دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

تجزیه برهمکنش ژنوتیپ - محیط در ژنوتیپ‌های پیشرفته جو با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر مدل AMMI و BLUP

علیرضا پورابوقداره[۱]، علی براتی[۲]، حسن زالی[۳]، شیرعلی کوهکن[۴]، آرش حسین‌پور[۵]، احمد قلی‌پور[۶] و اکبر مرزوقیان[۷]

۱- استادیار پژوهشی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران،
(نویسنده مسوول: a.poraboghadareh@gmail.com)
۲- استادیار پژوهشی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران
۴- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران
۵- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران
۶- مربی پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گنبد، ایران
۷- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۱۱
صفحه: ۱ تا ۱۰

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: آزمایش‌های چند محیطی و بررسی برهمکنش ژنوتیپ و محیط نقش مهمی در انتخاب ژنوتیپ‌های پرعملکرد و پایدار در مناطق مختلف قبل از معرفی دارد. این مطالعه با هدف ارزیابی مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌های پیشرفته جو از نظر عملکرد دانه و برخی از خصوصیات زراعی و همچنین تجزیه برهمکنش ژنوتیپ - محیط اجرا شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه ۱۹ ژنوتیپ جو در ایستگاه‌های تحقیقاتی مغان، زابل، گنبد و داراب در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار از نظر تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، دوره پر شدن دانه، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه طی سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ مورد ارزیابی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج تجزیه‌های آماری نشان داد اثرات محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ - محیط برای عملکرد دانه و سایر صفات معنی‌دار بود. با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ در محیط، آزمون نسبت درست‌نمایی (LRT) برای برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر عملکرد دانه و سایر صفات ارزیابی‌شده و تجزیه بهترین پیش‌بینی نااریب خطی (BLUP) صورت گرفت. مقادیر اجزای واریانس ژنتیکی برآورده شده بر اساس روش BLUP نشان داد سهم برهمکنش ژنوتیپ در محیط در توجیه واریانس فنوتیپی برای کلیه صفات بالا بود. علاوه براین، در بین صفات ارزیابی‌شده ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه دارای بیشترین میزان وراثت‌پذیری بودند. شاخص گزینش پایداری چندصفت (MTSI) ژنوتیپ‌های G5، G6، G8 و G17 را به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌ها مشخص نمود. از طرفی با توجه به نتایج به دست آمده از بای پلات عمکلرد و میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASB) ژنوتیپ‌های G5، G9، G10 و G17 با بیشترین عملکرد دانه و ضریب پایداری از دیگر ژنوتیپ‌ها متمایز شدند.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد ژنوتیپ G5 دارای بیشترین سازگاری عمومی در بین سایر ژنوتیپ‌ها بود. سایر ژنوتیپ‌های انتخاب شده نیز دارای سازگاری خصوصی با برخی از مناطق گرم شمال و جنوب کشور بودند. از این‌رو با بررسی پایداری این ژنوتیپ در چند سال زراعی دیگر و مشاهده برتری نسبی آن در مقایسه با سایر ارقام تجاری، می‌توان آن را به‌عنوان یک رقم پایدار و پربازده معرفی نمود.

واژه‌های کلیدی: اقلیم گرم، شاخص پایداری چندصفت، عملکرد دانه

مقدمه

جو (*Hordeum vulgare* L.) پس از گندم به‌عنوان مهم‌ترین غله زراعی شناخته شده است و بخش عمده‌ای از اراضی کشور به کشت این گیاه اختصاص یافته است (۵). از نظر میزان تحمل به تنش‌های محیطی، جو دارای درجه بالایی از تحمل به تنش شوری بوده و معمولاً به‌عنوان متحمل‌ترین گیاه زراعی به تنش شوری شناخته شده است (۱۸). بر اساس آخرین آمار و اطلاعات منتشرشده از سوی وزارت جهاد کشاورزی حدود ۱۲ میلیون هکتار سطح برداشت محصولات زراعی می‌باشد که تقریباً ۸/۵۰ میلیون هکتار (معادل ۷۱/۲۰ درصد از کل سطح برداشت محصولات زراعی) آن به غلات اختصاص داشته و در این بین جو با ۱/۵ میلیون هکتار پس از گندم (۵/۸۶ میلیون هکتار) در جایگاه دوم قرار دارد (۳). این گیاه زراعی دارای مصارف گوناگونی است که می‌توان به تغذیه حیوانات، صنایع مالت سازی، نوشابه‌های الکلی و بدون الکل و نیز تغذیه انسان اشاره نمود. در ایران مصرف عمده جو برای تغذیه دام و به مقدار کم برای تولید مالت و فرآورده‌های بدون الکل می‌باشد (۹). پیشرفت در برنامه‌های به‌نژادی برای صفات کمی در گیاهان زراعی مختلف وابسته به وجود برهمکنش بین ژنوتیپ و محیط (Genotype-by-environment interaction: GEI) است و هر چه این برهمکنش شدیدتر باشد انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس فنوتیپ آن‌ها مشکل‌تر خواهد بود. برهمکنش بین ژنوتیپ و محیط برای صفات کمی همچون عملکرد دانه که توسط تعداد بسیار زیادی ژن کنترل می‌شوند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ بنابراین بررسی این اثر در آزمایش‌های چند محیطی به‌عنوان یک جنبه مهم در نظر گرفته می‌شود زیرا می‌تواند هرگونه پیشرفت ناشی از گزینش را کاهش دهد (۲۹). با توجه به موروثی بودن عملکرد دانه و پایداری آن (۱۶) تاکنون انواعی از روش‌های تک متغیره پارامتری و ناپارامتری و همچنین چندمتغیره مانند اثرات اصلی جمع‌پذیر و برهمکنش ضرب‌پذیر (Additive main effect and multiplicative interaction: AMMI) و GGE (Genotype + Genotype-by-Environment) بای‌پلات

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.1]

توسط محققان مختلف پیشنهاد شده است و در تعداد بی‌شماری از مطالعات روی گیاهان زراعی مختلف از این روش‌های استفاده و در هر یک از آن‌ها مزایا و معایب هر یک از این روش‌ها مورد بحث قرار گرفته است (۷،۸،۱۳،۱۹،۲۳،۲۴،۲۶،۲۷،۳۱). هدف اصلی تمامی مدل‌های آماری نزدیک کردن مقادیر برآورد شده به مقدارهای دقیق با کمترین خطا می‌باشد. در آزمایش‌های چندمحیطی (Multi-environment trials: METs)، با به‌کارگیری از مدل‌های کلاسیک اجزای مدل به بخش‌های مختلفی همچون محیط و بلوک تقسیم شده و تا حدی از میزان ناهمگنی آزمایش جهت ارزیابی ژنوتیپ‌ها کاسته شده و برآورد داده‌ها به مقادیر واقعی نزدیک خواهد شد (۳۵). از این‌رو لازم است جهت برآورد دقیق پارامترهای ژنتیکی و کاهش خطای آزمایشی در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در کنار استفاده از طرح آزمایشی مناسب از مدل آماری دقیق نیز استفاده نمود.

یکی از مهم‌ترین موانع در انتخاب ژنوتیپ(ها) بر اساس یک یا چند صفت کمی وجود اثر GEI برای آن‌هاست. برهمکنش GE نقش مهمی در انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار دارد، زیرا اثر محیط در اکثر موارد بزرگتر از اثر ژنوتیپ بوده و همچنین قابل بهره‌برداری نیست و به همین دلیل تمرکز بر روی برهمکنش ژنوتیپ و محیط حایز اهمیت می‌باشد (۵). این اثر می‌تواند به دو صورت متقاطع و غیر متقاطع باشد. بخش متقاطع بیانگر عدم همبستگی بین صفات در محیط‌های جفت است و بخش غیر متقاطع می‌تواند به دلیل عدم تجانس واریانس ژنتیکی در محیط باشد. با توجه به اینکه این دو بخش جزء آزمون کای‌اسکوئر نیستند لذا آزمون مستقیمی برای آن‌ها موجود نیست (۴). بر اساس نظر یانگ (۳۵) در چنین شرایطی استفاده از مدل‌های مخلوط (Mixed models) نتیجه بهتری به همراه دارد. از این‌رو، بهبود روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به آزمایش‌های MET همواره مدنظر به‌نژادگران اصلاح نبات بوده است. یکی از روش‌های مهمی که در تجزیه داده‌های MET معرفی شده است عبارت است از روش حداکثر درست‌نمایی محدود شده (Restricted maximum likelihood: REML) که اساس آن برگرفته از مدل تئوریکی هندرسون می‌باشد (۱۱). برآورد مؤلفه‌های واریانس با ارائه همبستگی‌های ژنتیکی، انعطاف‌پذیری در مدل‌های خطی برای تجزیه داده‌های متعادل و نامتعادل، سودمندی بالا در آزمایش‌های حجیم‌شده و آلفا لاتیس و همچنین کاهش تعداد برآوردهای منفی پارامترهای ژنتیکی از جمله مزایای استفاده از این روش می‌باشند (۱۲،۱۷،۲۸). از دیگر روش‌های بسیار کاربردی در آزمایش‌های MET می‌توان به روش بهترین پیش‌بینی‌های خطی نااریب (Best linear unbiased predictors: BLUPs) اشاره نمود. در واقع این روش نه‌تنها میانگین صفات را با دقت بالایی به‌ویژه در مدل‌های مخلوط برآورد می‌کند، بلکه در صورت وجود اثر مختلط خطی (Linear mixed-effect models: LMM) پتانسیل بالایی در پیش‌بینی دقیق اثرات تصادفی دارد (۲۱،۲۲). اخیراً اولیوتو و همکاران (۲۱،۲۲) با بهره‌گیری از مزایای روش AMMI و ادغام آن‌ها در مدل BLUP الگوی شناسایی ژنوتیپ‌های پر عملکرد و پایدار را تسهیل نمودند. اساس این مدل استفاده از ماتریس GEI و لحاظ نمودن آن در تجزیه ارزش منفرد (Singular value decomposition: SVD) تجزیه AMMI است که در نهایت منجر به ارائه یک آماره پایداری بنام شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق (Weighted average of absolute scores: WAASB) می‌شود. به‌منظور ادغام جنبه‌های پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها شاخص دیگری بر اساس WAASB و تحت عنوان WASSBY (Weighted average of WAASB) ارائه شد. در شاخص اخیر، بسته به هدف به‌نژادگر می‌توان وزن‌های متفاوتی برای هر یک از شاخص‌های عملکرد و پایداری تعریف نمود (۲۲). در مطالعه پورابوقداره و همکاران (۲۵) از تلفیق ویژگی‌های AMMI و BLUP در ارزیابی مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌های جو استفاده شد. این محققان گزارش کردند WAASB نقش مهمی در شناسایی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد دانه بالا و پایدار جو دارد. کریمی‌زاده و همکاران (۱۴) نیز در بررسی میانگین عملکرد دانه و پایداری آن در ژنوتیپ‌های عدس از آماره‌های تلفیقی AMMI و BLUP استفاده کردند و نتایج آن‌ها بیانگر دقت پیش‌بینی این شاخص‌ها و کارایی آن‌ها در انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار و پر عملکرد بود. شریفی و همکاران (۳۰) نیز در بررسی عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌های برنج از مدل آماری BLUP و شاخص‌های مبتنی بر آن استفاده کردند این محققان نشان دادند انتخاب بر اساس شاخص‌های پایداری برآورد شده بر اساس روش BLUP در نهایت منجر به دستیابی به بهترین ژنوتیپ‌ها شد. زمانی که نتایج گزینش با استفاده از این شاخص‌ها با نتایج به‌دست‌آمده از شاخص پایداری چندصفت (Multi-trait stability index: MTSI) مقایسه شد مشخص گردید ژنوتیپ انتخاب‌شده بر اساس هر سه آماره نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه، پایداری عملکرد و سایر صفات برتر بود. به‌طورکلی هدف از این پژوهش شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالا جو با بهره‌گیری از روش‌های AMMI و BLUP برای بررسی‌های تکمیلی جهت کشت و استفاده در مناطق گرم کشور بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی مورد بررسی در این پژوهش شامل ۱۹ ژنوتیپ اصلاحی جو بود که مشخصات مربوط به شجره هر یک از آن‌ها به همراه ژنوتیپ‌های شاهد در جدول ۱ ارائه شده است. تمامی مواد ژنتیکی مورد ارزیابی در این پژوهش بر اساس دورگ‌گیری‌های داخلی بوده که در نهایت بر اساس آزمایش‌های پیشرفته مقایسه عملکرد جو برای اقلیم گرم کشور در سال زراعی ۹۹–۱۳۹۸ انتخاب شدند. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار ایستگاه تحقیقاتی واقع در گنبد، زابل، داراب و مغان در سال زراعی ۱۴۰۰–۱۳۹۹ اجرا شد. قبل از کاشت بذور مورد نظر، عملیات زراعی شامل شخم، دیسک، تسطیح قطعات زمین مورد نظر در هر یک از ایستگاه‌های تحقیقاتی انجام شد.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.1]

جدول ۱- شجره ژنوتیپ‌های جو مورد استفاده در تحقیق حاضر

Table 1. Pedigree of barley genotypes used in the current research

نمایه Code	شجره Pedigree
G1	Auxin
G2	Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/4/Malouh//Aths/Lignee686
G3	Lignee 527/NK1272//JLB 70-63/3/Sahra
G4	Cr115/Por//Bc/3/Api/CM67/4/Giza120/5/H272/Bgs/3/Mzq/Gva//...Alanda-01/6/Sahra
G5	KAROON/KAVIR//Rhodes'S'//Tb/Chzo/3/Gloria'S' /4/Sahra/5/Yousef
G6	KAROON/KAVIR//Rhodes'S'//Tb/Chzo/3/Gloria'S' /4/Sahra/5/Yousef
G7	Cr115/Por//Bc/3/Api/CM67/4/Giza120/5/H272/Bgs/3/Mzq/Gva//...Alanda-01/6/Sahra
G8	Aths/Lignee686/4/Avt/Attiki//Aths/3/Giza121/Pue (ICB95-0315-0AP-14AP-0AP-13AP-0AP-1AP-0AP)
G9	Malouh//Aths/Lignee686/4/Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"
G10	Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/4/LB.Iran/Una 8271//Gloria"S"/Come"s"-11M/3/Kavir
G11	CANELA/3/HEGE GS679.82/SHYRI//LAUREL/4/CERISE/SHYRI// … /5/MALOUH//Aths/Lignee686/6/Nik
G12	Cr115/Por//Bc/3/Api/CM67/4/Giza120/5/H272/Bgs/3/Mzq/Gva//...Alanda-01/6/Sahra
G13	Rojo/3/LB.IRAN/Una8271//Gloria"S"/Com"S"/4/Nosrat
G14	Cr115/Por//Bc/3/Api/CM67/4/Giza120/5/H272/Bgs/3/Mzq/Gva//...Alanda-01/6/Sahra
G15	Cr115/Por//Bc/3/Api/CM67/4/Giza120/5/H272/Bgs/3/Mzq/Gva//...Alanda-01/6/Sahra
G16	Merzaga(Orge077)/Alanda-01//Express (ICB04-0710-0AP-2AP-0AP)
G17	Aths/Lignee686/4/Avt/Attiki//Aths/3/Giza121/Pue (ICB95-0315-0AP-14AP-0AP-13AP-0AP-8AP-0AP)
G19	BREA/DL70//3*CABUYA/3/PENCO/CHEVRON-BAR (ICB09-1435-0AP-0TR-0AP-0TR-0AP-0TR)
G19	WB-97-6

قبل از انجام عملیات کاشت میزان کود مصرفی مطابق با فرمول کودی هر یک از مناطق اجرای آزمایش اعمال شد. در کلیه ایستگاه‌ها ابعاد کرت‌های آزمایشی ثابت و هر ژنوتیپ در یک کرت آزمایشی شامل شش خط به طول ۵ متر و فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر کشت شد. میزان بذر مصرفی بر مبنای ۳۵۰ دانه در متر مربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه برای هر ژنوتیپ تعیین شد. عملیات کاشت با استفاده از دستگاه بذرکار (Wintersteiger, Ried, Austria) صورت گرفت. در طول فصل زراعی، کلیه عملیات زراعی مرسوم انجام شد. در طول دوره رشد، صفاتی همچون تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، طول دوره پر شدن دانه، ارتفاع بوته، طول سنبله و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند. در پایان فصل رشد و پس از حذف اثر حاشیه، محصول هر کرت با استفاده از کمباین آزمایشی (Wintersteiger, Ried, Austria) برداشت و در نهایت عملکرد دانه هر ژنوتیپ برحسب تن در هکتار تعیین شد.

پس از جمع‌آوری داده‌های آزمایشی کلیه تجزیه‌های آماری با استفاده از بسته "metan" در نرم‌افزار R انجام شد (۲۰). اجزای واریانس ژنتیکی برای هر یک از صفات اندازه‌گیری شده و عملکرد دانه با روش حداکثر درست‌نمایی محدودشده (REML; Restricted maximum likelihood) برآورد شدند و جهت ارزیابی معنی‌داری اثرات تصادفی از آزمون نسبت درست‌نمایی (Likelihood ration test: LRT) استفاده شد. به‌منظور بررسی اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط و همچنین برهمکنش آن‌ها تجزیه مرکب انجام و تجزیه AMMI انجام شد.

جهت انتخاب برترین ژنوتیپ‌ها برخی از آماره‌های پایداری مبتنی بر BLUP مانند میانگین هارمونیک ارزش‌های ژنوتیپی (HMGV: Harmonic mean of genotypic values)، کارایی نسبی ارزش‌های ژنوتیپی (RPGV: Relative performance of genotypic values) و میانگین هارمونیک کارایی نسبی ارزش‌های ژنوتیپی (HMRPGV: Harmonic mean of relative performance of genotypic values) بر اساس عملکرد دانه محاسبه شد. تلفیق جنبه‌های AMMI و BLUP جهت انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر پایداری و عملکرد دانه به‌صورت گرافیکی و بر اساس آماره WAASB انجام شد. با در نظر گرفتن سایر صفات اندازه‌گیری شده انتخاب همزمان برای عملکرد دانه و پایداری از شاخص پایداری چند صفت (Multi-trait stability index: MTSI) استفاده شد (۲۱،۲۲). این شاخص با ضریب انتخاب ۲۰ درصد و در نظر گرفتن مقادیر پایین برای صفات ارتفاع بوته، تعداد روز تا ظهور سنبله، روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی و مقادیر بالا برای دوره پر شدن دانه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه محاسبه شد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی آزمون بارتلت نشان داد واریانس خطاهای آزمایشی در محیط‌های مورد مطالعه همگن بوده و از این‌رو امکان تجزیه مرکب داده‌های آزمایشی فراهم شد. بر اساس نتایج مندرج در جدول ۲ مشاهده شد اثر محیط (مکان)، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط برای کلیه صفات معنی‌دار بود. ضریب تغییرات صفات ارزیابی‌شده بین ۱/۲۹ و ۱۵ درصد متغیر بود که کمترین و بیشترین میزان آن به ترتیب مربوط به صفات تعداد روز تا ظهور سنبله و عملکرد دانه بود. بالا بودن ضریب تغییرات عملکرد دانه بیانگر پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه در محیط‌های مختلف می‌باشد که خود شرایط لازم برای تشریح برهمکنش ژنوتیپ در محیط را فراهم می‌کند. در این راستا نتایج به‌دست آمده در این مطالعه با سایر گزارش‌های ارائه شده در رابطه با معنی‌داری اثر محیط مطابقت نشان داد (۱،۲،۱۰،۱۵،۲۵،۳۲،۳۳).

نتایج به‌دست‌آمده از آزمون LRT نشان داد برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر تمامی صفات معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به معنی‌دار بودن اثر GEI بر کلیه صفات اندازه‌گیری شده استفاده از تجزیه BLUP برای برآورد اجزای واریانس ژنتیکی نتایج قابل اعتمادتری ارائه خواهد کرد (۲۲). علاوه بر این، با استفاده از روش REML/BLUP مقادیر اجزای واریانس ژنتیکی برای هریک از صفات اندازه‌گیری شده برآورد شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که در بین صفات مختلف، بیشترین سهم واریانس ژنتیکی در توجیه واریانس فنوتیپی مربوط به صفات وزن هزار دانه (۴۱/۱۳ درصد) و ارتفاع بوته (۱۹/۷۸ درصد) بود. سهم اثر GEI در توجیه تغییرات فنوتیپی برای کلیه صفات به‌جز دوره پر شدن

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.1]

دانه نسبتاً بالا بود. سهم واریانس ژنتیکی، برهمکنش ژنوتیپ و محیط و خطا در توجیه تغییرات فنوتیپی عملکرد دانه به‌عنوان مهم‌ترین صفت در نظر گرفته شده این مطالعه بترتیب برابر ۱۰/۸۹، ۴۶/۵۹ و ۴۱/۶۴ درصد برآورد شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب، آزمون نسبت درست‌نمایی و برآورد اجزای واریانس ژنتیکی برای عملکرد دانه و سایر صفات زراعی

Table 2. Combined analysis of variance, likelihood ration test, and estimated genetic variance components for grain yield and other measured agronomic traits

منبع تغییرات Source of variation	df	میانگین مربعات Mean square					
		PH	DH	DM	GFP	TGW	GY
محیط Environment	3	9519.45**	22939.35**	29119.02**	1364.15**	1499.42**	45.30**
تکرار / محیط Replication/ environment	8	72.72	3.42	6.37	3.56	29.65	0.71
ژنوتیپ Genotype	18	196.38**	16.54**	13.86**	10.76**	75.23**	2.53**
برهمکنش Interaction	54	87.04**	۱۹.19**	9.48**	11.53**	15.43**	1.48**
خطا Erro	144	12.15	2.33	2.28	2.45	2.91	0.33
CV (%)		3.47	1.29	9.76	4.25	4.20	15
آزمون نسبت درست‌نمایی / Likelihood test							
GEI		4.13×10^{-12}	7.18×10^{-11}	1.21×10^{-11}	1.43×10^{-12}	1.51×10^{-15}	1.43×10^{-12}
اجزای واریانس ژنتیکی / Genetic variation components							
σ^2_P		46.20	5.24	5.05	5.42	12.10	0.81
σ^2_G		9.14	0.61	0.36	0.00	4.98	0.09
σ^2_{GE}		24.98	2.32	2.36	0.03	6.46	0.38
σ^2_E		12.14	2.35	2.30	0.02	2.92	0.34
h^2		0.20	0.12	0.07	0.00	0.41	0.11
h^2_m		0.56	0.44	0.32	0.00	0.79	0.42
R^2- GEI		0.54	0.44	0.47	0.55	0.45	0.47
Accuracy		0.75	0.66	0.56	0.55	0.89	0.64
Mean		100.42	117.97	154.81	3.68	40.56	3.86

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

DH، DM، GFP، PH، TGW و GY به ترتیب بیانگر تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، دوره پر شدن دانه، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه می‌باشند

**: Significant at 0.01 probability level.

DH, DM, GFP, PH, TGW, and GY indicate the number of days to heading, number of days to physiological maturity, grain filling period, plant height, 1000-grains weight, and grain yield, respectively.

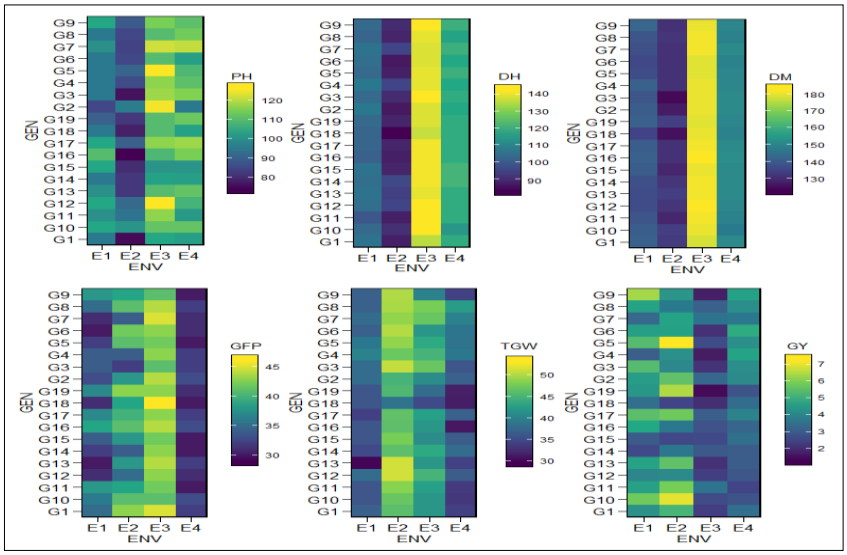
برآورد وراثت‌پذیری صفات و دقت پیش‌بینی نقش مهمی در پیشرفت برنامه‌های به‌نژادی در جهت شناسایی و توصیه ژنوتیپ‌ها دارد (۶،۲۲). در این راستا صفات ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه از میزان وراثت‌پذیری عمومی و وراثت‌پذیری بر مبنای میانگین بالایی برخوردار بودند. ضریب تبیین برهمکنش ژنوتیپ در محیط نیز برای کلیه صفات بالا بود. به‌طور کلی نتایج به‌دست‌آمده در این زمینه گواه وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های ارزیابی شده از نظر صفات مورد مطالعه بود به طوریکه سهم برهمکنش ژنوتیپ و محیط برای هر یک از آن‌ها در توجیه تغییرات فنوتیپی نشان‌دهنده اهمیت بررسی این اثر و انجام تجزیه‌های تکمیلی می‌باشد.

روند تغییرات میانگین عملکرد دانه و سایر صفات زراعی ژنوتیپ‌های ارزیابی‌شده در هر یک از ایستگاه‌های داراب، زابل، مغان و گنبد در شکل ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود از نظر ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه کلیه ژنوتیپ‌ها در تمامی محیط‌ها دارای دامنه تغییرات گسترده‌ای بودند.

روند تغییرات تعداد روز تا ظهور سنبله و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌ها در هر یک از محیط‌ها متفاوت از هم بود ولی تفاوت بسیار معنی‌داری بین آن‌ها در هر محیط مشاهده نشد. دوره پر شدن دانه نیز در سه محیط زابل، داراب و مغان دارای دامنه تغییرات گسترده‌ای در بین ژنوتیپ‌ها بود. با توجه به اینکه غالباً انتخاب بر اساس صفات مختلف متفاوت نتایج متفاوتی را ارائه می‌دهد از اینرو با در نظر گرفتن سهم کلیه صفات اندازه‌گیری شده در پایداری عملکرد دانه از شاخص انتخاب پایداری چندصفتی (MTSI) برای شناسایی برترین ژنوتیپ‌ها استفاده شد. در مناطق گرم کشور که معمولاً گیاهان با تنش خشکی آخر فصل روبرو می‌شوند تاریخ گلدهی نقش مهمی در بهبود عملکرد دانه دارد. البته بایستی توجه داشت که زودرسی زمانی مفید خواهد بود که دوره پر شدن دانه محدود نشود و گیاه فرصت لازم برای تکمیل این دوره را داشته باشد تا از چروکیدگی و کاهش وزن دانه جلوگیری کند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

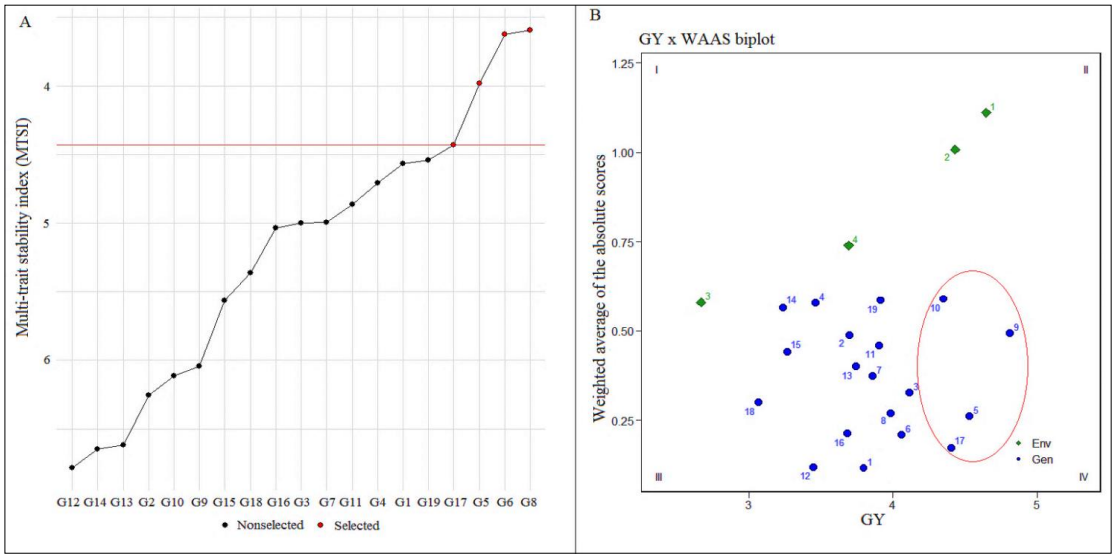
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.1]



شکل ۱- تصویر حرارتی مربوط به میانگین هر یک از صفات اندازه‌گیری شده در این پژوهش. DH، DM، GFP، PH، TGW و GY به ترتیب بیانگر تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، دوره پر شدن دانه، ارتفاع بوته (سانتیمتر) ، وزن هزار دانه (گرم) و عملکرد دانه (تن در هکتار) می‌باشند

Figure 1. The heat-map related to men values of measured traits in the present study. DH, DM, GFP, PH, TGW, and GY indicate the number of days to heading, number of days to physiological maturity, grin filling period, plant height (cm), 1000-grains weight (gr), and grain yield (tonnes h^{-1}), respectively

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از گزینش بر اساس شاخص MTSI ژنوتیپ‌های G8، G6 و G5 به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. ژنوتیپ G17 در حد آستانه انتخاب قرار گرفت بنابراین می‌توان نتیجه گرفت این ژنوتیپ ممکن است از نظر برخی از صفات دارای قابلیت ویژه‌ای نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها باشد و در مطالعات بعدی سایر ویژگی‌های آن به همراه ژنوتیپ‌های انتخاب‌شده مورد بررسی و توجه قرار گیرد (شکل ۲A).



شکل ۲- ژنوتیپ‌های انتخاب شده جو بر اساس شاخص پایداری چند صفتی (MTSI) (A) و بای‌پلات عملکرد دانه در مقابل میانگین وزنی نمرات مطلق(B)

Figure 2. Selected genotypes of barley based on the MTSI index (A) and the biplot based on grain yield × the weighted average of absolute scores (WAAS)

غالباً در تجزیه‌های چند متغیره اثر هم‌خطی بین صفات به‌عنوان یک عامل محدودکننده در بررسی روابط بین آن‌ها و در نهایت انتخاب بر اساس مجموع صفات در نظر گرفته می‌شود (۳۴). شاخص MTSI بر پایه تجزیه عاملی انجام می‌شود در نتیجه از بروز هم خطی جلوگیری می‌کند. علاوه براین این شاخص، با در نظر گرفتن ضرایب عاملی هر یک از صفات و همچنین ارتباط بین آن‌ها یک مسیر منحصربه‌فرد و ساده را برای انتخاب هم‌زمان عملکرد و پایداری برای به

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.1]

نژادگران فراهم می‌آورد (۲۲،۳۰). در این راستا شریفی و همکاران (۳۰) در ارزیابی عملکرد دانه و سایر صفات زراعی در مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌های برنج از شاخص MTSI استفاده کردند و نشان دادند این شاخص به‌خوبی قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های برتر برنج از نظر عملکرد دانه، پایداری عملکرد و سایر صفات زراعی بود. این نتایج با یافته‌های به‌دست‌آمده از این تحقیق در رابطه با کارایی شاخص MTSI در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر مطابقت داشت.

نتایج تجزیه AMMI اثر معنی‌داری برای محیط، ژنوتیپ و برهمکنش بین آن‌ها نشان داد و تمامی تغییرات اثر GEI توسط سه مؤلفه نخست توجیه شد (جدول تجزیه AMMI نشان داده نشده است). با توجه به معنی‌داری اثر GEI برای عملکرد دانه، آماره‌های پایداری بر مبنای این تجزیه و مدل BLUP محاسبه و نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است. مقایسه عملکرد دانه ژنوتیپ‌های ارزیابی‌شده در محیط‌های مختلف نشان داد دو ژنوتیپ G5 و G9 به ترتیب با متوسط عملکرد دانه ۴/۵۳ و ۴/۸۱ تن در هکتار در مجموع نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارای بیشترین عملکرد دانه بودند. علاوه براین، ژنوتیپ G5 در تمامی محیط‌ها از نظر عملکرد دانه جزو چهار ژنوتیپ برتر شناسایی شد. لذا این ژنوتیپ‌ها می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با سازگاری عمومی برای بیشتر مناطق گرم کشور در آزمایش‌های بعدی مورد توجه قرار گیرند. ژنوتیپ G9 نیز در سه محیط داراب، گنبد و زابل از نظر عملکرد دانه نسبت به ارقام شاهد و سایر ژنوتیپ‌ها برتر بود. همچنین ژنوتیپ G17 با عملکردهای ۵/۶۵، ۳/۹۶، ۳/۳۹ تن در هکتار به ترتیب در محیط‌های زابل، گنبد و مغان و همچنین میانگین عملکرد ۴/۴۱ تن در هکتار نسبت به ارقام شاهد جزو ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شد. اگرچه این ژنوتیپ در زابل دارای عملکرد بالایی بود با این‌حال به نظر می‌رسد سازگاری خوبی با مناطق شمالی و گرم کشور داشته باشد؛ بنابراین تمرکز بر روی این لاین برای آزمایش‌های تکمیلی جهت معرفی به‌عنوان یک لاین با سازگاری خصوصی برای این مناطق قابل توجه است. ژنوتیپ G10 در دو محیط زابل و داراب دارای بالاترین عملکرد دانه نسبت به ارقام شاهد و سایر ژنوتیپ‌ها بود. از این‌رو می‌توان اظهار داشت این ژنوتیپ نیز دارای سازگاری خصوصی برای استفاده در مناطق جنوبی کشور با آب و هوایی گرم و خشک می‌باشد. بررسی آماره‌های پایداری مبتنی بر مدل BLUP نیز نتایج فوق را تأیید کرد به‌طوری‌که چهار ژنوتیپ G5، G9، G10 و G17 دارای کمترین مقادیر HMGV، RPGV و HMRPGV بودند. به‌منظور نمایش گرافیکی تفکیک ژنوتیپ‌های ارزیابی‌شده بر اساس عملکرد و پایداری آن از بای‌پلات مبتنی بر آماره WAASB و عملکرد دانه استفاده شد (شکل ۲B). از مهم‌ترین مزایای این بای‌پلات می‌توان به‌بکارگیری تمامی محورهای IPCA استخراج‌شده از تجزیه AMMI اشاره نمود. به عبارت دیگر در این روش بخشی از برهمکنش GE که در مؤلفه نخست AMMI بروز نکرده است به‌واسطه مؤلفه دیگر در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها لحاظ خواهد شد (۲۱). با توجه به نتایج به تصویر کشیده شده در این بای‌پلات مشاهده شد چهار ژنوتیپ G5، G9، G10 و G17 با قرارگیری در ربع چهارم بای‌پلات نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها و ارقام شاهد دارای بالاترین عملکرد دانه هستند. از نظر پایداری نیز ژنوتیپ G5 و G17 نسبت به دو ژنوتیپ G9 و G10 دارای رتبه بهتری بودند. ژنوتیپ‌های G3، G6 و G8 نیز در مجموع نسبت به ارقام شاهد دارای عملکرد بیشتر و ضریب پایداری بهتری بودند که خود بیانگر توجه به این ژنوتیپ‌ها جهت استفاده در برنامه‌های دورگ گیری به‌نژادی جو آبی در اقلیم گرم می‌باشد. از دیگر نتایج به‌دست‌آمده از این بای‌پلات می‌توان به همبستگی بالا بین محیط‌های زابل و داراب اشاره کرد. دو محیط مغان و گنبد نیز اگرچه با یکدیگر همبستگی معنی‌دار نشان ندادند با این‌حال به‌صورت کاملاً مشخص از محیط‌های واقع در جنوب کشور متمایز و در گروه مجزایی قرار گرفتند.

مناطق مستعد کشت جو در نواحی شمال و جنوب اقلیم گرم کشور دارای شرایط آب و هوایی متفاوتی از هم هستند که این موضوع خود تأکیدی بر اهمیت سازگاری خصوصی و معرفی ژنوتیپ‌هایی برای هر یک از مناطق موجود در این اقلیم می‌باشد (۹). در حال حاضر ارقامی همچون نیمروز، زهک و نوروز (سازگار با اقلیم گرم و خشک جنوب کشور)، ارقام صحرا و نوبهار (سازگار با اقلیم گرم و مرطوب شمال کشور)، رقم اکسین (سازگار مناطق گرمسیر جنوب و شمال کشور) و رقم دشت (سازگار برای کشت در دشت مغان) معرفی شده است. تأثیر چشمگیر تغییرات اقلیمی بر میزان تولید محصولات زراعی سبب شده است تا تلاش برای بهبود عملکرد دانه و پایداری آن در ارقام مختلف همواره مورد توجه به‌نژادگران قرار گیرد. برنامه‌های به‌نژادی جو در اقلیم گرم برخلاف گندم به‌صورت جداگانه برای جنوب و شمال اجرا نمی‌شود و مواد ژنتیکی مورد بررسی غالباً به‌صورت مشترک در هر دو منطقه مورد بررسی قرار می‌گیرند. از این‌رو، بررسی پاسخ ژنوتیپ‌ها در هر یک از محیط‌ها امکان شناسایی ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی برای هر یک از مناطق را امکان‌پذیر می‌کند و موجب افزایش سطح زیر کشت و تولید این گیاه زراعی خواهد شد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از بررسی عملکرد دانه و سایر صفات زراعی مشخص شد تنوع ژنتیکی قابل توجهی در بین ژنوتیپ‌های ارزیابی‌شده در هر یک از محیط‌ها وجود دارد. علاوه براین، نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس مرکب و آزمون نسبت درست‌نمایی (LRT) مشخص شد برهمکنش ژنوتیپ در محیط برای عملکرد دانه و سایر صفات معنی‌دار بود که این نتیجه بیانگر اهمیت بررسی سایر صفات زراعی در انتخاب ژنوتیپ‌های پربازده و پایدار است. در این راستا نمودار گزینش ژنوتیپ برتر بر اساس شاخص پایداری چند صفتی (MTSI) منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های G5، G6، G8 و G17 به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و پایدار شد.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.1]

جدول ۳- مقادیر میانگین عملکرد دانه ۱۹ ژنوتیپ ارزیابی‌شده جو در چهار محیط مختلف به همراه آماره‌های مبتنی بر ادغام مدل‌های AMMI و BLUP

Table 3. Mean values for grain yield in the 19 investigated barley genotypes across four different environments along with estimated stability statistics based on integrating AMMI and BLUP models

Code	داراب Darab		گنبد Gonbad		زابل Zabol		مغان Moghan		میانگین Average		رتبه Rank		WAAS	Rank	HMGV	Rank	RPGV	Rank	HMRPGV	Rank
	Mean	R	Mean	R	Mean	R	Mean	R	Mean	STD	Mean	STD								
G1	4.12	11	3.52	11	4.54	12	3.01	6	3.80	0.58	10	2.35	0.12	1	3.70	9	3.84	10	3.83	9
G2	3.04	19	3.86	9	4.88	10	3.01	5	3.70	0.76	10.75	5.12	0.49	12	3.59	10	3.77	12	3.69	12
G3	4.22	10	3.94	7	5.75	3	2.56	12	4.12	1.13	8	3.39	0.33	9	3.80	6	4.05	5	4.02	5
G4	3.50	16	4.55	2	3.22	17	2.59	11	3.47	0.71	11.50	5.94	0.58	16	3.39	15	3.58	15	3.49	16
G5	5.63	3	4.01	4	5.37	5	3.10	3	4.53	1.03	3.75	0.83	0.26	7	4.21	2	4.43	2	4.42	2
G6	4.64	8	4.74	1	4.45	13	2.42	15	4.06	0.95	9.25	5.40	0.21	2	3.77	7	4.02	6	3.98	6
G7	4.98	7	3.91	8	3.69	15	2.86	7	3.86	0.76	9.25	3.34	0.37	8	3.72	8	3.90	8	3.85	8
G8	3.79	14	3.95	6	5.17	6	3.04	4	3.99	0.76	7.50	3.84	0.27	4	3.83	5	4	7	3.97	7
G9	5.46	4	4.50	3	6.65	1	2.64	9	4.81	1.47	4.25	2.95	0.49	19	4.26	1	4.60	1	4.56	1
G10	5.80	1	3.16	15	5.93	2	2.52	14	4.35	1.53	8	6.52	0.59	17	3.84	4	4.19	4	4.11	4
G11	5.29	5	2.81	19	4.99	8	2.54	13	3.91	1.24	11.25	5.31	0.46	13	3.57	11	3.85	9	3.79	10
G12	3.80	13	3.15	16	4.10	14	2.74	8	3.45	0.53	12.75	2.95	0.12	4	3.40	14	3.53	16	3.52	15
G13	4.99	6	3.02	18	4.92	9	2.04	19	3.74	1.26	13	5.61	0.40	10	3.36	16	3.67	14	3.62	14
G14	3.70	15	3.27	14	2.83	19	3.14	2	3.24	0.31	12.50	6.34	0.57	18	3.29	17	3.43	17	3.33	17
G15	3.99	12	3.72	10	3.09	18	2.27	16	3.27	0.66	14	3.16	0.44	14	3.20	18	3.37	18	3.33	18
G16	3.50	17	3.50	12	5.11	7	2.63	10	3.69	0.90	11.50	3.64	0.21	2	3.52	12	3.71	13	3.68	13
G17	4.62	9	3.96	5	5.65	4	3.39	1	4.41	0.84	4.75	2.86	0.17	6	4.18	3	4.36	3	4.34	3
G18	3.38	18	3.44	13	3.30	16	2.14	17	3.07	0.54	16	1.87	0.30	11	3.04	19	3.19	19	3.17	19
G19	5.76	2	3.13	17	4.65	11	2.13	18	3.92	1.39	12	6.36	0.58	15	3.49	13	3.83	11	3.74	11

DH، DM، GFP، PH، GY، TGW، WAAS، HMGV، RPGV و HMRPGV به ترتیب بیانگر تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی، ارتفاع بوته (cm)، عملکرد دانه (تن در هکتار)، وزن هزار دانه (گرم)، میانگین وزنی نمرات مطلق برای بهترین پیش‌بینی‌های نااریب خطی از برهمکنش GE، میانگین هارمونیک ارزش‌های ژنوتیپی، کارایی نسبی ارزش‌های ژنوتیپی و میانگین هارمونیک کارایی نسبی ارزش‌های ژنوتیپی می‌باشند.

DH, DM, GFP, PH, GY, TGW, WAAS, HMGV, RPGV, and HMRPGV indicate the number of days to heading, number of days to physiological maturity, plant height (cm), grain yield (tonnes h^{-1}), 1000-grains weight (gr), Weighted average of absolute scores, Harmonic mean of genotypic values, Relative performance of genotypic values, and Harmonic mean of RPGV, respectively.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.1]

استفاده از شاخص‌های پایداری مبتنی بر مدل BLUP نیز چهار ژنوتیپ G5، G9، G10 و G17 را به‌عنوان ژنوتیپ‌های ایده‌آل از دیگر ژنوتیپ‌ها متمایز نمود. با بررسی نمودار عملکرد دانه در برابر میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASB) در قالب یک نمودار دوبعدی توزیع ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و پایداری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این نمودار نشان داد دو ژنوتیپ G5 و G17 دارای پایداری عملکرد بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها هستند. از طرف دیگر G9 دارای بالاترین عملکرد دانه نسبت به ارقام شاهد و سایر ژنوتیپ‌ها بود. به‌طورکلی بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان اظهار داشت ژنوتیپ G5 با متوسط عملکرد (۵/۶۳ تن در هکتار) دارای سازگاری عمومی بالا به کلیه محیط‌ها می‌باشد. ژنوتیپ G9 و G10 نیز به‌ترتیب با متوسط عملکرد ۵/۴۶ و ۵/۸۰ تن در هکتار دارای سازگاری خصوصی قابل توجهی با مناطق گرم جنوب شرقی کشور (زابل و داراب) بودند. ژنوتیپ G17 نیز با میانگین عملکرد ۴/۶۲ تن در هکتار می‌تواند کاندید مناسبی برای مناطق گرم شمال کشور مانند مغان و گنبد باشد؛ بنابراین توجه ویژه به این ژنوتیپ‌ها در برنامه‌های اصلاحی جو آبی و ارزیابی دقیق‌تر آن‌ها جهت معرفی به‌عنوان ارقام پایدار و پر عملکرد قابل توصیه می‌باشد.

تشکر و قدردانی

از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر بابت تأمین هزینه‌های اجرایی این پژوهش در قالب پروژه‌های تحقیقاتی جو آبی (کد مصوب: ۹۹۰۹۲۳-۰-۰۳-۰۳-۰۸۲) برای مناطق گرم کشور سپاسگزاری می‌شود. همچنین نویسندگان مقاله از آقایان عباس پودینه و علیرضا گلستانی‌کلستانی و سرکار خانم معصومه خیرگو به پاس کمک در اجرای آزمایش در ایستگاه‌های تحقیقاتی زابل، داراب و گنبد کمال تشکر را دارند.

منابع

1. Ahakpaz, F., H. Abdi, E. Neyestani, A. Hesami, B. Mohammadi, N. Mahmoudi, G. Abedi Asl, M.R. Jazayeri Noshabadi, F. Ahakpaz and H. Alipour. 2021. Genotype by environment interaction analysis for grain yield of barley genotypes under dryland conditions and the role of monthly rainfall. Agricultural Water Management, 245:106665.
2. Ahmadi, J., B. Vaezi and A. Pour-Aboughadareh. 2016. Analysis of variability, heritability, and interrelationships among grain yield and related characters in barley advanced lines. Genetika, 48: 73-85.
3. Ahmadi, K., H. Hatami, F. Abdeshah and V. Kazemian. 2020. Agricultural Statistics (2019–2020 Cropping Year): Crop Plants. Ministry of Agriculture-Jahad 1: 97.
4. Akbarpour, A., H. Dehghani, M. Roustai and A. Amini. 2015. Evaluation of some properties of Iranian wheat genotypes in normal and salt-stressed conditions using Restricted Maximum Likelihood (REML). Iranian Journal of Field Crop Science, 46: 57-69 (In Persian).
5. Barati, A., H. Zali, A. Pour-Aboughadareh, A. Gholipour, S. Koohkan, K. Shahbazi Momounlo, A. Marzoghian, M. Jabbari, O. Poodineh and M. Kheirgoo. 2022. Identification of irrigated barley genotypes with high and stable grain yield in warm regions of Iran. Journal of Crop Breeding, 40: 162-172 (In Persian).
6. Benakanahalli, N.K., S. Sridhara, N. Ramesh, T. Olivoto, G. Sreekantappa, N. Tamam, A.M.M. Abdelbacki, H.O. Elansary and S.A.M. Abdelmohsen. 2021. A framework for identification of stable genotypes based on MTSI and MGDII Indexes: an example in guar (*Cymopsis tetragonoloba* L.). Agronomy, 11: 1221.
7. Eberhart, S.A.T. and W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science, 6: 36-40.
8. Francis, T.R. and L.W. Kannenberg. 1987. Yield stability studies in short-season maize: I.A descriptive method for grouping genotypes. Canadian Journal of Plant Science, 58: 1029-1034.
9. Ghazvini, H., S. Bagherikia, A. Pour-Aboughadareh, M. Sharifalhossaini, S.A. Razavi, S. Mohammadi, M. Ghasemikalkhoran, A. Fathihafshejania and G. Khakizadeh. 2021. GGE biplot analysis of promising barley lines in the cold regions of Iran. Journal of Crop Improvement. https://doi.org/10.1080/15427528.2021.1977448
10. Ghazvini, H., S.A. Kohkan, I. Lakzadeh, H.A. Fallahi, J. Alt-Jafarbay, M. Ghasemi, A.A. Amini, S.M. Tabib-Ghafari and B. Sorkhi-Lalelu. 2014. Zahak, a new irrigated barley cultivar with wide adaptability in the warm and dry agro-climate zone in the south of Iran. Research Achievements for Field and Horticulture Crops, 3: 15-26.
11. Henderson, C.R. 1984. Applications of Linear Models in Animal Breeding. Guelph, Ont.: University of Guelph.
12. Holland, J.B. 2006. Estimating genotypic correlations and their standard errors using multivariate restricted maximum likelihood estimation with SAS Proc MIXED. Crop Science, 46: 642-654.
13. Kang, M.S. 1988. A rank-sum method for selecting high yielding stable corn genotypes. Cereal Research Communications, 16: 113-115.
14. Karimizadeh, R., P. Pezeshkpour, M. Barzali, A. Mehrabam and P. Sharifi. 2021. Evaluation the mean performance and stability of lentil genotypes by combining features of AMMI and BLUP techniques. Journal of Crop Breeding, 36: 160-170 (In Persian).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.1]

15. Khalili, M., A. Pour-Aboughadareh and M.R. Naghavi. 2016. Assessment of drought tolerance in barley: integrated selection criterion and drought tolerance indices. Environmental and Experimental Biology, 14: 33-41.
16. Lin, C.S. and M.R. Binns. 1988. A method of analyzing cultivar x location x year experiments a new stability parameter. Theoretical and Applied Genetics, 76: 425-430.
17. Liu, B.H., S. Knapp and D. Birkes. 1997. Sampling distributions, biases, variances, and confidence intervals for genetic correlations. Theoretical and Applied Genetics, 94: 8-19.
18. Mwando, E., Y. Han, T.T. Angessa, G. Zhou, C.B. Hill, X.Q. Zhang and C. Li. 2020. Genome wide association study of salinity tolerance during germination in barley (*Hordeum vulgare* L.). Frontiers in Plant Science, 11: 118.
19. Nassar, R. and M. Huehn. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: tests of *significance* for nonparametric measures of phenotypic stability. Biometrics, 43: 45-53.
20. Olivoto, T. and A.D.C. Lucio. 2020. Metan: An R package for multi-environment trial analysis. Methods in Ecology and Evolution, 11:783-789.
21. Olivoto, T., A.D.C. Lucio, J.A.G. da Silva, B.G. Sari, and M.I. Diel. 2019a. Mean performance and stability in multi-environment trials II: selection based on multiple traits. Agronomy Journal, 111: 2961-2969.
22. Olivoto, T., A.D.C. Lucio, J.A.G. da Silva, V. S. Marchioro, V.Q. de Souza and E. Jost. 2019b. Mean performance and stability in multi-environment trials I: combining features of AMMI and BLUP techniques. Agronomy Journal, 111: 2949-2960.
23. Pinthus, J.M. 1973. Estimate of genotype value: a proposed method. Euphytica, 22: 121-123.
24. Plaisted, R.I. and L.C. Peterson. 1959. A technique for evaluating the ability of selection to yield consistently in different locations or seasons. American Potato Journal, 36: 381-385.
25. Pour-Aboughadareh, A., S. Sanjani, H. Nikkhah-Chamanabad, M.R. Mehrvar, A. Asadi and A. Amini. 2021. Identification of salt-tolerant barley genotypes using multiple-traits index and yield performance at the early growth and maturity stages. Bulletin of the National Research Centre, 45: 117.
26. Purchase, J.L., H. Hatting, C.S. Van Deventer. 2000. Genotype × environment interaction of winter wheat in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. South African Journal of Plant and Soil, 17: 101-107.
27. Raju, B.M.K. 2002. A study on AMMI model and its biplots. Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics, 55: 297-322.
28. Searle, S.R., G. Casella and C. McCulloch. 1992. Variance components. Wiley, New York.
29. Sharifi, P. 2020b. Evolution, Domesicatin, Breeding Methods and the Latest Breeding Findings in Rice. Agricultural and Natural Resources Engineering Organization of Iran, IR (In Persian).
30. Sharifi, P., A. Abbasian and A. Mohaddesi. 2021. Evaluation the mean performance and stability of rice genotypes by combining features of AMMI and BLUP techniques and selection based on multiple traits. Plant Genetic Researches, 7: 163-180.
31. Shukla, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype–environmental components of variability. Heredity, 28: 237-245.
32. Vaezi, B., A. Pour Aboughadareh, A. Mehraban, T. Hossein Pour, R. Mohammadi, M. Armion and Dorri, M. 2018. The use of parametric and nonparametric measures for selecting stable and adapted barley lines. Archives of Agronomy and Soil Science, 64: 597-611.
33. Vaezi, B., A. Pour Aboughadareh, R. Mohammadi, A. Mehraban, T. Hossein Pour, E. Koohkan, S. Ghasemi, H. Moradkhani and K.H. Siddique. 2019. Integrating different stability models to investigate genotype × environment interactions and identify stable and high yielding barley genotypes. Euphytica, 215: 63.
34. Viotto Del Conte, M., P.C.S. Carneiro, M.D. Vilela de Resende, F. Lopes da Silva and L.A. Peternelli. 2020. Overcoming collinearity in path analysis of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] grain oil content. PLoS One, 15: e0233290.
35. Yang, R.C. 2010. Towards understanding and use of mixed-model analysis of agricultural experiments. Canadian Journal of Plant Science, 90: 605-627.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.1]

Analysis of Genotype-by-Environment Interaction in Advanced Genotypes of Barley using AMMI and BLUP-Based Indices

Alireza Pour-Aboughadareh[1], Ali Barati[2], Hassan Zali[3], Shir Ali Koohkan[4], Arash Hosseinpour[5], Ahmad Gholipoor[6] and Akbar Marzoghian[7]

1- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, (Corresponding Author: a.poraboghadareh@gmail.com)
2- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Darab, Iran
4- Assistant Professor, Horticulture Crops Research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Zabol, Iran
5- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran
6- Researcher, Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gonbad, Iran
7- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Ahvaz Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran
Received: 20 April, 2022 Accepted: 1 Jun, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: Multi-environment trials and study genotype-by-environment interaction have a fundamental role in the selection of the high yielding and stable genotypes across different environments before its commercial release.

Material and Methods: In the present study, 19 barley genotypes were evaluated across four research stations including Moghan, Zabol, Gonbad, and Darab in a randomized complete block with three replications in terms of the number of days to heading, number of days to physiological maturity, grain filling period, plant height, 1000-grains weight and grain yield during 2020-2021 cropping season.

Results: Statistical analyses showed a significant difference among environments, genotypes, and their interaction for grain yield and other measured traits. The likelihood ration test (LRT) showed significant effect for genotype-by-environment interaction on grain yield and other agronomic traits, hence, the best linear unbiased prediction (BLUP) analysis was computed. The values of estimated genetic variance components based on the BLUP model showed that the genotype-by-environment interaction (GEI) effect accounted for a high portion of phenotypic variance in all measured traits. Furthermore, plant height, 1000-grains weight and grain yield showed the highest values for broad heritability compared with other measured traits. Based on the multi-traits stability index (MTSI), genotypes G5, G6, G8, and G17 were identified as the most stable genotypes. Besides, the biplot rendered based on grain yield and the weighted average of absolute scores for the best linear unbiased predictions of the GEI recognized G5, G9, G10, and G17 as high-yielding and stable genotypes compared with others.

Conclusion: In conclusion, our results revealed that genotype G5 has the most general adaptability, and other identified genotypes showed specific adaptation with some of the warm regions in the south and north of the country. Hence, this genotype can be introduced as a high-yielding and stable commercial cultivar after an investigation of its stability over various years.

Keywords: Grain yield, Multi-traits stability index (MTSI), Warm climate

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.1]