نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد یازدهم، شماره دوم، تابستان ۹۷
۱۸۵-۱۹۵
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI:

ارزیابی پایداری عملکرد دانه ارقام جو زمستانه (*Hordeum vulgare* L.) با استفاده از روش اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر

علی خماری[۱]، *خداداد مصطفوی[۲] و عبداله محمدی[۳]

[۱]دانشجوی دکتری تخصصی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، باشگاه پژوهشگران و نخبگان جوان، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران، [۲]دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران،
[۳]دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹٦/٤/٦؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۸

چکیده

سابقه و هدف: مطالعه دقیق ماهیت برهمکنش ژنوتیپ با محیط، امکان شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و سازگار را برای به‌نژادگران فراهم می‌آورد و همواره یکی از موضوعات مهم در تولید و آزادسازی ارقام جدید پایدار و پر محصول در طرح‌های به‌نژادی بوده است. وجود برهمکنش ژنوتیپ و محیط ارزش ژنوتیپ‌ها را در مکان‌های مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ با توجه به‌این مسئله پژوهش حاضر با هدف شناسایی چگونگی واکنش ارقام در هر یک از مناطق مورد بررسی بر اساس مدل اثرات اصلی افزایشی و اثرات متقابل ضرب‌پذیر و درک بهتر از موضوع برهمکنش ژنوتیپ و محیط و تعیین میزان پایداری عمومی و خصوصی ارقام انجام شد.

مواد و روش‌ها: تعداد ۱۰ رقم جو زمستانه (گرگان ٤، ریحان، کویر، نصرت، نیمروز، والفجر، ماکوئی، زرجو، گرگان و استرین) طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ در ۵ منطقه شامل کرج، بیرجند، کاشمر، شیراز و سنندج در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد کشت و ارزیابی قرار گرفتند. ابتدا بر روی داده‌ها آزمون بارتلت انجام شد و به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش، از مدل اثرات اصلی افزایشی و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (امی) استفاده شد. برای بررسی پایداری ارقام و محیط‌ها از آماره ارزش پایداری امی (ASV) استفاده شد.

یافته‌ها: بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به رقم استرین با ٦۰۲/۸۷ گرم در مترمربع و کم‌ترین عملکرد دانه مربوط به ارقام ریحان و زرجو به‌ترتیب با ۳۰٦/۷۳ و ۳۳۸/۳۳ گرم در مترمربع بود. نتایج تجزیه امی نشان داد که اثر اصلی ژنوتیپ، برهمکنش ژنوتیپ در محیط و اولین مؤلفه اصلی برهمکنش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ در محیط به‌تنهایی حدود ۷٦ درصد از مجموع مربعات برهمکنش را تبیین نمود. اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ۲۵ درصد از مجموع مربعات کل را به خود اختصاص داد. بر اساس نتایج آماره پایداری امی ژنوتیپ‌های زرجو، نصرت و ماکوئی به‌ترتیب با ۰/۷۷، ۲/٤۸ و ۲/۷٤ کم‌ترین میزان ASV را به خود اختصاص دادند، ولی در این بین رقم نصرت با داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل به‌عنوان رقم پایدار با عملکرد بالا شناخته شد. براساس نتایج ضریب رگرسیون (b_i) ارقام نیمروز، ماکوئی و زرجو دارای پایداری قابل قبولی بودند. نتایج آماره

*مسئول مکاتبه: mostafavi@kiau.ac.ir

ضریب تشخیص (R_i^2) و آماره پایداری هنسون (D_i^2) نشان نشان داد که ارقام نصرت، ماکوئی، زرجو و گرگان از پایداری بالاتری برخودار می‌باشند. ژنوتیپ‌های کویر و نصرت بر اساس نمودار میانگین عملکرد دانه در مقابل اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ و محیط، دارای عملکردی بیشتر از میانگین و از لحاظ اولین مؤلفه برهمکنش کم‌ترین میزان را داشتند و در نتیجه پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر اساس نمودار بای‌پلات اولین و دومین مؤلفه اصلی برهمکنش، به‌ترتیب ژنوتیپ‌های زرجو، ماکوئی و نصرت، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر اساس این نمودار ارقام، کویر، والفجر، گرگان و استرین از پایداری عملکرد کمتری برخوردار بودند.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این مطالعه مؤید وجود تنوع ژنتیکی معنی‌دار میان ژنوتیپ‌ها و برهمکنش ژنوتیپ با محیط بود که بر اساس مدل امی ارقام کویر و نصرت از پایداری عملکرد دانه بیشتری برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: امی، برهمکنش ژنوتیپ و محیط، جو، سازگاری، مؤلفه اصلی

مقدمه

در برنامه‌های معرفی ژنوتیپ‌های اصلاح شده، استفاده از عملکرد ژنوتیپ‌ها به‌تنهایی معیار مطلوبی جهت گزینش نیست، بلکه میزان سازگاری و پایداری نیز نقش مهمی را ایفاء می‌کند. بدین منظور آزمایش‌های مقایسه عملکرد در مناطق و سال‌های مختلف صورت می‌پذیرد (۷، ۸). هر عاملی که جزئی از شرایط محیطی گیاه محسوب شود، توانایی ایجاد تغییر در عملکرد را دارد و با برهمکنش ژنوتیپ و محیط در ارتباط خواهد بود (۱ و ٦). پدیده برهمکنش ژنوتیپ با محیط برای به‌نژادگران دارای اهمیت ویژه‌ای جهت آزادسازی ارقام می‌باشد. آگاهی از این برهمکنش این امکان را برای به‌نژادگران فراهم می‌آورد تا در ارزیابی و آزادسازی ژنوتیپ‌ها دقت بیش‌تری کرده و ژنوتیپ‌های مطلوب را انتخاب نمایند (۱۹). جهت تعیین برهمکنش ژنوتیپ و محیط عموما از تجزیه واریانس مرکب و تخمین اجزاء واریانس استفاده می‌شود (۱۳ و ١٤). معنی‌دار شدن برهمکنش ژنوتیپ با محیط، به‌دلیل تغییرات زیاد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف و نیز تغییرات در رتبه نسبی ژنوتیپ‌ها می‌باشد (۲۳).

روش‌های بررسی برهمکنش ژنوتیپ و محیط به‌طورکلی به دو گروه اصلی شامل روش‌های تک متغیره و چند متغیره تقسیم می‌شوند. در میان روش‌های چند متغیره، مدل اثرات اصلی افزایشی و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (AMMI[1]) روش کارآمدی برای حذف خطا (Noise) و آشکار کردن الگوی مناسب داده‌ها است (٢٤). در مدل امی ابتدا با استفاده از تجزیه واریانس معمولی آثار اصلی ژنوتیپ و محیط برآورد می‌شود که به آن‌ها اثرات اصلی جمع‌پذیر یا افزایشی گفته می‌شود. سپس با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برهمکنش بین ژنوتیپ و محیط که به اثرات متقابل ضرب‌پذیر معروف است، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد (۱۰). مدل امی زمانی بهترین مدل برای تجزیه داده‌ها خواهد بود که هر دو اثرات اصلی و برهمکنش برای ما مهم باشند (۱۵). برای تجزیه برهمکنش ژنوتیپ و محیط در آزمایش‌های ناحیه‌ای عملکرد، گاچ و زوبل (۱۹۹۷) از روش امی استفاده کردند، این مدل در حقیقت تغییر یافته روشی بود که قبلا توسط گلوب (۱۹٦۸) و مندل (۱۹۷۱) در علوم اجتماعی و علوم پایه به کار رفته بود (۱۱، ۱۲، ۱۵). مدل امی ابزار بسیار قوی در تجزیه و تفسیر

1- Additive main effects and Multiplicative Interaction

ماتریس‌های بزرگ ژنوتیپ× محیط است، زیرا با استفاده از ایجاد بای‌پلات، استنباط مناسبی در مورد برهمکنش فراهم می‌شود و انتخاب ژنوتیپ‌هایی با سازگاری مناسب به محیط‌های خاص تسهیل می‌گردد (۹، ۲۵). اصولا روش امی با سه هدف عمده مورد بررسی قرار می‌گیرد: ۱- این روش مدلی تشخیصی است و سودمندی بیش‌تری در مقایسه با سایر روش‌ها، در تجزیه و تحلیل آماری آزمایش‌های مقایسه عملکرد دارد. ۲- این روش برای روشن کردن ماهیت برهمکنش به‌کار می‌رود و الگوها و روابط ارقام و محیط را به راحتی خلاصه نموده و ارائه می‌کند. ۳- این روش برای بهبود دقت برآورد عملکرد مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌طوری‌که افزایش دقت برآورد عملکرد در صورت استفاده از این روش معادل افزایش تعداد تکرار از ۲ به ۵ است (۵).

رودریگز و همکاران (۲۰۰۷) ۲٤ ژنوتیپ جو را در شش محیط مختلف در ایتالیا ارزیابی نمودند. در این مطالعه سه گروه از ژنوتیپ‌ها شامل ژنوتیپ‌های بومی، اینبرد لاین‌های نوترکیب و ارقام تجاری بررسی شدند. داده‌های حاصل با استفاده از روش امی تجزیه و تحلیل شدند. نتایج نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد اما اثر متقابل ژنوتیپ و محیط معنی‌دار می‌باشد. در این مطالعه مشخص شد که ژنوتیپ‌های محلی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارای پتانسیل بالاتری برای برنامه‌های اصلاحی مناطق مدیترانه‌ای می‌باشند (۲۱).

نیکخواه و همکاران (۲۰۰۷) جهت تعیین پایداری عملکرد و بررسی برهمکنش ژنوتیپ و محیط در جو، بیست ژنوتیپ امیدبخش جو را در هفت ایستگاه در مناطق معتدل کشور شامل کرج، کرمان، اصفهان، بیرجند، یزد، زرقان و نیشابور مورد ارزیابی قرار دادند. تجزیه واریانس مرکب اختلاف معنی‌داری برای اثر سال، مکان، برهمکنش سال و مکان، ژنوتیپ و برهمکنش سه جانبه ژنوتیپ × مکان × سال نشان داد (۱٦).

بدوئی دلفارد و همکاران (۲۰۱٦) در مطالعه برهمکنش ژنوتیپ و محیط با استفاده از روش بای‌پلات در ۱۰ رقم جو نشان دادند که ارقام گرگان ٤، ماکوئی و نصرت دارای پایداری عمومی بوده و نسبت با سایر ارقام مورد مطالعه کمترین برهمکنش را با محیط دارند (٤).

رارابتی و همکاران (۲۰۰۳) در آزمایشی بر روی ۱۰ ژنوتیپ گندم دوروم در دو سال در اسپانیا، از چندین روش آماری برای بررسی برهمکنش ژنوتیپ با محیط استفاده کردند و نشان دادند که روش‌های تک متغیره در مقایسه با روش امی کارآئی کم‌تری در تفسیر برهمکنش ژنوتیپ و محیط دارند (۲۰). آلبرت (۲۰۰٤) در بررسی برهمکنش ژنوتیپ و محیط در هیبریدهای ذرت روش‌های مختلف تجزیه پایداری را با هم مقایسه نمود، ولی در نهایت مدل امی را مناسب‌ترین روش برای تجزیه پایداری معرفی کرد (۲).

هدف از پژوهش حاضر تجزیه برهمکنش ژنوتیپ و محیط برای عملکرد دانه جو در شرایط آب و هوایی متفاوت جهت شناسایی ارقام سازگار و پایدار برای محیط‌های مورد مطالعه بر اساس مدل اثرات اصلی افزایشی و اثرات متقابل ضرب‌پذیر بود.

مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر ۱۰ رقم جو زمستانه شامل گرگان ٤، ریحان، کویر، نصرت، نیمروز، والفجر، ماکوئی، زرجو، گرگان و استرین، در پنج منطقه شامل کرج، شیراز، بیرجند، کاشمر و سنندج در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۹۵-۱۳۹٤ کشت و ارزیابی شدند. مشخصات زراعی و

فنی اجرایی طرح در کلیه مناطق یکسان بود. مشخصات جغرافیایی مناطق مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

هر کرت آزمایشی شامل ٤ ردیف به طول ۲ متر و به فاصله ۵۰ سانتی‌متر بود که در زمان برداشت، نمونه‌برداری از دو ردیف وسط به‌منظور حذف اثرات حاشیه‌ای و به‌صورت تصادفی انجام شد. کشت به‌صورت جوی و پشته و آبیاری به‌طور متداول بر اساس نیاز گیاه انجام گردید. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک، فاروکشی و ایجاد نهرها بود و عملیات کاشت به‌صورت دستی صورت پذیرفت. در طول دوره رشد عملیات زراعی به‌طور مرتب انجام شد و در پایان فصل عملکرد دانه ارقام ارزیابی گردید. برداشت به‌صورت دستی انجام شد.

عملکرد دانه هر ژنوتیپ بر اساس گرم در مترمربع تعیین شد. ابتدا به‌منظور بررسی همگن بودن خطاهای آزمایشی آزمون بارتلت انجام شد. تجزیه واریانس ساده برای هر منطقه و تجزیه واریانس مرکب برای تمامی مناطق انجام شد. جهت تجزیه پایداری به روش اثرات اصلی افزایشی و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (امی) از رابطه زیر استفاده گردید:

$$Y_{ger}= \mu+\alpha_g+\beta_e+ \Sigma_n \lambda_n \alpha_{gn} \gamma_{en}+ \rho_{ge}+ \varepsilon_{ge}$$

در فرمول فوق، Y_{ger} عملکرد ژنوتیپ gام در محیط eام در تکرار rام است، μ میانگین کل آزمایش، α_g و β_e به‌ترتیب اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط، λ_n مقدار ویژه برای محور مؤلفه اصلی nام، α_{gn} بردار ویژه ژنوتیپ برای محور gام از n مؤلفه اصلی برهمکنش، γ_{en} بردار ویژه محیط برای محور eام از n مؤلفه اصلی برهمکنش، ρ_{ge} مقدار نویز و ε_{ge} مربوط به خطا است. ضمن انجام تجزیه واریانس امی مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای هر ژنوتیپ و محیط استخراج و با ترسیم بای‌پلات‌های مربوطه، سازگاری عمومی و خصوصی ژنوتیپ‌ها تعیین شد (۲۱).

مدل امی دارای پارامترهای مختلفی است که یکی از این پارامترها، پارامتر جدید ASV[1] می‌باشد که ارزش پایداری امی نامیده می‌شود. به‌منظور مطالعه پارامتر ارزش پایداری امی از رابطه زیر استفاده گردید (۱۷ و ۱۸):

$$ASV_i= \sqrt{[\frac{SSIPCA1}{SSIPCA2}(IPCA_{1scrore})]2 + (IPCA2scroe)2}$$

در رابطه بالا $SSIPCA_1$ و $SSIPCA_2$ به‌ترتیب مجموع مربعات مؤلفه‌های اصلی برهمکنش اول و دوم، $IPCA_1$ و $IPCA_2$ به‌ترتیب مقدار مؤلفه اصلی اول و دوم برهمکنش برای هر یک از ژنوتیپ‌ها می‌باشد.

از نرم‌افزار SAS جهت تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش به روش امی و از Minitab جهت ترسیم نمودارها مربوطه استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتیجه آزمون بارتلت مؤید یکنواختی واریانس خطا در آزمایش‌های مختلف بود. تجزیه واریانس مرکب آزمایشات حاکی از معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ و محیط بود. معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ در محیط، به دلیل تغییرات زیاد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد بررسی و نیز تغییرات در رتبه نسبی ژنوتیپ‌ها می‌باشد. نیکخواه و همکاران (۲۰۰۷) نیز در بررسی بیست ژنوتیپ امیدبخش جو در هفت منطقه گزارش نمودند که اثر متقابل ژنوتیپ و محیط معنی‌دار می‌باشد (۱٦).

نتایج تجزیه برهمکنش ژنوتیپ و محیط با استفاده از مدل امی در جدول (۲) ارائه شد است. اثر ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که مؤید وجود تنوع زیاد بین ارقام موردنظر می‌باشد. برهمکنش ژنوتیپ و محیط نیز معنی‌دار بود، این

1- AMMI Stability Value

موضوع نشان می‌دهد که انجام این تجزیه و تحلیل می‌تواند مفید باشد (جدول ۲).

جهت درک بهتر ماهیت برهمکنش ژنوتیپ و محیط تجزیه به مؤلفه‌های اصلی روی ماتریس باقی‌مانده صورت گرفت. اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ و محیط (IPCA1) برای صفت عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. اولین مؤلفه اصلی برهمکنش (IPCA1)، ۷۵/۹۵ درصد و دومین مؤلفه اصلی برهمکنش (IPCA2) نیز ۲۱/۸٤ درصد از واریانس برهمکنش ژنوتیپ و محیط را تبیین نمودند که این دو مؤلفه در مجموع بیش از ۹۷ درصد از مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ و محیط را توجیه کردند (جدول ۲). مجموع مربعات باقی‌مانده از مدل امی (Noise) با کم‌ترین میانگین مربعات غیرمعنی‌دار بود که این موضوع حاکی از دقت بالای مدل امی می‌باشد (۳). بنابراین مدل امی با دو مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ و محیط در نظر گرفته شد.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی مناطق مورد بررسی.

Table 1. Geographical detail of the studied areas.

منطقه Area	ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation AMSL (m)	عرض جغرافیائی Latitude	طول جغرافیائی Longitude	میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield mean (Kg.ha)
سنندج Sanandaj	1373.4	35°20'N	47°00'E	3459.95
بیرجند Birjand	1491.0	32°52'N	59°12'E	3139.70
کاشمر Kashmar	1109.0	35°12'N	58°28'E	2726.56
کرج Karaj	1312.0	35°55'N	50°54'E	4198.78
شیراز Shiraz	1484.0	29°32'N	52°36'E	2976.97

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه ارقام جو براساس روش امی.

Table 2. Combined analysis for grain yield of barley cultivars base AMMI method.

درجه آزادی df	منابع تغییر S.O.V	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS
محیط Environment	4	82262.26	20565.57^{ns}
بلوک (محیط) Block (env)	10	187230.62	18723.06
ژنوتیپ Genotype	9	1095603.17	121733.68**
ژنوتیپ × محیط Genotype×Environment	36	738321.60	20508.93**
اولین مؤلفه اثر متقابل IPCA1	12	560809.74	46734.14**
دومین مؤلفه اثر متقابل IPCA2	10	161259.76	16125.98^{ns}
نویز Noise	14	16252.11	2031.51^{ns}
خطا Error	98	850936.55	9454.85
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		21.12	

*، ** و ns: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

ns, *, **: Non-significant, Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

میانگین عملکرد دانه، آماره پایداری امی (ASV) و مقادیر مؤلفه اصلی اول و دوم برهمکنش در جدول ۳ ارائه شده است. بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به رقم گرگان در کرج با ۷۶۳/۶۶ گرم در مترمربع و استرین در شیراز با ۷۳۲/۰۰ گرم در مترمربع بود. کم‌ترین عملکرد دانه مربوط به رقم ریحان در بیرجند و کرج به‌ترتیب با ۲۶۱/۰۰ و ۲۶۹/۰۰ گرم در مترمربع بود. میانگین عملکرد دانه ارقام در تمامی محیط‌ها برابر ۴۶۰/۳۸ گرم در مترمربع بود. در بین محیط‌های مورد مطالعه، کرج دارای بیش‌ترین عملکرد (برابر با ۵۰۳/۸۳ گرم در مترمربع) بود، اما از نظر اولین مؤلفه اصلی برهمکنش (IPCA1) فاصله زیادی از مبدأ مختصات یعنی نقطه صفر داشت. شیراز و کاشمر از عملکردی در حدود میانگین برخوردار بودند و از نظر اولین مؤلفه اصلی برهمکنش، کاشمر کم‌ترین مقدار را داشت و بنابراین نسبت به سایر محیط‌ها از پایداری خوبی برخوردار بود. همچنین این مکان از لحاظ مؤلفه‌های اصلی اول و دوم نیز کم‌ترین مقدار را داشت و پایدار بود.

طبق نتایج آماره پایداری امی (ASV) در میان ارقام، رقم زرجو دارای پایین‌ترین میزان ASV و برابر با ۰/۷۷ بود. رقم والفجر نیز، با دارا بودن بیش‌ترین میزان ASV به میزان ۴۸/۸۲ به‌عنوان ناپایدارترین رقم شناخته شد.

جدول ۳- میانگین عملکرد دانه، آماره پایداری امی و مقادیر مؤلفه اصلی اول و دوم برهمکنش.

Table 3. Grain yield mean, AMMI stability value, IPCA1 and IPCA2

ژنوتیپ/ محیط Genotype/Environment	کد Code	میانگین عملکرد (گرم در مترمربع) Mean Yield (g.m2)	اولین مؤلفه برهمکنش IPCA1	دومین مؤلفه برهمکنش IPCA2	آماره پایداری امی ASV
Gorgan 4	G1	432.20	4.26	0.80	14.83
Reihan	G2	306.73	-5.19	1.26	18.08
Kavir	G3	511.70	-0.28	10.16	10.20
Nosrat	G4	482.67	-0.61	1.30	2.48
Nimrooz	G5	459.53	-9.44	0.61	32.82
Valfajr	G6	460.27	14.04	0.77	48.82
Makoei	G7	448.33	0.77	0.62	2.74
Zarjo	G8	338.33	0.20	-0.34	0.77
Gorgan	G9	561.20	4.94	-9.59	19.67
Strain	G10	602.87	-8.69	-5.59	30.74
Sanandaj	SAN	441.83	8.65	0.13	30.07
Birjand	BIR	439.77	7.27	10.82	27.49
Kashmar	KASH	452.08	-1.69	2.98	6.58
Karaj	KRJ	503.83	13.73	-9.06	48.59
Shiraz	SHZ	464.40	-10.65	-4.87	37.34

در این مطالعه ارقام نیمروز، ماکوئی و زرجو با داشتن ضریب رگرسیون نزدیک به یک دارای پایداری متوسطی بودند. در بین این ارقام رقم نیمروز چون دارای عملکردی بیشتر از میانگین می‌باشد دارای سازگاری عمومی نیز می‌باشد. و ارقام ماکوئی و زرجو با داشتن ضریب رگرسیون نزدیک به یک و عملکرد پایین‌تر از متوسط دارای پایداری متوسط و سازگاری عمومی ضعیفی می‌باشند. ارقام نصرت، ماکوئی، زرجو و گرگان به‌دلیل دارا بودن ضریب تشخیص بالاتر، از پایداری بیشتری نسبت به سایر ارقام برخوردار بودند (جدول ٤).

همچنین ارقام ریحان، نیمروز و استرین به‌دلیل داشتن ضریب تشخیص پائین‌تر دارای کمترین میزان پایداری بودند. از دیگر مدل‌های رگرسیونی مدل

هنسون است که در این روش هر چه مقدار D_i کمتر باشد، انحراف از میانگین عملکرد کمتر بوده و پایداری رقم بیشتر است، در این مطالعه ارقام نصرت، ماکوئی، زرجو و گرگان با داشتن کمترین مقدار به عنوان ارقام پایدار شناخته شدند (جدول ٤).

جدول ٤- برخی از پارامترهای پایداری محاسبه شده برای عملکرد دانه ارقام جو مورد بررسی.

Table 4. Some stability parameters for Grain yield of studied barly cultivar.

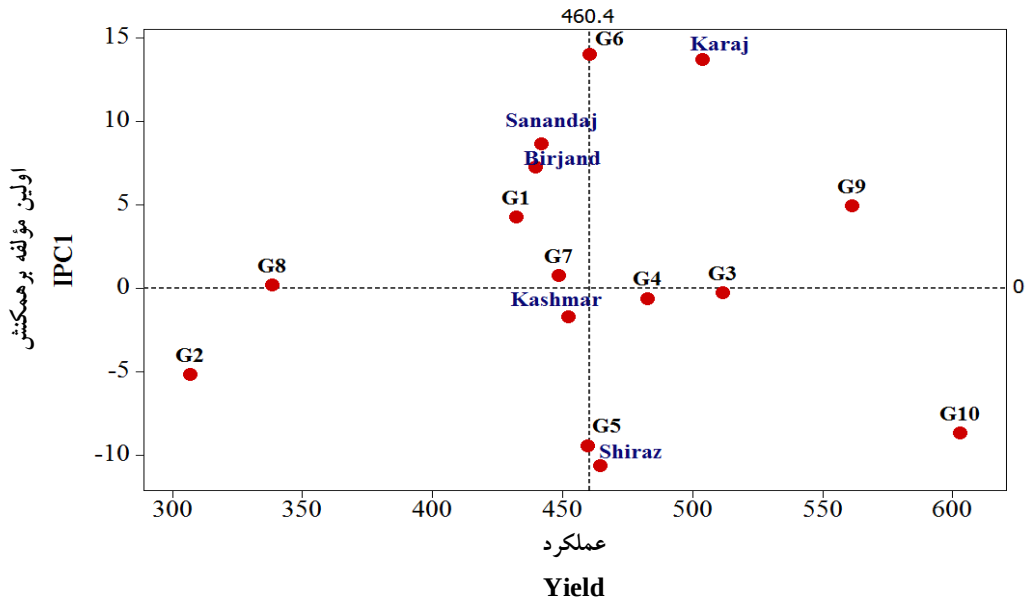
شماره رقم Variety No	نام رقم Variety name		میانگین عملکرد دانه Average of Grain yield	ضریب رگرسیون (b_i)	ضریب تشخیص (R_i^2)	آماره پایداری هنسون (D_i^2)
1	Gorgan 4	گرگان ٤	409.00	1.76	0.56	97.49
2	Reihan	ریحان	316.17	-0.44	0.08	96.10
3	Kavir	کویر	523.79	-1.64	0.53	96.07
4	Nosrat	نصرت	477.08	0.58	0.85	53.91
5	Nimrooz	نیمروز	470.85	-1.08	0.11	172.79
6	Valfajr	والفجر	421.46	3.84	0.39	257.79
7	Makoei	ماکوئی	439.23	1.06	0.83	58.04
8	Zarjo	زرجو	328.69	1.13	0.99	52.38
9	Gorgan	گرگان	538.23	4.23	0.90	89.05
10	Strain	استرین	604.69	0.55	0.02	205.45
	میانگین عملکرد Average of yield		460.38			

در شکل ۱ نمودار بای‌پلات اولین مؤلفه اصلی برهمکنش در مقابل میانگین عملکرد دانه ارائه شده است. در این نمودار محور افقی نشان‌دهنده اثرات اصلی جمع‌پذیر یا میانگین‌ها و محور عمودی اثرات متقابل ضرب‌پذیر یا مقادیر اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل می‌باشد. خط عمود میانه این نمودار از میانگین کل آزمایش می‌گذرد، ژنوتیپ‌ها و مکان‌هایی که در سمت راست این خط قرار می‌گیرند، دارای عملکردی بالاتر از میانگین کل می‌باشند. محور افقی مرکز این نمودار (IPCA1=0) نشان‌دهنده فقدان برهمکنش ژنوتیپ و محیط می‌باشد. هر چه ژنوتیپ‌ها و مکان‌ها به خط افقی نزدیک‌تر باشند، اثرات متقابل پایین‌تری دارند (٢٤). در میان ارقام پایدار، رقم کویر بالاترین عملکرد را داشت، این رقم عملکردی بالاتر از میانگین دارد و از نظر اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ و محیط پایین‌ترین مقدار را به خود اختصاص داد و رقم نصرت بعد از رقم کویر بیش‌ترین پایداری را داشت. ژنوتیپ‌ها و مکان‌هایی که برهمکنش بالایی را نشان می‌دهند دارای مقادیر بزرگ (مثبت یا منفی) برای اولین مؤلفه اصلی برهمکنش می‌باشند. بر این اساس ارقام کویر، نصرت، ماکوئی و زرجو و محیط کاشمر از پایداری بیشتری برخوردار هستند. اگر ژنوتیپ و محیطی از لحاظ اولین مؤلفه برهمکنش هم علامت باشند، دارای برهمکنش مثبت و اگر از نظر این مؤلفه دارای علامت یکسان نباشند، برهمکنش منفی دارند. محیط‌های کرج و شیراز عملکردی بیش‌تر از میانگین داشته، ولی از لحاظ اولین مؤلفه اصلی برهمکنش روند مشابهی نداشتند. محیط کرج با رقم گرگان برهمکنش مثبت و با ارقام کویر، نصرت و استرین برهمکنش منفی دارد. محیط شیراز عکس محیط کرج می‌باشد، یعنی با ارقام کویر، نصرت و استرین برهمکنش مثبت و با رقم

گرگان برهمکنش منفی دارد. محیط کاشمر با ارقام ریحان و نیمروز برهمکنش مثبت، اما عملکردی کم‌تر از میانگین دارد و با ارقام والفجر، گرگان ٤، ماکوئی و زرجو برهمکنش منفی دارد. این ارقام (والفجر، گرگان ٤، ماکوئی و زرجو) با محیط بیرجند و سنندج دارای برهمکنش مثبت و عملکردی کم‌تر از میانگین دارند. در این نمودار ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که در امتداد یک خط عمودی هستند، عملکرد یکسانی دارند مانند ارقام والفجر و نیمروز و محیط‌های کاشمر و شیراز و همچنین ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که در امتداد یک خط افقی قرار گرفته باشند، برهمکنش مشابهی را نشان می‌دهند. برای مثال ارقام کویر، نصرت، ماکوئی و زرجو دارای برهمکنش ژنوتیپ و محیط مشابهی هستند (شکل ۱ و جدول ٤). بدوئی دلفارد و همکاران در مطالعه برهمکنش ژنوتیپ و محیط با استفاده از روش بای‌پلات در ارقام جو نشان دادند که ارقام گرگان ٤، ماکوئی و نصرت دارای پایداری عمومی بوده و نسبت با سایر ارقام مورد مطالعه کمترین برهمکنش را با محیط دارند (٤).

ارقامی که دارای عملکرد کم‌تری باشند، اما دارای مقادیر مثبت برای اولین مؤلفه اصلی برهمکنش باشند، برای کاشت در مناطق و نواحی ضعیف و فقیر مطلوب می‌باشند؛ به بیان بهتر با مناطق فقیر برهمکنش مثبت دارند. به عبارتی این ارقام نسبت به سایر ارقام در محیط‌های فقیر عملکرد بهتری خواهند داشت. در این مطالعه رقم گرگان ٤ چنین حالتی را نشان داد.

محیط‌های دارای مقادیر بزرگ که برای اولین مؤلفه اصلی برهمکنش باشند مانند محیط‌های کرج و شیراز، جهت تمایز و غربال ژنوتیپ‌ها مناسب می‌باشند. در مقابل محیط‌هایی که دارای مقادیر اولین مؤلفه اصلی برهمکنش نزدیک به صفر هستند، جهت تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌ها مناسب نیستند؛ کاشمر در این نمودار چنین حالتی را دارا می‌باشد.

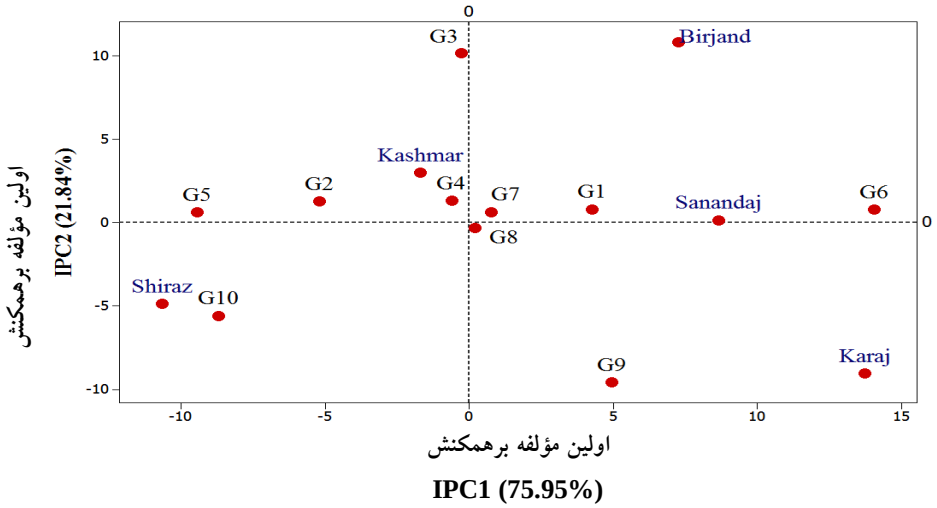


شکل ۱- نمودار پراکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد آزمایش با استفاده از میانگین عملکرد دانه و اولین مؤلفه اصلی برهمکنش بر اساس مدل AMMI1. (G^1: گرگان ٤، G^2: ریحان، G^3: کویر، G^4: نصرت، G^5: نیمروز، G^6: والفجر، G^7: ماکوئی، G^8: زرجو، G^9: گرگان، G^{10}: استرین)

Figur 1. Scatter plot for genotypes and environments derived from Grain yield mean and first principal component axes based AMMI1 model, (G1: Gorgan4, G2: Reihan, G3: Kavir, G4: Nosrat, G5: Nimrooz, G6: Valfajr, G7: Makoei, G8: Zarjo, G9: Gorgan, G10: Strain)

پراکنش ارقام و محیط‌ها بر اساس مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم برهمکنش ژنوتیپ و محیط در شکل (۲) نشان داده شده است. این نمودار در مجموع بیش از ۹۷ درصد تغییرات مربوط به برهمکنش ژنوتیپ و محیط را تبیین می‌نماید که سهم مؤلفه اصلی اول حدود ۷٦ درصد و سهم مؤلفه اصلی دوم حدود ۲۱ درصد بود. سعید و همکاران (۲۰۰۵)، از تجزیه امی برای بررسی پایداری لاین‌های برنج استفاده کردند و با دو مؤلفه اصلی اول که ۸۳/۳۹ درصد از تغییرات کل مربوط به برهمکنش ژنوتیپ و محیط را در برداشت، نسبت به رسم بای‌پلات و اخذ تصمیم در مورد پایداری لاین‌های مورد نظر اقدام نمودند (۲۲).

بر اساس نمودار AMMI2 ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها بر پایه مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم برهمکنش مشخص شدند، ارقام و محیط‌هائی که از لحاظ مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم برهمکنش نزدیک به محل تقاطع دو محور (نزدیک به صفر) باشند دارای کم‌ترین برهمکنش می‌باشند و دارای سازگاری عمومی هستند، بر این اساس ارقام زرجو، ماکوئی و نصرت از برهمکنش کم‌تری برخوردار هستند و دارای سازگاری عمومی خوبی می‌باشند. ژنوتیپ‌هایی که در مجاورت یک مکان قرار داشته باشند با آن محیط سازگاری خصوصی دارند بنابر این رقم استرین با محیط شیراز، ارقام ریحان و کویر با محیط کاشمر، والفجر و گرگان ٤ با محیط‌های بیرجند و سنندج و رقم گرگان با محیط کرج دارای سازگاری خصوصی می‌باشند. مکان‌ها و ارقام مورد بررسی را بر اساس چهار ناحیه این نمودار می‌توان تقسیم‌بندی نمود به‌طوری که مناطق و ارقام هر ناحیه یک گروه را تشکیل دهند. بنابراین چهار گروه مناطق و ارقام به‌صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند: گروه اول شامل محیط شیراز و رقم استرین، گروه دوم شامل محیط کاشمر و ارقام کویر، ریحان، نصرت و نیمروز، گروه سوم شامل محیط‌های بیرجند و سنندج و ارقام والفجر، گرگان٤ و ماکوئی و در نهایت گروه چهارم شامل کرج و ارقام گرگان و زرجو می‌باشد. این تقسیم‌بندی حاکی از عملکرد دانه نسبتا مطلوب ارقام در محیط‌هایی که به‌صورت گروه‌های مشترک قرار گرفته‌اند، می‌باشد (شکل ۲). رودریگوز و همکاران (۲۰۰۷)، در تحقیقی ۲٤ ژنوتیپ جو را در ٦ محیط مختلف در ایتالیا ارزیابی نمودند. در این تحقیق تفاوت معنی‌داری بین میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها مشاهده نشد اما از نظر سازگاری به مناطق مختلف، ارقام موردنظر به دو گروه عمده تقسیم‌بندی شدند (۲۱).



شکل ۲- نمودار پراکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد آزمایش بر اساس اولین و دومین مؤلفه اصلی برهمکنش بر اساس مدل AMMI2.
(G^1: گرگان ٤، G^2: ریحان، G^3: کویر، G^4: نصرت، G^5: نیمروز، G^6: والفجر، G^7: ماکوئی، G^8: زرجو، G^9: گرگان، G^{10}: استرین)

Figur 2. Scatter plot for genotypes and environments derived from first and second interaction principal component axes based AMMI2, (G1: Gorgan4, G2: Reihan, G3: Kavir, G4: Nosrat, G5: Nimrooz, G6: Valfajr, G7: Makoei, G8: Zarjo, G9: Gorgan, G10: Strain)

نتیجه‌گیری کلی

به‌دلیل این‌که اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، ارزیابی و گزینش ژنوتیپ‌های برتر را با مشکل مواجه می‌کند، می‌تواند پیشرفت برنامه‌های اصلاحی را نیز، تحت تأثیر قرار دهد. این مشکل می‌تواند با افزایش آگاهی ما در زمینه فرایند اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و سازگاری ارقام کاهش یابد. برهمکنش ژنوتیپ و محیط در این آزمایش برای عملکرد دانه معنی‌دار بود. اثر متقابل می‌تواند توسط میزان بارندگی، درجه حرارت و سایر شرایط اقلیمی و نیز ویژگی‌های متفاوت ارقام تشدید شود. نتایج این تحقیق نشان داد که شناسائی ارقام جو مناسب برای محیط‌های مختلف براساس سازگاری خصوصی آن‌ها می‌تواند مفید باشد چرا که دو مؤلفه اول برهمکنش ژنوتیپ و محیط درصد بالائی از واریانس را توجیه نمود (بیش از ۹۷ درصد). البته باید توجه داشت که توجه یک‌جانبه به سازگاری خصوصی ارقام و عدم توجه به اهمیت سازگاری عمومی ممکن است باعث حذف ژنوتیپ‌هائی شود که دارای سازگاری عمومی می‌باشند. در این تحقیق رقم استرین با محیط شیراز، ارقام ریحان و کویر با محیط کاشمر، والفجر و گرگان ٤ با محیط‌های بیرجند و سنندج و رقم گرگان در کرج دارای سازگاری خصوصی بودند. ارقام نصرت، ماکوئی و زرجو نیز دارای سازگاری عمومی بودند.

منابع

1. Abdemishani, S., and Shahnejat-boshehri, A.A. 2008. Advance in Plant Breeding. Tehran university press. 248p. (In Persian)
2. Albert, M.J.A. 2004. A comparison of statistical methods to describe genotype×environment interaction and yield stability in multi-location maize trials. M.Sc. Thesis. Department of Plant Sci., the University of the Free State, Bloemfontein.
3. Anandan, A., and Eswaran, R. 2009. Genotype by environment interaction of rice (*Oryza sativa* L.) hybrids in the east coast saline region of Tamil Nadu. In the Proceeding of 2nd Iteraction Rice Con, Pp: 226-234.
4. Badooei Delfard, R., Mostafavi, K., and Mohammadi, A. 2016. Genotype – Environment Interaction and Yield Stability of Winter Barley Varieties (*Hordeum vulgare* L.). J. Crop Breed., 20(3): 99-106.
5. Crossa, J. 1990. Statistical analysis of multi location trials. Adv. Agr., 44: 55-85.
6. Ehdaei, B. 1994. Plant Breeding. Barsava press. Publication of Mashhad. 256p. (In Persian)
7. Farshadfar, A. 1998. Quantitative Genetic in Plant Vreeding. Second volume. Tagh bostan press. 381p. (In Persian)
8. Farshadfar, E., and Sutka, J. 2006. Biplot analysis of genotype-environment interaction in durum wheat using the AMMI model. Acta Agr. Hung.,, 54(4): 459- 467.
9. Gauch, H.G. 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction. Biometrics., 44: 705- 715.
10. Gauch, H.G. 1992. Statistical Analysis of Regional Trials, AMMI Analysis of Factorial Designs. Elsevier Pub. Amsterdam, Netherlands.
11. Gauch, H.G., and Zobel, R.W. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. Crop Sci., 37: 311-326.
12. Gollob, H.F. 1968. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. Psycometrika., 33: 367- 376.
13. Miller, P.A., Williams, C.J., Robinson, H.F., and Comstock, R. 1958. Estimates of genotypic and environmental variances and covariance in upland cotton and their implication in selection. Agr., J., 50: 126- 137.

14. Miller, P.A., Williams, J.C., and Robinson, H.F. 1959. Variety×environment interaction in cotton variety tests and their implication on testing methods. Agr. J., 51: 132-134.
15. Mandel, J. 1971. A new analysis of variance model for non-additive data. Technometrics., 13: 1- 18.
16. Nikkhah, H.R., Yousefi, A., Mortazavian, S.M., and Arazmjoo, M. 2007. Analysis of yield stability of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes using additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) model. Iran. J. Crop Sci., 9, 1(33): 1-12. (In Persian)
17. Purchase, J.L. 1997. Parametric analysis to describe genotype×environment interaction and yield stability in winter wheat. Ph.D. dissertation, department of agronomy, university of Free State, Bloemfontein, South Africa.
18. Purchase, J.L., Hatting, H., and Van Deventer, C.S. 2000. Genotype ×environment interaction of winter wheat in south Africa: II. Stability analysis of yield performance. South Africa J. Plant Soil., 17(3): 101-107.
19. Raiger, H.L., and Prabhakaran, V.T. 2001. A study on the performance of a few non-parametric stability measures using pearl-millet data. Indian J. Genet, 61: 7- 11.
20. Rharrabti, Y., Garcia del moral, L.F., Villegas, D., and Royo, C. 2003. Durum wheat quality in Mediterranean environments ill: Stability and comparative methods in analyzing G×E interaction. Field Crop Res., 80: 141-146.
21. Rodriguez, M., Rau, D., and Papa, R. 2007. Genotype by environment interactions in barley (*Hordeum vulgare* L.): different responses of landraces, recombinant inbred lines and varieties to Mediterranean environment. Euphytica., 163(2): 231-247.
22. Saeid, A., Moghadam M., and Mohammadi, A. 2005. Investigation of yield stability in rics cultivars and lines using AMMI analysis. Abstract article of 8th Iranian Congress in Agronomy and Plant Breeding. Gilan University, Rasht, Pp: 432-441. (In Persian)
23. Xie, M. 1996. Selection of stable cultivars using phenotypic variances. Crop Sci., 36: 572-576.
24. Yan, W., and Hunt, L.A. 2002. Biplot analysis of multi-environment trial data. Quant. Genetics, Genomics Plant Breed. J., 19: 289- 303.
25. Zobel, R.W., Wright, M.J., and Gauch, H.G. 1988. Statistical analysis of yield trial. Agr. J., 80: 388-393.