



بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد ژرم پلاسماهای عدس (*Lens culinaris*) AMMI (Medik) با استفاده از مدل

محمد رسولی^{۱*} و داود محمد زمانی^۲

۱- استادیار، گروه اصلاح نباتات، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران
۲- دانشیار گروه بیوسیستم، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران
* ایمیل نویسنده مسئول: rasooli1387@gmail.com
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۱۹ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۳۱)

چکیده

به منظور ارزیابی پایداری عملکرد اکوتیپ‌های عدس در استان قزوین، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های تصادفی در شش تاریخ کاشت (محیط) با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک و آب دانشگاه تهران در اراضی دیم کوهین به اجرا درآمد. نتایج تجزیه واریانس مرکب اختلاف معنی‌داری بین محیط‌ها، ژنوتیپ‌ها و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان داد. تجزیه اثرات اصلی افزایشی و اثرات متقابل ضرب پذیر (AMMI) نشان داد که عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس تحت تأثیر بخش محیطی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط قرار دارد. در تجزیه‌امی از مجموع مربعات کل ۵۵/۸ درصد به وسیله اثرات محیط، ۲۷ درصد به وسیله اثرات ژنوتیپی و ۱۷/۲ درصد به وسیله اثر متقابل ژنوتیپ × محیط توجیه شدند. در روش امی ژنوتیپ FILIP 2003-9L با داشتن عملکرد نسبی مطلوب و کمترین برآورد ارزش پایداری (ASV) به عنوان پایدارترین ژنوتیپ و سبز پردیس با بهترین عملکرد و بیشترین برآورد ارزش پایداری به عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ معرفی گردیدند. در بررسی بای پلات مدل امی ژنوتیپ FILIP 2003-9L با عملکرد مطلوب و مقدار IPCA1 پائین، پایداری عمومی در کلیه شرایط و ژنوتیپ سبز پردیس با بیشترین IPCA1، سازگاری خصوصی خوبی را با کشت پاییزه نشان داد.

واژه‌های کلیدی: اکوتیپ، ارزش پایداری، سازگاری خصوصی، عدس

مقدمه

یکی از مزایای آن استفاده هم‌زمان از روش تجزیه واریانس ساده و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است. بعضی از محققان اظهار نموده‌اند که بهترین مدل، مدلی است که در آن فقط دو مؤلفه اصلی اول معنی‌دار شوند و سایر مؤلفه‌ها واریانس کمی داشته باشند و ژنوتیپ‌های با میانگین عملکرد دانه بالا و امتیاز IPCA پائین، به‌عنوان ژنوتیپ با عملکرد پایدار و دارای سازگاری عمومی به کلیه محیط‌ها در نظر گرفته می‌شوند (Katsura et al., 2016).

بعضی از پژوهشگران از روش‌های مختلف پایداری استفاده نمودند مثل بررسی اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط در آفتابگردان (Schoeman, 2003) و در جو (*Hordeum vulgare*) (Taherian et al., 2019) بیان داشتند که AMMI پایدارترین ژنوتیپ‌ها را معرفی می‌کند و می‌تواند بیانگر سازگار خصوصی ارقام نیز باشد. مدل AMMI دقیق‌ترین برآورد از پتانسیل عملکرد حقیقی ارقام و محیط‌های خاص که ژنوتیپ‌ها در آنها ارزیابی می‌شوند را بیان می‌کند.

برخی از محققین برای تفسیر بهتر نمودار بای پلات نکات زیر را ارائه کردند: ۱- مرکز پای پلات، میانگین را برای هر محیط با ژنوتیپ نشان می‌دهد ۲- یک ژنوتیپ (با یک محیط) بافاصله زیاد از مرکز بای پلات، دارای اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بزرگی حداقل با یک ژنوتیپ (در یک محیط دیگر) است ۳- زاویه بین بردارها که یک ژنوتیپ و یک محیط را به مرکز بای پلات وصل می‌کنند، نشان‌دهنده مثبت یا منفی بودن اثر متقابل است (Kempton, 1984 ; Kroonenberg, 1995 &)

عدس با نام علمی (*Lens culinaris Medik*) یکی از گیاهانی است که نقش مهمی در تأمین پروتئین در کشورهای در حال توسعه دارد (Sarker et al., 2003). یکی از مهم‌ترین اهداف به‌نژادی، افزایش عملکرد گیاهان زراعی در محیط‌های متنوع، تأمین نیاز و امنیت غذایی برای بشر است (Sharifi & Aminpanah, 2016) توزیع نامناسب و کاهش بارندگی از عوامل کاهش عملکرد عدس در واحد سطح است (Pezeshkpour & Afkar, 2019).

یکی دیگر از اهداف برنامه‌های به‌نژادی، دستیابی به ارقامی که به طیف وسیعی از مناطق سازگار باشد (Mohebodini, et al 2006). پایداری عملکرد صفتی وراثتی است (Lin & Binns, 1988) که به روش‌های مختلف: تک‌متغیره، چندمتغیره، پارامتری و ناپارامتری ارزیابی می‌شود در بین روش‌های چندمتغیره از اثر اصلی جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر (ژنوتیپ × محیط) استفاده می‌شود.

Additive Main effect and AMMI, (Sadiyeh & Hadi, Multiplicative Interaction 2016: Gauch., 1992)

مقایسه روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره نشان داد که روش AMMI به دلیل بررسی هم‌زمان گرافیکی ژنوتیپ و محیط‌ها از طریق نمودارهای بای پلات آماری چندمتغیره توصیه می‌شود (Rabiei & Khodambashi, 2020)

این روش مدل تغییر یافته روشی است که قبلاً توسط گلوب و مندل در علوم اجتماعی و پایه بکار رفته بود و از سال 1988 وارد علوم کشاورزی شده است (Gillob, 1968 & Mandel, 1971). کمپتون اولین کسی بود که از مدل AMMI برای تجزیه داده‌های عملکرد استفاده کرد (Zali et al., 2012).

- (Akcura, 2005). عملکرد ژنوتیپ‌ها، ارقام artman و Gila Sina با عملکرد زیاد دارای پایداری عملکرد بیشتری نیز بودند (Pourdad & Jamshid Moghaddam, 2013).
- در پژوهش‌های مختلفی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در عدس گزارش شده است (Biçer *et al.*, 2019 & De Abreu *et al.*, 2018). در تحقیقی با ارزیابی شش ژنوتیپ عدس در هشت محیط، نشان دادند که دو مؤلفه اصلی اول به ترتیب ۴۴/۸۹ و ۲۴/۱۴ درصد از بر همکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند و با استفاده از مدل GGE بای پلات ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند (Turk & Kendal, 2017).
- در پژوهشی دیگر، با ارزیابی ۲۴ ژنوتیپ عدس نشان داده شد که دو مؤلفه اصلی اول بیش از ۹۰ درصد تنوع اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را توجیه کردند و از GGE بای پلات برای ارزیابی هم‌زمان عملکرد دانه و پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده کردند و همچنین محیط متمایزکننده (Discriminative) یا حاوی اطلاعات (Informative) که در بیشترین میزان تنوع سهم بود، را شناسایی کردند (Jeberson *et al.*, 2019).
- در گزارشی با ارزیابی ژنوتیپ‌های عدس با تجزیه AMMI نشان دادند که عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها به طور عمده‌ای تحت تأثیر بخش محیطی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط قرار دارد و سه مؤلفه اصلی اولیه به ترتیب ۵۲/۱۹، ۲۰/۲۶ و ۱۰/۹۹ درصد از کل اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را به خود اختصاص دادند. پژوهش‌هایی در زمینه ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تجزیه پایداری با روش‌های مختلف برای عدس انجام شده است.
- در گزارشی بیان شد که روش‌های امی و-GGE biplot مناسب‌ترین مدل‌ها برای ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط هستند و بر اساس تجزیه‌امی اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر عملکرد سورگوم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (Al-Negger *et al.*, 2018). برخی از به نژادگران گیاهی با استفاده از روش امی، ژنوتیپ‌های پایدار گندم زمستانه و ژنوتیپ‌های دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های مختلف را شناسایی و معرفی کردند (Tarakanovas & Ruzgas, 2006) در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط جهت بررسی روش‌های مختلف پایداری در هیبریدهای ذرت (Albert, 2004) و ارقام گندم (kaya & Tander, 2003) در نهایت AMMI را مناسب‌ترین روش پایداری معرفی کردند. پژوهشگرانی دیگر با انجام تجزیه AMMI اظهار داشتند، دو مؤلفه اول به ترتیب ۷۳/۵۵ و ۱۵/۴۴ درصد از واریانس و در مجموع ۸۸/۹۹ درصد از واریانس اثر متقابل مشاهده شده را توجیه کردند. (Temesgena *et al.*, 2015) جهت‌گزینش محیط‌های مناسب با قدرت بالا، محیط‌ها بایستی دارای مقادیر بالای IPCA2 باشند (Dehghni *et al.*, 2006). در گندم (Yan *et al.*, 2000) در سویا (Yan & Rajcan, 2002) ژنوتیپ‌های پایدار به محیط‌ها و نیز محیط‌های با قدرت تفکیک ژنوتیپی بالا از سایر محیط‌ها را شناسایی گردید.
- در گزارشی با استفاده از روش بای پلات، شش ژنوتیپ برتر گلرنگ و چهار محیط بزرگ را شناسایی و ژنوتیپ‌های مناسب را در هر محیط مشخص گردید و با بررسی هم‌زمان پایداری و

شرایط دیم بر اساس بای پلات و تفسیر اثر متقابل ژنوتیپ×محیط با بهره‌گیری از تجزیه AMMI بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی پایداری ۱۷ ژنوتیپ و رقم تجاری عدس حاصل از برنامه‌های به‌نژادی در مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آب کوهین (دانشگاه تهران) (جدول ۱) با مشخصات اقلیم معتدل سرد و نیمه‌خشک، بافت خاک لومی-رسی و میانگین بارندگی سالیانه ۲۹۹/۹ میلی‌متر در یک آزمایش مقایسه عملکرد در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار کشت شدند. ۶ نوع محیط کشت به صورت‌های ۱= پاییزه؛ ۲= انتظاری؛ ۳= بهاره؛ ۴= پاییزه تأخیری؛ ۵= انتظاری زودهنگام و ۶= بهاره زودهنگام - زمستانه در نظر گرفته شد. هر واحد آزمایشی در ۳ خط با بذور ضدعفونی شده و کاملاً سالم کاشته شدند. پس از تعیین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف محاسبات آماری شامل تجزیه واریانس مرکب برای کلیه محیط‌های مورد بررسی و آزمون اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل آنها انجام شد.

به‌طوری‌که در تحقیقی باروش GGE بای پلات در ارزیابی ۱۸ ژنوتیپ عدس نشان دادند که دو مؤلفه اصلی اول به ترتیب ۴۹ و ۲۰ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را توجیه کردند و با نمودارهای بای پلات به‌دست‌آمده از این دو مؤلفه ژنوتیپ‌های پایدار را شناسایی کردند (Karimizadeh *et al.*, 2013a).

در پژوهشی دیگر با ارزیابی ۱۰ ژنوتیپ عدس باروش GGE بای پلات دریافتند که دو مؤلفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۴۸ و ۴۱ درصد از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند و بنابراین با اطمینان بالا نسبت به ارزیابی پایداری و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار اقدام کردند (Karimizadeh *et al.*, 2013b). همچنین در ارزیابی ۱۰ ژنوتیپ عدس با روش AMMI اثر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط معنی‌دار بود و این سه جزء به ترتیب ۸۹، ۲ و ۸/۶ درصد از مجموع مربعات کل را در برمی‌گرفتند (Karimizadeh & Mohammadi, 2010).

هدف اصلی از انجام این پژوهش شناسایی لاین‌های عدس با سازگاری عمومی و خصوصی برای شرایط مختلف، پایداری و عملکرد بالا در

جدول ۱- مشخصات منطقه و خاک مورد آزمایش

نام مرکز	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	ازت خاک (%)	فسفر قابل استفاده (mg/kg)	پتاسیم قابل استفاده (mg/kg)	رس (%)	شن (%)	سیلت (%)
کوهین	۳۶ ۲۲ ۲۳	۴۹ ۳۵ ۰۶	۱۴۰۰	۰/۰۵	۴/۰۶	۳۸	۳۳	۲۳	۴۴

واریانس‌ها و همچنین آزمون نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف - اسمیرنوف (K.S) انجام گردید. بعد از آزمون نرمالیته داده‌ها تجزیه واریانس

روش جمع‌آوری داده‌ها

پس از جمع‌آوری داده‌ها بر اساس انتخاب سه بوته، آزمون بارتلت برای بررسی همگنی

محاسبه ارزش پایداری

بای پلات میانگین و $IPCA_1$ و بای پلات $IPCA_1$ و $IPCA_2$ برای تمام ژنوتیپها رسم شد برای محاسبه آماره ارزش پایداری امی (AMMI (Stability Value) از فرمول زیر استفاده شد (Purchase et al., 2000).

$$ASV_i = \sqrt{\frac{SS_{IPCA1}}{SS_{IPCA2}} (IPCA1)^2 + (IPCA2)^2}$$

در این

فرمول ASV عبارت از ارزش پایداری AMMI، $SSIPCA1$ مجموع مربعات مؤلفه اول و $SSIPCA2$ مجموع مربعات مؤلفه اصلی دوم است مؤلفه‌های اصلی اول $IPCA_1$ و $IPCA_2$ در فرمول به ترتیب معرف درصدی از اثر متقابل است که توسط هریک از مؤلفه‌های اصلی توجیه می‌شوند.

برای تعیین شاخص پایداری ژنوتیپ (Genotype Stability Index) از فرمول $G_i = R_i + R_j$ استفاده شد. در این فرمول G_i شاخص پایداری ژنوتیپ آم در محیطها، R_i رتبه آم در محیطها بر اساس ASV و R_j رتبه ژنوتیپ آم در محیطها بر اساس میانگین عملکرد هستند.

برای محاسبه فاصله‌امی (AMMI Distance) از فرمول زیر استفاده شد $D_i = \sqrt{\sum_c Y_{2i}^2}$ در این فرمول D_i نقطه اصلی اثر متقابل (IPC) از مبدا مختصات، c : تعداد مؤلفه های اصلی اثر متقابل معنی دار و Y_{2i} شماره IPCها برای ژنوتیپ آم هستند. از تجزیه واکنش ژنوتیپی به منظور بررسی دقیق تر ژنوتیپ ها استفاده گردید. سپس پارامتر ارزش پایداری AMMI برای بررسی پایداری ژنوتیپ ها محاسبه گردید (Moghaddam et al., 1995).

به منظور ارزیابی پایداری ژنوتیپها از مؤلفه‌های اصلی اول و دوم و برای ارتباط دادن ژنوتیپهای

مرکب با فرض ثابت بودن اثر ژنوتیپ و تصادفی بودن محیط صورت گرفت و آزمون F با توجه به امید ریاضی منابع تغییرات انجام شد. صفت مورد اندازه‌گیری این ارقام باهدف انجام تجزیه پایداری، عملکرد در هکتار بوده که پس از جمع‌آوری داده‌ها بر اساس انتخاب سه بوته بر اساس نرم‌افزارهای ، MATLAB ، GGEBIPLLOT ، SPSS 24 ، SAS ، Excel و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

روش‌های مورد استفاده برای تجزیه داده‌ها

روش‌های چندمتغیره شامل AMMI مورد استفاده قرار گرفت و جدول تجزیه واریانس آن تنظیم گردید. در مدل AMMI تجزیه واریانس و تجزیه مؤلفه‌های اصلی به طور هم‌زمان انجام می‌شود. مدل تجزیه AMMI به صورت زیر است $Y_{ger} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_n \lambda_n \alpha_{gn} \gamma_{en} + \rho_{ge} + \epsilon_{ger}$:
 مدل Y_{ger} عملکرد ژنوتیپ گام در محیط e ام و تکرار ام، μ میانگین کل، α_g اثر اصلی ژنوتیپ (اختلاف میانگین یک ژنوتیپ از میانگین ژنوتیپها) و β_e اثر اصلی محیط (اختلاف میانگین یک محیط از میانگین محیطها) است. λ_n یک مقدار منفرد برای محور مؤلفه اصلی ام که برابر با مقدار ویژه مربوط به همان مؤلفه اصلی است. n تعداد محورهای (IPCA) باقیمانده در مدل AMMI است. α_{gn} بردار ویژه ژنوتیپ گام از n مؤلفه اصلی اثر متقابل (IPCA) و γ_{en} بردار ویژه محیط e ام از n مؤلفه اصلی اثر متقابل، ρ_{ge} مربوط به باقیمانده و ϵ_{ger} مربوط به خطا است (Gauch, 1992; Cornelius, 1993; Farshadfar & Sutka, 2003; clay et al., 1995).

متقابل را توجیه نمودند و داده‌ها کفایت مدل AMMI را تأیید نمود (جدول ۲). پژوهشگرانی دیگر با انجام تجزیه AMMI اظهار داشتند، دو مؤلفه اول به ترتیب ۷۳/۵۵ و ۱۵/۴۴ درصد از واریانس و در مجموع ۸۸/۹۹ درصد از واریانس اثر متقابل مشاهده شده را توجیه کردند (Temesgena *et al.*, 2015).

محققین با ارزیابی ۱۰ ژنوتیپ عدس نشان دادند که سه مؤلفه اصلی اول اثر معنی‌داری بر اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط داشتند و از تجزیه AMMI برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده کردند (Kanouni *et al.*, 2007).

سهم نسبتاً بالای دو مؤلفه اصلی اول بر اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط با یافته‌های (Dehghani *et al.*, 2008) و (Karimizadeh *et al.*, 2013a) و (Karimizadeh *et al.*, 2013b) به ترتیب با سهم ۶۶/۶ و ۳۱/۲ درصدی، ۴۹ و ۲۰ درصدی و ۴۸ و ۴۱ درصدی دو مؤلفه اصلی اول و دوم در اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط همخوانی دارد. از مجموع مربعات کل ۵۵/۸ درصد به وسیله اثرات محیط و تنها ۲۷ درصد به وسیله اثرات ژنوتیپی و ۱۷/۲ درصد به وسیله اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط توجیه شد که نشان‌دهنده تنوع مشاهده شده در بین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بیشتر برآمده از اثر محیط و اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط بود و ژنوتیپ چندان نقش زیادی در این اثر متقابل نداشت.

این یافته با گزارش (Karimizadeh & Mohammadi, 2010) که نشان دادند در ارزیابی ۱۰ ژنوتیپ عدس اثر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط در مجموع مربعات کل به ترتیب ۸۹، ۲ و ۸/۶ درصد

مختلف به محیط‌های متفاوت، از نمودارهای بای پلات استفاده شد و همچنین برای بررسی دقیق‌تر ژنوتیپ‌ها، از تجزیه کلاستر بر روی مؤلفه‌های اصلی اول و دوم انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

بررسی پایداری با روش امی (AMMI) در مقایسه با سایر روش‌های تجزیه پایداری دارای دقت بالاتری است و به طور گسترده در تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط استفاده می‌شود (Becker & Leon, 1988). در تعیین پایداری عملکرد ۱۷ ژنوتیپ عدس در پنج محیط (زمان کشت) مورد بررسی، نتایج تجزیه واریانس برای ژنوتیپ اختلافات معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۲). معنی‌دار بودن عملکرد بین ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها و اثرات متقابل ژنوتیپ \times محیط به این معنی که پاسخ ژنوتیپ‌ها از شرایطی به شرایط دیگر متفاوت بوده است؛ بنابراین صرفاً بر اساس مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نمی‌توان ژنوتیپ با عملکرد بیشتر را تعیین نمود، بلکه باید تجزیه پایداری انجام شود، تا ژنوتیپ‌های سازگار با شرایط هر محیط که ضمن داشتن عملکرد بالا و نوسانات عملکرد شناسایی شوند.

تجزیه پایداری به روش امی (AMMI)

از این روش تجزیه پایداری به روش AMMI انجام شد این تجزیه نشان داد که دو مؤلفه اصلی به ترتیب با سهم ۸۵ و ۱۴ درصد نقش زیادی در اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط داشتند و مؤلفه باقیمانده در درجه بعدی اهمیت قرار داشتند و حدود ۱ درصد از اثر

بود، همخوانی دارد. بزرگ بودن مجموع مربعات محیطها نشان دهنده متنوع بودن زمانهای کشت بوده و تفاوت زیاد بین این زمانها دلیلی است مبنی بر اینکه قسمت اعظم تغییرات در عملکرد دانه بوده است . نتایج تجزیه واریانس غیرافزایشی حاکی از این است که دو مؤلفه اول مجموعاً ۹۹ درصد از اثرات متقابل را توجیه نمودند

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب مدل AMMI برای عملکرد دانه ژنوتیپهای عدس

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	درصد واریانس	درصد تراکمی توجیه تغییرات
کل	۳۰۵	۱۳۵۸۰۲۶۲	۴۴۵۲۶	-	-
تیمار (مدل)	۱۰۱	۱۰۹۰۳۳۲۴	۱۰۷۹۵۴	۸۹/۲۹	-
ژنوتیپ	۱۶	۲۹۴۲۱۶۵	۱۸۳۸۸۵**	۲۷	-
محیط	۵	۶۰۸۶۷۱۱	۱۲۱۷۳۴۲**	۵۵/۸	-
اثر متقابل ژنوتیپ × محیط	۸۰	۱۸۷۴۴۴۹	۲۳۴۳۱**	۱۷/۲	-
IPCA1	۲۰	۱۵۹۹۶۳۰	۷۹۹۸۲**	۸۵	۸۵
IPCA2	۱۸	۲۶۴۸۸۱	۱۴۷۱۶**	۱۴	۹۹
باقیمانده (نویز)	۴۲	۹۹۳۸	۲۳۶/۶۲	۱	
بلوک	۱۲	۱۷۱۰۸۰۳	۱۴۲۵۶۷**	۱۲/۶	
خطای مرکب	۱۹۲	۹۶۶۱۳۴	۵۰۳۲	۷/۱۱	

ارزش پایداری ژنوتیپ ها و محیط ها براساس مولفها

در این تحقیق برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ ها از آماره ارزش پایداری (ASV) استفاده شد که نتایج آنها ارائه شده است (جدول ۳) در این روش ژنوتیپهایی که حداقل نمره (ASV) را دارند، دارای پایدارترین عملکرد هستند (Purchase et al., 2000). از پارامتر ASV به عنوان یک معیار کمکی برای ژنوتیپهای با عملکرد پایدارتر در لوبیاسفید (Firew et al., 2019) لوبیای معمولی (2018) (Tadele et al., 2009) و سایر محصولات مانند گندم استفاده شده است (Farshadfar et al., 2011). ژنوتیپهای ۱۴، ۷ و ۵ با داشتن عملکرد نسبی مطلوب و کمترین برآورد

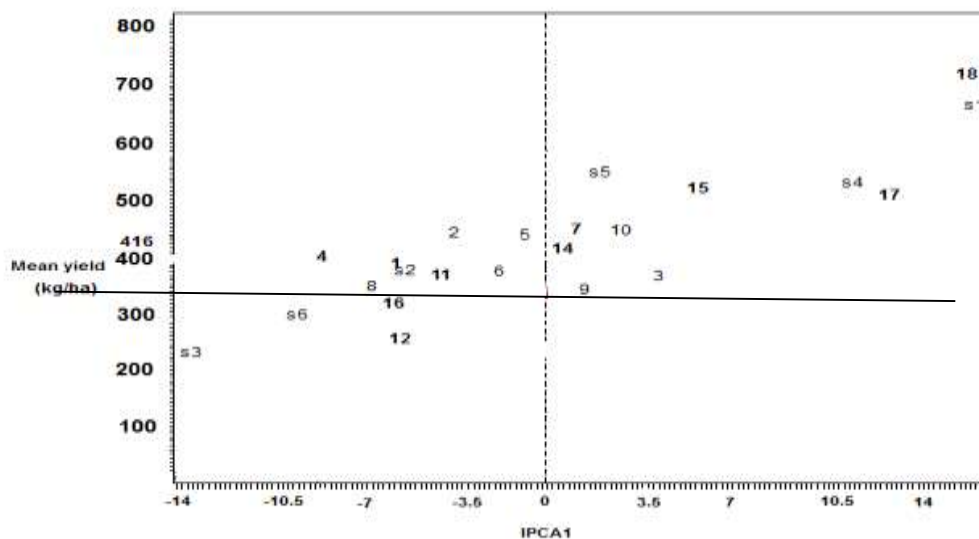
ASV به عنوان ژنوتیپهای پایدار بودند. رقمهای شماره ۱ و ۱۷ با داشتن بهترین عملکرد، بالاترین ASV (۹۵/۳۵ و ۷۵/۰۴) به عنوان ناپایدارترین ارقام محسوب شدند. رقم ۱۴ و ۵ با توجه به عملکرد نسبی مطلوب و پایینترین ASV ژنوتیپ پایدار با عملکرد بالا شناخته شدند (جدول ۳). این نتایج با یافته‌های (Dehghani et al., 2008) و (Karimizadeh et al., 2013a&b) همخوانی دارد. در این بررسی ژنوتیپهای ۶، ۹، ۵، ۷ و ۱۴ دارای کمترین IPCA1 بودند. از اثر متقابل اندکی برخوردار بوده و پایداری عمومی را نشان دادند (شکل ۱). ژنوتیپهای با میانگین عملکرد دانه بالا و IPCA پایین، به عنوان ژنوتیپ با عملکرد پایدار و دارای سازگاری عمومی به کلیه محیطها در نظر

گرفته می‌شوند (Katsura et al., 2016). ژنوتیپ‌های ۵، ۷ و ۱۴ از کمترین ASV نیز برخوردار بوده و از میانگین عملکرد بالاتری نسبت به میانگین عملکرد برخوردار بودند و پایدارترین ژنوتیپ‌ها محسوب شدند. ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۸ از اثر متقابل مثبت بالایی برخوردار بودند که نشانگر پایداری پایین این ژنوتیپ‌ها است که ژنوتیپ ۱۸ دارای بیشترین عملکرد بوده و سازگاری خصوصی خوبی با محیط کشت پاییزه دارد. ژنوتیپ ۴ با عملکردی نزدیک به متوسط عملکرد، با اثر متقابل منفی بالا از پایداری و سازگاری پایینی برخوردار بود (شکل ۱). ژنوتیپ‌ها یا محیط‌هایی که مقدار IPCA بزرگتری داشتند (مثبت یا منفی)، اثر متقابل بالایی داشته درحالی‌که مقدار IPCA کوچک و نزدیک به صفر دارای اثرات متقابل کوچکی هستند (Kroonenberg, 1995; Kempton, 1984). این نتایج با یافته‌های (Zali et al., 2012) منطبق بود. در نمودار بای پلات محور قائم نمایانگر اثرات اصلی جمع‌پذیر (میانگین عملکرد و محیط‌ها) و محور افقی اثرات متقابل ضربی یا مقادیر اولین مؤلفه‌های اصلی IPCA1 است و محور عمودی در میانه نمودار دارای $IPCA1=0$ است که ناحیه فقدان اثر متقابل را نشان می‌دهد. استفاده از دو مؤلفه اول معنی‌دار، مدل امی را بهترین حالت جهت بررسی اثر متقابل

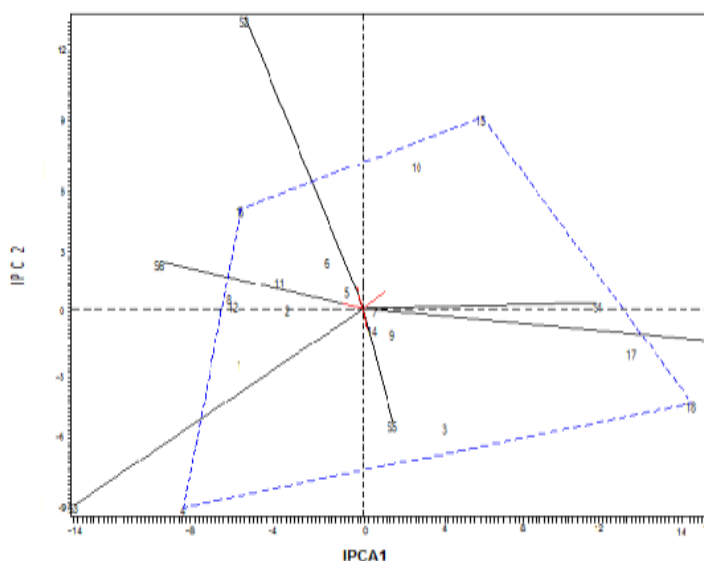
ژنوتیپ \times محیط دانستند (Akcura, 2005). ژنوتیپ‌های ۴، ۱۶، ۱۵ و ۱۸ در دورترین نقطه از مبدأ مختصات قرار داشتند و تشکیل چندضلعی می‌دادند که هر کدام از آنها بهترین ژنوتیپ‌ها برای محیط‌هایی بودند که در آن بخش واقع می‌شدند. باتوجه به نتایج این چندضلعی می‌توان گفت که ژنوتیپ‌های ۳، ۱۸، ۱۷، ۱۵ و ۱۰ از سازگاری خصوصی بالایی برای محیط‌های ۲ و ۵ (انتظاری و انتظاری زود هنگام) برخوردار بودند که از بین آنها ژنوتیپ ۱۸ دارای بالاترین عملکرد و ناپایدارترین ژنوتیپ در دو محیط محسوب می‌شود. بر اساس روش امی ژنوتیپ‌های ۵، ۶، ۷، ۹ و ۱۴ رامی توان به‌عنوان ژنوتیپ‌های سازگار و پایدار عمومی معرفی نمود؛ ولی ژنوتیپ ۷ (با توجه به کمترین مقدار IPCA1 و IPCA2) با عملکرد مطلوب و به‌طور کلی بر اساس آماره‌های پایداری مورد بررسی و روش‌های بکار گرفته شده به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ معرفی می‌گردد. ژنوتیپ‌های ۵ و ۱۴ از نظر IPCA1 و IPCA2 مشابه (مثبت و منفی) و نزدیک به ژنوتیپ ۷ است این ژنوتیپ‌ها پایداری نسبتاً خوبی دارند (جدول ۳).

جدول ۳- عملکرد دانه و مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم ژنوتیپ‌ها و ارزش پایداری AMMI (ASV)

ASV	IPCA2	IPCA1	میانگین	منشأ	ژنوتیپ	شماره ژنوتیپ
۳۵/۶۹	-۲/۴۸۱۱	-۵/۹۰۹۴	۳۸۸/۸۵۲	ICARDA	ILL-6037	۱
۲۱/۸۵	۰/۰۹۱۳	-۳/۶۱۷۵	۴۵۲/۱۳۳	ICARDA	FILIP 2002-57L	۲
۲۳/۴۳	-۵/۴۲۳۸	۳/۸۷۹	۳۶۸/۲۱۳	TURKEY	ILL-590	۳
۵۲/۱۱	-۹/۱۸۸۹	-۸/۶۲۸۳	۴۱۲/۶۴۹	ICARDA	FILIP 2002-4L	۴
۴/۷۵	۰/۸۸۹۲	-۰/۷۸۵۹	۴۲۳/۰۸	ICARDA	FILIP 2006-3L	۵
۱۰/۶۸	۲/۲۵۰۷	-۱/۷۶۷۸	۳۷۱/۷۹۸	ICARDA	FILIP 2002-48L	۶
۳/۳۱	-۰/۰۰۲۹	۰/۵۴۷۶	۴۳۴/۲۲۷	ICARDA	FILIP 2004-31L	۷
۳۸/۷۶	۰/۵۸۴۳	-۶/۴۱۸۲	۳۴۷/۱۱۹	ICARDA	FILIP 2002-1L	۸
۸/۴۳	-۱/۰۷۹۷	۱/۳۹۵۴	۳۳۳/۳۹۴	ICARDA	FILIP 2002-55L	۹
۱۵/۵۳	۶/۶۸۸۹	۲/۵۷۰۸	۴۴۵/۶۲۷	ICARDA	KIMIA	۱۰
۲۴/۰۴	۱/۳۵۸۱	-۳/۹۸۰۶	۳۶۹/۴۱۴	ICARDA	FILIP 2005-6L	۱۱
۳۷/۸۴	۰/۲۵۸۶	-۶/۲۶۵۶	۲۵۸/۵۲۳	ICARDA	GACHSARAN	۱۲
۲/۷۹	-۰/۹۳۴۶	۰/۴۶۱۹	۴۱۸/۶۸۱	ICARDA	FILIP 2003-9L	۱۴
۳۴/۴۵	۸/۸۱۵۱	۵/۷۰۴۹	۵۱۵/۱۶۷	ICARDA	X96-S144	۱۵
۳۵/۶۲	۴/۵۹۵۷	-۵/۸۹۷۵	۳۱۱/۴	IRAN	MARAGHEH	۱۶
۷۵/۰۴	-۲/۰۲۸	۱۲/۹۲۲۲	۵۰۶/۴۳۲	ICARDA	FILIP 2003-5L	۱۷



شکل ۱-بای پلات میانگین ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها و مقادیر اولین مؤلفه اصلی آنها (مدل AMMI) (S1 تا S6 به ترتیب محیط‌های تاریخ کاشت از پاییزه تا بهاره هستند)



شکل ۲- بای پلات بر اساس مقادیر مولفه‌های اصلی اول و دوم ژنوتیپ‌ها و محیط با مدل (AMMI 2)

گردید. در مؤلفه دوم محیط کشت پاییزه تأخیری و پاییزه پایدارترین و انتظاری ناپایدارترین محیط کشت است (جدول ۴).

بررسی مؤلفه‌ها از نظر محیط کشت: کشت انتظاری - زود هنگام در مؤلفه اول پایدارترین محیط، محیط کشت پاییزه با توجه به بالاترین میزان عملکرد، ناپایدارترین محیط محسوب

جدول ۴- عملکرد دانه و مقادیر مولفه‌های اصلی اول، دوم برای محیط‌های ۱ تا ۶

IPCA2	IPCA1	میانگین	کد محیط
-۱/۴۷۶۲	۱۶/۷۱۹۲	۶۴۶/۸	S۱
۱۳/۴۱۰۳	-۵/۶۷۵	۳۶۱/۹	S۲
-۹/۰۸۳	-۱۳/۹۱۵۸	۲۲۷/۴	S۳
۰/۲۶۴۸	۱۱/۲۶۵۴	۵۲۷/۵	S۴
-۵/۲۷۹۶	۱/۴۰۱۷	۴۳۷/۱	S۵
۲/۱۶۳۷	-۹/۷۹۵۴	۲۹۴/۷	S۶

S۱ = پاییزه؛ S۲ = انتظاری؛ S۳ = بهاره؛ S۴ = پاییزه تأخیری؛ S۵ = انتظاری زود هنگام؛ S۶ = بهاره زود هنگام - زمستانه

۱۸ برای محیط‌های S۱ و S۴ و ژنوتیپ ۳ برای S۵ و ژنوتیپ ۴ برای S۳ و S۵ و ژنوتیپ‌های ۸، ۱۱، ۱۲ و ۲ برای S۶ و S۵ و ۱۰ و ۱۵ برای S۴ و S۲ سازگاری خصوصی دارند محیط از نظر دو مؤلفه اصلی اثر

گروه بندی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها

در شکل پراکنش مکان‌ها در چهار بخش نمودار مشخص شده است بهترین ژنوتیپ‌ها با در نظر گرفتن محیط‌های ۶ گانه، ژنوتیپ‌های ۱۷ و

(Moghaddam, 2013).

پژوهشگران دیگری نیز با روش بای پلات، ژنوتیپ‌های پایدار عدس و محیط‌های کلان را برای آن شناسایی کردند.

(Kanouni *et al.*, 2007 ; Karimizadeh *et al.*, 2013a; Karimizadeh *et al.*, 2013b; Turk & Kendal, 2017; Jeberson *et al.*, 2019;)

در رابطه با سودمندی تجزیه بای پلات که بدون نیاز به پارامترهای مختلف و با استفاده از نمودارهای حاصله می‌توان اقدام به شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار کرد، اظهار شده است که آنچه که در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بسیار حائز اهمیت است این است که اثر محیط در اکثر موارد بسیار بزرگ بوده، اما قابل بهره‌برداری نیست. لذا حذف اثر محیط از داده‌ها و تمرکز بر اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط حائز اهمیت است (Gauch, 1992) و از آنجا که تنها اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط است که در گزینش ژنوتیپ‌های پایدار اهمیت دارند و نکته اساسی این است که دو اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط می‌بایست به صورت توأم بررسی شوند.

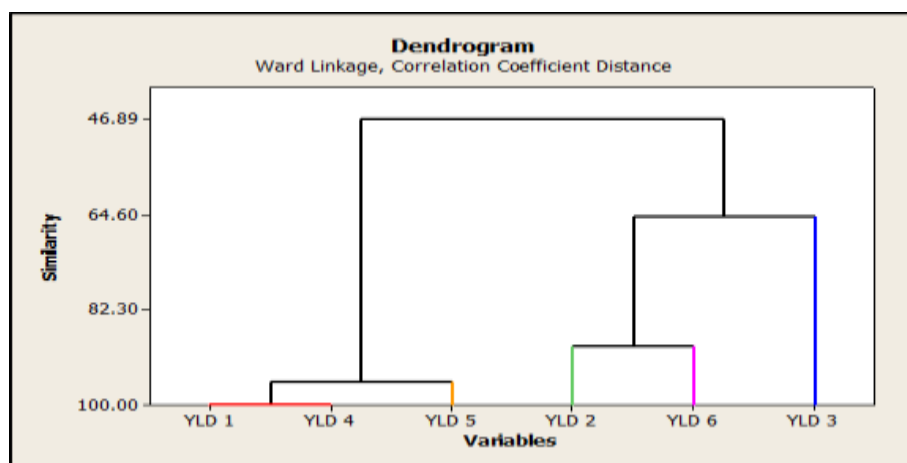
روش امی GGE بای پلات این امکان را می‌دهد که این دو اثر هم‌زمان و به صورت ترسیمی مورد بررسی قرار گیرند. به منظور تجزیه واکنش ژنوتیپی (استفاده هم‌زمان از تکنیک‌های دسته‌بندی و بردار یابی و بررسی دقیق‌تر پایداری ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، تجزیه کلاستر بر اساس مقادیر اولین مؤلفه اصلی ژنوتیپ‌ها و همچنین محیط‌ها (جدول ۵ و شکل ۳) انجام گردید. تجزیه کلاستر مقادیر اولین مؤلفه اصلی برای ژنوتیپ‌ها، چهار گروه ژنوتیپی را مشخص نمود که گروه اول شامل ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ و با مقادیر بالا و منفی

متقابل، تنوع زیاد رانشان می‌دهند و به‌طور کلی زمان‌های کشت از نظر اثر متقابل تظاهرهای متفاوتی را دارا بودند از طرفی محیط‌های کشت که بر اساس دو مؤلفه به شش قسمت تقسیم شده‌اند گویای اثر متقابل بالا توسط همه محیط‌های آزمایش بود. محیط‌های ۴ و ۱ (پاییزه و پاییزه تأخیری) دارای همبستگی منفی با محیط‌های ۳ و ۶ (بهاره و بهاره زودهنگام) در بیان اثر متقابل هستند (شکل ۲). بر اساس این واکنش‌ها نیز مشاهده گردید که ژنوتیپ ۷ دارای پایدار عمومی است و ژنوتیپ‌های ۵ و ۴ نیز تا حدی دارای پایداری متوسط بود همچنین ارقام ۱۰، ۶، ۱۵ و ۳ دارای همبستگی و اثر متقابل منفی و ارقام ۱۷، ۱۸ و ۳ دارای اثر متقابل مثبت بودند (شکل ۲). در گلرنگ (2008 (Mohammadi *et al.* و در جو (Taherian *et al.*, 2019) به منظور تجزیه بهتر اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط از پارامترهای پایداری در تفکیک ژنوتیپ‌ها استفاده کردند و بر اساس این دو پارامتر، IPCA1 برای محیط‌ها استفاده شد. جهت گزینش محیط‌های مناسب با قدرت بالا محیط‌ها بایستی دارای مقادیر بالای IPCA 2 در گندم (Yan & Rajcan, 2002) و در سویا (Yan *et al.*, 2000) ژنوتیپ‌های پایدار به محیط‌ها و نیز به محیط‌های با قدرت تفکیک ژنوتیپی بالا از سایر محیط‌ها را شناسایی نمودند. در تحقیقی با استفاده از روش بای پلات، شش ژنوتیپ برتر و چهار محیط را شناسایی و ژنوتیپ‌های مناسب را در هر محیط مشخص کردند و با بررسی هم‌زمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها با استفاده از بای پلات نشان دادند که ارقام Hartman و Gila Sina دارای پایداری عملکرد بیشتری نیز بودند (Pourdad & Jamshid

گیرند (شکل ۲).

در آزمایشی بیست رقم گندم نان در شش محیط ارزیابی و با استفاده از روش AMMI ارزیابی شدند و بهترین مدل پیش‌بینی، مدل AMMI2 بود (Kaya & Taner, 2003). برای تعیین سازگاری و پایداری عملکرد ۳۶ ژنوتیپ نخود زراعی از مدل AMMI استفاده نمود و این مدل مناسبی برای تجزیه پایداری معرفی کردند به‌طورکلی در این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که روش امی، با توجه به اینکه با دو مؤلفه اصلی ۹۹ درصد از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ، محیط را توجیه می‌کند، روش مناسبی برای تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها بوده است (Taye 2000). در مدل AMMI1 که ۸۵ درصد از تغییرات را توجیه می‌کند ژنوتیپ‌های ۵، ۱۴ و ۷ ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند. در مدل AMMI2 که ۱۴ درصد از تغییرات را توجیه می‌کند ژنوتیپ‌های ۲، ۵، ۷، ۱۴ به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند به‌طورکلی ژنوتیپ‌های ۷، ۵ و ۱۴ را می‌توان به‌عنوان رقم معرفی کرد به نظر می‌رسد استفاده هم‌زمان از دو مؤلفه اصلی با توجه به این که اطلاعات کامل‌تری را در بر دارد جامع تر است.

IPCA1 بودند. گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های شماره ۱۸ و ۱۷ دارای مقادیر بالا و مثبت IPCA1 گروه سوم شامل ژنوتیپ‌های ۵، ۶، ۷، ۹ و ۱۴ کمترین میزان IPCA1 را به خود اختصاص دادند و گروه چهارم شامل سایر ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۵). همچنین تجزیه کلاستر روی مقادیر اولین مؤلفه اصلی، محیط‌ها را به سه گروه تقسیم نمود. گروه اول شامل محیط ۳ بود که دارای بیشترین میزان منفی و گروه دوم محیط‌های ۲ و ۶ از مقادیر منفی حد واسط و ۱ و ۴ و ۵ از مقادیر مثبت و بالا برخوردار بودند (شکل ۳). بررسی بای پلات نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۲، ۴، ۱۷، ۸ و ۱۶ و همچنین محیط‌های S4، S6، S3، S1 دارای اثر متقابل بزرگ و بیشترین تأثیر را در ایجاد اثر متقابل دارند. ژنوتیپ‌هایی که در مرکز بای پلات قرار گرفته‌اند، اثر متقابل نزدیک به صفر دارند و دارای پایداری عمومی بیشتری هستند. ژنوتیپ‌های ۳، ۵، ۶، ۷، ۹، ۱۰ و ۱۴ دارای اثر متقابل کم هستند؛ ولی ژنوتیپ‌های ۵، ۷ و ۱۰ به علت داشتن میانگین عملکرد بالاتر میانگین کل می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های با پایداری مطلوب مورد توجه قرار



شکل ۳- تجزیه کلاستر محیط‌ها

جدول ۵- گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها بر اساس اولین مؤلفه اصلی و مؤلفه‌های اصلی اول و دوم اثر متقابل به طور هم‌زمان

مؤلفه اصلی اثر متقابل	گروه	شماره ژنوتیپ یا محیط
مؤلفه اصلی اول (ژنوتیپ)	۱	۱، ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶
		۱۷ و ۱۸
IPCA1Genotype	۲	۵، ۶، ۷، ۹ و ۱۴
	۳	۲، ۳، ۱۵، ۱۱ و ۱۰
	۴	
مؤلفه اصلی اول (محیط)	۱	S _۲
	۲	S _۱ و S _۲
IPCA1Environment	۳	S _۱ ، S _۴ ، S _۵
مؤلفه اصلی اول و دوم (ژنوتیپ)	۱	۸ و ۱۲
	۲	۱ و ۴
(IPCA1 & IPCA2)Genotype	۳	۱۷، ۱۸
	۴	۳، ۵، ۶، ۷، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۴، ۱۵ و ۱۶
مؤلفه اصلی اول و دوم (محیط)	۱	S ₂ ، S ₆
	۲	S ₃
(IPCA1 & IPCA2)Environment	۳	S ₁ و S ₄ ، S ₅

نتیجه‌گیری

کمترین برآورد ارزش پایداری به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ و سبز پردیس با بهترین عملکرد و بیشترین برآورد ارزش پایداری به‌عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ معرفی گردیدند. در بررسی بای پلات مدل امی ژنوتیپ FILIP 2003-9L با عملکرد مطلوب و مقدار IPCA1 پائین، پایداری عمومی در کلیه شرایط و ژنوتیپ سبز پردیس با بیشترین IPCA1، سازگاری خصوصی خوبی را با کشت پائیزه نشان داد.

از نظر عملکرد محیطی، کشت پاییزه و پاییزه تأخیری به ترتیب با عملکردهای ۶۴۶/۸ و ۵۲۷/۵ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین و کشت بهاره زود هنگام و بهاره با عملکردهای ۲۹۴/۷ و ۲۲۷/۴ کیلوگرم در هکتار دارای کمترین میزان عملکرد دانه بودند. در تجزیه‌امی از مجموع مربعات کل، ۵۵/۸۸ درصد به‌وسیله اثرات محیط و تنها ۲۷ درصد به‌وسیله اثرات ژنوتیپی و ۱۷/۲ درصد به‌وسیله اثر متقابل ژنوتیپ در محیط توجیه شدند. ژنوتیپ FILIP 2003-9L با داشتن عملکرد نسبی مطلوب و

REFERENCES

- Albert, M.J.A. (2004). A comparison of statistical methods to describe genotype×environment interaction and yield stability in multi-location maize trials. M.Sc. Thesis. *Department of Plant Sci, the University of the Free State,Blomfontein.*
- Al-Naggar, A. M. M., R. M. Abd El-Salam, M. R. Asran and Y. S. Yaseen. 2018. Yield adaptability and stability of grain sorghum genotypes across different environments in Egypt using AMMI and GGE-biplot models. *Annu. Res. Rev. Biol.* 23(3): 1-16.
- Akcura, M., Kaya, Y. Taner, S. and Ayranici, R. 2006. Parametric stability analysis for grain yield of durum wheat. *Plant soil envir.* 52(6):254-262
- Bagheri, A., Goldani, M., and Hassanzadeh, M. 1997. Agronomy and breeding lentils. *Jihad-e-Daneshgahi of Mashhad Publication.* 248 pp. (in Persian).
- Becker, H.B., and J. Leon. (1988). Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding,* 101 : 1-23.
- Bejiga, G. 2008. Effect of sowing dates on the yield of lentil (*lens culinaris* Medik.). *J. of Agron. and Crop Sci.* 167:135-140.
- Crossa, J., Fox, P. N. Pfeifer, W. H. Rajaram, S. and Gauch, H. G. 1991. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 81:27-37.
- Clay, H., C.H. Sneller & D. Dombek, 1995. Comparing Soybean cultivar ranking and selection for yield with AMMI and Full-Data performance estimates. *Crop Science,* 35: 1536-1541
- Firew, A. M., Amsalu, B., and Tsegaye, D. 2019. Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) and genotype main effect and genotype byenvironment interaction (GGE) biplot analysis of large white bean(*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes across environments in Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research* 14 (35): 2135-2145.
- Farshadfar, E., Mahmodi, N., and Yaghotipoor, A. 2011. AMMI stability value and simultaneous estimation of yield and yield stability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Australian Journal of Crop Science* 5 (13):1837-1844.
- Gauch, H.G. 1992. Statistical Analysis of Regional Trials. AMMI Analysis of Factorial Designs.*Elsevier Pub. Amsterdam, Netherlands.* 278 pp.
- Gauch, H.G. and R.W. Zobel. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science,* 37(1): 311-326.
- Chapman, S. C., Crossa, J. and Edmeodes, G. O. 1997. Genotype by environment effects and selection for drought tolerance in tropical maize .I. Two mode pattern analysis of yield. *Euphytica* 95:1-9.
- Gollob, Af. 1968. statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance technique. *Psvchometrica.* 33:73-115.
- Jeberson, M. S., Shashidhar, K. S., Wani, S. H., Singh, A. K., and Dar, S. A. 2019. Identification of stable lentil (*Lens culinaris* Medik) genotypes through GGE biplot and AMMI analysis for north hill zone of India. *Legume Research* 42 (4): 467-472.
- Karimizadeh, R., and Mohammadi, M. 2010. AMMI adjustment for rainfed lentil yield trials in Iran. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 16: 66-73
- Kanouni, H., Talei, A., Bihamta, M. R., Shahab, M. R., Kamel, M., and Mostafaei, H. 2007. Stability of seed yield of lentil genotypes in rainfed areas of the west of the

- country through AMMI analysis. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 38 (2):295-302 (in Persian).
- Katsura, K., Tsujimoto, Y., Oda, M., Matsushima, K. I., Inusah, B., Dogbe, W., and Sakgami, J. I. 2016. Genotype-by-environment interaction analysis of rice (*Oryza spp.*) yield in a floodplain ecosystem in west Africa. *European Journal of Agronomy* 73: 152-159.
- Kaya, Y. and S. Taner. 2003. Estimating genotypic ranks by nonparametric stability analysis in bread wheat (*triticum aestivum L.*). *Central Euro. Agric. J.* 4: 47-53
- Kempton, R. A. 1984. The use of biplot in interpreting variety by environment interaction. *J. Agric. Sci. Cambridge* 122: 335-342.
- Kroonenberg, P. M. 1995. Interaction to biplots for G.E tables. *Dep. of Mathematics Res. Rep. No. 51*, University of Queensland Australia.
- Moghaddam, M., Mohammadi, S. A., and Aghae-Sarbarzeh, M. 1995. *Introduction to multivariate statistical methods*. 281 pp. (in Persian).
- Purchase, J., Hatting, H., and Van Deventer, C. 2000. Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum L.*) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South African Journal of Plant and Soil* 17: 101-107.
- Rabiei, M., and Khodambashi, M. 2020. Assessment of yield stability in common bean cultivars based on univariate and multivariate methods. *Journal of Crop Production and Processing* 9 (4): 33-45 (in Persian).
- Sadiyah, H., and Hadi, A. F. 2016. AMMI model for yield estimation in multi-environment trials: A comparison to BLUP. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 9: 163-169.
- Sarker, A., Erskine, W., & Singh, M. 2003. Regression models for lentil seed & straw yields in Near East. *Agrical & Forestry Meteorology* 116, 61-72.
- Tadele, T., Amanuel, T., Behailu, M., and Gashaw, S. 2018. Evaluation of the effect of genotype, environment and genotype × environment interaction on white common bean varieties using additive main effect and multiplicative interaction (AMMI) analysis in the mid-altitude of Bale zone, Southeastern Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research* 13 (7): 338-344.
- Taye, G. G. T. and G. G. Bejiga. 2000. AMMI adjustment for yield estimate and classification on genotype and environment in field pea. *J. Genet. Breed.* 54: 183-191.
- Taherian, M., Bihamta, M.R., Peyghambari, S.A., Alizadeh, H., and Rasoulnia, A., 2019. Stability analysis and selection of salinity tolerant barley genotypes. *Journal of Crop Breeding* 11(29): 93-103.
- Tarakanovas, P. and V. Ruzgas. 2006. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of grain yield of wheat varieties in Lithuania. *Agric. Res.* 4: 91-98.
- Turk, Z., and Kendal, E. 2017. The practice of AMMI and GGE biplot analysis of lentil genotypes assessment in multi-environment trials. *Philippine Journal of Crop Science* 42 (3): 39-48.
- Schoeman, L. J. 2003. Genotype × environment interaction in sunflower (*Helianthus annuus*) in south Africa. MSc.Thesis, *Department of Agronomy, University of the Free State, Bloemfontein*.
- Zali, H., Farshadfar, E., Sabaghpour, S. H., and Karimizadeh, R. 2012. Evaluation of genotype × environment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI model. *Annals of Biological Research* 3: 3126–3136.
- Pourdard S. and M. Jamshid Moghaddam. 2013. Study on Genotype×Environment

- Interaction through GGE Biplot in Spring Safflower (*Carthamus tinctorius L.*). *Journal of Crop Production and Processing* 2: 99-108. (In Persian)
- Yan, W., and Rajcan, I., 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science* 42:11-20.
- Yan, W., Hunt, L.A., Sheng Q., and Szlavnic, Z., 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE Biplot. *Crop Science* 40: 597-605.
- Zali, H., Sabaghpour, S., Farshadfar, E., Pezeshkpour, P., Safikhani, M., Sarparast, R., and Hashem Beygi, A. 2009. Stability analysis of chickpea genotypes using ASV parameter compare to other stability methods. *Iranian Journal of Field Crop Science* 40 (2): 21-29 (in Persian).
- Purchase, J., Hatting, H., and Van Deventer, C. 2000. Genotype \times environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum L.*) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South African Journal of Plant and Soil* 17: 101-107.

Investigating the interaction effect of genotype × environment and yield stability of lentil germplasms (*Lens culinaris Medik*) using the AMMI model

Mohammad Rasouli^{1*} and Davood Mohammadzamani²

¹Assistant Professor, Department of Plant Breeding Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.

²Associated professor, Bio systems Engineering Department, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.

*Corresponding Author's Email: rasooli1387@gmail.com
(Received: March. 14, 2023 – Accepted: July. 22, 2023)

ABSTRACT

In order to evaluate the stability of the yield of lentil ecotypes in Qazvin province, an experiment in the form of a randomized block design was carried out in six planting dates (environment) with three replications at the soil and water conservation research station of Tehran University in Kohin rainfed lands. The results of composite variance analysis showed a significant difference between environments, genotypes and the interaction effect of genotype × environment. The analysis of additive main effects and multiplicative interaction effects (AMMI) showed that the grain yield of lentil genotypes is influenced by the environmental part of the interaction effect of genotype × environment. In the analysis AMMI of the sum of squares, 55.8% was caused by environmental effects, 27% by genotypic effects and 17.2 % were justified by the genotype × environment interaction. In the AMMI method, the FILIP 2003-9L genotype with favorable relative performance and the lowest estimate of stability value (ASV) was introduced as the most stable genotype and Sabz Pardis with the best performance and the highest estimate of stability value was introduced as the most unstable genotype. In the biplot analysis of the AMMI model, the genotype FILIP 2003-9L with favorable yield and low IPCA1 value, general stability in all conditions and Sabz Pardis genotype with the highest IPCA1, showed good private compatibility with Autumn cultivation.

Keywords: Ecotype, sustainability value, Amy, private compatibility, Lentils