

تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود با استفاده از مدل‌های AMMI و بای پلات GGE

یداله فرایدی^۱، حسین عبدی^{۲*}، فرهاد آهک‌پز^۱، همایون کانونی^۳ و علی اکبر محمودی^۴

۱- مربی پژوهشی، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مراغه، ۲- دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ۳- دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سنندج، ۴- مربی پژوهشی، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، شیروان
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۱۶ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۱۶)

چکیده

در پژوهش حاضر، ۱۸ لاین و رقم نخود سفید در سه ایستگاه سردسیری دیم شامل مراغه، کردستان و شیروان به مدت سه سال (۱۳۹۲-۹۵) ارزیابی شدند. نتایج تحلیل واریانس نشان داد که اثرهای محیط، ژنوتیپ و تعامل ژنوتیپ و محیط معنی-دار بودند. تحلیل تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ و محیط با استفاده از مدل AMMI حاکی از معنی‌دار بودن تغییرات ناشی از دو مؤلفه اصلی تعامل با توجیه ۶۷/۹ درصدی بود، در حالی که این دو مؤلفه در روش بای پلات GGE حدود ۶۵ درصد از تغییرات را توجیه نمودند. نتایج ارزیابی پایداری ارقام با استفاده از آماره‌های AMMI بسیار مشابه با بای پلات AMMI2 بود. این تشابه تا حدودی میان روش بای پلات GGE و AMMI نیز مشاهده شد. در هر دو روش، محیط‌ها به گروه‌هایی با ژنوتیپ‌های برتر جداگانه تقسیم شدند و رفتار برخی مکان‌ها در گزینش ژنوتیپ‌ها در همه سال‌ها مشابه و در برخی دیگر متفاوت از هم بود، بنابراین نتیجه‌گیری شد که الگوی تکرارپذیری ژنوتیپ‌های برتر در هر مکان تحت شرایط دیم، با چالش همراه است. ارقام شاهد ثمین، قزوین و جم، عملکرد دانه و پایداری عملکرد مطلوبی از خود نشان دادند. با وجود این که امکان انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار در بین لاین‌ها نسبت به ارقام شاهد ضعیف بود، اما ژنوتیپ‌های شماره یک، سه، شش، ۱۲ و ۱۴ با توجه به عملکرد بالا می‌توانند در سازگاری خصوصی مورد استفاده قرار گیرند و منابع ژنتیکی مطلوبی برای معرفی ارقام متحمل به تنش خشکی و سرما در دیم‌زارهای مورد مطالعه باشند.

واژه‌های کلیدی: آماره‌های چندمتغیره، بای پلات، پایداری، تری پلات، سازگاری.

Genotype and environment interaction analysis for grain yield of chickpea genotypes using AMMI and GGE biplot models

Yadollah Farayedi¹, Hossein Abdi^{2*}, Farhad Ahakpaz¹, Homayoun Kanouni³ and Ali Akbar Mahmoodi⁴

1. Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Maragheh, 2. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, 3. Field and Horticultural Crops Science Dept., Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, 4. Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Shirvan.
(Received: December 7, 2019 - Accepted: April 4, 2020)

ABSTRACT

In the present study, 18 lines and cultivars of chickpea were evaluated in three cold dryland stations including Maragheh, Kurdistan and Shirvan for three years (2014-2016). Results showed that the environments, genotypes and their interaction effects were significant. Interaction analysis using the AMMI model indicated that the two principal components (IPCs) significantly accounted for 67.9% of the total variation. However, these two components accounted for about 65% of the changes in the GGE biplot method. Evaluation of genotype yield stability using AMMI statistics was very similar to AMMI2 biplot. This similarity was also partially observed between the AMMI and GGE biplot methods. In both models, the environments were subdivided into groups with separate superior genotypes and the behavior of some sites in the selection of genotypes was similar across years, while in some other sites, it was different. Therefore, it is concluded that the reproducibility pattern of superior genotypes in each site is challenging under dryland conditions. Control cultivars of Samin, Gazvin and Jam showed good grain yield and stability. Although, the ability to select high yielding and stable genotypes among the lines was poor compared to control cultivars, genotypes NO. 1, 3, 6, 12 and 14, due to their high yield, can be used in specific adaptation and suitable genetic sources for introducing drought and cold tolerant cultivars in the studied fields.

Keywords: Adaptability, biplot, multivariate statistics, stability, triplot.

* Corresponding author E-mail: ho.abdi@urmia.ac.ir

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) با دارا بودن انواع ویتامین‌ها، مواد معدنی و پروتئین، سومین گیاه مهم از تیره حبوبات در جهان و مهم‌ترین آن‌ها در ایران است (Kanouni *et al.*, 2016). این گیاه علاوه بر اهمیت تغذیه‌ای، به‌عنوان یک محصول کم‌هزینه در نظام‌های زراعی نیز مطرح است. گرچه نخود قابلیت سازگاری به طیف وسیعی از شرایط محیطی را دارد، اما همانند دیگر گیاهان زراعی و دارویی، تنش‌های محیطی از جمله کم آبی، کاهش‌دهنده رشد و عملکرد نخود به-ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیاست. این مورد، ضرورت افزایش تولید نخود در واحد سطح به ویژه در دیم‌زارها را نشان می‌دهد.

از زمان‌های گذشته، فرآیند گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب، امری متداول در به‌نژادی گیاهان بوده است، اما اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، کارایی انتخاب این ژنوتیپ‌ها را کاهش می‌دهد و تفسیر نتایج را پیچیده می‌کند و به‌نژادگران را در معرفی ارقام با چالش مواجه ساخته است (Annicchiarico & Perenzin, 1994). این اثر به این دلیل است که یک ژنوتیپ خاص در مواجهه با شرایط محیطی مختلف، پاسخ‌های متفاوتی می‌دهد و در بدترین حالت، تفاوت پاسخ‌ها به اندازه‌ای است که رتبه عملکرد ژنوتیپ‌ها را در محیط‌های مختلف تغییر می‌دهد؛ بنابراین احتمال وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، ارزیابی ژنوتیپ‌ها را در مکان‌ها و سال‌ها مختلف توجیه می‌کند. نتایج چنین آزمایش‌های پرهزینه‌ای که از آن‌ها با عنوان آزمایش‌های چندمحیطی یاد می‌شود، منجر به توصیه‌های قابل اعتمادتری از سوی به‌نژادگران می‌گردد. در حالت کلی، نخستین گام در تجزیه داده‌های ارزشمند چندمحیطی، انجام تجزیه واریانس و بررسی وجود اثر متقابل معنی‌دار ژنوتیپ و محیط است. اما باید توجه داشت که همگنی واریانس خطاهای آزمایشی در محیط‌های مورد آزمون، بسیار مهم است، زیرا در صورت همگن نبودن واریانس‌ها، الگوهای مشاهده شده در تحلیل‌های بعدی می‌تواند ناشی از خطاها باشد و منجر به نتایج گمراه کننده‌ای شود

(Laffont *et al.*, 2013).

در سال‌های اخیر، رویکردهای مختلفی برای تشریح اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ابداع شده است که مدل اثرهای اصلی افزایشی و اثر متقابل ضرب‌پذیر^۱ (AMMI) و بای‌پلات^۲ GGE، از جمله پرکاربردترین و مؤثرترین آن‌ها است (Shahriari *et al.*, 2018). مناسب بودن مدل AMMI در بررسی آزمایش‌های چندمحیطی به اثبات رسیده است (Ndhlela *et al.*, 2014)؛ همچنین کاربرد این روش در تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و سودمندی آن در تعیین پایداری عملکرد لاین‌ها تأیید شده است (Babaei *et al.*, 2018). روش بای‌پلات GGE نیز با حذف اثر محیط و ترکیب اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، منجر به ارائه نتایج قابل اعتمادتری می‌شود (Yan *et al.*, 2007). بای‌پلات‌های ارائه شده توسط این روش‌ها می‌توانند در ارزیابی هم‌زمان - عملکرد و پایداری و نیز انتخاب ژنوتیپ‌ها با سازگاری عمومی و خصوصی بالا مورد استفاده قرار گیرند. این دو مفهوم از سازگاری، رویکرد عمده به‌نژادگران در انتخاب ژنوتیپ‌ها طی آزمایش‌های چند محیطی می‌باشد؛ به این صورت که سازگاری عمومی بر اساس متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها می‌باشد، در حالی که سازگاری خصوصی، انتخاب بر پایه متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در یک زیرمجموعه از محیط‌های خاص است (Gauch *et al.*, 2008). علاوه بر بای‌پلات که تفسیر نتایج را تسهیل می‌کند، پژوهش‌گران، چندین آماره در مدل AMMI پیشنهاد داده‌اند که پرکاربردترین آن، ارزش پایداری AMMI یا ASV می‌باشد که مبتنی بر دو مؤلفه اول است؛ درحالی که سایر آماره‌ها از مؤلفه‌های دیگر هم استفاده می‌کنند و هر کدام جنبه‌های مختلفی از تغییرات را با استفاده از مؤلفه‌های باقی‌مانده در مدل نشان می‌دهند (Akbarpour *et al.*, 2011; Zali *et al.*, 2012; Ajay *et al.*, 2020).

¹ Additive main effects and multiplicative interaction

² Genotype plus genotype \times environment biplot

پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های بومی نخود تیپ کابلی را به همراه سه رقم شاهد تحت شرایط دیم مورد ارزیابی قرار دادند؛ نتایج حاصل از روش‌های چندمتغیره از جمله AMMI و بای‌پلات GGE، پنج ژنوتیپ با عملکرد بالاتر از میانگین و پایداری مطلوب را برای توسعه ارقام جدید معرفی نمودند. هدف از پژوهش حاضر، بررسی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود و سازگاری عمومی و خصوصی این ژنوتیپ‌ها بر اساس مدل‌های AMMI و بای‌پلات GGE بود.

مواد و روش‌ها

تعداد ۱۸ لاین و رقم نخود سفید، به صورت طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار و در سه ایستگاه سردسیری تحقیقات کشاورزی دیم شامل مراغه، کردستان و شیروان، به مدت سه سال زراعی (۱۳۹۲-۹۵) در کشت بهاره ارزیابی شدند. مشخصات ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد مطالعه

Table 1. Characteristics of the studied genotypes and environments

Genotypes			Environments			
No.	Name	Origin	No.	Name	Origin	
G1	ILC 484	ICARDA	G10	FLIP 06-88C	ICARDA	
G2	FLIP 86-5C	ICARDA	G11	FLIP 07-6C	ICARDA	
G3	FLIP 86-6C	ICARDA	G12	FLIP 07-105C	ICARDA	
G4	FLIP 87-45C	ICARDA	G13	FLIP 07-109C	ICARDA	
G5	FLIP 88-85C	ICARDA	G14	FLIP 08-10C	ICARDA	
G6	FLIP 93-58C	ICARDA	G15	FLIP 08-55C	ICARDA	
G7	FLIP 03-22C	ICARDA	G16	Samini Check	IRAN	
G8	FLIP 03-50C	ICARDA	G17	Gazvin Check	IRAN	
G9	FLIP 06-52C	ICARDA	G18	Jam Check	IRAN	
No.	Location	Year	Annual rainfall (mm)	Latitude	Longitude	Altitude
M1	Maragheh	2014	289.2			
M2	Maragheh	2015	424.9	37.15 N	46.15 E	1720 m
M3	Maragheh	2016	429.3			
K1	Kordestan	2014	332.6			
K2	Kordestan	2015	235.4	35.43 N	48.08 E	2100 m
K3	Kordestan	2016	381.5			
S1	Shirvan	2014	200.4			
S2	Shirvan	2015	316.2	37.23 N	57.55 E	1086 m
S3	Shirvan	2016	334.2			

تهیه زمین شامل شخم پائیزه با گاوآهن قلمی و تسطیح انجام شد. همچنین به منظور تغذیه گیاهان و همزمان با عملیات آماده‌سازی زمین، از فرمول کودی N20-P30 (۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع کودی نترات آمونیوم و ۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص از کود سوپر فسفات تریپل) استفاده شد که در آن، تمامی کود فسفره، قبل از کشت و به هنگام تهیه زمین در پاییز و کود نیتروژنی

وجود اثر متقابل معنی‌دار ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه نخود در چندین پژوهش گزارش شده است و پژوهش‌گران از روش‌های مختلفی جهت بررسی آن استفاده کرده‌اند. Zali *et al.* (2011) با بهره‌گیری از آماره‌های یک متغیره و مدل‌های رگرسیونی بیان کردند که حساسیت تعداد دانه در غلاف به تغییرات محیطی کمتر است و این جزء از عملکرد می‌تواند تحت شرایط دیم، نقش بیشتری را در پایداری عملکرد نخود داشته باشد. Farshadfar *et al.* (2012) از آماره چند متغیره ASV در کنار آماره‌های پارامتری و ناپارامتری جهت انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار نخود استفاده کردند. در پژوهشی دیگر و در آزمایش‌های چندمحیطی عملکرد دانه نخود، Kanouni *et al.* (2016) تحت شرایط دیم دو ژنوتیپ با قابلیت سازگاری خصوصی بالا و سه ژنوتیپ با سازگاری عمومی مطلوب را از طریق روش بای‌پلات GGE شناسایی کردند. Poursmael *et al.* (2018) عملکرد و

هر واحد آزمایشی در چهار خط به طول چهار متر، با فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متر و با تراکم ۴۰ بوته در متر مربع کشت شدند و بذور به فاصله حدود ۱۰ سانتی‌متر بر روی خطوط کشت قرار گرفتند. به منظور جلوگیری از آلودگی‌های قارچی، بذرها قبل از کاشت با استفاده از یک قارچ‌کش مناسب (کاربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار) ضدعفونی و سپس کشت شدند. در اوایل پائیز هر سال، عملیات آماده‌سازی و

محیط تعیین شدند (Zobel *et al.*, 1988). سپس بای-پلات‌های مربوط، برای تفسیر برهم‌کنش‌های ژنوتیپ و محیط و تعیین سازگاری عمومی و خصوصی ژنوتیپ‌ها رسم شدند. هم‌چنین آماره‌های مبتنی بر روش چند متغیره AMMI بر اساس روابط موجود در جدول ۲ محاسبه شدند (Zali *et al.*, 2012; Ajay *et al.*, 2020). تجزیه AMMI با استفاده از بسته agricolae انجام شد و آماره-های AMMI با استفاده از بسته ammistability در نرم‌افزار R محاسبه شد و تری‌پلات AMMI نیز با استفاده از نرم‌افزار GEA-R ترسیم شدند. در نهایت بای‌پلات‌های GGE و طرح موزاییکی آن، به‌ترتیب با استفاده از بسته GGEbiplotGUI و دستورات ارائه شده توسط Laffont *et al.* (2007) در نرم‌افزار R رسم شدند.

پس از کشت در بهار و به‌عنوان آغازگر به مزرعه داده شد. عملیات کشت با توجه به میزان رطوبت خاک، در اولین فرصت پس از آماده شدن شرایط مزرعه، در نیمه دوم اسفند و یا نیمه اول فروردین هر سال و به صورت دستی انجام گرفت. در طول دوره رشد و نمو بوته‌ها، مراقبت‌های زراعی شامل وجین دستی علف‌های هرز در دو مرحله و مبارزه با آفات طوقه خوار (آگروتیس) و پیله‌خوار (هلیوتیس) با استفاده از سموم مناسب انجام گرفت. پس از رسیدن کامل محصول و با حذف دو ردیف کناری و ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای خطوط هر کرت به‌عنوان حاشیه، اقدام به برداشت بوته‌های باقی‌مانده از سطحی معادل ۱/۷۵ متر مربع شد و پس از بوجاری، عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر حسب تن در هکتار ثبت شد.

جهت تجزیه پایداری به روش AMMI، تجزیه واریانس انجام شد و درآیه‌های مؤلفه‌های اصلی برای هر ژنوتیپ و

جدول ۲- آماره‌های مدل AMMI و جزئیات آن‌ها

Table 2- AMMI model statistics and their details

AMMI Stability Parameter	Details	Reference
AMMI Stability Value	$ASV = \sqrt{\left(\frac{SSIPC_1}{SSIPC_2} \times PC_1\right)^2 + (PC_2)^2}$	Purchase, (1997)
AMMI Stability Index	$ASI = \sqrt{[PC_1^2 \times \theta_1^2] + [PC_2^2 \times \theta_2^2]}$	Jambhulkar <i>et al.</i> (2017)
Sum across environments of absolute value of GEI modelled by AMMI	$AV = \sum_{j=1}^E \sum_{n=1}^{N'} \lambda_n \gamma_{in} \delta_{jn} $	Sneller <i>et al.</i> (1997)
Annicchiarico's D parameter	$DA = \sqrt{\sum_{n=1}^{N'} (\lambda_n \gamma_{in})^2}$	Annicchiarico, (1997)
Zhang's D parameter	$DZ = \sqrt{\sum_{n=1}^{N'} \gamma_{in}^2}$	Zhang <i>et al.</i> (1998)
Averages of the squared eigenvector values	$EV = \sqrt{\sum_{n=1}^{N'} \frac{\gamma_{in}^2}{N}}$	Sneller <i>et al.</i> (1997)
Stability measure based on fitted AMMI model	$FA = \sum_{n=1}^{N'} \lambda_n^2 \gamma_{in}^2$	Zali <i>et al.</i> (2012)
Sums of the absolute value of the IPC scores	$SIPC = \sum_{n=1}^{N'} \lambda_n^{0.5} \gamma_{in}$	Sneller <i>et al.</i> (1997)
Absolute value of the relative contribution of IPCs to the interaction	$ZA = \sum_{n=1}^{N'} \theta_n \gamma_{in} $	Zali <i>et al.</i> (2012)

IPC: interaction principal components, SSIPC_n: sum of squares of the *n*th IPC, N': number of significant IPCAs, θ_n: percentage sum of squares explained by *n*th principal component interaction effect, E: number of environments, λ_n: singular value for *n*th IPC, γ_{in}: eigenvector value for *i*th genotype and δ_{jn}: eigenvector value for *j*th environment.

نتایج و بحث

همچنین اختلاف ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها شماره ۱۸ با بیشترین عملکرد و ژنوتیپ شماره ۱۰ با کمترین عملکرد در جدول ۴ دیده می‌شود. معنی‌داری اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، حاکی از تفاوت واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد مطالعه می‌باشد. این یافته‌ها هم‌سو با نتایج سایر پژوهش‌گران در آزمایش‌های چندمحیطی نخود است (Farshadfar *et al.*, 2012; Kanouni *et al.*, 2016;) (Karakoy *et al.*, 2018).

پس از تأیید همگنی واریانس اشتباهات آزمایشی با آزمون بارتلت ($\chi^2=9/08^{ns}$)، تجزیه واریانس مرکب آزمایش‌ها نشان داد که اثرهای اصلی محیط و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). به دلیل تغییرات شرایط آب و هوایی، معنی‌داری اثر محیط از مکانی به مکانی دیگر و از سالی به سالی دیگر امری بدیهی است.

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد دانه ۱۸ ژنوتیپ نخود کابلی در نه محیط با استفاده از روش AMMI

Table 3. Variance analysis of the grain yield of 18 Kabouli chickpea genotypes in 9 environments using AMMI method

S.O.V	Df	Sum Sq	Mean Sq	F.value	Pr(>F)	Percent	Acum
ENV	8	43.862	5.483	68.75	5.551e-16		
REP(ENV)	27	2.153	0.080	5.10	2.532e-14		
GEN	17	0.602	0.035	2.27	0.002797		
ENV:GEN	136	2.890	0.021	1.36	0.010554		
PC1	24	1.344	0.056	3.58	0.0000	46.5	46.5
PC2	22	0.619	0.028	1.80	0.0149	21.4	67.9
PC3	20	0.489	0.024	1.56	0.0583	16.9	84.9
Noise	70	0.437	0.006			15.2	100
Residuals	459	7.175	0.016				
Coefficient of variation (CV%)		28.30					

جدول ۴- عملکرد دانه و آماره‌های مختلف AMMI برای ۱۸ ژنوتیپ در نه محیط مورد ارزیابی

Table 4. Grain yield and different AMMI statistics for 18 chickpea genotypes in 9 evaluated environments

Gen	GY	ASV	ASI	AV	DA	DZ	EV	FA	SIPC	ZA
G1	0.466	0.25	0.053	0.33	0.13	0.32	0.050	0.017	0.26	0.11
G2	0.441	0.50	0.108	0.38	0.19	0.34	0.059	0.034	0.34	0.18
G3	0.466	0.24	0.052	0.33	0.15	0.37	0.067	0.021	0.26	0.10
G4	0.464	0.15	0.033	0.23	0.10	0.24	0.030	0.009	0.16	0.06
G5	0.451	0.13	0.029	0.10	0.05	0.09	0.004	0.002	0.09	0.05
G6	0.470	0.28	0.061	0.22	0.10	0.17	0.015	0.010	0.15	0.09
G7	0.434	0.72	0.155	0.50	0.25	0.44	0.098	0.065	0.38	0.22
G8	0.428	0.60	0.129	0.46	0.22	0.42	0.089	0.050	0.41	0.21
G9	0.427	0.11	0.024	0.13	0.05	0.11	0.007	0.003	0.11	0.05
G10	0.365	0.39	0.083	0.36	0.16	0.32	0.050	0.024	0.31	0.15
G11	0.399	0.58	0.124	0.47	0.22	0.44	0.099	0.051	0.44	0.22
G12	0.454	0.82	0.176	0.75	0.33	0.66	0.219	0.107	0.65	0.32
G13	0.420	0.23	0.049	0.32	0.12	0.30	0.046	0.016	0.25	0.10
G14	0.473	0.23	0.049	0.31	0.12	0.30	0.045	0.015	0.24	0.10
G15	0.452	0.37	0.080	0.26	0.13	0.23	0.026	0.017	0.19	0.11
G16	0.475	0.36	0.077	0.26	0.13	0.22	0.023	0.016	0.17	0.10
G17	0.471	0.41	0.088	0.34	0.16	0.33	0.055	0.027	0.32	0.16
G18	0.495	0.16	0.035	0.17	0.08	0.18	0.016	0.006	0.16	0.07

GY: Grain yield (t/ha^{-1}), ASV: AMMI stability value, ASI: AMMI stability index, AV: Absolute value of the sum across environments, DA: Annicchiarico's D parameter, DZ: Zhang's D parameter or AMMI distance, EV: Averages of the squared eigenvector values, FA: Stability measure based on fitted AMMI model, SIPC: Sums of the absolute value of the IPC scores, ZA: Absolute value of the relative contribution of IPCs to the interaction.

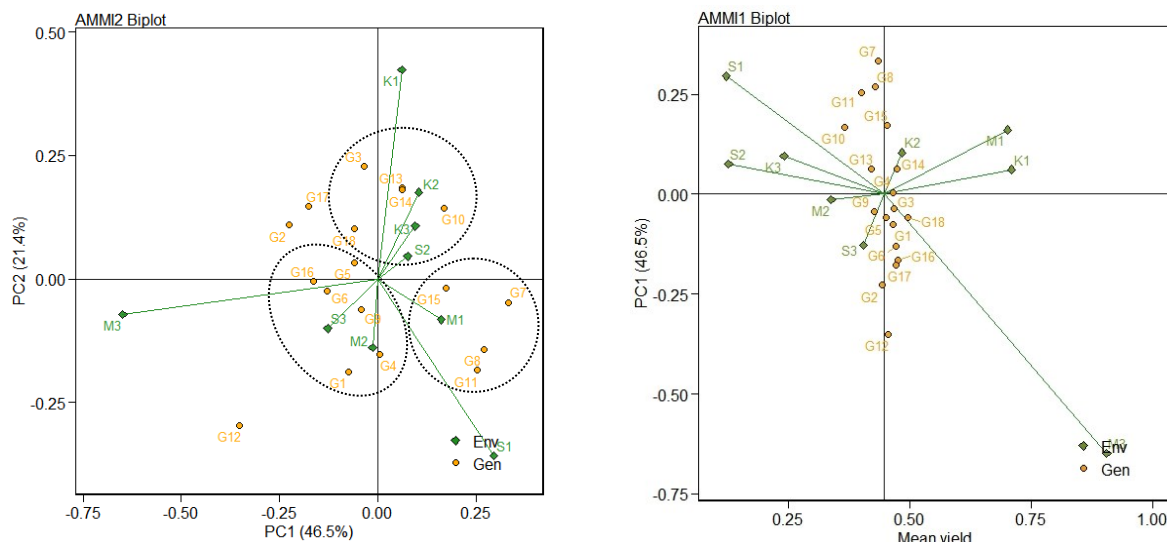
بنابراین در این مدل اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط که برای به‌نژادگران بسیار حائز اهمیت هستند، به صورت جداگانه تحلیل می‌شوند (Gauch *et al.*, 2008). بر این اساس، مؤلفه‌های اصلی اول، دوم و سوم، به ترتیب ۴۶/۵، ۲۱/۴ و ۱۶/۹ درصد از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ و محیط را توجیه کردند و سایر مؤلفه‌ها با توجیه ۱۵/۲ درصد

تجزیه واریانس تنها می‌تواند درباره وجود اثر متقابل معنی‌دار ژنوتیپ و محیط اطلاعاتی فراهم آورد و قابلیت بررسی الگوی پاسخ ژنوتیپ‌ها به محیط‌ها را ندارد (Samonte *et al.*, 2005)، اما مدل AMMI علاوه بر تقسیم واریانس به اثرات اصلی افزایشی (محیط و ژنوتیپ)، برای اثر متقابل ضرب‌پذیر، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام می‌دهد؛

عملکرد دانه به دو قسمت بالاتر از متوسط (سمت راست) و پایین‌تر از متوسط (سمت چپ) تقسیم می‌کند. همچنین خط قائم بر محور عمودی، مقدار صفر برای مؤلفه نخست را نشان می‌دهد. تفاوت نقاط، صرف‌نظر از جهت مثبت یا منفی در طول این محور، بیان‌گر اختلاف در سهم آن‌ها در تغییرات ناشی از اثر متقابل ژنوتیپ و محیط از نظر مؤلفه‌ی اول خواهد بود. بر این اساس، ژنوتیپ شماره ۱۲ و هفت و پس از آن‌ها ژنوتیپ‌های شماره هشت، ۱۱ و دو به ترتیب دارای بیش‌ترین اثر متقابل و کم‌ترین پایداری بودند. همچنین ژنوتیپ شماره چهار با عملکرد متوسط، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ شناسایی شد. بدیهی است که ژنوتیپ‌های مطلوب قبل از پایداری عملکرد باید عملکرد بالاتری نیز داشته باشند بنابراین ژنوتیپ‌های شماره ۱۸، سه و ۱۴ با عملکرد بالاتر از متوسط و درآیه‌ی کم مؤلفه اول، در زمره ژنوتیپ‌های مطلوب بودند. از طرف دیگر، به‌نظر می‌رسد که ژنوتیپ‌های شماره یک، شش، ۱۶ و ۱۷ با عملکرد بالا و پایداری ضعیف، دارای سازگاری خصوصی بودند.

از تغییرات در منبع نویز ادغام شدند. دو مؤلفه نخست که به صورت تجمعی ۶۷/۹ درصد از تغییرات را توجیه کرده و از نظر آماری معنی‌دار بودند، می‌تواند نشان از سودمندی مدل AMMI در تجزیه اثر متقابل باشد. معنی‌داری تعداد مؤلفه‌ها می‌تواند معیاری از پیچیدگی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط باشد و این مورد به تعداد محیط‌ها، مواد ژنتیکی و شرایط آن‌ها بستگی دارد. به‌عنوان نمونه، در پژوهشی که ۱۵ ژنوتیپ بومی نخود در ۱۲ محیط بررسی شده بودند، تعداد پنج مؤلفه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (Pouresmael *et al.*, 2018).

بای‌پلات AMMI1 پراکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها را بر اساس میانگین عملکرد دانه و درآیه‌های مربوط به مؤلفه‌های اصلی اول محیط‌ها و ژنوتیپ‌ها نشان می‌دهد. این بای‌پلات الگویی برای بررسی هم‌زمان عملکرد و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها می‌باشد (شکل ۱). در این تصویر، خط عمود بر محور افقی از میانگین کل آزمایش یعنی ۰/۴۴۷ تن در هکتار می‌گذرد و ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها را بر اساس



شکل ۱- بای‌پلات میانگین عملکرد دانه در برابر مؤلفه اصلی اول (AMMI1) و بای‌پلات مؤلفه اصلی اول در برابر مؤلفه اصلی دوم (AMMI2)

Figure 1. Biplot of the grain yield means versus first principal component (AMMI1) and first principal component versus second principal component (AMMI2)

مهم است و منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های مختلف و توصیه آن‌ها به محیط‌های خاص می‌شود. لازم به اشاره است که از بای‌پلات AMMI1 می‌توان برای ارزیابی محیط‌ها نیز استفاده نمود؛ بنابراین مشابه تفسیرهای فوق، ژنوتیپ‌ها در

در همین باره، Gauch (2013) بیان می‌کند که تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای ژنوتیپ‌هایی که عملکرد دانه پایین‌تری دارند، به نسبت بی‌نتیجه خواهد بود، در حالی که این تجزیه برای ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا بسیار

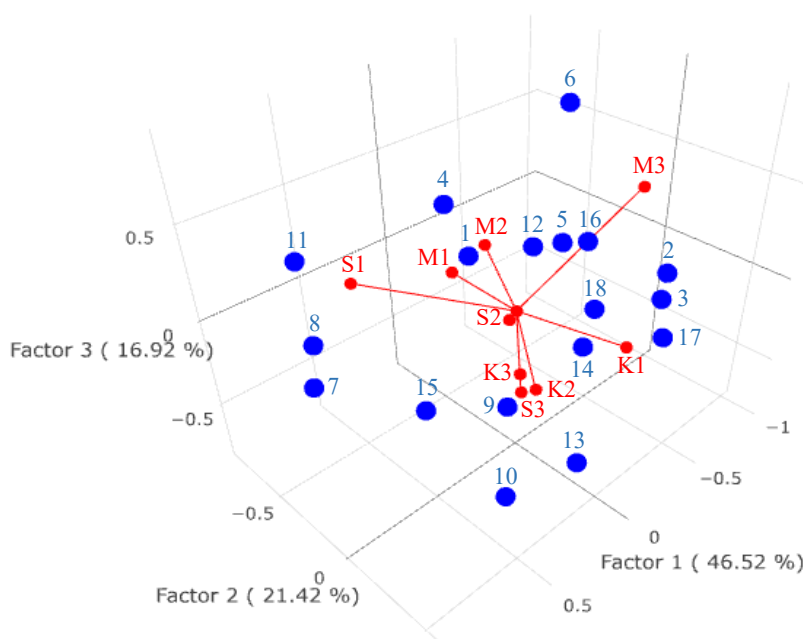
معنی داری داشت و نیز درصدی از تغییرات را توجیه کرد، امکان ترسیم تری پلاتی که در آن هر سه مؤلفه اصلی نخست، به طور همزمان حضور داشته باشند، فراهم شد (شکل ۲). بر این اساس، به نظر می‌رسد که ژنوتیپ‌ها در محیط شیروان سال دوم، کمترین و در محیط مراغه سال سوم و شیروان سال اول، بیشترین اثرمتقابل ژنوتیپ در محیط را داشته‌اند. این نتایج در راستای یافته‌های حاصل از بای پلات AMMI2 بود. استفاده از نمودار سه بعدی AMMI جهت بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها قبلاً گزارش شده است (Darai *et al.*, 2017). گرچه استفاده از مؤلفه‌های اضافی می‌تواند درصد بالاتری از تغییرات را توجیه نماید، اما بایستی توجه داشت که این امر، نه تنها منجر به از بین رفتن دید دو بعدی ساده می‌شود، بلکه ممکن است ساختارهای کاذبی را ارائه دهد (Laffont *et al.*, 2007).

میانگین عملکرد دانه و آماره‌های مختلف AMMI در جدول ۴ ارائه شده است. آماره ASV با بررسی هم-زمان دو مؤلفه اول، نقش مهمی در تفسیر نتایج تجزیه AMMI دارد و بر اساس آن، ژنوتیپ‌های شماره نه، پنج و چهار، پایداری بیش‌تری داشتند. آماره ASI یا شاخص پایداری AMMI همانند آماره ASV از دو مؤلفه نخست بهره می‌برد و بر پایه آن، ژنوتیپ‌های شماره نه، پنج و چهار، پایداری خوبی داشتند. بر پایه آماره AV، ژنوتیپ‌های شماره پنج، نه و ۱۸ پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر اساس معیار فاصله اقلیدسی از مبدأ مؤلفه‌های معنی‌دار یا شاخص DA و همچنین بر طبق فاصله AMMI یا DZ، ژنوتیپ‌های شماره پنج، نه، شش و ۱۸، کمترین اثرمتقابل ژنوتیپ در محیط و بالاترین پایداری را نشان دادند. مطابق با آماره EV یا میانگین مربعات بردار مؤلفه‌ها، ژنوتیپ‌های شماره پنج، نه و شش، از پایداری مطلوبی برخوردار بودند. با برآزش مدل AMMI یا FA، ژنوتیپ‌های شماره پنج، نه و ۱۸ انتخاب شدند. بر اساس آماره SIPC که از مجموع قدر مطلق مقادیر ویژه ژنوتیپی مؤلفه‌های باقی‌مانده استفاده می‌کند، ژنوتیپ‌های شماره پنج، نه و شش، ژنوتیپ‌های پایداری بودند. در انتها مطابق با آماره ZA که ارزش مطلق سهم نسبی مؤلفه‌ها را نشان

ایستگاه مراغه در سال دوم و شیروان در سال اول، به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه را داشتند؛ این امر متأثر از شرایط بارندگی در محیط‌های یاد شده بود.

جهت بررسی سازگاری خصوصی ژنوتیپ‌ها می‌توان بای پلات دیگری ترسیم نمود که در آن، مؤلفه اصلی اول روی محور افقی و مؤلفه اصلی دوم روی محور عمودی باشد. همان‌طور که اشاره شد، تفسیرهای حاصل از بای پلات AMMI2 با درصد توجیه حدود ۶۸ درصدی می‌تواند به‌طور نسبی قابل اطمینان باشد. ژنوتیپ‌های شماره پنج، شش، نه و ۱۸، به مبدأ بای-پلات نزدیک بودند و از پایداری بالایی برخوردارند و از بین آن‌ها، ژنوتیپ‌های شماره شش و ۱۸ با توجه به میانگین عملکرد بالا قابل توصیه به تمام محیط‌ها بودند. کسینوس زاویه بین بردارهای محیطی، تقریبی از میزان همبستگی بین آن‌ها است؛ یعنی محیط‌هایی که زاویه بردارهای آن‌ها کمتر از ۹۰ درجه می‌باشد، به صورت مشابهی ژنوتیپ‌ها را رتبه‌بندی کرده‌اند و یا به عبارت درست‌تر، ژنوتیپ‌ها پاسخ تقریباً یکسانی در این محیط‌ها داشته‌اند. به این ترتیب، محیط‌های کردستان در هر سه سال و شیروان در سال دوم، به‌عنوان یک ابرمحیط در نظر گرفته شدند و ژنوتیپ‌های شماره سه، ۱۰، ۱۳، ۱۴ و ۱۸ واکنش اثرمتقابل مشابه با این محیط‌ها داشتند و به دلیل پاسخ بهتر به محیط‌های مذکور، سازگاری خصوصی نشان دادند. همچنین ژنوتیپ‌های شماره هفت، هشت، ۱۱ و ۱۵، به محیط‌های مراغه سال اول و شیروان سال اول و ژنوتیپ‌های شماره یک، چهار، پنج، شش، نه و ۱۶، به محیط‌های مراغه در سال دوم و سوم و شیروان در سال دوم سازگاری خصوصی داشتند (شکل ۱). الگوی گروه-بندی محیط‌ها تا حد زیادی متأثر از شرایط بارندگی بود (جدول ۱). در پژوهشی به وسیله‌ی Zali *et al.* (2008)، پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های نخود با استفاده از مدل AMMI مورد بررسی قرار گرفت. چهار مؤلفه اصلی، ۹۴ درصد از تغییرات اثرمتقابل ژنوتیپ در محیط را توجیه کردند. همچنین ترسیم بای پلات‌ها، سه ژنوتیپ را به‌عنوان ژنوتیپ پایدار شناسایی نمود که تنها یکی از آن‌ها عملکرد دانه بالاتری داشت. نظر به این‌که مؤلفه اصلی سوم، سطح احتمالی نزدیک به

می‌دهد، ژنوتیپ‌های شماره پنج، نه و چهار به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار معرفی شدند.

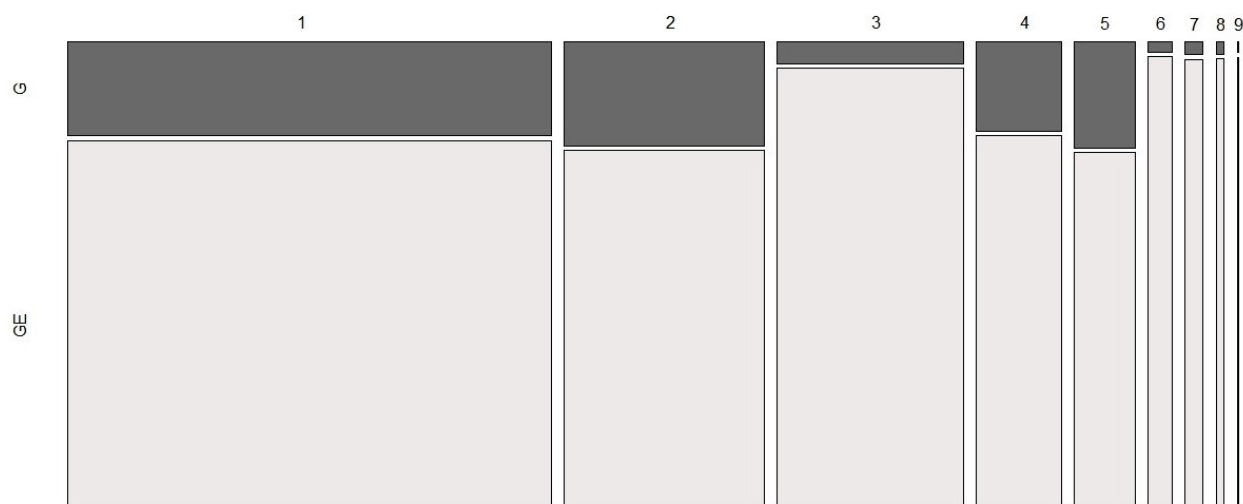


شکل ۲- تری‌پلات سه مؤلفه اصلی اول در مدل AMMI
Figure 2. The first three components of the triplet in the AMMI model

نتایج آماره‌های AMMI که با استفاده از چهار مؤلفه اصلی معنی‌دار محاسبه شده بودند، ژنوتیپ‌هایی را به‌عنوان پایدار شناسایی نمودند که پراکنشی نزدیک به مرکز بای‌پلات AMMI2 داشتند (Abdipour & Vaezi, 2014). این امر ناشی از توجه درصد پایین تغییرات توسط مؤلفه‌های سوم و چهارم بود. با این حال، بدیهی است که آماره‌های AMMI، منجر به رتبه‌بندی تقریباً مشابه ژنوتیپ‌ها از نظر پایداری می‌شود (Vaezi et al., 2018) و نتایج آن‌ها در راستای بای-پلات AMMI2 یا اندکی متفاوت از آن است و انتخاب هر کدام از آن‌ها برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، بستگی به نظر محقق دارد، به‌طوری‌که برخی به دلیل بالا بودن تعداد مؤلفه‌های معنی‌دار در مدل AMMI تنها از آماره‌های آن استفاده کرده‌اند و استفاده از بای‌پلات را توصیه نمی‌کنند (Zali et al., 2012; Karimizadeh et al., 2016). اما در حالت کلی و با توجه به تفسیر ساده بای‌پلات، پژوهش‌گران بیشتر تمایل به استفاده گرافیکی از مدل AMMI دارند. نتایج تجزیه بای‌پلات GGE نشان داد که مؤلفه اول،

۴۵/۵۲ درصد و مؤلفه دوم، ۱۸/۸۱ درصد از تغییرات کل داده‌هایی که اثر اصلی محیط از آن‌ها برچیده شده بود را توجیه کردند. این موضوع می‌تواند توسط طرح موزاییکی به دقیق‌ترین شکل ممکن مورد بررسی قرار گیرد (شکل ۳). در این تصویر، تمام مؤلفه‌ها به صورت ستون‌هایی مشخص می‌باشند و سهم هر مؤلفه از توجیه تغییرات ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به‌ترتیب، با رنگ‌های تیره و روشن به نمایش درآمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در هر دو مؤلفه اول و دوم، تقریباً ۲۰ درصد از تغییرات ناشی از اثر ژنوتیپ بود، در حالی‌که اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، سهم بیشتری از تغییرات را به خود اختصاص داد. بزرگی اثر متقابل نسبت به اثر ژنوتیپ، در راستای گزارشات قبلی است (Dia et al., 2016). Alipour et al. (2019) از طرح موزاییکی استفاده کردند و مفید بودن آن را گزارش نمودند. آگاهی از سهم هر مؤلفه در توجیه اثرات می‌تواند تفسیر بای‌پلات‌های GGE را تسهیل بخشد (Laffont et al., 2007; Laffont et al., 2013).

نتایج آماره‌های AMMI که با استفاده از چهار مؤلفه اصلی معنی‌دار محاسبه شده بودند، ژنوتیپ‌هایی را به‌عنوان پایدار شناسایی نمودند که پراکنشی نزدیک به مرکز بای‌پلات AMMI2 داشتند (Abdipour & Vaezi, 2014). این امر ناشی از توجه درصد پایین تغییرات توسط مؤلفه‌های سوم و چهارم بود. با این حال، بدیهی است که آماره‌های AMMI، منجر به رتبه‌بندی تقریباً مشابه ژنوتیپ‌ها از نظر پایداری می‌شود (Vaezi et al., 2018) و نتایج آن‌ها در راستای بای-پلات AMMI2 یا اندکی متفاوت از آن است و انتخاب هر کدام از آن‌ها برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، بستگی به نظر محقق دارد، به‌طوری‌که برخی به دلیل بالا بودن تعداد مؤلفه‌های معنی‌دار در مدل AMMI تنها از آماره‌های آن استفاده کرده‌اند و استفاده از بای‌پلات را توصیه نمی‌کنند (Zali et al., 2012; Karimizadeh et al., 2016). اما در حالت کلی و با توجه به تفسیر ساده بای‌پلات، پژوهش‌گران بیشتر تمایل به استفاده گرافیکی از مدل AMMI دارند. نتایج تجزیه بای‌پلات GGE نشان داد که مؤلفه اول،



شکل ۳- طرح موزاییکی نمایش سهم مؤلفه‌های اصلی از واریانس ژنوتیپ (G) + اثرمتقابل ژنوتیپ و محیط (GE)
Figure 3. Mosaic plot to show the component contribution of the variance G + GE

الگو که با عنوان کدام/برتر/کجا نیز نامیده می‌شود، در شکل ۴ به نمایش درآمده است. ژنوتیپ ۱۲ به محیط مراغه و شیروان در سال سوم، سازگاری خصوصی نشان داد و ژنوتیپ شماره شش در محیط‌های مراغه و شیروان در سال دوم، بیشترین عملکرد را داشت. همچنین ژنوتیپ شماره سه به محیط‌های کردستان در هر سه سال، سازگاری خصوصی نشان داد. این وضعیت برای ژنوتیپ شماره ۱۴ و محیط مراغه سال اول و نیز ژنوتیپ شماره هفت و محیط شیروان سال اول به همین صورت بود. نتایج نشان داد که رفتار برخی مکان‌ها از جمله ایستگاه کردستان در گزینش ژنوتیپ‌ها در همه سال‌ها مشابه بود، اما ایستگاه‌های مراغه و شیروان در گزینش ژنوتیپ‌ها طی سه سال مورد بررسی متفاوت از هم عمل کردند. *Kanouni et al* (2016) در بررسی پایداری لاین‌های نخود با استفاده از بای‌پلات GGE نشان دادند که برخی از ایستگاه‌ها در سال‌های مورد بررسی در یک گروه محیطی کلان قرار نمی‌گیرند. بنابراین به نظر می‌رسد شناخت الگوی تکرارپذیری ژنوتیپ‌های برتر در هر مکان از سالی به سال دیگر تحت شرایط دیم، با چالش همراه است. گرچه ژنوتیپ شماره ۱۰ جزو ژنوتیپ‌های رأسی بود، اما در هیچ یک از محیط‌ها عملکرد بالایی از خود نشان نداد. همانند بای‌پلات‌های مدل AMMI2، در این‌جا نیز ژنوتیپ‌هایی که نزدیک

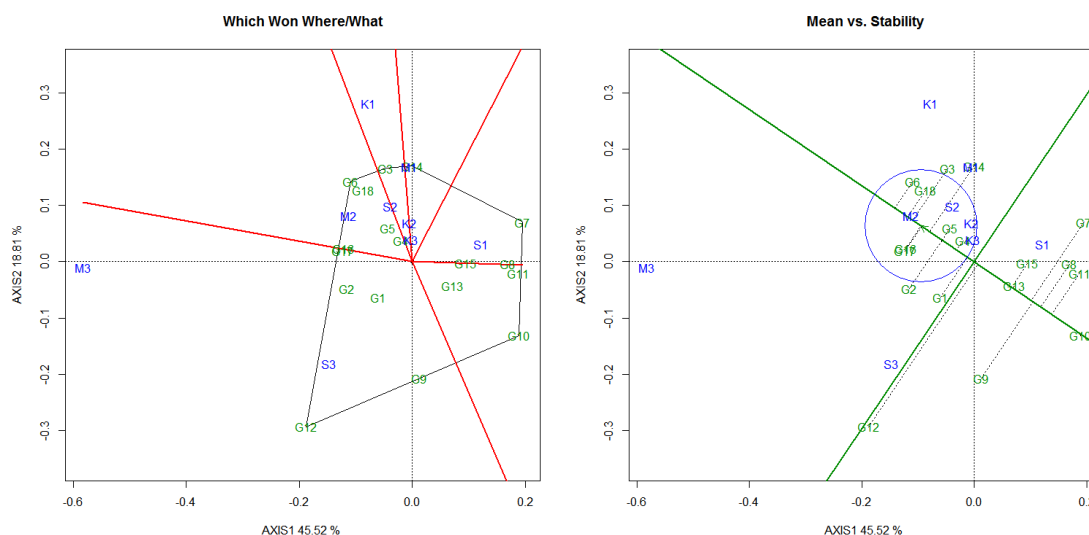
در الگوی عملکرد در برابر پایداری، محور AEC^1 راستای هیچ‌کدام از مؤلفه‌ها نیست (شکل ۴)، زیرا سهم تغییرات هر مؤلفه از توجیه اثر ژنوتیپ یا اثرمتقابل ژنوتیپ در محیط برابر است. از آن جایی که تصویر ارقام بر روی محور AEC تقریبی از عملکرد ژنوتیپ‌ها است، بنابراین ژنوتیپ‌های شماره شش، ۱۸ و سه، بیشترین عملکرد و ژنوتیپ شماره ۱۰ کمترین عملکرد را داشتند. رتبه‌بندی صورت گرفته بر اساس محور AEC به‌طور دقیق، بیانگر واقعیت نیست، زیرا ۳۶ درصد از تغییرات را شامل نمی‌شود، اما نتایج آن تا حدود زیادی به واقعیت نزدیک است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بای‌پلات AMMI1 نسبت به بای‌پلات GGE به شکل دقیق‌تری عملکرد ارقام را به تصویر می‌کشد. از سوی دیگر، فاصله از محور AEC تقریبی از میزان اثرمتقابل ژنوتیپ در محیط است. به این ترتیب، ژنوتیپ‌های شماره ۱۲، هفت و نه، بیشترین اثرمتقابل و کمترین پایداری را داشتند، در حالی که ژنوتیپ‌های شماره ۱۰ و ۱۳ که عملکرد پایین‌تری نیز از خود نشان دادند، دارای اثرمتقابل کوچک‌تر و پایداری بیشتری بودند.

با اتصال ژنوتیپ‌های رأسی که بیشترین فاصله را از مبدأ بای‌پلات دارند، یک چندضلعی ترسیم می‌شود که سایر ژنوتیپ‌ها در داخل آن محصور می‌مانند. این

¹ Average Environment Coordination

اندکی در رابطه با اثر ژنوتیپ یا اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در اختیار می‌گذارند. با مقایسه دو روش درمی‌یابیم که نتایج بای‌پلات GGE تا حدودی مشابه با نتایج AMMI بود و تفاوت‌ها، ناشی از دخالت اثر اصلی محیط در مدل AMMI است.

مرکز بای‌پلات واقع شدند، از اثر متقابل کمتری برخوردار بودند. محیط‌های آزمون نزدیک به مرکز بای‌پلات (کردستان سال دوم و سوم) این مفهوم را می‌رسانند که عملکرد نسبی همه ژنوتیپ‌ها در آن محیط‌ها مشابه هستند؛ بنابراین این محیط‌ها اطلاعات



شکل ۴- الگوی بررسی هم‌زمان عملکرد و پایداری و الگوی چندضلعی بر اساس روش بای‌پلات GGE
Figure 4. Mean vs. stability and polygon patterns based on GGE biplot method

ضعیف بود، اما ژنوتیپ‌های شماره یک (ILC 484)، سه (FLIP 86-6C)، شش (FLIP 93-58C)، ۱۲ (FLIP 07-105C) و ۱۴ (FLIP 08-10C) با توجه به عملکرد بالا می‌توانند در سازگاری خصوصی مورد استفاده قرار گیرند و منابع ژنتیکی مطلوبی برای معرفی ارقام متحمل به تنش خشکی و سرما در دیم-زارهای مورد مطالعه باشند.

سپاسگزاری

از مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور به خاطر مساعدت و همکاری در انجام این پژوهش، تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

معنی‌داری دو مؤلفه اصلی در مدل AMMI که نشان از عدم وجود اثر متقابل پیچیده بود منجر شد تا آماره‌های چندمتغیره، نتایجی مشابه با بای‌پلات AMMI2 داشته باشند؛ بنابراین استفاده از آماره‌های AMMI در صورت باقی‌ماندن تعداد مؤلفه بیشتر در مدل توصیه می‌شود. همچنین یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که نتایج مدل‌های AMMI و بای‌پلات GGE تا حدودی مشابه هم می‌باشند. ژنوتیپ‌های شماره ۱۶، ۱۷ و ۱۸ که به ترتیب ارقام شاهد ثمین، قزوین و جم بودند، عملکرد دانه و پایداری عملکرد مطلوبی از خود نشان دادند. با وجود این که امکان انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار در بین لاین‌ها نسبت به ارقام شاهد

REFERENCES

1. Abdipur, M. & Vaezi, B. (2014). Analysis of the genotype-by-environment interaction of winter barley tested in the rain-fed regions of Iran by AMMI adjustment. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20(2), 421-427.

2. Ajay, B. C., Bera, S. K., Singh, A. L., Kumar, N., Gangadhar, K. & Kona, P. (2020). Evaluation of genotype \times environment interaction and yield stability analysis in peanut under phosphorus stress condition using stability parameters of AMMI model. *Agricultural Research*, 9(4), 477-486.
3. Akbarpour, O. A., Dehghani, H. & Sorkhi, B. (2011). Investigating univariate and multivariate stability parameters of barley (*Hordeum vulgare* L.) promising genotypes in cold climate of Iran. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41(1), 23-32. (In Persian)
4. Alipour, H., Abdi, H., Rahimi, Y. & Bihamta, M. R. (2019). Investigating grain yield and yield stability of wheat cultivars introduced in Iran over the last half century. *Cereal Research*, 9(2), 157-167. (In Persian)
5. Annicchiarico, P. & Perenzin, M. (1994). Adaptation patterns and definition of macro-environments for selection and recommendation of common wheat genotypes in Italy. *Plant Breeding*, 113(3), 197-205.
6. Annicchiarico, P. (1997). Joint regression vs AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. *Euphytica*, 94(1), 53-62.
7. Babaei, H. R., Sabzi, H. & Razmi, N. (2018). Application of AMMI approach in genotype \times environment interaction analysis and determining yield stability of soybean purelines [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(1), 129-137. (In Persian)
8. Darai, R., Sarker, A., Sah, R. P., Pokhrel, K. & Chaudhary, R. (2017). AMMI biplot analysis for genotype \times environment interaction on yield trait of high Fe content lentil genotypes in Terai and Mid-Hill environment of Nepal. *Annals of Agricultural and Crop Sciences*, 2(1026), 1028-1032.
9. Dia, M., Wehner, T. C., Hassell, R., Price, D. S., Boyhan, G. E., Olson, S., King, S., Davis, A. R., Tolla, G. E., Bernier, J. & Juarez, B. (2016). Value of locations for representing mega-environments and for discriminating yield of watermelon in the US. *Crop Science*, 56(4), 1726-1735.
10. Farshadfar, E., Sabaghpour, S. H. & Zali, H. (2012). Comparison of parametric and non-parametric stability statistics for selecting stable chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under diverse environments. *Australian Journal of Crop Science*, 6(3), 514-524.
11. Gauch, H. G. (2013). A simple protocol for AMMI analysis of yield trials. *Crop Science*, 53(5), 1860-1869.
12. Gauch, H. G., Piepho, H. P. & Annicchiarico, P. (2008). Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further considerations. *Crop Science*, 48(3), 866-889.
13. Jambhulkar, N. N., Rath, N. C., Bose, L. K., Subudhi, H. N., Biswajit, M., Lipi, D. & Meher, J. (2017). Stability analysis for grain yield in rice in demonstrations conducted during rabi season in India. *Oryza*, 54(2), 236-240.
14. Kanouni, H., Farayedi, Y., Sabaghpour, S. H. & Saeid, A. (2016). Assessment of genotype \times environment interaction effect on seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) lines under rainfed winter planting conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 18(1), 63-75. (In Persian)
15. Karakoy, T., Ton, A. & Anlarsal, A. E. (2018). Genotype \times environment interactions and stability analysis for the yield and yield components in winter chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Fresenius Environmental Bulletin*, 27, 6291-6296.
16. Karimizadeh, R., Asghari, A., Chinipardaz, R., Sofalian, O. & Ghaffari, A. (2016). Determining yield stability and model selection by AMMI method in rain-fed durum Wheat genotypes. *Turkish Journal of Field Crops*, 21(2), 174-183.
17. Laffont, J. L., Hanafi, M. & Wright, K. (2007). Numerical and graphical measures to facilitate the interpretation of GGE biplots. *Crop Science*, 47(3), 990-996.
18. Laffont, J. L., Wright, K. & Hanafi, M. (2013). Genotype plus genotype \times block of environments biplots. *Crop Science*, 53(6), 2332-2341.

19. Ndhlela, T., Herselman, L., Magorokosho, C., Setimela, P., Mutimaamba, C. & Labuschagne, M. (2014). Genotype \times environment interaction of maize grain yield using AMMI biplots. *Crop Science*, 54(5), 1992-1999.
20. Pouresmael, M., Kanouni, H., Hajihassani, M., Astraki, H., Mirakhorli, A., Nasrollahi, M. & Mozaffari, J. (2018). Stability of chickpea (*Cicer arietinum* L.) landraces in national plant gene bank of Iran for drylands. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(2), 387-400.
21. Purchase, J. L. (1997). Parametric analysis to describe genotype \times environment interaction and yield stability in winter wheat. Ph.D. thesis, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture of the University of the Free State, Bloemfontein, South Africa.
22. Samonte, S. O. P., Wilson, L. T., McClung, A. M. & Medley, J. C. (2005). Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. *Crop Science*, 45(6), 2414-2424.
23. Shahriari, Z., Heidari, B. & Dadkhodaie, A. (2018). Dissection of genotype \times environment interactions for mucilage and seed yield in *Plantago* species: Application of AMMI and GGE biplot analyses. *Plos One*, 13(5), e0196095.
24. Sneller, C. H., Kilgore-Norquest, L. & Dombek, D. (1997). Repeatability of yield stability statistics in soybean. *Crop Science*, 37(2), 383-390.
25. Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mehraban, A., Hossein-Pour, T., Mohammadi, R., Armion, M. & Dorri, M. (2018). The use of parametric and non-parametric measures for selecting stable and adapted barley lines. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(5), 597-611.
26. Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S. & Cornelius, P. L. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47(2), 643-653.
27. Zali, H., Farshadfar, E. & Sabaghpour, S. H. (2011). Evaluation of stability of grain yield and contribution of the yield components in chickpea genotypes under rainfed contribution. *Crop Production in Environmental Stress*, 3, 17-30. (In Persian)
28. Zali, H., Farshadfar, E., Sabaghpour, S. H. & Karimizadeh, R. (2012). Evaluation of genotype \times environment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI model. *Annals of Biological Research*, 3(7), 3126-3136.
29. Zali, H., Sabaghpour, S. H., Farshadfar, E., Pezeshkpour, P., Safikhani, M., Sarparast, R. & Hashem Beygi, A. (2008). Stability analysis of yield in Chickpea genotypes by additive main effects and multiplicative interaction (AMMI). *Journal of Water and Soil Science*, 11(42), 173-180. (In Persian)
30. Zhang, Z., Lu, C. & Xiang, Z. (1998). Analysis of variety stability based on AMMI model. *Acta Agronomica Sinica*, 24(3), 304-309.
31. Zobel, R. W., Wright, M. J. & Gauch, H. G. (1988). Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80, 388-393.