دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو با استفاده از تجزیه اثر اصلی افزایشی و اثر متقابل ضرب‌پذیر (AMMI)

حسین‌علی فلاحی[۱]، شاهپور ابراهیم‌نژاد[۲]، حسین صبوری[۳]، ایرج لک‌زاده[۴]، معرفت قاسمی[۵] و شیرعلی کوهکن[۶]

۱- استادیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ساری
۲- مربی پژوهش، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ساری،
(نویسنده مسوول: ebrahimnejad1344@ yahoo.com)
۳- دانشیار، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس
۴- مربی پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز
۵- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل
۶- مربی پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان و بلوچستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، زابل

تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۲۱

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تعیین پایدارترین ژنوتیپ‌ها، ۲۰ لاین جو در هشت محیط آزمایشی مختلف تجزیه شدند. آزمایش‌ها بر اساس طرح بلوک‌کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد و عملکرد دانه بدست آمد. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بر اساس میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ‌های G1، G13 و G4 بالاترین عملکرد دانه را نشان دادند. از تجزیه مدل AMMI به‌منظور تعیین بزرگی و اهمیت اثر متقابل ژنوتیپ × محیط استفاده شد و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به دو مولفه اصلی که به‌ترتیب ٤٦/٤٨٪ و ۱۹/۵۲٪ از اثر متقابل را توجیه نموده و اثر باقی‌مانده تقسیم شد. محیط E5 با بیشترین میزان مؤلفه اول و کمترین میزان مؤلفه دوم بیشترین نقش را در تفکیک ژنوتیپ‌ها داشت. بر اساس تجزیه مدل AMMI و بای‌پلات ژنوتیپ G20 به‌عنوان لاین منتخب و پایدار و با بهترین عملکرد دانه انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: پایداری، تجزیه AMMI، جو، عملکرد دانه

مقدمه

جو زراعی (*Hordeum voulgare* L.) یکی از غلات مهم می‌باشد که علاوه بر مصارف خوراکی دارای مصارف دامی و حتی درمانی نیز هست (۱). در بیشتر برنامه‌های اصلاح نباتات به‌علت اثر متقابل ژنوتیپ × محیط توصیه ژنوتیپ‌های برتر برای محیط‌های وسیع دشوار است (۴). اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باید در برنامه‌های اصلاحی بررسی و میزان بزرگی این اثر و ارتباط آن با اثرات ژنوتیپ و محیط که نهایتاً بر عملکرد دانه تاثیرگذار است برآورد شود. تفسیر اثر متقابل، شناسایی محیط‌های هدف و معرفی ژنوتیپ‌های مناسب با سازگاری خصوصی و عمومی برای محیط‌های مورد مطالعه و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار در سال‌های مختلف از اهداف مهم در بررسی ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مختلف است (۸). تجزیه واریانس معمولی (ANOVA) مدلی افزایشی است که تاثیر اثرات اصلی و معنی‌داری اثر متقابل را تعیین می‌نماید. اما تجزیه واریانس معمولی همیشه در تجزیه داده‌های آماری حاصل از آزمایشات چندمکانی کارآمد نیست (۱۶). مدل امی (AMMI) ترکیبی از دو تجزیه اثر اصلی افزایشی و اثر متقابل ضرب‌پذیر در ماتریس‌های دو بعدی ژنوتیپ و محیط است (۸). تجزیه مدل AMMI امکان برآورد اثر متقابل یک ژنوتیپ در هر محیط را داده و به این وسیله به تعیین ژنوتیپ‌های سازگار با یک محیط کمک می‌نماید. اگر از جزء جمع‌پذیر مدل و بدون در نظر گرفتن اثر متقابل برای توجیه واریانس آزمایشات استفاده شود مدل حاصل را امی صفر (AMMI0) و اگر از جزء ضرب‌پذیر امی که اثر متقابل را نیز در بر می‌گیرد استفاده شود بسته به اینکه از کدامین مؤلفه امی استفاده شود، مدل امی ۱ تا امی (AMMIN,…,AMMI1) N نامیده می‌شود (۵). مؤلفه‌های امی معیار معتبری برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها و ارتباط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها می‌باشند (۱۲،۶،۳). در تحقیقی با استفاده پارامترهای مختلف روش AMMI و سایر آماره‌های دیگر ژنوتیپ‌های پایدار جو معرفی شد، این محققین اظهار نمودند که از بین روش‌های چند متغیره آماری روش امی بهتر از سایر روش‌ها قابلیت توجیه و تفسیر اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط را دارد (۱). فتاحی و یوسفی (۴) به‌منظور بررسی پایداری عملکرد ۱۹ ژنوتیپ جو در ۸ ایستگاه منطقه معتدل از مدل AMMI استفاده نمودند. نتایج حاصل از این تحقیق مبین توانایی مدل AMMI در تشخیص پایدارترین ژنوتیپ‌ها بود. کوچکی و همکاران (۷) با مطالعه پایداری ژنوتیپ‌های امید بخش جو با استفاده از تجزیه AMMI نشان دادند که اثر اصلی، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و چهار مولفه اصلی اول اثر متقابل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند.

هدف از این تحقیق بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در ژنوتیپ‌های جو و تعیین ژنوتیپ‌های سازگار با گروه‌های محیطی و شناسایی ارقام پایدار بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی پتانسیل عملکرد ۲۰ ژنوتیپ جو، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در هشت محیط (چهار منطقه) انجام شد. شجره ژنوتیپ‌های مورد بررسی و نام مکان‌ها در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. آزمایش‌ها در طی سال‌های زراعی۸۲-۱۳۸۰ انجام شدند. ابعاد کرت‌ها با طول ۶ متر و عرض ۱/۲ متر در نظر گرفته شد. میانگین مشاهدات در هر کرت جهت انجام تجزیه‌های

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jcb.9.24.144]

آماری مورد استفاده قرار گرفت. در ابتدا جهت بررسی اولیه ژنوتیپ‌ها مقایسه میانگین‌ها و تجزیه واریانس ساده انجام شد. سال و مکان به‌عنوان متغیر تصادفی و ژنوتیپ‌ها به‌عنوان عامل ثابت در نظر گرفته شدند و برای انجام آزمون F از امید ریاضی میانگین مربعات استفاده شد. برای بررسی اثر متقابل به‌روش چند متغیره از روش AMMI یا روش بررسی آثار اصلی جمع‌پذیر و آثار متقابل ضرب پذیر با مدل زیر استفاده شد (۱۵):

$$Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^{N} \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \varepsilon_{ij}$$

در این رابطه Y_{ij} میانگین تکرارهای ژنوتیپ i ام در محیط j ام، μ میانگین کل آزمایش، g_i انحراف اثر ژنوتیپ از میانگین، e_j انحراف اثر محیط از میانگین، λ_k مقدار منفرد مولفه nام، α_{ik} مقادیر ویژه بردار ژنوتیپی مولفه nام، مقادیر ویژه بردار محیطی مولفه n ام و در نهایت ε_{ij} مقادیر باقی‌مانده نویز است. نتایج تجزیه مدل AMMI بر اساس دو نمودار بای‌پلات تجزیه AMMI تفسیر شد. نمودار نوع اول بر اساس مقادیر اولین مؤلفه اصلی برای محیط‌ها و ژنوتیپ‌ها و میانگین عملکرد کل آزمایش و نمودار نوع دوم با مقادیر مولفه‌های اصلی اول و دوم ترسیم شد. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SAS Ver. 9.1 و GenStat Ver. 9.2 (۱۱) انجام شد.

نتایج و بحث

پس از انجام آزمون بارتلت (χ^2=۷/۰۵^{ns}) و اطمینان از همگنی واریانس خطای آزمایش‌های جداگانه تجزیه واریانس مرکب برای هشت محیط و ۲۰ ژنوتیپ مورد مطالعه انجام شد. نتیجه تجزیه واریانس مرکب اختلاف کاملاً معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان داد. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل، سال و مکان را به صورت محیط در نظر گرفته و تجزیه انجام شد. همچنین نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری را در عملکرد دانه ارقام مورد مطالعه نشان داد (جدول ۱).

جدول ۱- شجره ژنوتیپ‌ها و مقادیر مولفه‌های اصلی مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط مدل AMMI برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی
Table 1. Pedigree of genotypes and principle component of sum of square genotype by environment interaction for AMMI model in evaluated genotypes

علامت اختصاری	شجره	رتبه	میانگین کل (تن در هکتار)	IPCA 1	IPCA 2
G1	Check-1(Sahra)	۱	۴/۳۸^{a}	۰/۳۹۷	-۰/۵۲۴
G2	NKERR/ARG8/6/UC566/5/M64-76/BON//JO/YORK/3/M5/	۲۰	۳/۵۹^{c}	۰/۷۸۵	۰/۰۴۹
G3	ARIZONA5908/ATHS//LIGNEE640/6/LIGNEE527/5/AS54	۷	۴/۲۴^{abc}	۰/۳۵	۰/۳۰۳
G4	ARIZONA5908/ATHS//LIGNEE640/6/LIGNEE527/5/AS54/	۳	۴/۳۵^{ab}	-۰/۵۳	۰/۵۱۲
G5	ARIZONA5908/ATHS//LIGNEE640/6/LIGNEE527/5/AS54/	۴	۴/۲۸^{abc}	-۰/۲۴۲	۰/۱۸۵
G6	ARIZONA5908/ATHS//LIGNEE640/6/LIGNEE527/5/AS54/	۱۲	۴/۰۴^{abc}	۰/۴۷۶	-۰/۰۲۸
G7	LIGNEE527/5/AS54/TRA//CER*2/TOLI/3/AVT/TOLI//BZ	۱۷	۳/۷^{abc}	۰/۳۳۷	-۰/۶
G8	HARI/NOPAL-CMSW	۱۵	۳/۹۲^{abc}	-۰/۰۷۹	۰/۴۶۵
G9	"VIRINGA"S"/BOLDO"S	۱۶	۳/۸۵^{abc}	۰/۰۳۷	۰/۳۹۷
G10	IRANSHAHR	۶	۴/۲۴^{abc}	۰/۱۴۷	-۰/۴۸۵
G11	ARAR/APM	۱۱	۴/۰۵^{abc}	-۰/۲۴	۰/۰۲۶
G12	POAL//QUINA	۱۰	۴/۰۷^{abc}	۰/۰۷	-۰/۴۲۸
G13	CIN-B/80.5138//BLORIA-BAR/EOPAL3	۲	۴/۳۶^{ab}	۰/۵۹۸	۰/۷۴
G14	../ABET//GLORIA-BAR/COME-B/3/SEN/4	۱۳	۳/۹۹^{abc}	-۰/۸۶۲	۰/۲۰۲
G15	WI229//MZQ//DL7/3/WI2198/EMIR	۸	۴/۱^{abc}	-۰/۱۳۵	۰/۲
G16	L.131/Trean 78	۱۹	۳/۶۳^{c}	۰/۹۲۶	-۰/۱۴۵
G17	L.527//Bahtim/P171...xBiran/Una 8271	۱۴	۳/۹۸^{abc}	-۰/۳۵۲	-۰/۱۵۲
G18	Rihane/Research	۹	۴/۰۷^{abc}	-۰/۴۵۵	۰/۲۴۳
G19	PMb-12	۱۸	۳/۶۸^{bc}	-۰/۸۰۸	-۰/۷۰۴
G20	WB-73-6	۵	۴/۲۷^{abc}	-۰/۴۱۸	-۰/۲۵۸

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند فاقد اختلاف معنی‌دار به‌روش دانکن در سطح احتمال ۵٪ هستند.
Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level (DMRT).

ژنوتیپ G1 و G2 به‌ترتیب با میانگین عملکرد ۴/۳۸ و ۳/۵۹ تن در هکتار بیشترین و کمترین عملکرد را داشتند. میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در هر محیط از ۲/۶۳ تا ۵/۱۵ تن در هکتار بود (جدول ۲). محیط‌های E7 و E3 به‌ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۵/۱۵ و ۴/۹۵ تن در هکتار بالاترین عملکرد را داشتند. کمترین میانگین محیط متعلق به محیط E1 با میانگین عملکرد ۲/۶۳ تن در هکتار مربوط به اهواز در سال اول بود که تنش آخر فصل در این محیط باعث کاهش شدید عملکرد گردید. با توجه به مقادیر دو مولفه اثر متقابل که در جداول ۱و ۲ آمده است ژنوتیپ‌های G9، G12، G8 و G15 به‌ترتیب کمترین مقادیر را برای مولفه اول (IPCA1) داشتند. همچنین کمترین مقدار مولفه دوم به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های G11، G6، G2 و G16 اختصاص یافت (جدول ۱). محیط‌های E2، E1 و E7 کمترین میزان مولفه اول را داشتند و از این میان محیط‌های E2 و E1 با عملکرد پایین کمترین نقش را در تفکیک ژنوتیپ‌ها داشتند. کمترین مقادیر مولفه دوم را به ترتیب محیط‌های E5، E4 و E1 داشتند. محیط‌هایی که قدرت بالا در تفکیک ژنوتیپ‌ها دارند دارای مقادیر IPCA 1 بالا و IPCA 2 کوچک هستند (۱۴)، بر این اساس محیط E5 با بیشترین میزان مولفه اول و

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jcb.9.24.144]

کمترین میزان مولفه دوم بیشترین نقش را در تفکیک ژنوتیپ‌ها داشت. اصولاً در گزینش محیط‌های مناسب باید توجه کرد که محیط‌های دارای قابلیت تفکیک ژنوتیپ‌ها چه ویژگی‌هایی باید داشته باشند. در منابع مختلف از جمله یان و همکاران (۱۵)، یان و راجکان (۱۴) و گاووچ و زوبل (۶) بیان شده که پس از تجزیه به مولفه‌های اصلی، محیط‌هایی که IPCA1 بالا و IPCA2 پائین داشته باشند، محیط‌هایی هستند که قدرت تمایز چنین ژنوتیپ‌هایی را دارند.

جدول ۲- مقادیر مولفه‌های اصلی در مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در مدل AMMI برای محیط‌های مورد بررسی
Table 2. Principle component of sum of square genotype by environment interaction for AMMI model in evaluated environments

علامت اختصاری	محیط	رتبه	میانگین	IPCA 1	IPCA 2
E1	اهواز سال اول	۸	۲/۶۳^{e}	۰/۰۸۸	−۰/۲۲۴
E2	اهواز سال دوم	۴	۴/۲۹^{bc}	۰/۰۰۹	−۰/۲۵۵
E3	زابل سال اول	۲	۴/۹۵^{ab}	۰/۵۰۹	۱/۲۸۲
E4	زابل سال دوم	۶	۳/۸^{cd}	−۱/۹۹۸	۰/۱۸۶
E5	مغان سال اول	۷	۳/۱۵^{ed}	۰/۵۴۶	۰/۱۱۴
E6	مغان سال دوم	۳	۴/۳^{bc}	۰/۲۸۸	۰/۳۹۶
E7	گنبد سال اول	۱	۵/۱۵^{a}	۰/۲۱۱	−۰/۶۳۸
E8	گنبد سال دوم	۵	۴/۰۲^{c}	۰/۳۴۸	−۰/۸۶۱

میانگین‌های دارای حروف مشابه با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

تجزیه مدل AMMI

تجزیه مدل AMMI اثر متقابل ژنوتیپ × محیط عملکرد دانه نشان داد که اثر ژنوتیپ، محیط و ژنوتیپ × محیط کاملاً معنی‌دار می‌باشند (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد دانه جو به طرز معنی‌داری تحت تاثیر اثرات ژنوتیپ و محیط بوده است و اثر ژنوتیپ، ۵/۸۶٪ و اثر محیط ۶۳/۰۶٪ از مجموع مربعات ژنوتیپ، محیط و اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه نمودند. اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط نیز ۳۱/۰۸۱٪ از مجموع مربعات ژنوتیپ، محیط و اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه نمود. بزرگی اثر محیط بیانگر تفاوت بین محیط‌ها است که به‌نوبه خود باعث بروز تفاوت بین عملکرد ژنوتیپ‌ها می‌شود. تجزیه مدل AMMI اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را به دو مولفه اثر متقابل IPCA 1 و IPCA 2 و باقیمانده تفکیک نمود. مقادیر دو مولفه اثر متقابل IPCA 1 و IPCA 2 برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. IPCA 1 و IPCA 2 به‌ترتیب ۴۶/۴۷٪ و ۱۹/۵۲٪ از مجموع مربعات اثر متقابل را توجیه نمودند و هر دو از نظر آماری معنی‌دار بودند (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد دانه ۲۰ ژنوتیپ جو در ۸ محیط با استفاده از روش AMMI
Table 3. Analysis of variance for 20 barley genotypes in 8 environment using AMMI methods

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	درصد مجموع مربعات اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط
تیمار	۱۵۹	۴۷۹/۷	۳/۰۱۷	۸/۴۱**	
ژنوتیپ	۱۹	۲۸/۱	۱/۴۷۸	۴/۱۲**	
محیط	۷	۳۰۲/۵	۴۳/۲۱۷	۳۱/۰۸**	
ژنوتیپ × محیط	۱۳۳	۱۴۹/۱	۱/۱۲۱	۳/۱۲**	
IPCA1	۲۵	۶۹/۳	۲/۷۷۱	۷/۷۲**	۴۶/۴۷
IPCA2	۲۳	۲۹/۱	۱/۲۶۴	۳/۵۲**	۱۹/۵۱
باقیمانده	۸۵	۵۰/۷	۰/۵۹۸	۱/۶۶**	۳۴/۰۷
اشتباه	۳۰۴	۱۰۹/۱	۰/۳۵۹		

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

در تحقیقی مشابه بزرگی اثر اصلی برای محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به‌ترتیب ۹۲/۷٪، ۱٪ و ۶/۲٪ مجموع مربعات کل گزارش شد و تجزیه مدل AMMI نیز اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را به چهار مولفه اصلی تفکیک نمود که دو مولفه اول ۶۵/۳٪ از تغییرات کل اثر متقابل را توجیه می‌نمودند (۸). در همین راستا نتایج تحقیقات زیادی در مورد تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر روی داده‌های حاصل از عملکرد جو در چند مکان گزارش شده است (۴،۱،۱۰) و معنی‌داری اثرمتقابل در این تحقیقات نشان‌دهنده واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به تغییرات محیطی می‌باشد. تعیین بهترین ژنوتیپ‌ها در هر مکان با پیش‌بینی عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر مکان با مدل AMMI II میسر شد (جداول ۴ و ۵).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jcb.9.24.144]

جدول ۴- مقادیر برآوردی مدل AMMI از عملکرد ژنوتیپ‌ها (تن در هکتار) در محیط‌های مورد بررسی

Table 4. Estimated value of AMMI model from genotypes yield (ton.h^{-1}) in environments

علامت اختصاری	محیط ۱	محیط ۲	محیط ۳	محیط ۴	محیط ۵	محیط ۶	محیط ۷	محیط ۸
G1	۳/۱۲۷	۴/۷۷۵	۴/۸۲۴	۳/۲۵۷	۳/۶۴۹	۴/۵۵۴	۵/۹۱۷	۴/۹۵۶
G2	۲/۲۳۹	۳/۸۳۹	۴/۹۶۳	۱/۷۹۶	۳/۱۳۳	۴/۰۹۸	۴/۸۴	۳/۸۰۴
G3	۲/۷۲۱	۴/۳۴۷	۵/۶۴۴	۳/۲۹۲	۳/۵۰۱	۴/۶۵۱	۵/۱۶۳	۴/۰۱
G4	۲/۷۸۵	۴/۴۷۵	۵/۶۵۳	۵/۲۷۷	۳/۲۳۳	۴/۶۶۹	۵/۰۳۳	۳/۷۱۲
G5	۲/۸۰۶	۴/۴۸۲	۵/۳۰۳	۴/۵۶۲	۳/۲۷۵	۴/۵۴۵	۵/۲۲۳	۴/۰۱۶
G6	۲/۶۷۹	۴/۳۰۵	۵/۱۵۶	۲/۸۴۸	۳/۴۰۵	۴/۴۲۹	۵/۲۷۳	۴/۲۱۲
G7	۲/۴۴۸	۴/۱۰۳	۴/۰۰۷	۲/۶۷۲	۲/۹۱۷	۳/۸۱۶	۵/۲۶۱	۴/۳۰۹
G8	۲/۳۹۸	۴/۰۵۳	۵/۳۸۵	۳/۹۲۸	۳/۰۳۶	۴/۳۴۲	۴/۷۲	۳/۴۷۲
G9	۲/۳۶۱	۴/۰۰۸	۵/۲۹۵	۳/۶۲	۳/۰۳	۴/۲۸۶	۴/۷۲۵	۳/۵۰۸
G10	۲/۹۵۳	۴/۶۱۹	۴/۶۰۳	۳/۶۲	۳/۳۷۳	۴/۳۵۳	۵/۶۹۶	۴/۶۹۲
G11	۲/۶۱۴	۴/۲۹۶	۴/۸۷۲	۴/۳۰۱	۳/۰۳	۴/۲۵۵	۵/۰۹۸	۳/۹۲۶
G12	۲/۷۶۱	۴/۴۳۱	۴/۴۶۵	۳/۶۱۲	۳/۱۶۶	۴/۱۸۲	۵/۴۷	۴/۴۴۳
G13	۲/۸۴۱	۴/۴۳۳	۶/۵۲۶	۳/۰۷۱	۳/۸۸۲	۵/۰۹۱	۵/۱۳۲	۳/۹۱۶
G14	۲/۴۶۴	۴/۱۸۹	۴/۷۲۶	۵/۵۲	۲/۶۵۵	۴/۰۸۹	۴/۷۹۹	۳/۵۰۲
G15	۲/۶۲۸	۴/۲۹۵	۵/۱۹۳	۴/۱۶۶	۳/۱۵۱	۴/۳۹۷	۵/۰۵۲	۳/۸۵۶
G16	۲/۳۳۵	۳/۹۲۹	۴/۸۲۶	۱/۵۱۹	۳/۲۲۷	۴/۱۰۲	۵/۰۳۳	۴/۰۶
G17	۲/۵۷۹	۴/۲۷۵	۴/۵۲۲	۴/۴۲۵	۲/۸۸۴	۴/۰۸۷	۵/۱۲۳	۳/۹۷۶
G18	۲/۵۶۶	۴/۲۵۸	۵/۰۶۲	۴/۷۸۹	۲/۹۵۸	۴/۲۹۸	۴/۹۳۴	۳/۶۸۴
G19	۲/۳۵۵	۴/۱۰۴	۳/۲۷۳	۴/۹۲۷	۲/۲۶۴	۳/۴۲۹	۵/۰۷۱	۳/۹۸۵
G20	۲/۸۸۶	۴/۵۹	۴/۶۴۱	۴/۸۲۵	۳/۱۲۵	۴/۳۱۴	۵/۴۶۵	۴/۳۳۳

جدول ۵- چهار انتخاب اول AMMI برای هر محیط

Tables5. Four primary selective of AMMI for per environment

محیط	۱	۲	۳	۴
E1	G1	G10	G20	G13
E2	G1	G10	G20	G5
E3	G13	G4	G3	G8
E4	G14	G4	G19	G20
E5	G13	G1	G3	G6
E6	G13	G4	G3	G1
E7	G1	G10	G12	G20
E8	G1	G10	G12	G20

محدوده تغییرات در عملکرد پیش‌بینی‌شده ژنوتیپ‌ها در محیط E1 بین ۳/۱۲۷ تا ۲/۲۳۹ تن در هکتار، محیط E2 بین ۴/۷۷۵ تا ۳/۸۳۹ تن در هکتار، محیط E3 بین ۶/۵۲۶ تا ۳/۲۷۳ تن در هکتار، محیط E4 بین ۵/۵۲ تا ۱/۵۱۹ تن در هکتار، محیط E5 بین ۳/۸۸۲ تا ۲/۲۶۴ تن در هکتار، محیط E6 بین ۵/۰۹۱ تا ۳/۴۲۹ تن در هکتار، محیط E7 بین ۵/۱۹۷ تا ۴/۷۲ تن در هکتار، محیط E8 بین ۴/۹۵۶ تا ۳/۴۷۲ تن در هکتار بود (جدول ۴). بر اساس مقادیر پیش‌بینی‌شده AMMI II چهار انتخاب اول ژنوتیپ‌ها در هشت محیط در جدول ۵ ارائه شده است. بر این اساس ژنوتیپ G1 در شش محیط، ژنوتیپ G20 در پنج محیط، ژنوتیپ‌های G13 و G10 در چهار محیط، ژنوتیپ‌های G3 و G4 در سه محیط، ژنوتیپ G12 در دو محیط و ژنوتیپ‌های G5، G6، G8، G14 و G19 تنها در یک محیط جزو چهار انتخاب اول AMMI II برای محیط‌های مورد بررسی بودند. معرفی ژنوتیپ‌های G5 ، G6، G8، G14 و G19 تنها در یک محیط حاکی از سازگاری خصوصی این ژنوتیپ‌ها در مکان‌های معرفی شده است. از طرفی ژنوتیپ G1 عملکرد قابل قبولی را در تمام محیط‌ها بجز محیط‌های E3 و E4 داشت و ژنوتیپ G20 نیز در تمام محیط‌ها بجز محیط‌های E3، E5 و E6 عملکرد بالایی را داشت. این نتیجه در شرایط آزمایش حاضر به‌دست آمده است و ممکن است در صورت تکرار آزمایش با همین ژنوتیپ‌ها چنین نتیجه‌ای حاصل نشود. گاووچ و زوبل (۶) ضمن مقایسه روش‌های AMMI و GGE بای‌پلات، ژنوتیپ‌های دارای سازگاری عمومی و یا اختصاصی را بر اساس عملکرد دانه آن‌ها در محیط‌های مختلف تعیین کرد.

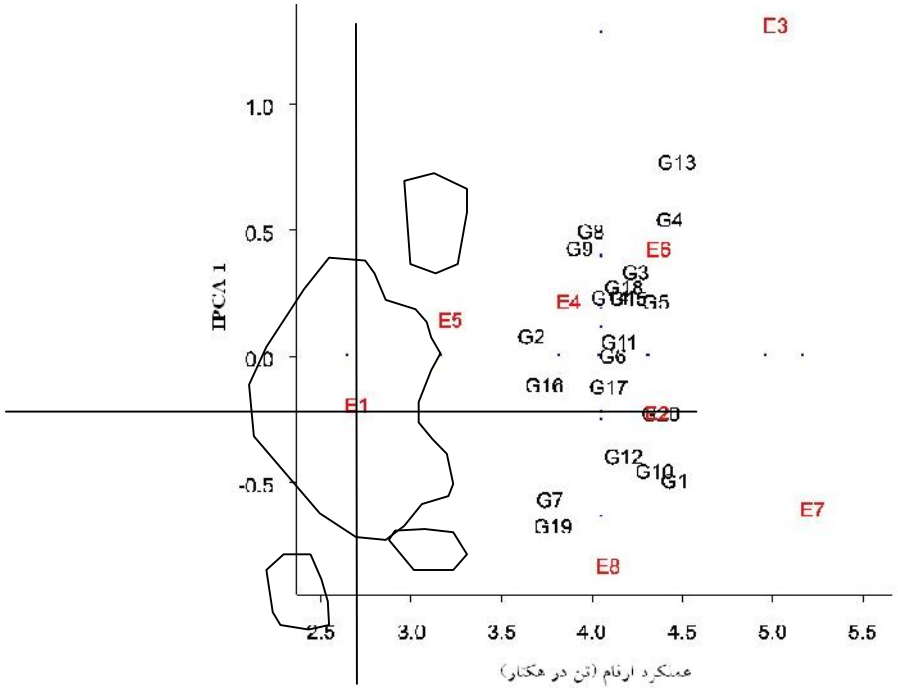
تجزیه بای‌پلات AMMI

با استفاده از روش تجزیه خوشه‌ای و نمودار بای‌پلات ارتباط ارزش‌های ژنوتیپی و محیطی و اختصاص ارقام مختلف به محیط‌ها انجام شد (شکل‌های ۱ و ۲). شکل ۱ تجزیه بای‌پلات AMMI I را نشان می‌دهد که براساس امتیازهای ژنوتیپ‌ها و مکان‌ها در مقابل میانگین‌های مربوطه ترسیم شده است. ژنوتیپ‌های G6، G14 و G17 که بر روی خط عمودی (میانگین کل آزمایش) واقع شده‌اند از نظر آثار اصلی جمع‌پذیر واکنش مشابهی دارند. از طرفی ژنوتیپ‌هایی که به خط افقی یعنی ناحیه با IPCA 1= 0 نزدیک باشند دارای کمترین اثرمتقابل نیز می‌باشند (۲). بر این اساس ژنوتیپ‌های G2، G3، G5، G6، G8، G9، G11، G12، G14، G15، G16، G17، G18 و G20 با مقادیر IPCA 1 کوچک کمترین اثرمتقابل را داشتند و از این میان ژنوتیپ G20 با IPCA 1 کوچک و عملکرد بالاتر از میانگین کل به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ شناخته شد. ژنوتیپ‌های G7 و G19 با IPCA 1 بزرگ و منفی و میانگین عملکرد پایین دارای اثر

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jcb.9.24.144]

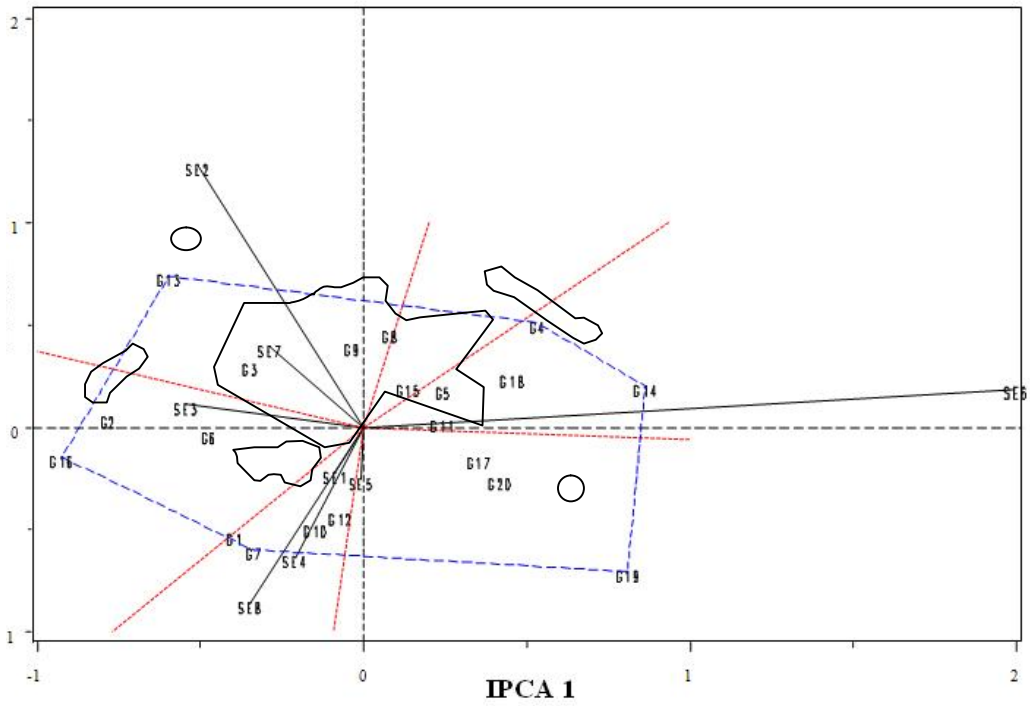
متقابل بزرگ و منفی بودند. ژنوتیپ‌های G4 و G13 اثر متقابل مثبت و بزرگ داشتند و ژنوتیپ‌های G1 و G10 اثر متقابل منفی و میانگین عملکرد زیاد داشتند (شکل ۱). بای‌پلات اولین و دومین مولفه اثر متقابل جمعاً ۶۵/۹۸ درصد از کل واریانس اثر متقابل را توجیه می‌کند (شکل ۲). با توجه به مقادیر مولفه‌های اول و دوم اثرمتقابل گروه‌بندی ارقام و محیط‌ها بر روی مقادیر این مولفه‌ها انجام شد. بر این اساس ژنوتیپ‌ها به ۶ گروه دسته‌بندی شدند. شکل چندضلعی حاصل از اتصال خطوط بین ژنوتیپ‌های انتهایی G4، G14، G19، G7، G16 و G13 نشان‌دهنده پاسخ‌ده‌ترین ژنوتیپ‌ها می‌باشد. این ژنوتیپ‌ها شامل بهترین یا بدترین ژنوتیپ‌ها در همه یا بعضی از محیط‌های آزمایشی هستند (۹). در گروه اول ژنوتیپ‌های G3، G5، G6، G8، G9، G11، G12، G15، G17، G18 و G20 با مقادیر IPCA 1 و IPCA 2 کوچک نزدیک به محور مختصات قرار داشتند و کمترین اثرمتقابل را با محیط نشان دادند. در گروه دوم ژنوتیپ‌های G1، G7 و G10 با IPCA 1 و IPCA 2 منفی قرار گرفتند و ارقام با پایداری ضعیف شناخته شدند. ژنوتیپ G19 در گروه جداگانه‌ای با IPCA 1 مثبت و IPCA 2 منفی و بزرگ، به تنهایی در یک گروه قرار گرفت و واکنش ناپایداری از خود نشان داد. قرار گرفتن ژنوتیپ G19 در ناحیه‌ای که هیچ محیطی واقع نشده است نشان‌دهنده این است که این ژنوتیپ در هیچ یک از محیط‌های آزمایشی عملکرد مطلوبی را نشان نداده است. به‌طوری‌که دامنه تغییرات عملکرد این ژنوتیپ در محیط‌های مختلف از ۲۲۶۴ تا ۵۰۷۱ کیلوگرم در هکتار بوده است.



شکل ۱- بای‌پلات حاصل از اولین مولفه اثر متقابل و میانگین‌های ارقام در هر محیط در مدل AMMI I برای ۲۰ ژنوتیپ جو در ۸ محیط
Figure 1. Biplot caused primery component of interaction effect and cultivar means in AMMI I model for 20 barley genotypes in 8 environment

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jcb.9.24.144]



شکل ۲- بای‌پلات حاصل از اولین و دومین مولفه اثر متقابل در مدل AMMI II برای ۲۰ ژنوتیپ جو در ۸ محیط

Table 2. Biplot caused primery and secondry component of interaction effect for AMMI II in 20 barley genotypes and 8 environments

در گروه چهارم ژنوتیپ‌های G2 و G16 قرار گرفتند ژنوتیپ G2 با IPCA 1 منفی و IPCA 2 نزدیک به صفر و ژنوتیپ G16 با IPCA 1 و IPCA 2 منفی بودند. ژنوتیپ G13 با مقادیر IPCA 1 و IPCA 2 بزرگ در گروه پنجم قرار گرفت و چون با محیط‌های E2، E3 و E7 در یک ناحیه واقع شده در نتیجه عملکرد بالاتری را در این محیط‌ها داشته است. در گروه ششم ژنوتیپ‌های G4 و G14 با IPCA 1 و IPCA 2 بزرگ و مثبت قرار داشتند و هر دو این ژنوتیپ‌ها عملکرد بالایی را در محیط E6 داشتند. گروه‌بندی بر مبنای اولین و دومین مولفه اصلی محیط‌ها را نیز به سه گروه تفکیک نمود. گروه اول شامل محیط‌های E2، E3 و E7، گروه دوم شامل محیط E6 و گروه سوم شامل محیط‌های E1، E4، E5 و E8 بودند. زاویه بین دو بردار محیطی نشان‌دهنده میزان همبستگی بین دو محیط می‌باشد (۱۳). چنانچه زاویه بین دو بردار محیطی کوچک‌تر باشد دو محیط همبستگی بالایی با یکدیگر داشته و نقش مشابهی در گزینش ژنوتیپ‌ها خواهند داشت (۸). محیط‌های با زاویه ۹۰ درجه فاقد همبستگی و زاویه بزرگتر از ۹۰ درجه همبستگی منفی دو محیط را از لحاظ ایجاد اثر متقابل نشان می‌دهد (۲). بر این اساس محیط‌های E1، E4، E5 و E8 بیشترین همبستگی را با یکدیگر نشان دادند و واکنش مشابهی را در گزینش ژنوتیپ‌ها داشتند. محیط E5 با محیط E6 تقریباً بدون همبستگی ولی با سایر محیط‌ها همبستگی منفی نشان داد. محیط‌های E7 و E8 نیز تقریباً فاقد همبستگی بودند. بر اساس نتایج حاصل از مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در این پژوهش، محیط مهم‌ترین عامل در ایجاد تغییرات عملکرد بین ژنوتیپ‌ها بود. نتایج نشان داد که مدل امی در مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط مفید بوده و قادر به تفکیک ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به گروه‌های متفاوت بود.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jcb.9.24.144]

منابع

1. Ali Akbarpour, O., H. Dehghani and B. Sorkhi laleh lou. 2011. Investigating univariate and multivariate stability parameters of barley (Hordeum voulgare L.) promising genotypes in cold climate of Iran. Iranian Journal of Field Crop Science, 42: 23-32 (In Persian).
2. Askarinia, P., G. Saeidi and A. Rezai. 2009. Pattern analysis of genotype × field environments interaction for grain yield in wheat using AMMI method. Electronic Journal of Crop Production, 2: 75-90 (In Persian).
3. Das, S., R.C. Misra, M.C. Patnaik and S.R. Das. 2010. GxE interaction, adaptability and yield stability of mid-early rice genotypes. Indian Journal of Agricultural Research, 44: 104-111.
4. Fattahi, F. and A. Yousefi. 2006. The assessment of stability of barely yield genotypes (*Hordeum vulgare* L.) using replicable stability parameters and pattern analysis with AMMI model. Iranian Journal of Agriculture Science, 37: 317-326 (In Persian).
5. Gauch, H.G. and R.W. Zobel. 1996. AMMI analysis of yield trials. In: Kang, M. S. and H. G. Jr. Gauch (eds), *Genotype- by -environment interaction*. (pp: 85-122). CRC Press, Boca Raton, Florida, 344 pp.
6. Gauch, H.G. and R.W. Zobel. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. Crop Science, 37: 311-326.
7. Koocheki, A.R., B. Sorkhi and M.R. Eslamzadeh Hesari. 2013. Study on Stability of Elite Barley (*Hordeum vulgare* L.) Genotypes for Cold Regions of Iran Using AMMI Method. Cereal Research, 2: 249-261.
8. Mohammadi, R., M. Armivan and M.M. Ahmadi. 2011. Genotype × Environment Interactions for Grain Yield of Durum Wheat Genotypes Using AMMI Model. Seed and Plant Improvement Journal, 27: 183-198 (In Persian).
9. Mostafavi, K., S. Hosseini Imeni and M. Zare. 2010. Stability Analysis of Rice Genotypes Based GGE biplot Method in North of Iran. Journal of Applied Sciences Research, 7: 1690-1694 (In Persian).
10. Nikkhah, H.R., A. Yousefi, S.M. Mortazavian and M. Arazmjoo. 2007. Analysis of yield stability of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes- using additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) model. Iranian Journal of Crop Sciences, 9: 1-13 (In Persian).
11. Payne, R.W. 2009. "Genstat". Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics. 1 (2): 255-258
12. Samonte, S.O.PB., L.T. Wilson, A.M. McClung and J.C. Medley. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. Crop Science, 45: 2414-2424.
13. Yan, W. and M.S. Kang. 2003. GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 269 pp.
14. Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Science, 42: 11-20.
15. Yan, W., M.S. Kang, B.M.S. Woods and P.L. Cornelius. 2007. GGE Biplot vs. AMMI Analysis of Genotype-by-Environment Data. Crop Science Society of America, 47: 641-653.
16. Zobel, R.W., M.J. Wright and H.G. Gauch. 1988. Statistical analysis of a yield trial. Agronomy, 80: 388-393.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jcb.9.24.144]

Evaluation of Genotype × Interaction Effects on Grain Yield of Barely Genotypes using Additive Main Effects and Multiplicative Interactions (AMMI)

Hossein Ali Fallahi[1], Shapour Ebrahimnejad[2], Hossein Sabouri[3], Iraj Lakzadeh[4], Marefat Ghasemi[5] and Shirali Kohkan[6]

1- Assistant Professor, Horticulture Crops Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari
2- Research Instructor, Horticulture Crops Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, (Corresponding author: ebrahimnejad1344@ yahoo.com)
3- Associate Professor, Gonbad-e Qabus University
4- Research Instructor, Horticulture Crops Research Department, Khozestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz
5- Assistant Professor, Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil
6- Research Instructor, Horticulture Crops Research Department, Sistan and Balochestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zabol
Received: September 20, 2015 Accepted: April 9, 2016

Abstract

For assessment of genotype × environment (G × E) interaction effects and determination of the most sustainable genotypes 20 barely lines were analyzed in at eight different experimental field stations. The experiments were performed based on Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replicates. Grain yield was obtained and the results of the combined analysis of variance revealed genotype, environment and genotype × environment interaction effects were highly significant. Genotypes yield means showed that the G1, G13 and G4 genotypes had the highest grain yield. AMMI model analysis was used to determine the magnitude and significance of the genotype × environments interactions and divided G×E interaction to two principle components that explained 46/48% and 19/52% of interaction effects respectively and residuals. Based on biplot and AMMI analysis G, G genotypes were selected as candidate's lines with both best performance and grain yield sustainability. The environment E5 with high IPCA 1 and low IPCA 2 had the highest effect on determination of genotypes. The genotype G20 was selected as candidate line with high grain yield performance and stability.

Keywords: AMMI Analysis, Barely, Grain Yield, Stability

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jcb.9.24.144]