



## "مقاله پژوهشی"

# ارزیابی اثر متقابل ژنتیک × محیط و پایداری عملکرد دانه ژنتیک‌های AMMI پیش‌رفته عدس با استفاده از روش

بیام پژشکپور<sup>۱</sup>, رحمت‌الله کریمی‌زاده<sup>۲</sup>, امیر میرزایی<sup>۳</sup> و محمد بروزعلی<sup>۴</sup>

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 مسؤول: 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: ۱۳۹۹/۱۱/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۰

صفحه: ۱۴۵ تا ۱۳۲

## چکیده

به منظور بررسی اثر ژنتیک × محیط و اثر متقابل ژنتیک × محیط، برای عملکرد دانه، ۱۸ ژنتیک عدس در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار محیط (خرم‌آباد، ایلام و گنبد) طی سه سال زراعی (۹۶-۹۷-۹۸) مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس تجزیه واریانس مرکب، اثرات اصلی مکان، ژنتیک، اثرات متقابل ژنتیک × مکان و ژنتیک × محیط معنی‌دار بودند. نتایج تجزیه واریانس مرکب برای محیط‌های مختلف نشان داد که اثر محیط، ژنتیک × محیط و اثر متقابل ژنتیک × محیط برای عملکرد دانه معنی‌دار گردید. بر اساس نتایج تجزیه واریانس AMMI، محیط منبع اصلی تغییرات بود که ۸۲/۶ درصد از مجموع مرباعات 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، ژنتیک‌های شماره G8، G9، G16، G18، G6، G17 کمترین مقدار و در ترتیب بالاترین پایداری عمومی به تمام محیط‌های آزمایش را داشتند. ژنتیک شماره G5 با مقدار ۳۳/۷ ASV بیشترین پایداری خصوصی را به محیط دوم (E<sub>2</sub>) داشت. در بین ژنتیک‌هایی که دارای کمترین ASV بودند، فقط ژنتیک‌های G6 و G16 دارای میانگین عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل ژنتیک‌ها بودند. بر اساس مقادیر دو مؤلفه اصلی اول، ارزش پایداری (ASV) و شاخص پایداری ژنتیک (GSI)، ژنتیک‌های G6 و G13 به عنوان پایدارترین ژنتیک‌ها شناخته شدند، و نزدیکترین ژنتیک‌ها به ژنتیک ایده‌آل بودند.

**واژه‌های کلیدی:** اثر متقابل ژنتیک × محیط، ارزش پایداری، ژنتیک‌های عدس

داشته باشد حائز اهمیت است. سازگاری و پایداری عملکرد دو

مفهوم مهم در برنامه‌های اصلاح گیاهان زراعی می‌باشد (۱۰). توانایی یک ژنتیک به دارا بودن حداقل اثر متقابل در برابر تغییرات محیطی، تحت عنوان پایداری عملکرد ژنتیک 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 موردنظر به بهترین محیط رشد آن‌ها مشخص شوند که این موضوع تحت عنوان سازگاری خصوصی نامیده می‌شود (۶). در سازگاری خصوصی هدف این است که ژنتیکی به دست آید که عملکرد خوبی در یک محیط خاص داشته باشد (۶). با توجه به اهمیت اثر متقابل ژنتیک × محیط، معمولاً به ترازگران، ژنتیک‌های واحد شرایط را جهت تعیین سازگاری عمومی و خصوصی آن‌ها در چند محیط موردنی شناسایی ژنتیکی است که تقریباً در همه محیط‌ها عملکرد

## مقدمه

حبوبات بعد از غلات دومین منبع غذایی انسان به شمار 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 ۱۱۴۴۱۱ هکتار است که از این سطح سالیانه حدود ۶۱۵۵۸ تن عدس برداشت می‌شود (۱). کشاورزان عدس کار به ارقامی نیاز دارند که عملکرد بالای داشته و این خصوصیت مطلوب را در دامنه وسیعی از شرایط محیطی و در خلال سال‌ها حفظ نمایند (۱۱). به منظور انتخاب بهترین ژنتیک برای محیط خاص و تعیین ژنتیک‌های پایدار در دامنه‌ای از محیط‌ها، ارقام و ژنتیک‌های عدس در آزمایش‌های ناحیه‌ای ارزیابی شده و عملکرد دانه آن‌ها در سال‌ها و مناطق مختلف مورد مقایسه قرار می‌گیرد (۳۳). عملکرد ژنتیک‌های عدس تا حد زیادی به محیط بستگی دارد. به طور کلی، ژنتیک، محیط و اثر متقابل ژنتیک × محیط عملکرد یک رقم را تعیین می‌کنند (۱۴). با در نظر گرفتن سطح زیر کشت عدس، تنوع شرایط اقلیمی-زراعی مناطق مورد کشت و عکس العمل ارقام مختلف در شرایط محیطی متفاوت، معرفی ارقام پرمحصول که سازگاری وسیع

محیط و زاویه بیشتر از آن نقش متضاد دو محیط در تعیین ژنتیپ سازگار را نشان می‌دهد (۳۶). عumoًا پایداری به عنوان 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 ژنتیپ به هر تغییر محیطی اشاره دارد. ۲- پایداری دینامیک یا مفهوم اگرونومیکی که به این واقعیت برمی‌گردد که ژنتیپ به طور قابل پیش‌بینی به شرایط رشدی مناسب پاسخ خواهد داد (۲۸). عumoًا مفهوم استاتیک پایداری مربوط به ژنتیپ‌های با عملکرد پایین است (۶) در حالی که مفهوم اگرونومیک باید با پتانسیل عملکرد خوب تکمیل گردد تا مطمئن شویم که برتری یک ژنتیپ تحت دامنه وسیعی از محیط‌ها، عملیات مدیریتی و تشنهای زنده و غیرزنده پایدار می‌ماند (۳۲).

بررسی تأثیر ژنتیپ و اثر متقابل ژنتیپ × محیط بر عملکرد ۱۶ ژنتیپ عدس با محتوای آهن بالا در چهار محیط مختلف به مدت دو سال در نیال انجام شد و نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که تفاوت‌های زیادی در ژنتیپ و مکان وجود دارد، اما اثر متقابل محیط (سال × مکان) و ژنتیپ × سال معنی دار نگردید، به طور 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 ژنتیپ‌های عدس عملکرد را در محیط‌ها داشتند، و پایداری این ژنتیپ‌ها نشان داد که با عملکرد بالا از مطلوبیت کافی برخوردار هستند (۱۱). در کشور هندوستان با بررسی ۲۴ ژنتیپ عدس در سه محیط دو مؤلفه اصلی اول بیش از ۹۰ درصد تغییرات عملکرد دانه را نشان دادند، ژنتیپ و اثر متقابل ژنتیپ × محیط با هم بیش از ۱۰ درصد از تنوع کل را تشکیل دادند. تجزیه و تحلیل AMMI نشان داد که ژنتیپ‌ها سازگاری گسترده‌ای دارند و تحت تأثیر اثر متقابل محیط × ژنتیپ 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 ژنتیپ × محیط عملکرد دانه ۱۸ ژنتیپ و رقم عدس از طریق تجزیه AMMI و بررسی الگوی سازگاری و پایداری عملکرد ژنتیپ‌های پر محصول بوده است.

## مواد و روش‌ها

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

خوبی داشته باشد. اثر متقابل ژنتیپ × محیط به عنوان تعییر نسی عملکرد ژنتیپ‌ها در محیط‌های مختلف تعريف شده است که به عنوان یک چالش برای به تزادگران محسوب می‌شود، زیرا انتخاب ژنتیپ‌های برتر را مشکل ساخته و باعث کاهش پیشرفت ژنتیکی می‌شود (۱۲).

اثر متقابل ژنتیپ × محیط با استفاده از چندین روش اندازه‌گیری می‌شود که اساس همه آن‌ها ارزیابی ژنتیپ‌ها در چند محیط هست. آزمایش‌های چند محیطی گیاهان زراعی، نقش مهمی در ارزیابی ژنتیپ‌ها در بسیاری از مراحل برنامه‌های اصلاح و معروف ارقام جدید دارند. متدائل‌ترین روش تجزیه آزمایش‌های چند محیطی مبتنی بر فرض یکنواختی واریانس خطای در همه محیط‌های مورد آزمایش است، اما اغلب این موضوع در عمل اتفاق نمی‌افتد و می‌تواند صحت ارزیابی ژنتیپ‌ها را محدود نماید. پرواضح است که در چنین آزمایش‌هایی، به علت اختلاف عملکرد ژنتیپ‌ها در محیط‌ها، واریانس اثر متقابل ژنتیپ × محیط تعییر کرده و واریانس باقیمانده در محیط‌ها به علت تفاوت در شرایط طبیعی (خاک، آب و هوا) و همچنین عملیات اجرایی در محیط‌های مختلف تعییر می‌کند (۲۲). بکر و لئون (۵) اظهار داشتند که پایداری عملکرد یک ژنتیپ ارتباط مستقیمی با اثر متقابل ژنتیپ × محیط داشته و یک ژنتیپ موفق باید عملکرد و پایداری بالایی در دامنه وسیعی از شرایط محیطی داشته باشد. در صورت وجود اثر متقابل ژنتیپ × محیط، لازم است ژنتیپ‌های پایدار با عملکرد نسبتاً ثابت در دامنه‌ای از محیط‌ها شناسایی شوند. تعیین پایداری و سازگاری ژنتیپ‌ها 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 بروش اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (AMMI)<sup>۱</sup> در مطالعات بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است. در مدل AMMI، ضریب رگرسیون و واریانس محیطی، قابل اعتمادترین ابزار برای محاسبه پایداری و سازگاری ژنتیپ‌ها گزارش شده‌اند (۱۸). در مدل AMMI، مؤلفه‌های افزایشی برای اثرات اصلی (ژنتیپ × محیط) و مؤلفه‌های ضرب‌پذیر برای اثر متقابل ژنتیپ × محیط ترکیب می‌شوند (۳۹). این مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل، برای تفسیر کارایی عملکرد و پایداری ژنتیپ‌های 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 ژنتیپ ارائه می‌دهند. اطلاعات بای‌پلات‌های AMMI بررسی بصری ارتباطات بین محیط‌ها، ژنتیپ‌های مورد آزمون و اثر متقابل ژنتیپ × 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 گرینش ژنتیپ‌ها دارند. زاویه بین ۹۰ درجه بین دو بردار محیطی عدم همبستگی دو

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

محل	طول و عرض جغرافیایی (درجه - دققه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	سال زراعی	کد	متوسط دما (درجه سلسیوس)	بارندگی (میلی‌متر)
خرم‌آباد	37° 28' N 48° 21' E	۱۱۷۰	۱۳۹۳-۹۴	E1	۱۳/۸	۳۲۶/۳
			۱۳۹۴-۹۵	E5	۱۳/۲	۷۴۳/۴
			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
گندید	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	FLIP2007-13SL-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 9892 2006-06-0G-OGA-0GA-11	G15	ICARDA
FLIP2010-40L-10770-ILL 8119 / ILL 7686	G7	ICARDA	ILL 6434 x ILL 8008 2006-02-0G-OGA-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  $\lambda$  از  $n$  مؤلفه اصلی اثر متقابل (IPCA)،  $\delta_{en}$ : بردار ویژه محیط  $\lambda$  از  $n$  مؤلفه اصلی اثر متقابل،  $Pge$ : نویز و  $\varepsilon_{aer}$ : خطای آزمایش هستند. تعیین ارزش پایداری امی (ASV) با استفاده از رابطه (۱۹) زیر برآورد گردید:

$$ASV = \sqrt{\left[ \frac{S_1}{S_{G \times E}} \times n_{1s} \right]^2 + \left[ \frac{S_2}{S_{G \times E}} \times n_{2s} \right]^2 + \left[ \frac{S_3}{S_{G \times E}} \times n_{3s} \right]^2}$$

ج- تعیین شاخص پایداری ژنوتیپ (GSI) (۲۴،۳۵)  
 $GSI = RASVi + RYi$

؛ شاخص پایداری ژنوتیپ  $\lambda$  در محیطها  $RASVi$  و  $RYi$ ؛ رتبه ژنوتیپ  $\lambda$  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) به تنهایی  $83/63$  درصد مجموع مربعات کل را تبیین کرد و به دنبال آن سهم اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و اثر ژنوتیپ به ترتیب برابر ۱۳ و  $2/4$  میانگین کل،  $\beta_e$ ؛ اثر اصلی ژنوتیپ،  $\mu$ ؛ اثر اصلی محیط،  $\lambda_n$  مقدار منفرد برای محور مؤلفه اصلی،  $n$ ؛ ام: که برابر با مقدار

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 به طور معمول انجام شد. کلیه عملیات داشت شامل کوددهی و وجین به صورت 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  $1/75$  متر مریع انجام شد.

به منظور 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 خطای از 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 به روش AMMI، تعیین ارزش پایداری ژنوتیپ (۳۵،۱۶) بودند. تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به روش AMMI با استفاده از رابطه زیر برآورده شد:

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

؛ عملکرد ژنوتیپ  $g$  ام در محیط  $e$  و تکرار  $t$ ،  $\mu$ ؛ میانگین کل،  $\sigma_g$ ؛ اثر اصلی ژنوتیپ،  $\beta_e$ ؛ اثر اصلی محیط،  $\lambda_n$ ؛ 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 ژنتیک بود. ابتدا تجزیه واریانس ساده (داده‌های نشان داده نشده است) برای هر محیط انجام و آزمون بارتلت برای بررسی متجانس‌بودن واریانس‌های خطای آزمایش‌ها نیز انجام شد. با انجام آزمون بارتلت روی داده‌های ۱۲ محیط، فرض همگنی واریانس خطاهای آزمایش مورد تأیید قرار گرفت ( $\chi^2=61/93^{ns}$ ). مقادیر محاسبه شده برای چولگی (۰/۹۱۷) و کشیدگی (۰/۸۱۵) نشان‌دهنده نرمال‌بودن توزیع داده‌ها است. نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه روی داده‌های میانگین سه‌ساله ۴ منطقه با ۱۸ ژنتیک عدس نشان داد که اثر محیط (سال × مکان) بسیار معنی‌دار بود ( $p<0.001$ ). بین ژنتیک‌های عدس تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. اثرهای متقابل مکان × سال، ژنتیک در مکان و ژنتیک × سال × مکان نیز معنی‌دار بودند (جدول ۳). گزارش شده است که اثر ژنتیک × محیط نشان می‌دهد که بیان فنوتیپی یک ژنتیک نسبت به ژنتیک دیگر در یک محیط برتر بوده، اما در محیطی دیگر نامطلوب است (۳۲). گزارش شده است که اثر متقابل بالای ژنتیک × محیط سرعت روند انتخاب را کاهش می‌دهد و توصیه‌های ژنتیکی 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 ژنتیک بود.

درصد بود (شکل ۱ و جدول ۵). اثر محیط ۶/۴۳ برابر اثرات ژنتیک × محیط بود، بنابراین محیط بیشترین تغییرات را در عملکرد دانه ژنتیک‌های 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 ژنتیک و ژنتیک در محیط نسبتاً کوچک هستند (۸). بزرگی اثر محیط بیانگر تنوع محیط‌های است که باعث ایجاد تفاوت در عملکرد دانه برای ژنتیک‌ها شده است. بزرگی اثر محیط نسبت به اثر ژنتیک × محیط نشان‌دهنده وجود گروه‌های محیطی متفاوت و محیط انتخاب برای سازگاری خصوصی را فراهم می‌نماید. ژنتیک‌های مورد بررسی، اگرچه از نظر برخی خصوصیات مهم زراعی با یکدیگر تفاوت داشته‌اند، اما از آن‌جا که سال‌های مختلف، برای انتخاب تحت گزینش بوده‌اند، بنابراین دامنه تغییرات عملکرد ژنتیک‌ها کاهش یافته است. سامونته و همکاران (۳۱) به بررسی پایداری ارقام برنج با استفاده از دو روش امی (AMMI) و با پلات اشاره می‌کنند که، تجزیه واریانس یک مدل افزایشی است که به خوبی اثرات اصلی ژنتیک و محیط را تفکیک و مقدار آن را تعیین می‌کند و نیز آن‌ها مشخص می‌کند که اثر متقابل معنی‌دار است یا نه، اما تصویری روش از اجزاء تشکیل‌دهنده اثر متقابل را ارائه نمی‌دهد، در حالی که روش‌های امی و با پلات اجزاء ضرب‌پذیر اثر متقابل را تفکیک و سهم هر یک از اجزاء تشکیل‌دهنده را به طور 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 ژنتیک‌های عدس در محیط‌های مختلف  
Tabel 3. Combined analysis of variance for seed yield lentil genotypes evaluated in different environments

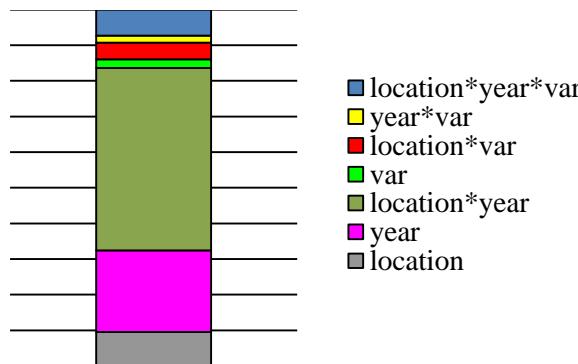
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
محیط	۱۱	۷۴۶۳۶۵۰***
تکرار × محیط	۱۷	۱۲۰۵۸۱
ژنتیک	۱۷	۱۳۹۰۰۳*
ژنتیک × محیط	۱۸۷	۷۷۳۰۰/۹**
خطای	۱۷۰	۶۸۵۷۲/۹

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

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب ژنتیک‌های عدس مورد ارزیابی در سه سال و چهار مکان  
Tabel 4. Combined analysis of variance lentil genotypes evaluated in three years and four locations

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
مکان	۳	۹۳۰۶۰۱**
سال	۲	۳۳۸-۹۷۰۰ns
مکان×سال	۶	۲۵۱۲۷۹۰**
خطای ۱ تکرار در (سال و مکان)	۲۴	۴۰۱۰۲۰
ژنتیک	۱۷	۴۱۷۰۷۵*
ژنتیک × سال	۵۱	۲۷۰۰۸۲ns
ژنتیک × مکان	۳۴	۱۶۷۴۱۱*
ژنتیک × سال × مکان	۱۰۲	۲۱۲۳۰۵**
خطای ۲	۴۰۸	۷۶۱۹۳
کل	۶۴۷	

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



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 ژنتیک‌های عدس در محیط‌های مورد آزمون به علت اثر متقابل ژنتیک × محیط، بوده است، بنابراین به منظور شناسایی ژنتیک‌های عدس با سازگاری خصوصی یا نسبتاً عمومی، ارزیابی بزرگنمایی و الگوهای اثر متقابل ژنتیک × 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 ژنتیک × محیط را توجیه کرد (جدول ۵). با استفاده از دو مؤلفه اول سهم هر ژنتیک در برهم‌کنش ژنتیک در محیط مشخص شد (جدول ۶). به طوری که هر چه سهم ژنتیک از برهم‌کنش ژنتیک در محیط کمتر باشد، نشان‌دهنده‌ی پایداری بیشتر آن ژنتیک است. بعضی از محققان اظهار نمودند که بهترین مدل، مدلی است که فقط دو مؤلفه اصلی اول معنی دار شوند و سایر مؤلفه‌ها واریانس کمی را به خود اختصاص داده باشند (۲۵). گاج و زوبل (۲۰) در ارزیابی هفت ژنتیک 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 ژنتیک، محیط و برهم‌کنش ژنتیک × محیط نشان داد. معنی‌دار شدن برهم‌کنش ژنتیک در محیط در سطح احتمال یک درصد نشان داد که ارقام و ژنتیک‌ها در محیط‌های مختلف عملکرد متفاوتی داشته‌اند. لذا لازم است با استفاده از روش‌های اماری اثر متقابل ژنتیک × محیط تجزیه شود تا بتوان ژنتیک‌های پایدار را معروفی کرد.

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

اسفو و همکاران (۳) نیز با ارزیابی اثر متقابل ژنتیک × محیط روی ۱۶ ژنتیک لوبیا قرمز در ۱۸ محیط، بخش عمدت تنوع کل را به محیط نسبت دادند. نتایج سایر تحقیقات روی عدس نیز اهمیت محیط را نشان دادند (۲۳، ۲۴). متوسط عملکرد دانه هر ژنتیک در محیط، از ۱۱۸/۱ تا ۱۶۰/۱ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برای ژنتیک‌های G<sub>10</sub> و G<sub>5</sub> متفاوت بود (جدول ۶). متوسط عملکرد دانه ژنتیک‌ها در محیط‌های مختلف ۱۳۳۳/۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۶). برای بیشتر ژنتیک‌ها محیط‌های E<sub>7</sub> و E<sub>5</sub> منجر به عملکرد دانه بیشتری نسبت به سایر محیط‌ها شدند. این موضوع ممکن است با شرایط بهتر رشد مرتب باشد. محیط‌های E<sub>11</sub> و E<sub>3</sub> 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 ژنتیک‌ها است. طبقبندی محیط‌ها به محیط‌های مطلوب و نامطلوب بر اساس عملکرد دانه عدس، حساسیت ژنتیک‌ها به تشکیلات (آفات و بیماری‌ها) و تشکیلات غیرزندگانی ژنتیک‌ها (کمبود آب، تنش دمایی و حاصلخیزی کم خاک) را می‌نگرانی می‌کند (۳۱). از میانگین داده‌های سه سال در هر محیط استفاده شد تا به تجزیه و AMMI تحلیل اثر متقابل ژنتیک × محیط با استفاده از مدل ژنتیکی سایر آمارهای پایداری برای تعیین پایدارترین ژنتیک‌ها در محیط‌های مورد آزمایش پرداخته شود. نتایج تجزیه اثر متقابل ژنتیک × محیط نشان داد که اثر محیط و اثر متقابل ژنتیک × محیط برای عملکرد دانه معنی‌دار بودند، و ژنتیک‌های عدس از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۳). سهم اثرهای اصلی برای محیط، ژنتیک و همچنین اثر متقابل ژنتیک × 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 ۱۴/۸۶، ۲۳/۸۴، ۲۸/۷۱ و ۱۴/۰۵ درصد از مجموع اثر متقابل ژنتیک × 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 ( $IPCA_1$ ) بیشتر (مثبت یا منفی) اثر مقابل بالایی با محیط دارند، در حالی که ژنوتیپ‌ها و محیط‌های واحد مقادیر اولین مؤلفه اصلی نزدیک به صفر دارای اثر مقابل پائین هستند، بنابراین ژنوتیپ‌های شماره  $G_{17}$ ,  $G_{18}$ ,  $G_{12}$ ,  $G_9$  و  $G_6$  دارای کمترین  $IPCA_1$  بودند، ولی فقط میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های شماره  $G_{17}$  و  $G_6$  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 مقابل می‌شود، منطقی‌تر به نظر برسد (۲۸). این موضوع زمانی که سهم مؤلفه اول و دوم از تغییرات اثر مقابل پائین باشد، مشهودتر و ضروری‌تر است (۲۸). نتایج مقادیر پایداری AMMI (ASV) نشان داد که برای عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های شماره  $G_{18}$ ,  $G_7$ ,  $G_1$ ,  $G_{12}$  و  $G_{16}$  کمترین مقدار و در نتیجه بالاترین پایداری عمومی به تمام محیط‌های آزمایش و ژنوتیپ شماره  $G_{10}$  با مقدار  $55/3$  بیشترین سازگاری خصوصی را به محیط  $E_1$  داشتند. در بین ژنوتیپ‌هایی که دارای کمترین ASV بودند، فقط ژنوتیپ‌های  $G_{13}$  و  $G_6$  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 معنی دار 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، بهنفر 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 معنی دار ژنوتیپ و برهم‌کنش معنی دار ژنوتیپ × سال × مکان، اقدام به تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با روشنایی مختلف از جمله با پلاس گردید.

نتایج تجزیه واریانس بر اساس مدل AMMI نشان داد که مؤلفه‌های اثر مقابل اول و دوم برای عملکرد دانه معنی دار بودند (جدول ۵). بر اساس عملکرد دانه مؤلفه اصلی اول مقدار زیادی از تغییرات اثر مقابل (۲۸/۷ درصد) را توجیه کرد. مؤلفه دوم نیز حدود  $23/84$  درصد تغییرات مشاهده شده را توجیه کرد، بنابراین به نظر می‌رسد پارامترهایی که بر اساس یک یا دو مؤلفه اصلی اول باشند، نتایج معنی‌بر و قابل اطمینانی را ارائه می‌نمایند (۲۹). متوسط عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس در هر محیط از  $365/13$  کیلوگرم در هکتار در محیط  $E_{11}$  تا  $2575/9$  در محیط  $E_5$  متغیر بود (جدول ۶). در جدول ۶ میانگین عملکرد دانه و مقادیر آمارهای پایداری هر ژنوتیپ نشان داده شده است. ضربیب مؤلفه اصلی اول ( $IPCA_1$ ) و ضربیب مؤلفه اصلی دوم ( $IPCA_2$ ) 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 مجموع مربعات	محیط ۱۰ ژنوتیپ	درصد نسبت به مجموع مربعات
ژنوتیپ	۱۷	۲۳۶۳۰۳۰	۱۳۹۰۰۲*	۲/۴			
محیط	۱۱	۸۲۱۰۰۲۰	۷۴۶۳۶۵۰**	۸۳/۶۳			
اثر مقابل	۱۸۷	۱۳۷۰۷۳۰	۷۳۳۰۰/۹ **	۱۳/۹۶			
مؤلفه اول	۲۷	۳۹۳۶۲۰۰	۱۴۵۷۵۸**	۲۸/۷۱			
مؤلفه دوم	۲۵	۳۲۶۸۵۳۰	۱۳۰۷۴۱**	۲۳/۸۴			
مؤلفه سوم	۲۳	۲۴۳۸۹۰	۸۶۱۲۷۷ **	۱۴/۸۶			
مؤلفه چهارم	۲۱	۱۹۳۷۲۰۰	۹۱۷۷۱/۵ **	۱۴/۰۵			
باقیمانده	۹۱	۲۵۳۷۲۵۰		۱۸/۵			
اشتباه	۲۱۵	۹۸۱۷۰۵۰					

\* و \*\*: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۱٪ ns

جدول ۶- متوسط عملکرد دانه، مقادیر مؤلفه‌های اصلی امی و آماره‌های پایداری مدل امی برای ژنتیپ‌های 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	-7/69	20/7	29/25	1537/49	2	15	17	5	7/69	11	115/3	113/43
G2	14/66	0/83	24/76	130.8/36	12	14	17	6	14/66	15	98/11	96/52
G3	-20/7	-23/64	67/76	1438/79	4	18	22	8	20/7	18	107/9	106/15
G4	9/21	-12/87	23/6	1321/04	11	13	18	7	9/21	12	99/07	97/46
G5	19/3	0/84	23/72	1180/1	18	16	22	9	19/3	17	88/5	87/06
G6	-3/49	5/03	2/65	1466/19	3	5	12	3	3/49	7	109/95	108/17
G7	1/66	0/94	-0/53	1329/82	10	2	10	1	1/66	4	99/72	98/11
G8	0/11	2/25	-0/36	1331/36	9	1	10	2	0/11	1	99/84	98/22
G9	2	0/41	0/61	1280/44	15	3	13	4	2	6	96/02	94/46
G10	-18/89	20/8	55/34	160.3/11	1	17	28	18	18/89	16	120/22	118/27
G11	10/91	0/1	10/18	1293/15	14	11	23	12	10/91	13	96/97	95/4
G12	-1/96	9/84	9/3	1296/79	13	9	22	10	1/96	5	97/25	95/57
G13	5/71	-6/58	5/16	1423/9	5	8	22	11	5/71	8	106/78	105/05
G14	-14/05	6/49	20/7	140.8/78	6	12	27	17	14/05	14	105/55	103/93
G15	7/42	5/4	10/07	1215/18	17	10	26	13	7/42	10	91/13	89/65
G16	-6/09	1/15	3/13	1360/1	7	6	23	13	6/09	9	101/99	100/34
G17	0/78	-5/81	3/65	1270/64	16	7	25	15	0/78	2	95/39	93/74
G18	1/12	1/03	0/7	1333/5	8	4	14	1/12	3	100	98/38	

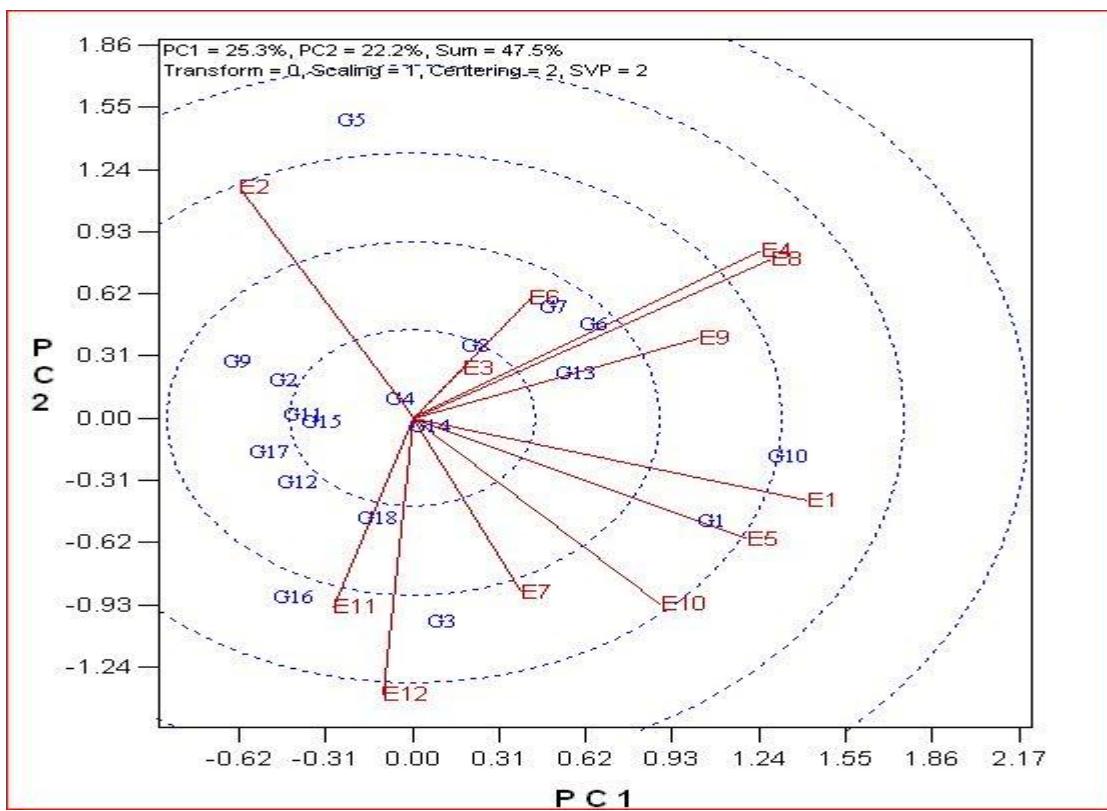
IPCA1: ضریب مؤلفه اول، IPCA2: ضریب مؤلفه دوم ASV: آماره پایداری امی، AMMI: مدل کرد دانه، SY: متوسط عملکرد دانه، Rank ASV: رتبه عملکرد دانه، Rank GSI: رتبه شاخص پایداری ژنتیپ، CV: درصد ضریب تغییرات امی، GSI: شاخص پایداری ژنتیپ، Rank SIPC1: رتبه شاخص پایداری ژنتیپ، Check(%): درصد ضریب تغییرات

جدول ۷- میانگین عملکرد دانه ژنتیپ‌های 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

محیط	عملکرد دانه	مؤلفه اصلی اول محیط IPCAE1	مؤلفه اصلی دوم محیط IPCAE2
E1	1249/94	-15/52	9/11
E2	2.022/72	16/24	-3/94
E3	925/74	12/72	1/51
E4	1123/89	7/62	-0/76
E5	2575/93	-14/07	23/2
E6	934/39	9/97	-3/94
E7	2376/33	-29/96	-18/89
E8	1160/8	6/96	-0/81
E9	1268/68	2/78	19/34
E10	1046/57	0/50	0/18
E11	365/14	2/85	-19/86
E12	12.0/7	-8/05	-5/13

عملکرد بالا انتخاب می‌شوند. ژنتیپ با کمترین مقدار GSI به عنوان ژنتیپی با عملکرد بالا و پایدار شناخته می‌شود، بنابراین ژنتیپ شماره G1 با میزان GSI Rank ۵ (GSI= 5) به عنوان بهترین ژنتیپ 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 ژنتیپ (GSI) نیز برای ارزیابی همزمان پایداری و عملکرد بالای ژنتیپ‌های عدس استفاده شد. بر اساس GSI، ژنتیپ‌های عدس به طور همزمان بر اساس پایداری و



شکل ۲- بای‌پلات دو مؤلفه اصلی اول و دوم اثر متقابل ژنتیپ × محیط در مدل عملکرد دانه ۱۸ ژنتیپ 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). ازانجاكه 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 بای‌پلات مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم ژنتیپ‌ها و محیط‌ها ترسیم گردید (شکل ۲).

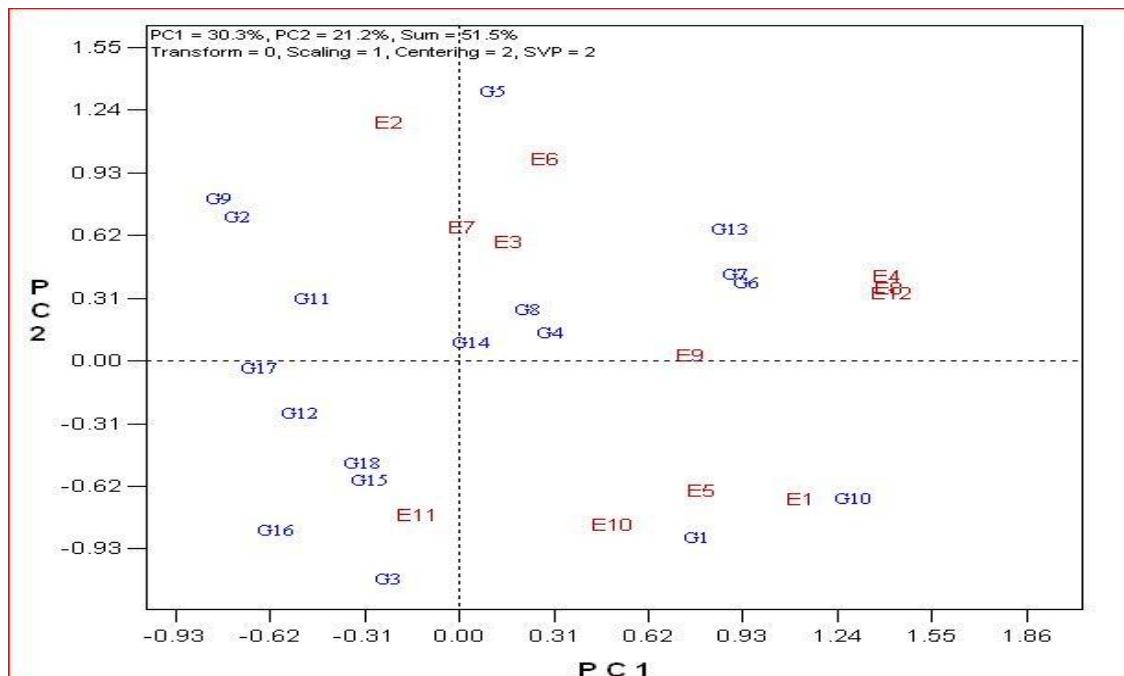
آکورا و همکاران (۲) استفاده از دو مؤلفه اول معنی‌دار در مدل AMMI را بهترین حالت برای بررسی اثر متقابل ژنتیپ × محیط قلمداد کردند. در بای‌پلات، ژنتیپ‌ها بر اساس شماره و محیط‌ها به شکل بردار نشان داده شدند. زاویه بین دو بردار محیطی، میزان همبستگی دو محیط را نشان می‌دهد. هر چه زاویه بین دو محیط کمتر باشد، دو محیط همبستگی بیشتر داشته و نقش مشابهی در گزینش ژنتیپ‌ها دارند. زاویه ۹۰ درجه بین دو بردار محیطی عدم همبستگی دو محیط و زاویه بیشتر از آن نقش متناسب دو محیط در تعیین ژنتیپ سازگار را نشان می‌دهد (۳۶). همچنین برای انتخاب محیط‌های مناسب که ژنتیپ‌ها 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 ژنتیپ‌های با عملکرد دانه بالا از یکدیگر داشتند. همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است محیط‌های E9 و E10 نقش مشابهی در تفکیک ژنتیپ‌های

هرچه نمرات IPCA به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده‌ی پایداری بیشتر ژنتیپ‌ها در محیط‌های مورد آزمون است. ازین‌رو، در نمودار بای‌پلات ژنتیپ‌هایی که در مرکز بای‌پلات قرار دارند از پایداری عمومی برخوردار هستند و برای کشت در اکثر محیط‌ها توصیه می‌شوند و ژنتیپ‌هایی که دور از مرکز بای‌پلات پراکنیش یافته‌اند دارای پایداری خصوصی می‌باشند. به‌نظر می‌رسد ژنتیپ (G1) واکنش خوبی به بهبود شرایط محیطی نشان دهد. میانگین عملکرد دانه این ژنتیپ در محیط دوم  $1537/4$  کیلوگرم در هکتار بود و حداقل عملکرد دانه تولیدی این ژنتیپ  $3241/6$  کیلوگرم در هکتار و دامنه آن ۳۰۲۸ کیلوگرم در هکتار بود. به عبارت دیگر این ژنتیپ از پایداری بیولوژیکی نسبتاً خوب با نوسان عملکرد پایین برخوردار بود. در شکل ۲ نمودار ۲ IPCA1 بر اساس میانگین ژنتیپ‌ها یا محیط‌ها و مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول برای صفت عملکرد دانه ارائه شده است. بر این اساس ژنتیپ‌ها یا محیط‌هایی که مقدار IPCA بالاتری دارند (ثبت یا منفی)، اثر متقابل بالایی دارند در حالی که مقدار کم (IPC A) اثر متقابل کمتر و پایداری بیشتری را نشان می‌دهند (۲۰).

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

قدر تمايز E1، E4، E8 و محیط دارای کمترین تنوع (کمترین آزمایشی بر اساس نمودار بایپلات بالاترین مقادیر میانگین ژنوتیپ در هر محیط، ژنوتیپ‌های برتر هر محیط معرفی شد (شکل ۳). بر این مبنای ژنوتیپ‌های G10 و G1 از نظر عملکرد دانه، بیشترین مقدار را به عنوان 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 G10 و G1 بودند. که ژنوتیپ G10 برای محیط‌های E1 و ژنوتیپ G1 برای محیط‌های E5 و E10 بودند. محیط‌های با تنوع بالا (قابلیت تمايز بیشتر) شامل

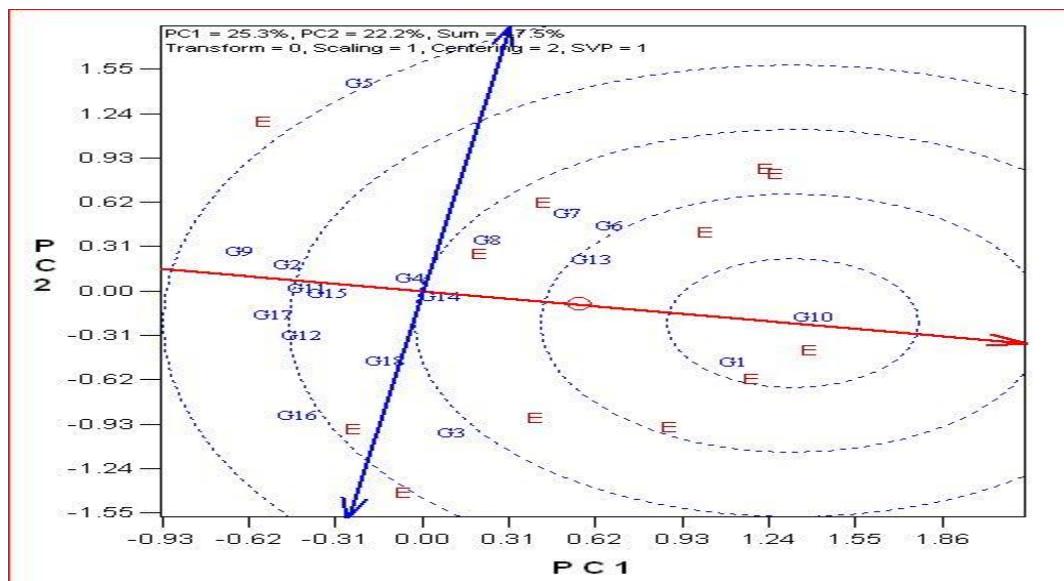


شکل ۳- بای پلات مدل AMMI<sub>1</sub> اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه ۱۸ ژنوتیپ عدس در ۱۲ محیط  
Figure 3. AMMI<sub>1</sub> biplot of interaction of genotype × environment for seed yield of 18 lenti genotypes in 12 location

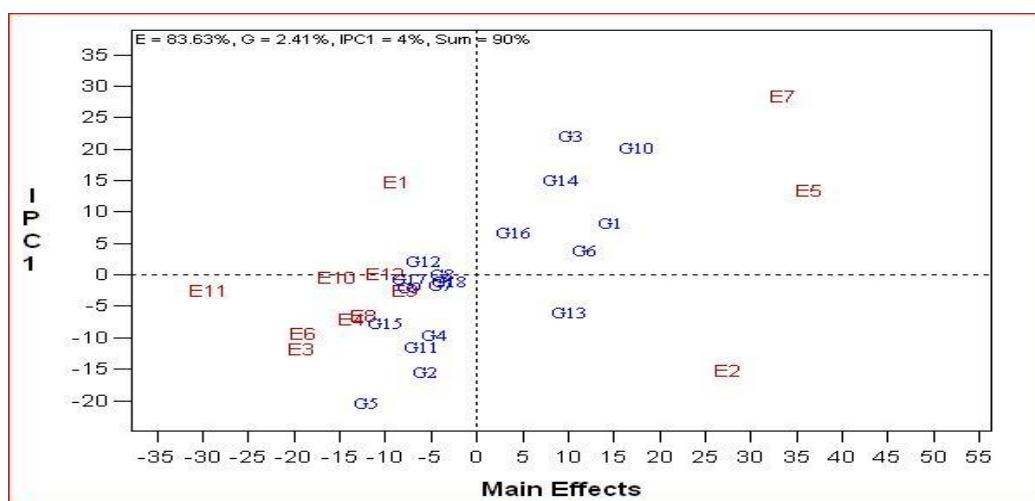
شده است. این شکل دارای دو محور افقی و عمودی است. ارقام در طول محور افقی رتبه‌بندی می‌شوند و جهت پیکان بیانگر میانگین عملکرد بیشتر است. محور عمودی که دارای دو پیکان است که از مبدأ بای پلات می‌گذرد و بر محور افقی عمود است، به معنی مستقل است. بنابراین، اگر محور افقی نشان‌دهنده G باشد، محور عمودی باید برآوردی از برهمکنش مرتبط با هر ژنوتیپ را فراهم کند که معیار تغییرپذیری با بی ثباتی ژنوتیپ‌هاست (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 بای پلات 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 E9 و E7 هر دو دارای مقادیر بالای IPCA1 بوده و به عنوان محیط‌های ناپایدار برای ژنوتیپ‌ها تلقی می‌شوند. با این تفاوت که بعد از محیط E5، محیط E7 بیشترین میانگین عملکرد را به خود اختصاص داد. پراکنده محیط‌ها در این شکل (۵) نیز نشان می‌دهد که محیط‌ها به لحاظ پایداری با 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 تمايز ژنوتیپ‌ها و نیز نماینده بقیه محیط‌های آزمایش باشد. بنابراین، محیط‌های E8 و E1 به دلیل داشتن طول بردار بلندتر که توانایی تمايز خوب و نیز قدرت نمایندگی بیشتر را نشان می‌دهند، به ترتیب به عنوان محیط‌های ایده‌آل‌تر نسبت به سایر محیط‌ها معرفی می‌شوند (۳۹).

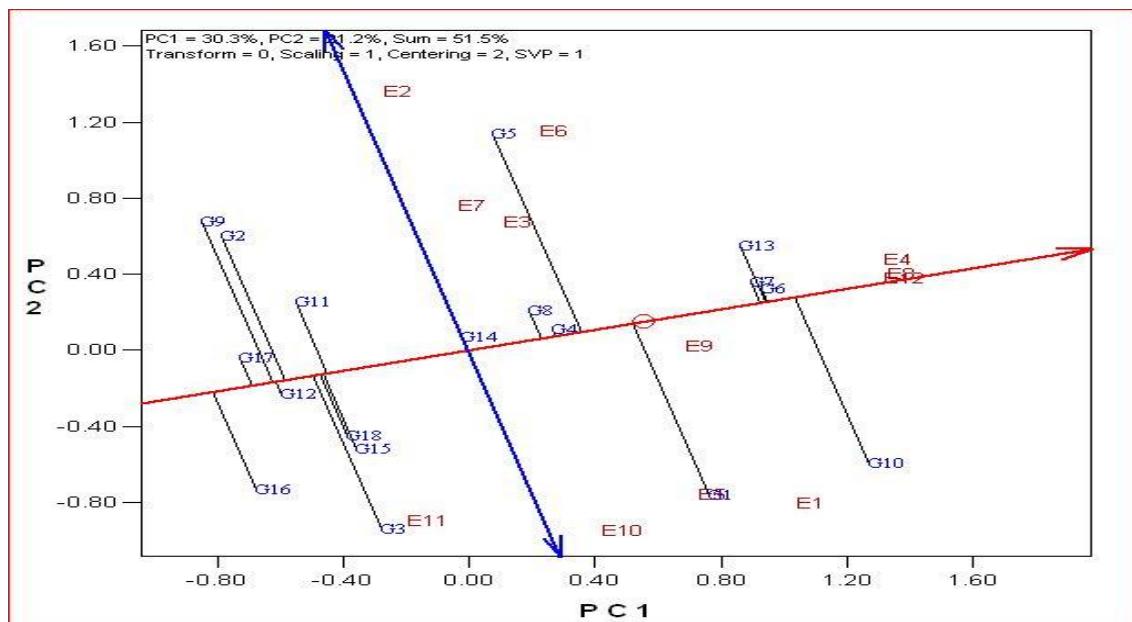
شکل ۶ برای بررسی همزمان پایداری و عملکرد استفاده



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- باiplات میانگین عملکرد محیط‌ها در مقابل IPCA1  
Figure 5. Biplot Environments yield means versus IPCA1



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

ژنوتیپ‌های 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 داردند. در این مطالعه نتایج ارزش پایداری امی (AMV), ASV و GSI و نمودار بای‌پلات با یکدیگر مطابقت داشتند. ژنوتیپ G<sub>6</sub> 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 G<sub>6</sub>, G<sub>1</sub> و G<sub>13</sub> 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 متعددالمرکز 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 G<sub>6</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>10</sub> و G<sub>13</sub> 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 G<sub>14</sub>, G<sub>10</sub> و G<sub>13</sub> 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 G<sub>13</sub> در محیط E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>12</sub> و G<sub>12</sub> در محیط E<sub>1</sub> 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.) Merril. 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. Brajos. 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 × environment interaction and stability analysis of sweet potato (*Ipomoea batatas*) 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. Mackay. 1996. Introduction to Quantitative Genetics. (4<sup>th</sup> 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 biplotand 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 Daneshghahi 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 × 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. Tumuhimbise, 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.assava. *The Crop Journal*, 2: 329-337.
37. Yaghotipoor, A., E. Farshadfar and M. Gheytoli. 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 Pezeshkpour<sup>1</sup>, Rahmatollah Karimizadeh<sup>2</sup>, Amir Mirzaei<sup>3</sup> and Mohammad Barzali<sup>4</sup>**

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, Kohgiloyeh 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