌های آزمایش و ژنوتیپ شماره G10 با مقدار ۵۵/۳ بیشترین سازگاری خصوصی را به محیط E1 داشتند. در بین ژنوتیپ‌هایی که دارای کمترین ASV بودند، فقط ژنوتیپ‌های G6 و G13 دارای میانگین عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها بود و نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل بود (شکل ۴).

معنی دار ژنوتیپ × سال × مکان، افزون بر تفاوت ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها، واکنش‌های متفاوت آنها به عوامل جغرافیایی و اقلیمی هم موثر بوده است. بر هم‌کنش معنی‌دار ژنوتیپ × سال × مکان همچنین نشانه‌ای از تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی، مکان‌های آزمایشی و سال‌ها است، پس امکان بهره‌گیری از تجزیه پایداری وجود دارد و می‌توان ژنوتیپ‌های سازگار به نواحی ویژه و یا کل محیط‌ها را شناسایی کرد. با مقایسه داده‌های بارندگی و متوسط درجه حرارت در زمان آزمایش، به نظر می‌رسد که بیشترین میزان کاهش عملکرد ناشی از کاهش بارندگی و افزایش درجه حرارت و به عبارتی عوامل ناشی از تغییرات تصادفی سال باشد. بر اساس وجود اثرات معنی‌دار ژنوتیپ و برهم‌کنش معنی‌دار ژنوتیپ × سال × مکان، اقدام به تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با روش‌های مختلف از جمله بای‌پلات گردید.

نتایج تجزیه واریانس بر اساس مدل AMMI نشان داد که مؤلفه‌های اثر متقابل اول و دوم برای عملکرد دانه معنی‌دار بودند (جدول ۵). بر اساس عملکرد دانه مؤلفه اصلی اول مقدار زیادی از تغییرات اثر متقابل (۲۸/۷ درصد) را توجیه کرد. مؤلفه دوم نیز حدود ۲۳/۸۴ درصد تغییرات مشاهده شده را توجیه کرد، بنابراین به نظر می‌رسد پارامترهایی که بر اساس یک یا دو مؤلفه اصلی اول باشند، نتایج معتبر و قابل اطمینانی را ارائه می‌نمایند (۲۹). متوسط عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس در هر محیط از ۳۶۵/۱۳ کیلوگرم در هکتار در محیط E₁₁ تا ۲۵۷۵/۹ در محیط E₅ متغیر بود (جدول ۶). در جدول ۶ میانگین عملکرد دانه و مقادیر آماره‌های پایداری هر ژنوتیپ نشان داده شده است. ضریب مؤلفه اصلی اول (IPCA₁) و ضریب مؤلفه اصلی دوم (IPCA₂) به عنوان پارامترهای

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس مدل AMMI برای عملکرد دانه ۱۸ ژنوتیپ عدس

Table 5. Results of analysis of variance of AMMI model for seed yield of 18 lentil genotypes

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	درصد نسبت به مجموع مربعات کل	درصد نسبت به اثر متقابل محیط × ژنوتیپ
ژنوتیپ	۱۷	۲۳۶۳۰۳۰	۱۳۹۰۰۲*	۲/۴	
محیط	۱۱	۸۲۱۰۰۲۰۰	۷۴۶۳۶۵۰**	۸۳/۶۳	
اثر متقابل	۱۸۷	۱۳۷۰۷۳۰۰	۷۳۳۰۰/۹**	۱۳/۹۶	
مؤلفه اول	۲۷	۳۹۳۶۲۰۰	۱۴۵۷۵۸**		۲۸/۷۱
مؤلفه دوم	۲۵	۳۲۶۸۵۳۰	۱۳۰۷۴۱**		۲۳/۸۴
مؤلفه سوم	۲۳	۲۰۳۸۰۹۰	۸۸۶۱۲/۷**		۱۴/۸۶
مؤلفه چهارم	۲۱	۱۹۲۷۲۰۰	۹۱۷۷۱/۵**		۱۴/۰۵
باقیمانده	۹۱	۲۵۳۷۲۵۰			۱۸/۵
اشتباه	۲۱۵	۹۸۱۷۰۵۰			

ns و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

جدول ۶- متوسط عملکرد دانه، مقادیر مؤلفه‌های اصلی امی و آماره‌های پایداری مدل امی برای ژنوتیپ‌های عدس
Table 6. Mean grain yield, AMMI principal component values and AMMI model stability statistics for lentil genotypes

G	IPCA1	IPCA2	ASV	SY(kg/ha-1)	Mean rank	Rank ASV	GSI	GSI rank	SIPC1	RankSIPC1	Check(%)	YRI(%)
G1	-۷/۶۹	۲۰/۷	۳۹/۲۵	۱۵۳۷/۴۹	۲	۱۵	۱۷	۵	۷/۶۹	۱۱	۱۱۵/۳	۱۱۳/۴۳
G2	۱۴/۶۶	۰/۸۳	۳۴/۷۶	۱۳۰۸/۳۶	۱۲	۱۴	۱۷	۶	۱۴/۶۶	۱۵	۹۸/۱۱	۹۶/۵۲
G3	-۲۰/۷	-۲۳/۶۴	۶۷/۷۶	۱۴۳۸/۷۹	۴	۱۸	۲۲	۸	۲۰/۷	۱۸	۱۰۷/۹	۱۰۶/۱۵
G4	۹/۲۱	-۱۲/۸۷	۲۳/۰۶	۱۳۲۱/۰۴	۱۱	۱۳	۱۸	۷	۹/۲۱	۱۲	۹۹/۰۷	۹۷/۴۶
G5	۱۹/۳	۰/۸۴	۳۳/۷۲	۱۱۸۰/۱	۱۸	۱۶	۲۲	۹	۱۹/۳	۱۷	۸۸/۵	۸۷/۰۶
G6	-۳/۴۹	۵/۰۳	۲/۶۵	۱۴۶۶/۱۹	۳	۵	۱۲	۳	۳/۴۹	۷	۱۰۹/۹۵	۱۰۸/۱۷
G7	۱/۶۶	۰/۹۴	-۱/۵۳	۱۳۳۹/۸۲	۱۰	۲	۱۰	۱	۱/۶۶	۴	۹۹/۷۲	۹۸/۱۱
G8	۰/۱۱	۲/۲۵	-۱/۳۶	۱۳۳۱/۳۶	۹	۱	۱۰	۲	-۱/۱۱	۱	۹۹/۸۴	۹۸/۲۲
G9	۲	۰/۴۱	-۱/۶۱	۱۲۸۰/۴۴	۱۵	۳	۱۳	۴	۲	۶	۹۶/۰۲	۹۴/۴۶
G10	-۱۸/۸۹	۲۰/۸	۵۵/۳۴	۱۶۰۳/۱۱	۱	۱۷	۲۸	۱۸	۱۸/۸۹	۱۶	۱۲۰/۲۲	۱۱۸/۲۷
G11	۱۰/۹۱	-۱	۱۰/۸۸	۱۲۹۳/۱۵	۱۴	۱۱	۲۳	۱۲	۱۰/۹۱	۱۳	۹۶/۹۷	۹۵/۴
G12	-۱/۹۶	۹/۸۴	۹/۳	۱۲۹۶/۷۹	۱۳	۹	۲۲	۱۰	۱/۹۶	۵	۹۷/۲۵	۹۵/۶۷
G13	۵/۷۱	-۶/۵۸	۵/۱۶	۱۴۲۳/۹	۵	۸	۲۲	۱۱	۵/۷۱	۸	۱۰۶/۷۸	۱۰۵/۰۵
G14	-۱۴/۰۵	۶/۴۹	۲۰/۰۷	۱۴۰۸/۷۸	۶	۱۲	۲۷	۱۷	۱۴/۰۵	۱۴	۱۰۵/۶۵	۱۰۳/۹۳
G15	۷/۴۲	۵/۴	۱۰/۰۷	۱۲۱۵/۱۸	۱۷	۱۰	۲۶	۱۳	۷/۴۲	۱۰	۹۱/۱۳	۸۹/۶۵
G16	-۶/۰۹	۱/۱۵	۳/۱۳	۱۳۶۰/۱	۷	۶	۲۳	۱۳	۶/۰۹	۹	۱۰۱/۹۹	۱۰۰/۳۴
G17	۰/۷۸	-۵/۸۱	۳/۶۵	۱۲۷۰/۶۴	۱۶	۷	۲۵	۱۵	-۰/۷۸	۲	۹۵/۲۹	۹۳/۷۴
G18	۱/۱۲	۱/۰۳	۰/۷	۱۳۳۳/۵	۸	۴	۴	۱۴	۱/۱۲	۳	۱۰۰	۹۸/۳۸

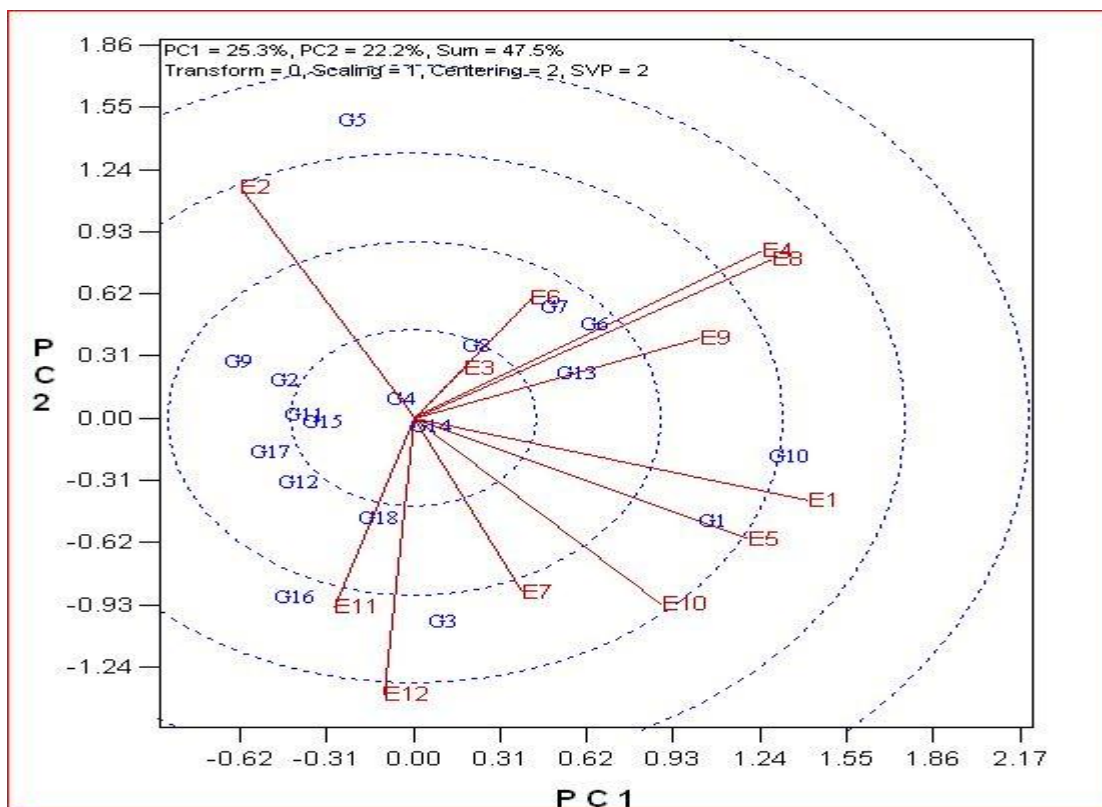
IPCA1: ضریب مؤلفه اول، IPCA2: ضریب مؤلفه دوم ASV: آماره پایداری امی، AMMI، SY: عملکرد دانه، Mean rank: رتبه عملکرد، Rank ASV: رتبه آماره پایداری امی، GSI: شاخص پایداری ژنوتیپ، GSI rank: رتبه شاخص پایداری ژنوتیپ، CV (%): درصد ضریب تغییرات

جدول ۷- میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس و مقادیر مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل ۱۲ محیط
Table 7. Mean seed yield of lentil genotypes and principal component values Interaction of 12 environments

مؤلفه اصلی دوم محیط IPCAE2	مؤلفه اصلی اول محیط ICPAE1	عملکرد دانه	محیط
۹/۱۱	-۱۵/۵۲	۱۲۴۹/۹۴	E1
-۳/۹۴	۱۶/۲۴	۲۰۳۲/۷۲	E2
۱/۵۱	۱۲/۷۲	۹۲۵/۷۴	E3
-۰/۷۶	۷/۶۲	۱۱۲۳/۸۹	E4
۲۳/۲	-۱۴/۰۷	۲۵۷۵/۹۳	E5
-۳/۹۴	۹/۹۷	۹۳۴/۳۹	E6
-۱۸/۸۹	-۲۹/۹۶	۲۳۷۶/۳۳	E7
-۰/۸۱	۶/۹۶	۱۱۶۰/۸	E8
۱۹/۳۴	۲/۷۸	۱۲۶۸/۶۸	E9
-۱/۱۸	-۱/۵۰	۱۰۴۶/۵۷	E10
-۱۹/۸۶	۲/۸۵	۳۶۵/۱۴	E11
-۵/۱۳	-۸/۰۵	۱۲۰۵/۷	E12

عملکرد بالا انتخاب می‌شوند. ژنوتیپ با کمترین مقدار GSI به‌عنوان ژنوتیپ با عملکرد بالا و پایدار شناخته می‌شود، بنابراین ژنوتیپ شماره G1 با میزان GSI Rank متوسط (GSI= ۵) به‌عنوان بهترین ژنوتیپ از نظر عملکرد دانه و پایداری شناخته شد (جدول ۶ و شکل‌های ۲ و ۴).

نتایج حاصل از آماره‌های ASV کاملاً در نمودارهای AMMI2 (شکل ۲) مورد تأکید قرار گرفت. از شاخص پایداری ژنوتیپ (GSI) نیز برای ارزیابی هم‌زمان پایداری و عملکرد بالای ژنوتیپ‌های عدس استفاده شد. بر اساس GSI، ژنوتیپ‌های عدس به‌طور هم‌زمان بر اساس پایداری و



شکل ۲- بای پلات دو مؤلفه اصلی اول و دوم اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در مدل AMMI2 برای عملکرد دانه ۱۸ ژنوتیپ عدس در ۱۲ محیط

Figure 2. Biplot of IPCA1 and IPCA2 scores for 18 lentil genotypes evaluated in twelve environments

و از اثر متقابل کمی برخوردار بودند و پایداری بیشتری نشان دادند (شکل ۴). از آنجاکه مؤلفه اصلی دوم نیز برای عملکرد دانه ۲۲/۲ درصد از اثر متقابل را توجیه کرد. برای رسیدن به نتایج مطمئن، از دومین مؤلفه اصلی نیز استفاده شد و بای پلات مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها ترسیم گردید (شکل ۲).

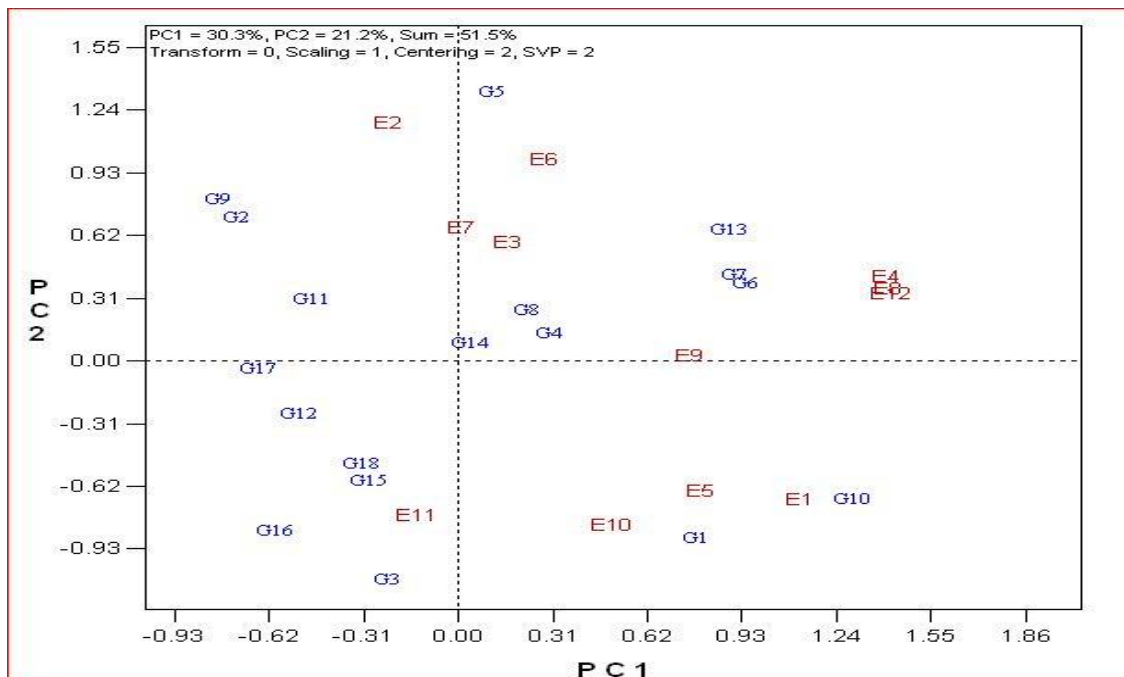
آکورا و همکاران (۲) استفاده از دو مؤلفه اول معنی‌دار در مدل AMMI را بهترین حالت برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط قلمداد کردند. در بای پلات، ژنوتیپ‌ها بر اساس شماره و محیط‌ها به شکل بردار نشان داده شده‌اند. زاویه بین دو بردار محیطی، میزان همبستگی دو محیط را نشان می‌دهد. هر چه زاویه بین دو محیط کمتر باشد، دو محیط همبستگی بیشتر داشته و نقش مشابهی در گزینش ژنوتیپ‌ها دارند. زاویه ۹۰ درجه بین دو بردار محیطی عدم همبستگی دو محیط و زاویه بیشتر از آن نقش متضاد دو محیط در تعیین ژنوتیپ سازگار را نشان می‌دهد (۳۶). همچنین برای انتخاب محیط‌های مناسب که ژنوتیپ‌ها را بهتر از یکدیگر تفکیک کنند، محیط‌ها باید مقادیر IPCA1 بالا و IPCA2 کم داشته باشند (۳۸). بر این اساس محیط‌های E1، E5 و E10 بیشترین نقش را در تفکیک ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا از یکدیگر داشتند. همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است محیط‌های E9 و E10 نقش مشابهی در تفکیک ژنوتیپ‌های

هرچه نمرات IPCA به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده‌ی پایداری بیشتر ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد آزمون است. از این‌رو، در نمودار بای پلات ژنوتیپ‌هایی که در مرکز بای پلات قرار دارند از پایداری عمومی برخوردار هستند و برای کشت در اکثر محیط‌ها توصیه می‌شوند و ژنوتیپ‌هایی که دور از مرکز بای پلات پراکنش یافته‌اند دارای پایداری خصوصی می‌باشند. به نظر می‌رسد ژنوتیپ (G1) واکنش خوبی به بهبود شرایط محیطی نشان دهد. میانگین عملکرد دانه این ژنوتیپ در محیط دوم ۱۵۳۷/۴ کیلوگرم در هکتار بود و حداکثر عملکرد دانه تولیدی این ژنوتیپ ۳۲۴۱/۶ کیلوگرم در هکتار و دامنه آن ۳۰۲۸ کیلوگرم در هکتار بود. به عبارت دیگر این ژنوتیپ از پایداری بیولوژیکی نسبتاً خوب با نوسان عملکرد پایین برخوردار بود. در شکل ۲ نمودار AMMI بر اساس میانگین ژنوتیپ‌ها یا محیط‌ها و مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول برای صفت عملکرد دانه ارائه شده است. بر این اساس ژنوتیپ‌ها یا محیط‌هایی که مقدار IPCA بالاتری دارند (مثبت یا منفی)، اثر متقابل بالایی دارند درحالی‌که مقدار کم IPCA اثر متقابل کمتر و پایداری بیشتری را نشان می‌دهند (۲۰).

ژنوتیپ‌های G1، G10، G6 و G13 که به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر هستند، ژنوتیپ‌های برای عملکرد دانه با سازگاری بالا در محیط‌های E4، E9، E7، E8، E5، E12 و E1 بودند

E1, E4, E8 و E2 و محیط دارای کمترین تنوع (کمترین قدرت تمایز) E3 و E6 بودند (شکل ۲). در هر محیط آزمایشی بر اساس نمودار بای‌پلات بالاترین مقادیر میانگین ژنوتیپ در هر محیط، ژنوتیپ‌های برتر هر محیط معرفی شد (شکل ۳). بر این مبنای ژنوتیپ‌های G1 و G10 از نظر عملکرد دانه، بیشترین مقدار را به‌عنوان برترین ژنوتیپ عدس در تمام محیط‌ها داشت.

G1 و G10 داشته‌اند. زاویه باز این محیط‌ها با محیط E2 که ژنوتیپ شماره G5 را تفکیک کرد، نشان‌دهنده واکنش متفاوت محیط E2 در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط است. برترین ژنوتیپ‌ها برای محیط‌های E1, E5 و E10 به ترتیب شامل ژنوتیپ‌های شماره G1 و G10 بودند. که ژنوتیپ G10 برای محیط E1 و ژنوتیپ G1 برای محیط‌های E5 و E10 برتر بودند. محیط‌های با تنوع بالا (قابلیت تمایز بیشتر) شامل

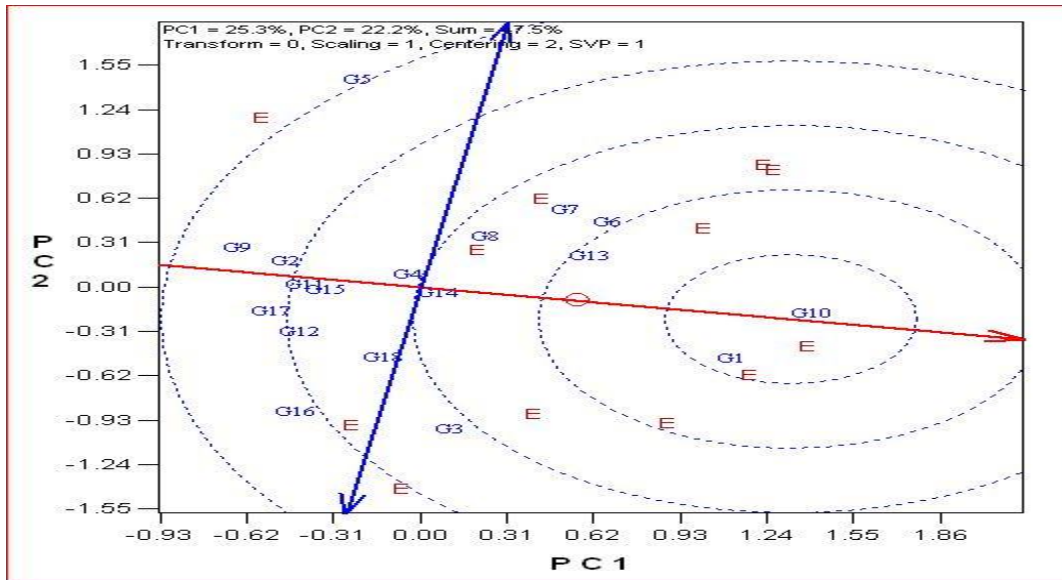


شکل ۳- بای پلات مدل AMMI₁ اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه ۱۸ ژنوتیپ عدس در ۱۲ محیط
Figure 3. AMMI₁ biplot of interaction of genotype × environment for seed yield of 18 lentil genotypes in 12 location

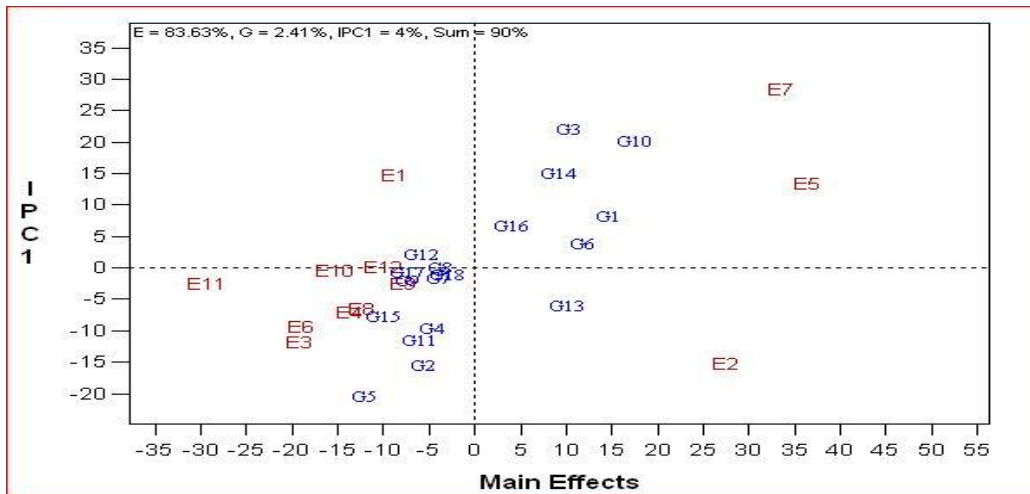
شده است. این شکل دارای دو محور افقی و عمودی است. ارقام در طول محور افقی رتبه‌بندی می‌شوند و جهت پیکان بیانگر میانگین عملکرد بیشتر است. محور عمودی که دارای دو پیکان است که از مبدأ بای‌پلات می‌گذرد و بر محور افقی عمود است، به معنی مستقل است. بنابراین، اگر محور افقی نشان‌دهنده G باشد، محور عمودی باید برآوردی از برهمکنش مرتبط با هر ژنوتیپ را فراهم کند که معیار تغییرپذیری یا بی‌ثباتی ژنوتیپ‌ها است (۱۵). محور عمودی برهمکنش ژنوتیپ و محیط را نشان می‌دهد و ژنوتیپی که فاصله بیشتری از محور افقی (بدون در نظر گرفتن جهت) دارد، پایداری آن کمتر است. با بررسی شکل ۶ مشخص شد که به ترتیب ژنوتیپ‌های G1, G6 و G13 بیشترین میانگین عملکرد را داشتند. ژنوتیپ G6 نیز به دلیل اینکه تقریباً روی محور افقی قرار گرفته و دارای کمترین طول تصویر روی محور عمودی هست، دارای پایداری بالایی بودن، به این معنی که این ژنوتیپ در تمامی محیط‌های مورد آزمون رتبه عملکرد تقریباً ثابتی داشتند.

بر اساس شکل ۵ بای‌پلات متوسط عملکرد محیط‌های آزمایشی در مقابل مقادیر IPCA1، محیط E10 دارای کمترین مقدار IPCA1 بوده و بنابراین از ثبات عملکردی بیشتری برای ژنوتیپ‌ها برخوردار است (۴). در حالی که محیط‌های E7 و E9 هر دو دارای مقادیر بالای IPCA1 بوده و به‌عنوان محیط‌های ناپایدار برای ژنوتیپ‌ها تلقی می‌شوند. با این تفاوت که بعد از محیط E5، محیط E7 بیشترین میانگین عملکرد را به‌خود اختصاص داد. پراکندی محیط‌ها در این شکل (۵) نیز نشان می‌دهد که محیط‌ها به‌لحاظ پایداری یا ثبات عملکردی تفاوت‌های زیادی با یکدیگر دارند که مؤید نتایج تجزیه واریانس مرکب می‌باشد (شکل ۵ و جدول ۳). یک محیط ایده‌آل (پایدار) محیطی است که دارای بیشترین توانایی تمایز ژنوتیپ‌ها و نیز نماینده بقیه محیط‌های آزمایش باشد. بنابراین، محیط‌های E1 و E8 به دلیل داشتن طول بردار بلندتر که توانایی تمایز خوب و نیز قدرت نمایندگی بیشتر را نشان می‌دهد، به ترتیب به‌عنوان محیط‌های ایده‌آل‌تر نسبت به سایر محیط‌ها معرفی می‌شوند (۳۹).

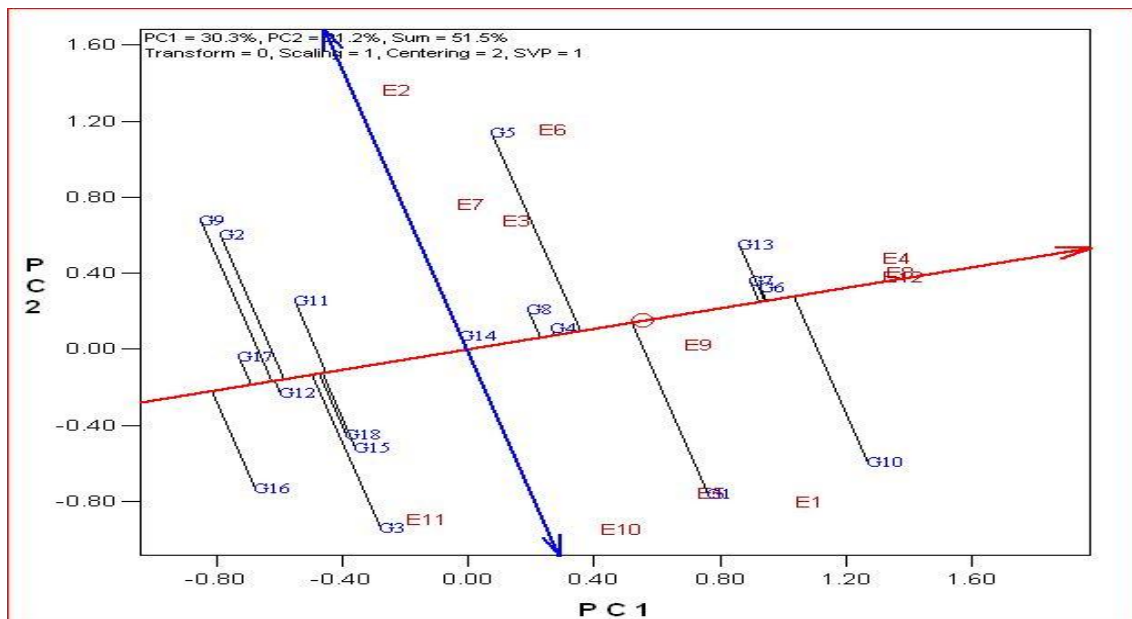
شکل ۶ برای بررسی همزمان پایداری و عملکرد استفاده



شکل ۴- مقایسه ژنوتیپ‌های عدس از نظر عملکرد و پایداری بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل
Figure 4. Comparison of chickpea genotypes with the ideal genotype for yield and stability



شکل ۵- بای پلات میانگین عملکرد محیط‌ها در مقابل IPCA1
Figure 5. Biplot Environments yield means versus IPCA1



شکل ۶- بای پلات برای گزینش همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه
Figure 6. Biplot for simultaneous selection of yield and stability of the studied genotypes

ژنوتیپ‌های G1، G3، G6، G10، G14 و G16 در محیط‌های E5 و E7 از عملکرد نسبتاً خوبی برخوردار بودند (شکل ۵). به طوری که هر گروه قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های برتر خود بود. شرایط محیطی نقش‌های مختلفی در تخصیص ژنوتیپ مناسب آن محیط ایفا می‌کند و انتخاب مناسب بر مبنای ژنوتیپ پایدار در محیط‌های مختلف با عملکرد بالا نقش مهمی در پیشبرد اهداف اصلاحی عدس در آینده دارند. در این مطالعه نتایج ارزش پایداری امی (ASV)، GSI و نمودار بای پلات با یکدیگر مطابقت داشتند. ژنوتیپ G6 هم در تجزیه AMMI و هم در مقایسه با ژنوتیپ ایده‌آل به عنوان ژنوتیپ پایدار شناخته شد. این ژنوتیپ دارای میانگین عملکرد مناسبی است. با توجه به این که در شرایط محیطی متغیر پایداری نسبت به پتانسیل عملکرد از اهمیت بیشتری برخوردار است، کشت ژنوتیپ‌های G1، G6، G13 و G1 که دارای پایداری بالا و عملکرد متوسط است قابل توصیه است.

رقم ایده‌آل رقمی فرضی است که دارای بیشترین و پایدارترین عملکرد بوده و از نظر محیطی در مرکز دوایر متحدالمرکز قرار داشته باشد. میزان مطلوبیت رقم‌ها به فاصله آن‌ها از رقم مطلوب بستگی دارد. مقایسه رقم‌های مورد بررسی با رقم ایده‌آل (شکل ۴) نشان داد که ژنوتیپ G6، G1، G10 و G13 نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل بود که بیشترین عملکرد را داشته است و به علت قرار گرفتن روی محور میانگین دارای بیشترین پایداری نیز بود. ژنوتیپ‌های G6، G10، G13 و G14 نیز به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک بودند و می‌توانند به عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب گزینش شوند. در مجموع نتایج نشان داد که مدل AMMI با بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط برای گیاه عدس قادر به تفکیک محیط‌ها به گروه‌های متفاوت بود (شکل ۵). در این پژوهش مدل امی محیط‌های مورد مطالعه را به چهار گروه تقسیم کرد. ژنوتیپ G13 در محیط E2، G12 در محیط E1 و

منابع

- Ahmadi, K., H. Gholizadeh, H. Ebadzadeh, R. Hoseinpour, F. Hatami, B. Mohiti, B. Fazli and M. Rafiei. 2014. Agricultural year book (2012-2013). Ministry of Jihad-e-Agriculture, 1 <http://www.maj.ir/portal>ShowFile.aspx> (In Persian).
- 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.
- Asfaw, A., T. Assefa, B. Amsalu, K. Negash, F. Alemayehu, F. Gurum, Y. Rezene, C. Finenissa, M. Alnafi and C. Daba. 2008. Adaption and yield stability of small red bean elite lines in Ethiopia. *International Journal of Plant Breeding and Genetics*, 2(2): 51-63.
- Babaei, H.R., H. Sabzei and N. Razmi. 2019. Application of AMMI approach in "Genotype x Environment" interaction analysis and determining yield stability of soybean purelines (*Glycine max* L.) Merrill. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(1): 129-137.
- Becker, H. and J. Leon. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*, 101: 1-23.

6. Baquedano, F.J., F. Valladares and F.J. Castillo. 2008. Phenotypic plasticity blurs ecotypic divergence in the response of *Quercus coccifera* and *Pinus halepensis* to water stress. *European Journal Forest Res*, 6: 495-506.
7. 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.
8. Caliskan, M.E., E. Erturk, T. Sogut, E. Boydak and H. Arioglu. 2007. Genotype \times environment interaction and stability analysis of sweet potato (*Ipomoea balatas*) genotypes. *New Zealand Journal Crop Horticulture Science*, 35: 87-99.
9. Cattivelli, L., F.W. Rizza, E. Badeck, A.M. Mazzucotelli, E. Mastrangelo, C. Francia Mare, A. Cooper and I.H. Delacy. 1994. Relationships among analytic methods used to study genotypic variation and genotype- by- environment interaction in plant breeding multi-environment trials. *Theoretical and Applied Genetics*, 88(5): 561-572.
10. Costa, J.G.C., C.A. Rava, F.J.P. Zimmermann and L.C. Melo. 2008. Yield stability and adaptability of common bean line developed by Embrapa. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 2(38): 141-145.
11. Darai, R., A. Sarker, R.P. Sah, K. Pokhrel and R. Chaudhary. 2017. AMMI Biplot Analysis for Genotype X Environment Interaction on Yield Trait of High Fe content Lentil Genotypes in Terai and Mid-Hill Environment of Nepal. *Annals of Agricultural & Crop Sciences*, 2(1): 1026.
12. Eberhart, S.T. and W. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6: 36-40.
13. Falconer, D.S. and T.F.C. Mackey. 1996. *Introduction to Quantitative Genetics*. (4th Ed.). Addison-Wesley Longman, Harlow, UK.
14. 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(14): 1791-1796.
15. Farshadfar, E. 2015. *The interaction effect of genotype and environment in plant breeding*. Islamic Azad University Press, Kermanshah, Iran, 1 (In Persian).
16. 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.
17. Gauch, H.G. 2007. *MATAMODEL Version 3.0: Open Source Software for AMMI and Related Analyses*. Crop and Soil Science. Cornell University, Ithaca, NY 14853.
18. Gauch, H.G. and R.W. Zobel. 1996. AMMI analyses of yield trials. In Kang, M.S. and H.G. Gauch (Eds.), *Genotype by Environment Interaction*. CRC. Boca Raton, Florida, pp: 85-122.
19. Ghodarti-Niari, F. and R. Abdolshahi. 2014. Evaluation of yield stability of 40 bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes using additive main effects and multiplicative interaction (AMMI). *Iran Journal Crop Science*, 16(4): 322-333 (In Persian).
20. Grausgruber, H., M. Oberforster, M. Werteker, P. Ruckenbauer and J. Vollmann. 2000. Stability of quality traits in Austrian-grown winter wheats. *Field Crops Research*, 66: 257-267. <http://www.css.cornell.edu/staff/gauch/matmodel.html>.
21. 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.
22. Hussein, M.A., A. Bjornstad and A.H. Aastveit. 2000. SASG x ESTAB: A SAS program for computing genotype x environment stability statistics. *Agronomy Journal*, 92: 454-459.
23. Jeberson, M.S., K.S. Shashidhar, S.H. Wani, A.K. Singh and S.A. Dar. 2019. Identification of stable lentil (*Lens culinaris Medik*) genotypes through GGE biplot and AMMI analysis for North Hill Zone of India. *Legume Research: An International Journal*, 42(4): 467-472.
24. 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.
25. Liang, S., G. Ren, J. Liu, X. Zhao, M. Zhou, D. McNeil and G. Ye. 2015. Genotype- by-environment interaction is important for grain yield in irrigated Lowland rice. *Field Crops Research*, 180: 90-99.
26. Majnoun Hosseini, N. 2006. *Production of Pulse Crops*. Jihad-e Daneshgahi Press, University of Tehran Branch, 284 pp (In Persian).
27. Messina, C.D., D. Podlich, Z. Dong, M. Samples and M. Cooper. 2011. Yield trait performance landscapes: from theory to application in breeding maize for drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 62: 855-868.
28. Mofidian, S.M.A. and A. Mogadam. 2013. Analysis of ecotype \times location interaction in cold-region alfalfa ecotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 15(2): 181-195.
29. Navabi, A., R.C. Yang, J. Helm and D.M. Spaner. 2006. Can spring wheat growing mega-environments in the northern great-plains be dissected for representative locations or niche-adapted genotypes *Crop Science*, 46: 1107-1116.

30. Pereira, H.S., L.G. Bueno, M.J.D. Peloso, A. de Abreu, F.B. Moreiva, J.A.A. Martins, A.L.C. de Wendland, T. Faria, L.P.O. Souza and L.C. Melo. 2014. Agronomic performance and stability of Andean common bean lines with white grains in Brazil. *Crop Breeding*, 73: 130-137.
31. Samonte, S.O.P.B., L.T. Wilson, A. McClung and J.C. Mand Medley. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analysis. *Crop Science*, 45: 2414-2424.
32. Singh, R.P. and R.M. Trethowan. 2007. Breeding spring bread wheat for irrigated and rain-fed production systems of the developing world. In: Kang, M.S., P. M. Priyadarshan (eds.), *Breeding Major Food Staples*. Blackwell Publishing, Oxford, 109-139.
33. Sadiyah, H. and A.F. Hadi. 2016. AMMI model for yield estimation in multi-environment trials: A comparison to BLUP. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9: 163-169.
34. Thennarasu, K. 1995. On Certain Nonparametric Procedures for Studying Genotype Environment Interactions and Yield Stability. PhD. PJ School IARI, New Delhi, India.
35. Tumuhimise, R., R. Melis, P. Shanahan and R. Kawuki. 2014. Genotype × environment interaction effects on early fresh storage root yield and related traits in cassava. *The crop Journal*, 2: 329-337.
36. Yan, C.W. and M.S. Kang. 2003. GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. *The Crop Journal*, 2: 329-337.
37. Yaghotipoor, A., E. Farshadfar and M. Gheytholi. 2009. Study of yield stability in pea using AMMI model in Kermanshah. *Plant Production*, 32(1): 25-37 (In Persian).
38. Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science* 42: 11-20.
39. Yan, W. and M.S. Kang. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and Agronomists. CRC Press, Boca Raton, USA.
40. Zali, H., S.H. Sabbaghpour, A.A. Farshadfar and P. Pezeshkpour. 2009. Stability analysis of chickpea genotypes using ASV parameter compare to other stability methods. *Iran Journal Field Crop Science*, 2: 21-29 (In Persian).

Analysis of Yield Stability of lentil Genotypes using AMMI Method

Payam Pezeshkpour¹, Rahmatollah Karimizadeh², Amir Mirzaei³ and Mohammad Barzali⁴

1- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran, (Corresponding author: papezeshkpour@yahoo.com)

2- Assistant professor, Kohgiluyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran

3- Research assistant, Crop and Horticultural Science Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran

4- Horticulture Crops Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran

Received: November 10, 2020

Accepted: January 23, 2021

Abstract

In order to investigate the effect of genotype, environment and the interaction of genotype \times environment, for seed yield, 18 lentil genotypes in a randomized complete block design with three replications in four environments (Khorramabad, Gachsaran, Ilam and Gonbad) during three years (2014-2017) Were evaluated. Based on combined analysis of variance, the main effects of location, genotype and genotype \times location and genotype \times location \times year interactions were significant. The results of combined analysis of variance for different environments showed that environment, genotype and genotype \times environment interaction for Showed seed yield. According to the results of AMMI analysis of variance, the environment was the main source of change, which accounted for 83.6% of the total squares. The results of AMMI analysis of variance also showed that the four-component interaction effect on seed yield was significant. The first two main components of the AMMI model accounted for 52.56% of the total yield variance. The results of AMMI stability values (ASV) showed that for seed yield, the genotypes including G8, G7, G9, G18, G6, G16 and G17 had the lowest values and therefore the highest general stability to all experimental environments. Genotype G5 with ASV value of 33.7 was highest private stability to the second environment (E2). Among the genotypes with the lowest ASV, only G6 and G16 genotypes had higher average seed yield than the average of all genotypes. Based on the values of the first two principal components, AMMI (ASV) stability value and genotype stability index (GSI), the genotypes G6, G1 and G13 were identified as the most stable genotypes, and the closest genotypes to the ideal genotype.

Keywords: Genotype interaction in environment, Lentil genotypes, Stability value