



مطالعه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) توسط مدل AMMI

پروانه لطیفی، عبدالله نجفی^{*}، لیلا زارعی

گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۷/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۵

چکیده

اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باعث ایجاد پیچیدگی در پیش‌بینی عملکرد می‌شود و چالشی برای برنامه‌های به‌زراعی و به‌نژادی است. هدف از این تحقیق بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و مطالعه سازگاری و پایداری عملکرد ۲۱ ژنوتیپ جو با استفاده از تجزیه مدل اثرات اصلی افزایشی و ضرب‌پذیر (AMMI) است. آزمایش حاضر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو تکرار طی سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳، ۹۵-۱۳۹۴، ۹۶-۱۳۹۵ در دو شرایط دیم و آبی (درمجموع شش محیط) اجرا شد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد برای اثرات سال، ژنوتیپ، ژنوتیپ × سال، سال × مکان و سال × مکان × ژنوتیپ نشان داد. مؤلفه اول و دوم در تجزیه امی به ترتیب ۵۲/۷۸ و ۲۶/۰۰ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را به خود اختصاص دادند. با توجه به مقادیر عددی مؤلفه‌های اثر متقابل ژنوتیپی و رتبه ژنوتیپ‌ها، مشخص شد که ژنوتیپ‌های ۲، ۴، ۵، ۸، ۱۰، ۱۳ و ۲۰ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از پایداری عملکرد بیشتری برخوردار بوده‌اند. همچنین طبق شاخص ارزش پایداری امی (ASV)، به-ترتیب ژنوتیپ‌های ۱۵، ۹، ۱۲، ۱۸، ۵، ۴، ۱۰، ۱۶، ۲، ۶، ۷ و ۸ به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار تعیین شدند. از میان ژنوتیپ‌های پایدار ژنوتیپ‌های ۱۰ و ۱۳ (Roho/4/Zanbaka/3/ER/Apm//Lignee131/5/Otis) و ۲ (Zarjau/80-) (Baladielawaia/5/AwBlack/Aths//Arar/3/9Cr279-07/Roho/4/DD-14/Rhn-03) و ۵ (5151//Skorohod/3/Robur/WA2196-68//DZ40-66) دارای عملکرد دانه بالاتری بودند؛ بنابراین می‌توان این ژنوتیپ‌ها را برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی آبی جهت معرفی ارقام جدید پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، ارزش پایداری امی، شرایط آبی، شرایط دیم.

مقدمه

اکولوژیکی و تولید ۱۴۴/۲ میلیون تن در سال با سطح زیر کشت ۴۸/۱۲ میلیون هکتار، یکی از مهم‌ترین غلات دنیا به شمار می‌رود. طبق آمار فائو ایران با تولید سالیانه ۳/۱ میلیون تن و سطح زیر کشت ۱/۶۰ میلیون هکتار در رده نهم کشور-های تولیدکننده این محصول قرار دارد (FAO, 2018). واکنش بین ژنوتیپ‌ها و اثرات محیطی را اثر متقابل ژنوتیپ و محیط^۱ (GEI) می‌گویند (Brandiej and Meverty, 1994) اگر اثر متقابل ژنوتیپ و محیط معنی‌دار باشد گزینش ژنوتیپ‌های برتر را با مشکل مواجه می‌کند

جو (*Hordeum vulgare* L.) بعد از گندم، ذرت و برنج، چهارمین غله‌ای است که به‌منظور استفاده دانه کشت می‌شود و دارای انواع دیپلوئید و پلی‌پلوئید چندساله و یک‌ساله بوده و در سراسر جهان پراکنده است. جو دارای سازگاری اکولوژیکی بالایی نسبت به سایر گیاهان خانواده غلات و دامنه تحمل وسیع‌تری نسبت به تنش‌های محیطی از جمله خشکی، شوری و شرایط قلیایی خاک است. این ویژگی‌ها جو را به مدلی ایده‌آل برای پژوهش‌های مختلف تبدیل کرده است (Koocheki et al., 2012). این گیاه با سازگاری وسیع

¹ Genotypes and Environments Interaction

تفسیر نمایند. از این‌رو، استفاده از روش‌های چندمتغیره برای رفع این مشکل پیشنهاد شده است (Shiri et al., 2015). یکی از آماره‌های پارامتری چندمتغیره، مدل تجزیه آثار اصلی جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر امی (AMMI^۱) است. مدل امی با نقطه‌یابی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها بر روی بای‌پلات موقعیت ژنوتیپ‌ها را نسبت به یکدیگر و محیط‌های موردبررسی شناسایی می‌کند. در مدل امی آثار اصلی جمع‌پذیر ژنوتیپ و محیط با استفاده از تجزیه واریانس برآورد می‌شوند، ولی از آنجاکه واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها از یک محیط به محیط دیگر باعث اثر متقابل ضرب‌پذیر می‌شود و تجزیه واریانس قادر به تجزیه این آثار نیست، با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل و مقدار باقیمانده تفکیک می‌گردد. (Azizi et al., 2016). جهت تفکیک بین AMMI و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی^۲ پارامترهای ضرب‌پذیر امی را با IPCA نشان می‌دهند. با استفاده از نمودار پلات دوگانه تجزیه AMMI هم ژنوتیپ‌ها و هم مکان‌ها در یک اسکترگرام نمایش داده می‌شوند و تفسیر اثر متقابل مکان‌های خاص میسر می‌گردد. مدل آماری AMMI به‌صورت زیر ارائه شده است.

$$X_{ij0} = \mu + a_i + Y_j + \sum_{m=1}^N \lambda a_{im} y_{jm} + p_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad [۱]$$

که در آن X_{ij0} میانگین ژنوتیپ، μ میانگین کل، a_i اثر ژنوتیپ، Y_j اثر محیط λ_n مقدار انفرادی است که جذر λ_n یعنی یک مقدار ویژه است. P_{ij} تفاوت مقدار برآورد شده با مقدار واقعی را نشان می‌دهد و ε_{ijk} مقدار باقیمانده است. در این مدل a_{im} بردار ویژه ژنوتیپ و y_{jm} بردار ویژه محیط است. مدل امی تلفیقی از دو مدل تجزیه واریانس مرکب و تجزیه به مؤلفه اصلی است؛ یعنی مرکب از دو مدل جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر است، لذا ایرادات و معایب هیچ‌یک از دو روش بیان‌شده را ندارد به همین دلیل به آن AMMI می‌گویند (Safavi and Bahraminejad, 2017) ارزش پایداری امی (ASV) نیز با استفاده از فرمول زیر که برای اولین بار توسط پورچاس (Purchase, 1997) ارائه گردید، محاسبه می‌شود.

$$ASV = \sqrt{\frac{IPCA1SS}{IPCA2SS} (IPCA1_{Score}) + (IPCA2_{Score})} \quad [۲]$$

(Shaffi and Price, 1998). در رابطه با اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، دو موضوع سازگاری و پایداری ارقام مطرح می‌شود و در صورت وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط پایداری ارقام کاهش می‌یابد و این امر سبب کاهش بازدهی ارقام در محیط‌های مختلف می‌شود (Farshadfar, 1998). از روش‌های کاهش اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و نیز افزایش عملکرد، انتخاب و معرفی لاین‌های با عملکرد بالا و پایدار در مناطق مختلف است (Kang, 1993). سازگاری عبارت است از پتانسیل ژنتیکی ژنوتیپ‌ها برای حصول عملکرد بالا در محیط‌های مختلف. پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های که دارای پتانسیل عملکرد بالایی هستند ولی در شرایط محیطی مختلف عملکرد پایینی دارند بایستی مورد ارزیابی قرار بگیرد تا ژنوتیپ‌های سازگار برای مناطق خاص معرفی گردند (Bhartiya et al., 2017). پایداری یک محصول درواقع عبارت از توانایی آن جهت بقاء در محیطی خاص است؛ یعنی یک گیاه بایستی قادر باشد سرما، گرما، کمبود یا زیاد بودن آب، تغییرات طول روز، شدت نور و دامنه وسیعی از شرایط شیمیایی و فیزیکی خاک را تحمل نماید (Bakhshyeshi Gheshlagh and Bakhshyeshi Gheshlagh, 2012). یکی از موضوعات اساسی در مطالعات اصلاح نباتات است به‌ویژه زمانی که اثر متقابل ژنوتیپ و محیط شدید باشد، گزینش و توصیه ارقام پایدار را با مشکل مواجه و پیشرفت گزینش را کند می‌کند (Adjabi et al., 2014).

مطالعه سازگاری ارقام در شرایط مختلف محیطی در برنامه‌های اصلاح نباتات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اصلاح ارقام سازگار با یک محیط خاص از نظر اقتصادی نیازمند صرف هزینه سنگین و وقت زیاد است، لذا بایستی ارقامی را تهیه کرد که بتوان در بیشتر از یک محیط و حتی برای چند محیط متفاوت آن‌ها را توصیه نمود؛ یعنی رقمی که بهترین سازگاری و عملکرد قابل‌قبول در محیط‌های مختلف داشته باشد (Sadeghzadeh Ahari et al., 2005). روش‌های گوناگونی برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار ارائه شده است که شامل روش‌های تک‌متغیره، چندمتغیره و ناپارامتری هستند (Khamari et al., 2018). اگرچه محاسبه و استفاده از روش‌های تک‌متغیره، پارامتری و ناپارامتری آسان است، ولی این روش‌ها نمی‌توانند ماهیت پیچیده و چندبعدی اثر متقابل را به‌خوبی

² Principal Component Analysis

¹ Additive main effect and the multiplicative interaction analysis

شد. در این آزمایش ۲۱ ژنوتیپ جو، جدول (۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار تحت دو شرایط آبی و دیم کشت شد. هر کرت آزمایش شامل ۴ ردیف کاشت به طول ۲ متر با تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع، فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌ها ۳۰ سانتی‌متر بود. عملیات کاشت به‌صورت دستی انجام گرفت. در طول فصل رشد و نمو، عملیات زراعی شامل وجین علف‌های هرز و آبیاری به‌طور مرتب انجام شد. پس از اتمام بارندگی‌ها در بهار عملیات آبیاری در دو مرحله (گلدھی و دانه‌بندی) به فاصله ۱۴ روز به‌طور یکنواخت در آزمایش آبی انجام گرفت. پس از رسیدگی فیزیولوژیک، در هر کرت دو ردیف کناری و ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای دو ردیف وسط به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته و عملکرد به‌دست‌آمده برای یک مترمربع محاسبه شد. مشخصات جغرافیایی محل اجرای آزمایش شامل عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۱۹ متر بود. میزان بارندگی نیز در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳، ۹۵-۱۳۹۴، ۹۶-۱۳۹۵ به ترتیب ۵۰۳/۲، ۲۳۲/۷ و ۴۵۶/۱ میلی‌متر بود. با توجه به اینکه آزمایش‌های بررسی عملکرد ژنوتیپ‌های جو برای داده‌های سه‌ساله در یک مکان و در دو شرایط مختلف اجرا شده، لذا داده‌های مربوط به مکان و سال‌ها در قالب محیط ادغام و تجزیه مرکب داده‌ها بر اساس شش محیط انجام شد. تجزیه واریانس مرکب با فرض ثابت بودن اثر ژنوتیپ و مکان و تصادفی بودن اثر سال با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. تجزیه AMMI و محاسبه مقادیر مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل برای تمام ژنوتیپ‌ها و ترسیم بای-پلات‌ها و محاسبه شاخص پایداری ASV با استفاده از نرم‌افزار (IRRISTAT IRRI, 2000) صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد اثرات سال، ژنوتیپ، اثرات متقابل سال و مکان، ژنوتیپ و سال و اثر متقابل ژنوتیپ × سال × مکان برای عملکرد دانه معنی‌دار بود (داده‌ها آورده نشده است). معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ در سال و مکان نشان می‌دهد که یک ژنوتیپ در سال‌های مختلف عملکرد متفاوت داشته است، این موضوع اصلاح ژنوتیپ‌های پایدار را مشکل می‌کند (Badooei Delfard et al., 2016). میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شش محیط در جدول (۲) آورده شده است.

IPCA1SS مجموع مربعات مؤلفه اصلی اول برای ژنوتیپ‌ها، IPCA2SS مجموع مربعات مؤلفه اصلی دوم برای ژنوتیپ‌ها، $IPCA_{score}$ نمره مؤلفه اصلی برای ژنوتیپ نام، $IPCA2_{score}$ نمره مؤلفه اصلی دوم برای ژنوتیپ نام، ASV ارزش پایداری امی است. مدل امی کمیت پایداری را به‌صورت کمی برآورد نمی‌کند و اندازه کمی پایداری به‌منظور رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس پایداری عملکرد آن‌ها بسیار ضروری است از این‌رو ارزش پایداری (ASV) به‌عنوان شاخصی برای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر مبنای مدل امی ارائه شد (Farshadfar, 2010). محمدی‌نژاد و رضایی (Mohammadinejad and Rezaei, 2005) از روش AMMI جهت تعیین پایداری نه ژنوتیپ یولاف در شش محیط (شرایط مختلف رشد و نمو شامل سه تاریخ کاشت و سه تراکم کاشت متفاوت) استفاده کردند.

طبق نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه ۷۰ درصد از تنوع موجود توسط دو مؤلفه اصلی توجیه شد. تقی‌زاده و همکاران (Taghizadeh et al., 2016) در بررسی پایداری ژنوتیپ‌های جو سردسیر با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره طی دو سال نشان دادند که ژنوتیپ‌های EC88-10، EC86-07 از پایداری عملکرد بیشتری برخوردارند. در آزمایشی در ایستگاه تحقیقاتی سرارود در کرمانشاه، ۱۴ ژنوتیپ گندم نان در سه سال متوالی در دو شرایط دیم و آبی با استفاده از روش AMMI موردبررسی و ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند (Farshadfar et al., 2011). بدوئی دلفارد و همکاران (Badooei Delfard et al., 2016) در مطالعه برهمکنش ژنوتیپ و محیط با استفاده از روش امی در ۱۰ رقم جو نشان دادند که ارقام گرگان ۴، ماکوئی و نصرت دارای پایداری عمومی بوده و نسبت با سایر ارقام مورد مطالعه کمترین برهمکنش را با محیط دارند.

هدف از پژوهش حاضر، تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش جو به‌منظور ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها و شناسایی ژنوتیپ‌های دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های آبی و دیم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر به‌منظور ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تعیین پایداری تعدادی ژنوتیپ جو در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی دانشگاه رازی طی سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳، ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ در دو شرایط دیم و آبی اجرا

بیشترین عملکرد مربوط به ژنوتیپ‌های ۹، ۱ و ۱۲ به-
ترتیب با میانگین عملکرد ۴۳۲/۹۴، ۴۳۰/۴۱ و ۳۸۰/۱۹ گرم
در مترمربع و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ‌های ۴، ۱۷ و ۱۹
با میانگین عملکرد ۲۷۰/۲۵، ۲۳۷/۶۷ و ۲۳۶/۳۴ گرم در

مترمربع بود. شدت تنش در این آزمایش با فرمول $1 - \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p}$
محاسبه و برابر ۰/۳۲ تخمین شد.

جدول ۱. مشخصات ژنوتیپ‌های مورد استفاده در این آزمایش

Table 1. Characteristics of used genotypes in the experiment

کد ژنوتیپ	نام/شجره	تعداد ردیف در سنبله
Genotype code	Pedigree/Names	Number of rows per spike
1	CWB117-77-9-7/ICB-102893/Sonata/3/Victoria/Tirchmir-43	2
2	Zarjau/80-5151//Skorohod/3/Robur/WA2196-68//DZ40-66	6
3	CWB117-77-9-7//Antares/Ky63-1294/3/CWB117-77-9-7//Hml-02/ArabiAbiad*2	2
4	K-334/Sararood-1-1	2
5	K-334/Sararood-1-2	2
6	K-334/Sararood-1-3	2
7	Matnan-01	6
8	Baladieldawaia/5/AwBlack/Aths//Arar/3/9Cr279-07/Roho/4/DD-14/Rhn-03	6
9	Arta//Sonata/Arta	2
10	Roho/4/Zanbaka/3/ER/Apm//Lignee131/5/Otis	2
11	Tadmor/Tea	2
12	Rhn-03/Osiris	2
13	Rhn-03//Lignee527/NK1272/3/Lignee527/Chn-01//Alanda/4/Osiris	2
14	Alpha/Durra//CWB117-77-9-7/3/SLB05-96	2
15	Carina/W12291//WI3257	2
16	Cerise/Lignee1479//Moroc9-75/PmB/3/JLB37-74/H.spont.41-5//JLB37-74/H.spont.41-5	2
17	Carina/W12291//Tantangara	2
18	SLB05-096/Arta/6/WI2291/4/7028/2759/3/69-82//Ds/Apro/5/Zanbaka/3/ER/Apm//Lignee131	2
19	ArabiAbiad/Arar//H.spont.41-5/Tadmor/3/Sara	2
20	ChiCm/An57//Albert/3/Alger/Ceres362-1-1/4/Arta	2
21	Sararood 1 (Check)	2

تجزیه AMMI

ترتیب ۵۲/۷۸، ۲۶/۰۰، ۱۵/۴۳ و ۴/۱۷ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را به خود اختصاص دادند. سهم اثر باقیمانده ۱/۶۲ درصد از مجموع مربعات بود.

ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بالای اولین مؤلفه اصلی (مثبت یا منفی) اثر متقابل بالایی با محیط دارند درحالی‌که ژنوتیپ‌ها و محیط‌های دارای مقادیر اولین مؤلفه اصلی نزدیک به صفر دارای اثر متقابل پایینی هستند (Fikre et al., 2018) بر این اساس با توجه به جدول (۴) ژنوتیپ‌های ۲، ۴، ۵، ۸، ۱۰، ۱۳ و ۲۰ دارای مقادیر کمتر مؤلفه اول اثر متقابل بودند و علاوه بر این میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های ۲، ۸، ۱۳ و ۲۰ مناسب و بیشتر از میانگین کل بود و بنابراین به‌عنوان

به‌منظور مطالعه ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ و محیط از روش آمی استفاده شد. نتایج تجزیه واریانس مدل آمی برای اثرات محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج حاکی از اختلاف معنی‌دار ژنوتیپ، اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و مؤلفه‌های اول تا چهارم اثر متقابل برای عملکرد دانه بود. با استفاده از این چهار مؤلفه سهم هر ژنوتیپ در اثر متقابل مشخص شد. هر چه سهم ژنوتیپ از اثر متقابل کمتر باشد نشان‌دهنده پایداری بیشتر آن ژنوتیپ است. معنی‌دار بودن مؤلفه‌های اثر متقابل بیانگر برازش خوب مدل آمی با داده‌ها بود. مؤلفه اول تا چهارم به

جدول ۲. میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها برای عملکرد دانه در ۶ محیط

Table 2. Mean grain yield of genotypes tested across six environments

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه grain yield (g/m ²)	ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه grain yield (g/m ²)
1	430.41	12	380.19
2	362.65	13	305.08
3	356.56	14	312.81
4	270.25	15	331.14
5	273.65	16	280.00
6	341.77	17	237.67
7	281.87	18	314.70
8	335.94	19	236.34
9	432.94	20	326.62
10	321.82	21	366.19
11	349.82		
Min	کمترین	236.34	
Max	بیشترین	432.94	
Mean	میانگین	326.1	
LSD5%		121.28	

ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا معرفی شدند. برای استفاده همزمان از تمام مؤلفه‌ها از ارزش پایداری امی استفاده شد (جدول ۴). این شاخص از تقسیم مجموع مربعات IPCA1 (مؤلفه اول اثر متقابل) به مجموع مربعات IPCA2 (مؤلفه دوم اثر متقابل) برای هر ژنوتیپ به دست آمد. هرچقدر میزان آماره ASV به مبدأ مختصات نزدیک‌تر شود، آن ژنوتیپ پایدارتر است. همچنین هر چه مقدار ارزش پایداری امی کمتر باشد ژنوتیپ پایدارتر است (Abdolshahi et al., 2013). بر این اساس ژنوتیپ‌های ۹، ۱۲، ۱۸، ۵، ۱۰، ۴، ۱۶، ۲، ۶، ۷ و ۸ دارای کمترین مقادیر ارزش پایداری امی و همچنین عملکرد بالاتر از عملکرد متوسط به عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند.

جدول ۳. تجزیه واریانس امی برای عملکرد ۲۱ دانه ژنوتیپ جو در ۶ محیط

Table 3. AMMI analysis of variance for grain yield of 21 barley genotypes over six environments

Source of variation	منبع تغییر	درجه آزادی df	مجموع مربعات sum of squares	میانگین مربعات means of squares	درصد مجموع مربعات Total sum of squares
Genotype	ژنوتیپ	20	339707	16985.4**	4.9
Environment	محیط	5	6014580	1202916**	87.7
Genotype × environment	ژنوتیپ × محیط	100	504076	5040.76**	7.4
1 st component of the interaction	مؤلفه اول اثر متقابل	24	266099	11087.5**	52.78
2 nd component of the interaction	مؤلفه دوم اثر متقابل	22	131102	5959.16**	26.00
3 rd component of the interaction	مؤلفه سوم اثر متقابل	20	77814.1	3890.71**	15.43
4 th component of the interaction	مؤلفه چهارم اثر متقابل	18	21032.9	1168.50*	4.17
Residual	باقیمانده	16	8027.67	-	1.59
Total	کل	125	6858360	-	-

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪

* and ** Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول (۵) مقادیر میانگین، مؤلفه اول و دوم و ارزش پایداری امی را برای ۶ محیط نشان می‌دهد. با توجه به این جدول ژنوتیپ‌ها و محیط‌های با مقادیر کمتر مؤلفه اول اثر متقابل، نقش کمتری در اثر متقابل دارند و در نتیجه پایدار خواهند بود. همچنین محیط‌ها با مقادیر بیشتر مؤلفه‌ی اول و کمتر مؤلفه دوم اثر متقابل، محیط‌های با قدرت تفکیک بالا در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار خواهند بود (Mohammadi

et al., 2011) بر این اساس محیط‌های سال دوم آبی و سال سوم دیم دارای کمترین مقدار مؤلفه اول اثر متقابل می‌باشند و بنابراین دارای کمترین اثر متقابل می‌باشند و در نتیجه نسبت به محیط‌های دیگر پایداری عملکرد بهتری داشتند، ولی نسبت به محیط سال اول آبی و سال اول دیم میانگین عملکرد پایین‌تری نسبت به میانگین کل داشتند. با توجه به نتایج حاصل تجزیه پایداری عملکرد ممکن است به‌تنهایی

سودمند نباشد و در عمل رقم‌های پایدار در صورتی با استقبال کشاورزان مواجه می‌شوند که دارای عملکرد دانه بالایی نیز باشند. از این رو، به‌طور معمول شاخص‌های پایداری در کنار عملکرد دانه سنجیده می‌شوند و در نهایت ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا گزینش می‌شوند.

جدول ۴. مقادیر میانگین، مؤلفه اول و دوم اثر متقابل و ارزش پایداری امی ژنوتیپ‌های جو

Table 4. Mean of grain yield, first and second components of interaction and AMMI stability value of barley genotypes

ژنوتیپ Genotype	میانگین Mean of grain yield (g/m ²)	مؤلفه اول اثر متقابل The first component of the interaction	مؤلفه دوم اثر متقابل The second component of the interaction	ارزش پایداری AMMI AMMI stability value
1	430.41	-5.55	-2.18	16.45
2	362.65	-1.29	-3.24	8.47
3	356.56	-4.64	-1.72	11.41
4	270.25	1.43	-4.68	5.79
5	273.65	1.28	2.64	4.96
6	341.77	-2.84	5.21	7.03
7	281.87	4.03	1.92	7.80
8	335.94	1.02	-2.19	8.43
9	432.94	-11.57	-0.33	3.43
10	321.82	0.58	2.74	6.08
11	349.82	-4.87	2.74	15.30
12	380.19	-3.67	7.14	3.98
13	305.08	0.57	1.90	13.28
14	312.81	5.02	0.71	7.21
15	331.14	-4.11	1.86	2.82
16	280.00	6.69	-5.38	6.64
17	237.67	6.06	2.78	12.20
18	314.70	5.68	7.42	4.17
19	236.34	9.30	-0.90	6.96
20	326.62	1.44	-10.67	9.47
21	366.19	-4.04	.50	13.28
میانگین کل (Mean total)		326.12		

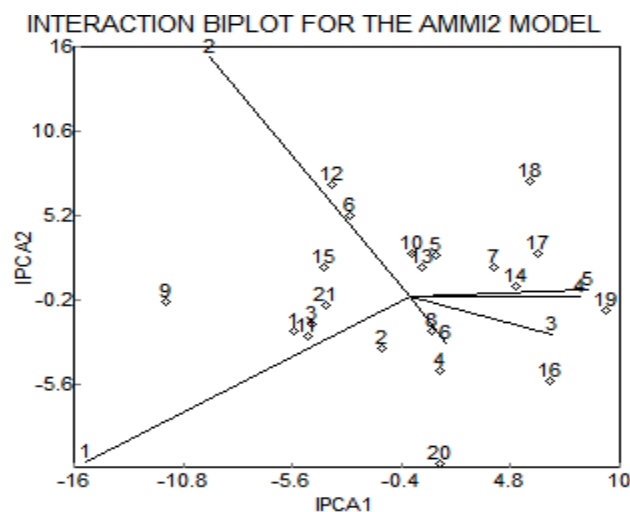
جدول ۵. مقادیر میانگین، مؤلفه اول و دوم اثر متقابل و ارزش پایداری امی برای ۶ محیط

Table 5. Mean grain yield, first and second components of interaction and AMMI stability value over six environments

Environment	محیط	میانگین mean (g / m ²)	مؤلفه اول اثر متقابل The first component of the interaction	مؤلفه دوم اثر متقابل The second component of the interaction	ارزش پایداری AMMI AMMI stability value
First year-irrigation	سال اول-آبی	733.87	-15.46	-10.57	26.62
First year-rainfed	سال اول-دیم	486.46	-9.54	15.36	25.70
The second year-irrigation	سال دوم-آبی	384.99	6.73	-2.38	10.15
Year two-rainfed	سال دوم-دیم	215.78	8.10	0.43	11.53
Third Year-irrigation	سال سوم-آبی	466.51	8.47	0.47	12.06
third Year-rainfed	سال سوم-دیم	289.07	1.70	-2.92	4.80

(شرایط آبی در سال دوم)، ژنوتیپ ۱۹ دارای سازگاری خصوصی به محیط شماره ۴ (شرایط دیم در سال دوم)، ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۱۴ و ۱۷ دارای سازگاری خصوصی به محیط شماره ۵ (شرایط آبی در سال سوم)، ژنوتیپ‌های ۸ و ۴ دارای سازگاری خصوصی به محیط شماره ۶ (شرایط دیم در سال سوم) است. در بای‌پلات AMMI2 محیط‌های با طول محور کوچک نقش کمتری در برهمکنش ژنوتیپ × محیط (GE) و محیط‌های با طول محور بلند نقش بیشتری در GE خواهند داشت. می‌توان گفت محیط‌های ۱ (شرایط آبی سال اول) و ۲ (شرایط دیم سال اول) بیشترین نقش را در GE ایفا می‌کنند (Akter et al., 2014). توحیدی و همکاران (Tohidi et al., 2015) از بای‌پلات امی به‌منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف استفاده کردند. فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2011) پایداری ژنوتیپ‌های مختلف گندم را توسط این روش مورد مطالعه قرار دادند.

شکل (۱) نتایج حاصل از تجزیه AMMI ژنوتیپ‌ها را بر اساس مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم نشان می‌دهد. معمولاً در بای‌پلات‌ها به‌منظور تشخیص بهتر از دو مؤلفه اصلی استفاده می‌شود و چون ژنوتیپ‌ها در ارتباط با محیط‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، یعنی برای هر محیط، ژنوتیپ یا ژنوتیپ‌های خاصی را نسبت می‌دهند. لذا محیط‌ها را به‌صورت بردار و ژنوتیپ‌ها را به‌صورت نقطه نشان می‌دهند. بر اساس شکل (۱) بای‌پلات امی، ژنوتیپ‌های ۲، ۴، ۵، ۸، ۱۰ و ۱۳ که در مرکز بای‌پلات قرار دارند اثر متقابل کوچک و پایداری عمومی دارند. از روش امی در تعیین ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی و خصوصی برای مکان‌های مختلف استفاده شده است (Mokhtarifar et al., 2016). ژنوتیپ‌های ۱، ۳ و ۱۱ دارای سازگاری خصوصی به محیط شماره ۱ (شرایط آبی در سال اول)، ژنوتیپ‌های ۶ و ۱۲ دارای سازگاری خصوصی به محیط شماره ۲ (شرایط دیم در سال اول)، ژنوتیپ ۱۶ دارای سازگاری خصوصی به محیط شماره ۳

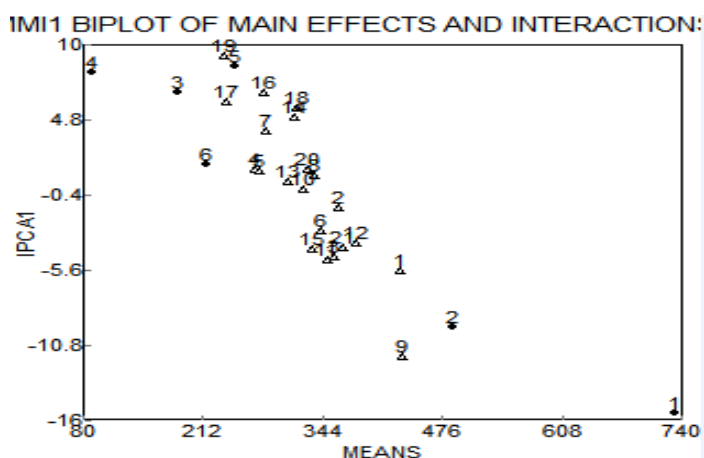


شکل ۱. Biplot مدل AMMI2 برای ۲۱ ژنوتیپ جو در ۶ محیط

Fig. 1. Biplot AMMI2 model for 21 barley genotypes across six environments

اصلی بزرگ (مثبت یا منفی) باشند اثر متقابل بالا دارند. درحالی‌که ژنوتیپ‌ها و محیط‌های دارای مقادیر اولین مؤلفه اصلی نزدیک به صفر اثر متقابل پایین می‌باشند. از طرفی ژنوتیپ‌ها و محیط‌های دارای اولین مؤلفه اصلی با علامت یکسان اثرات متقابل مثبت ایجاد می‌کنند (Karimizadeh et al., 2011).

شکل (۲) به ترتیب موقعیت ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها را بر اساس مؤلفه اول و عملکرد نمایش می‌دهد. در بای‌پلات محور افقی نمایانگر اثرات اصلی جمع‌پذیر (میانگین عملکرد دانه) و محور عمودی اثرات متقابل ضرب‌پذیر (مقادیر اولین مؤلفه اصلی) است یعنی ضرایب عاملی برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به‌طور جداگانه می‌باشند (Zali et al., 2009). باید توجه داشت ژنوتیپ‌ها و محیط‌های که دارای مقادیر اولین مؤلفه



شکل ۲. Biplot مدل AMMI1 برای ۲۱ ژنوتیپ جو در ۶ محیط

Fig. 2. Biplot AMMI1 model for 21 barley genotypes over six environments

نتیجه‌گیری نهایی

تجزیه واریانس مرکب حاکی از معنی‌دار بودن اثر سال، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × سال برای صفت عملکرد بود. معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ نشان‌دهنده تنوع ژنوتیپ‌های موردبررسی از نظر صفت عملکرد است. از میان ژنوتیپ‌های پایدار ژنوتیپ‌های ۲، ۸ و ۱۰ از میزان عملکرد دانه بالاتری نیز برخوردار بودند؛ بنابراین می‌توان این ژنوتیپ‌ها را جهت معرفی به‌عنوان ارقام جدید یا برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی آتی پیشنهاد نمود. بااین‌حال نمی‌توان یک روش تجزیه پایداری را برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا استفاده کرد توصیه می‌شود از روش‌های گوناگون برای ارزیابی پایداری استفاده کرد.

در شکل (۲) ژنوتیپ‌ها با علامت مثلث و محیط‌ها با علامت دایره نشان داده شده‌اند. بر اساس شکل، ژنوتیپ‌های ۲، ۴، ۵، ۸، ۱۰، ۱۳ و ۲۰ پایدارترین ژنوتیپ‌های موردبررسی می‌باشند و ژنوتیپ ۲ با میانگین ۳۶۲/۶۵ به علت داشتن میانگین بالاتر از میانگین کل می‌تواند به‌عنوان ژنوتیپ پایدار با عملکرد بالا موردتوجه قرار گیرد. در تحقیقی برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در ژنوتیپ‌های بدون خار گلرنگ از روش امی و ضرایب مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل (IPCA) استفاده شد و ارقام گلرنگ ایرانی ۴۱۱، داراب ۲، داراب ۴ و ۴۷ به‌عنوان ارقام پایدار و دارای عملکرد برتر معرفی شدند (Moghaddama et al., 2014). با توجه به نتایج حاصل از این‌ها امیدبخش شناسایی شده جهت مطالعات تکمیلی به‌منظور معرفی به زارعین توصیه می‌گردند.

منابع

- Abdolshahi, R., Safarian, A., Nazari, M., Pourseyedi, S., Mohamadi-Nejad, G., 2013. Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using different multivariate methods. Archives of Agronomy and Soil Science. 59(5), 685-704.
- Adjabi, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., 2014. Stability analysis of drum wheat (*Triticum durum* Deaf). Journal of Agronomy. 13, 131-139.
- Akter, A., Jamil, H.M., Umma, K.M., Islam, M.R., Hossain, K., Mamunur, R.M., 2014. AMMI biplot analysis for stability of grain yield in hybrid rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Rice Research. 2(2), 26.
- Azizi, A.H., Sardouie Nasab, S., Mohammadi Nejad, GH., Nakhoda, B., Mardi, M., Tabatabaie, S.M.T., Amini, A., Majidi Herrvan, A., 2016. Estimation of genotype by environment interaction and pattern analysis of genotype in varied bread wheat lines under salinity stress condition. Journal of Crop Breeding. 8(19), 80-85. [In Persian with English Summary].
- Badooei Delfard, R., Mostafavi, Kh., Mohammadi, A., 2016. Genotype-environment

- interaction and yield stability of winter barley varieties (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Crop Breeding. 8 (20): 99-106. [In Persian].
- Bakhshyeshi Gheshlagh, M., Bakhshyeshi Gheshlagh, H., 2012. Investigating the interaction of genotype in the environment and the stability of grain yield of bread wheat cultivars in Kurdistan province. Journal of Agricultural New Findings. 6(3), 1-13.
- Bhartiya, A., Aditya, J. P., Kumari, V., Kishore, N., Purwar, J. P., Agrawal, A., Kant, L., 2017. GGE biplot and AMMI analysis of yield stability in multi-environment trial of soybean (*Glycine max* L.) Merrill genotypes under rainfed condition of northern western himalayan hills. Journal of Animal and Plant Sciences. 27(1), 227-238.
- Brandieje, E., Mevarty, B.E., 1994. Genotype $\times$ environmental interaction and stability of seed yield of oil rapeseed. Crop Science. 18, 334-353.
- Fallahi, H.A., Jafarabai, J.A., Sidi, F., 2011. Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. Journal of Seed and Plant Seedlings. 1(27), 22-15. [In Persian with English Summary].
- FAO, 2018. Food outlook global market analysis, 14-21.
- Farshadfar, E., 2010, New Topics in Biometric Genetics. Volume II. Islamic Azad University, Kermanshah Branch Publication. [In Persian].
- Farshadfar, E., Mahmodi, N., Yaghotipour, 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.
- Farshadfar, E., 1998. Plant Breeding Methodology. Razi University Publication, Kermanshah. 576p. [In Persian].
- Fikre, A., Funga, A., Korbu, L., Eshete, M., Girma, N., Zewdie, A., Ojiewo, C.O., 2018. Stability analysis in chickpea genotype sets as tool for breeding germplasm structuring strategy and adaptability scoping. Ethiopian Journal of Crop Science. 6(2), 19-37.
- International Rice Research Institute (IRRI). 2000. IRRISTAT for Windows, Los Baños, Philippines: International Rice Research Institute. Version 4.0.
- Kang, M.S., 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers. Agronomy Journal. 85(3), 754-757.
- Karimizadeh, R., Mohammadi, M., Sheikhmamo, M., Bavi, V., Hosseinpour, T., Khanzadeh, H., Fovjgh, H., Armion, M., 2011. Application of cluster and AMMI methods to determination of grain yield stability of durum wheat genotypes in Semi-warm dryland areas of Iran. Journal of Modern Genetic. 6(2), 32-48. [In Persian with English Summary].
- Khamari, A., Mostafavi, K.H., Mohammadi, A., 2018. Evaluation of grain yield stability of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars using the main combination effects and multiplicative interactions. Journal of Crop Production. 11 (2), 185-195. [In Persian with English Summary].
- Koocheki, A., Sorkhi, B., Eslamzadeh Hesari, M.R., 2012. Study on stability of elite barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes for cold regions of Iran using AMMI method. Cereal Research. 2(4), 261-249. [In Persian with English Summary].
- Moghaddama, M.J., Torbaghanb, M.E., Mirzaeic, A., 2014. Analysis of genotype $\times$ environment interaction for seed yield in spineless safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. Crop Breeding Journal. 4(1), 47-54. [In Persian with English Summary].
- Mohammadi, R., Sadeghzadeh, D., Armion, M., Ahmadi, M., 2011. Analysis of stability and adaptability of grain yield in durum wheat genotypes. Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi). 91, 70-87. [In Persian with English Summary].
- Mohammadinejad, G.H., Rezaei, A., 2005. Analysis of genotype $\times$ environment interaction and study of oat (*Avena sativa* L.) genotypes pattern. Journal of Soil and Water Sciences. 9(2), 77-89. [In Persian with English Summary].
- Mokhtarifar, K., Abdolshahi, R., Pourseyedi, S., 2016. Yield stability analysis of eight bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Kerman province condition. Journal of Crop Breeding. 17(8), 96-103. [In Persian with English Summary].
- Purchase, J.L., 1997. Parametric analysis to describe genotype $\times$ environment interaction and yield stability in winter yield. Ph.D thesis. Department of Agronomy, Faculty of

- Agriculture, University of Orange Free State, Bloemfontein, South Africa.
- Sadeghzadeh Ahari, D., Hosseini, S.K., Hosseinpour, T., Jafarabai, J.A., Khalilzadeh, G.H., Alizadeh-Dizaj, Kh., 2005. Study on adaptability and stability of grain yield in durum wheat lines in warm and semi-warm dryland areas. *Journal of Seed and Plant*. 21, 561-576. [In Persian with English Summary].
- Safavi, S.M., Bahraminejad, S., 2017. The Evaluation of genotype $\times$ environment interactions for grain yield of oat genotypes using AMMI model. *Journal of Plant Breeding*. 9(22), 125-132. [In Persian with English Summary].
- Shafii, B., Price, W.J., 1998. Analysis of genotype-by-environment interaction using the additive main effects and multiplicative interaction model and stability estimates. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*. 3(3), 335-345.
- Shiri, M, and Bahrampour, T., 2015. Genotype $\times$ environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. *Journal of Cereals Research*. 5 (1), 83-94. [In Persian with English Summary].
- Taghizadeh, A., Sorkhilalehloo, B. Nakhjavan, Sh., 2016. Study on stability of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) using multivariate statistical methods. *Journal of Crop Breeding*. 95, 17-87. [In Persian with English Summary].
- Tohidi, B., Mohammadi Nejad, G.H., Nakhoda., B. Saboori, H., 2015. Evaluation of grain yield stability of recombinant inbred lines in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) based on AMMI method. *Journal of Plant Production Research*. 2(22), 189-202. [In Persian with English Summary].
- Zali, H., Sabbaghpour, S.H., Farshadfar, E., Pezeshkpour, P., Safi Khan, M., Sarparast, R., Hashembegi, A., 2009. Stability analysis of chickpea genotypes using ASV parameter and comparison with other stability analysis methods. *Journal of Iranian Crop Science*. 40 (2), 22-28. [In Persian with English Summary].

Original article

Study of grain yield stability of barley genotypes by AMMI model

P. Ltifi, A. Najaphy*, L. Zarei

Department of Plant Genetics and Production, Razi University, Kermanshah, Iran

Received 9 October 2018; Accepted 5 January 2019

Abstract

The interaction between the genotype and the environment creates complexity in yield prediction and is a challenge for plant production and breeding programs. The aim of this study was to investigate the interaction between genotype $\times$ environment and study the yield compatibility and stability of 21 barley genotypes by additive main effect and multiplicative interaction (AMMI) model. The present experiment was carried out in randomized complete block designs with two replications during 2014-2015, 2015-2016, 2016-2017 under rain-fed and irrigation conditions (a total of six environments) at the research farm of Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. The combined analysis of variance for grain yield showed significant differences for year, genotype, genotype $\times$ year, year $\times$ location and year $\times$ location $\times$ genotype effects. The first and second components in AMMI model accounted for 52.78% and 26.00% of the interaction sum of squares, respectively. Considering the numerical values of interaction for each genotypes and genotypes rank, genotypes 2, 5, 8, 10, 13 and 20 were found to be more stable genotypes. Also, based on AMMI stability value (ASV), genotypes 15, 9, 12, 18, 5, 10, 4, 16, 2, 6, 7, 8 were determined as stable genotypes. Among stable genotypes, genotypes 10 (Roho / 4 / Zambaka / 3 / ER / Apm / Lignee131 / 5 / Otis), 8 (Baladielawaia / 5 / AwBlack / Aths // Arar / 3 / 9Cr279-07 / Roho / 4 / DD-14 / Rhn-03) and 2 (Zarjau/80-5151//Skorohod/3/Robur/WA2196-68//DZ40-66) had higher mean grain yield. Therefore, these genotypes can be proposed for using in future breeding programs to introduce new cultivars.

Keywords: AMMI Stability value, Genotype $\times$ environment interaction, Irrigation conditions, Rain-fed conditions

*Correspondent author: Abdollah Najaphy; E-Mail: nadjaphy@yahoo.com