دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

بررسی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش گندم نان با استفاده از روش GGE بای پلات در اقلیم ساحل خزر

منوچهر خدارحمی[۱]، حبیب‌اله سوقی[۲]، جبارجعفر بای[۲]، محمد صادق خاوری‌نژاد[۳] و حسن خانزاده[۴]

۱- بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران،
(نویسنده مسوول: khodarahmi_m@yahoo.com)
۲- بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
۳- بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران
۴- بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲۲
صفحه: ۸۳ تا ۹۰

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: گندم بزرگترین محصول غذایی است که سطح زمین را در جهان می‌پوشاند. تأثیرات محیطی به‌عنوان معیار سنجش پایداری ژنتیکی در نظر گرفته می‌شود. حساسیت یک ژنوتیپ گیاهی به عوامل محیطی باعث ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ × محیط می‌شود. هدف به نژادگران توسعه واریته‌هایی است که در شرایط محیطی موجود بهره‌وری بالایی داشته باشند.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، پایداری و سازگاری هجده لاین امیدبخش گندم نان به همراه ارقام مروارید و گنبد به عنوان شاهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار مکان گرگان، گنبد، ساری و مغان به مدت دو سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۴ مورد ارزیابی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ژنوتیپ و اثر ژنوتیپ × سال × مکان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد. معنی‌دار بودن اثر متقابل بیان کننده عکس‌العمل‌های متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف می‌باشد. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، تجزیه واریانس ساده قادر به توجیه ژنوتیپ‌ها نبود بنابراین از تجزیه پایداری به روش GGE بای‌پلات جهت معرفی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده گردید. با توجه به نتایج بای پلات، که میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد، ژنوتیپ شماره ۱۱ با قرار گرفتن در سمت مثبت محور افقی بالاترین میزان عملکرد و ژنوتیپ شماره ۲ (رقم گنبد) با قرار گرفتن در جهت منفی محور کمترین میزان عملکرد را نشان داد. گروه‌بندی محیط‌ها با کمک GGE بای پلات نشان داد بین مکان‌های گرگان، ساری و گنبد همبستگی مثبت و بالایی وجود دارد که نشان‌دهنده پاسخ مشابه ژنوتیپ‌ها در این مکان‌ها می‌باشد. ایستگاه مغان با داشتن همبستگی نزدیک به صفر با سه مکان دیگر، باعث ایجاد عملکرد مستقل ژنوتیپ‌ها در این محیط شد. نتایج حاکی از امکان گزینش ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا نسبت به شاهدهای آزمایش بود که بیانگر پیشرفت ژنتیکی در برنامه‌های اصلاحی گندم نان در اقلیم شمال کشور می‌باشد.

نتیجه‌گیری: در مجموع، ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۳، ۷ و ۸ با داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل جزء ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و پایداری نسبتا مطلوب شناسایی و انتخاب شدند.

واژه‌های کلیدی: ابر محیط، اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، پایداری، گزینش

مقدمه

گندم مهمترین محصول غذایی در جهان است که ۱۹٪ کالری روزانه، ۵۵٪ کربوهیدرات و ۲۱٪ پروتئین مورد نیاز انسان را تأمین می کند. بر اساس آمار فائو (۸)، تولید گندم از ۲۲۰ میلیون تن در سال ۱۹۶۱ با متوسط عملکرد ۱/۲ تن در هکتار به ۷۵۰ میلیون تن در سال ۲۰۱۶ با متوسط عملکرد دانه ۳/۴ تن در هکتار با سطح زیرکشت ۲۲۰ میلیون هکتار افزایش یافته است. تقاضا برای گندم در حال افزایش است و پیش بینی می شود تا سال ۲۰۵۰ نیاز گندم ۶۰ درصد بیشتر از سال جاری باشد(۱۸). توسعه انواع گندم های نیمه پاکوتاه با عملکرد بالا و سازگار، کاربرد کود، سموم دفع آفات، آبیاری، مکانیزاسیون و اجرای سیاست های مناسب به چنین جهش چشمگیری در تولید گندم در سطح جهانی کمک کرده است. اگرچه طی سالیان متمادی افزایش بهره‌وری گندم وجود داشته است ، اما هنوز فاصله زیادی بین تقاضا و پیشرفت ژنتیکی سالانه گندم وجود دارد. میانگین افزایش سالانه پیشرفت ژنتیکی گندم ۱٪ گزارش شده است در حالی که تقاضا برای گندم سالانه ۱/۷٪ افزایش یافته است و در سال ۲۰۵۰ به یک میلیارد تن می‌رسد(۲۳). به دلیل افزایش شهرنشینی و تغییر در عادات غذایی، تقاضا برای گندم هر ساله در مناطق مختلف از جمله آفریقای شرقی و جنوبی (۵/۸٪) ، آفریقای غربی و مرکزی (۴/۷٪) و جنوب آسیا و اقیانوس آرام (۴.۳٪) آسیای مرکزی (۵/۶٪) ، استرالیا (۲/۲٪) و آفریقای شمالی (۲/۲٪) افزایش می یابد .تقریباً تمام کشورهای منطقه مرکز و غرب آسیا و شمال آفریقا[۱] وارد کننده گندم هستند (۲۳). مصر بزرگترین وارد کننده گندم در جهان است (۹ میلیون تن در سال) و پس از آن الجزایر (۴ میلیون تن در سال) است. ارزش تجارت سالانه گندم در سال ۲۰۱۶ حدود ۳۶ میلیارد دلار برای حجم کل ۱۸۴ میلیون تن گندم در معاملات بوده است (۸).

امنیت غذایی مهمترین چالشی است که نژاد بشر در قرن بیست و یکم با آن روبرو بوده است. شرایط محیطی باعث کاهش ۷ درصدی عملکرد محصول جهانی شده است. هر چند کشت گندم بیشتر تحت تأثیر قرار خواهد گرفت زیرا گندم در برابر درجه حرارت بالا، خشکسالی و تنش گرمایی آسیب‌پذیر است. تأثیرات محیطی به عنوان معیارهای اندازه گیری پایداری ژنتیکی در نظر گرفته می شود. حساسیت یک ژنوتیپ به عوامل محیطی باعث ایجاد اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط[۱] (GEI) می شود (۱۸).

مناطق حاصلخیز اقلیم ساحل خزر شامل دشت‌های گرگان، گنبد، مازندران و مغان از مناطق مهم تولید گندم کشور هستند و همه ساله بیش از ۴۵۰۰۰۰ هکتار از سطح زیر کشت گندم

1- CWANA

کشور را به خود اختصاص می‌دهند. این مناطق که حدود ۱۵ درصد از سطح زیر کشت گندم آبی کشور را در بر می‌گیرد، از شرایط مساعدی برای زراعت گندم برخوردار بوده و نقش مهمی در تولید گندم دارند. با توجه به وسعت این اراضی و مشابهت مناطق از نظر شرایط اقلیمی، تهیه ارقام سازگار و پایدار از نظر عملکرد و مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده حائز اهمیت است.

لاین‌های پیشرفته گیاهان زراعی در برنامه‌های اصلاحی به منظور اطمینان از تولید محصول و پایداری عملکرد بایستی در مکان‌هایی با شرایط آب وهوایی مختلف و در سال‌های متفاوت ارزیابی شوند. یک لاین معمولاً در محیط‌های مختلف از لحاظ عملکرد دانه واکنش‌های متفاوتی دارد به طوری‌که رتبه آن از یک محیط به محیط دیگر متغیر است. این تغییرات که در نتیجه کنش بین لاین و محیط ایجاد می‌شود تحت عنوان اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط (G×E) شناخته شده است (۲). وجود اثرات متقابل G×E، مهم‌ترین چالش در برنامه‌های به‌نژادی است. تفسیر اثرات متقابل، شناسایی محیط‌های هدف و معرفی لاین‌های مناسب با سازگاری خصوصی و عمومی برای محیط‌های مورد مطالعه و تعیین لاین‌هایی با پایداری عملکرد دانه در سال‌های مختلف از اهداف مهم در بررسی ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مختلف می‌باشد (۴).

روش‌های آماری متعددی برای تخمین پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها پیشنهاد شده است که هر کدام از این روش‌ها ابعاد و جنبه‌های خاصی از داده‌های بدست آمده از آزمایش‌های مختلف را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. در مجموع روش‌های تجزیه پایداری را می‌توان به دو دسته روش‌های پارامتری و ناپارامتری تقسیم‌بندی کرد. اولین و رایج‌ترین این روش‌ها، روش‌های پارامتری هستند که دارای پیش فرض‌های توزیع آماری برای ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط می‌باشند. روش‌های ناپارامتری دارای توزیع آماری خاصی نیستند (۱۰). از میان روش‌های مختلف تجزیه پایداری می‌توان به روش بای‌پلات که بر مبنای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است اشاره نمود. در این روش اثر ژنوتیپ، محیط و اثرات متقابل آنها به طور همزمان در یک شکل که بای‌پلات نامیده می‌شود، نمایش داده می‌شوند. یک نسخه ویژه از بای‌پلات، GGE[۲] بای‌پلات می‌باشد که به طور همزمان اطلاعات مربوط به اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل G×E را در اختیار قرار می‌دهد. اصطلاح GGE بای‌پلات اولین بار توسط یان و همکاران (۲۴) معرفی و مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به مزایای روش بای پلات GGE استفاده از این مدل برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط پیشنهاد شده است. مدل GGE بای پلات یکی از بهترین روش‌ها برای تعیین لاین‌های برتر و سازگار است. در این روش گزینش و تصمیمات بر مبنای آنالیز گرافیکی اطلاعات انجام می‌شود (۲۷). با این روش می‌توان لاین‌ها را بر اساس عملکرد در محیط‌های جداگانه، تمام محیط‌ها، ترکیب پایداری با عملکرد، سازگاری خصوصی و سازگاری عمومی ارزیابی نمود. روش GGE بای‌پلات برای بررسی پایداری عملکرد چندین محصول زراعی از جمله عدس (۱۶،۱۲)، یولاف (۲۰،۶)، گندم (۲۲،۱۳،۱) چغندر قند (۱۰،۹) و سویا (۵) مورد استفاده قرار گرفته است. در مطالعه‌ای که به منظور بررسی ۲۴ ژنوتیپ گندم نان در دو مکان و به مدت دوسال انجام شد، نتایج حاصل از روش‌های مختلف تجزیه پایداری، منجر به شناسایی چهار ژنوتیپ برتر ۲۲، ۱۴، ۲۰ و ۱۹ با عملکرد بالا و پایدار شد (۲۱). مرادی و همکاران (۱۶) با استفاده از روش GGE biplot تعداد ۲۰۵ لاین و رقم عدس را که در قالب طرح آگمنت کشت شده بود، مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که مولفه اول و دوم به ترتیب ۶۸/۳ و ۲۸/۵ درصد از تغییرات کل عملکرد را توجیه می‌نماید که بیانگر اعتبار بالای بای پلات در تبیین تغییرات G +GE است.

شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و پایدار مهم‌ترین هدف برنامه‌های اصلاحی تحت شرایط محیطی متغیر می‌باشد. بنابراین هدف از این پژوهش، تجزیه اثرات متقابل در آزمایشات مرکب با استفاده از روش‌های GGE بای‌پلات و شناسایی لاین‌های سازگار با عملکرد بالا برای محیط‌های مورد بررسی بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور دستیابی به ارقام پرمحصول و سازگار به شرایط اقلیمی در استان گلستان تعداد ۱۸ لاین امیدبخش که از آزمایش‌های پیشرفته مقایسه عملکرد گزینش شده بودند به همراه ارقام مروارید و گنبد به‌عنوان شاهد آزمایش، در چهار مکان گرگان، گنبد، ساری و مغان به مدت دو سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۹۶-۱۳۹۵ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. مشخصات شجره‌ای، منابع ژنتیکی و کد ژنتیکی اختصاری استفاده شده در این تحقیق در جدول یک آورده شده است. میزان بذر لازم برای هر تیمار بر اساس وزن هزاردانه و بر حسب ۳۵۰ دانه در متر مربع محاسبه و میزان کود لازم بر اساس نتایج آزمون خاک و فرمول کودی هر منطقه تعیین شدند. عملیات خاک‌ورزی شامل شخم، دیسک، لولر و ایجاد فارو در کلیه ایستگاه‌ها اجراء گردید و ژنوتیپ‌ها با استفاده از ماشین کاشت آزمایشات غلات کشت گردیدند. تاریخ کاشت در ایستگاه‌های مذکور از اواسط آبان تا اواسط آذر ماه بود. طول خطوط کاشت ۶/۶ متر و فواصل بین ردیف‌های کاشت ۲۰ سانتی‌متر بود. جهت کنترل علف‌های هرز باریک برگ و پهن‌برگ از سموم علفکش آکسیال و گرانستار به مقادیر ۱/۵ لیتر و ۲۵ گرم در هکتار در مرحله پنجه‌زنی استفاده شد. هنگام برداشت از دو طرف هر کرت ۶۵ سانتی‌متر به جهت اثر حاشیه حذف گردید و در نهایت از مساحت ۶ مترمربع باقیمانده بوته‌ها توسط کمباین آزمایشات غلات برداشت انجام شد. در مرحله برداشت میزان عملکرد برای هر ژنوتیپ در هر محیط به صورت گرم در واحد آزمایشی تعیین و به کیلوگرم در هکتار تبدیل شد.

پس از تعیین عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف محاسبات آماری مقدماتی شامل تجزیه واریانس به تفکیک برای هر آزمایش، آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت و تجزیه واریانس مرکب بر روی داده‌های جمع‌آوری شده انجام گرفت. به‌منظور تجزیه

1- GEI

2- Genotype+genotype×Environment Interaction

گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد دانه از نرم افزار آماری GGE بای‌پلات استفاده شد. در بای پلات GGE براساس مقیاس‌بندی مبتنی بر ژنوتیپ، دو معیار عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها به صورت یک معیار منفرد ترکیب و نمایش داده می‌شوند. رابطه مورد استفاده برای مدل GGE بر اساس تجزیه به مقادیر منفرد به صورت زیر است:

$$X_{ij} - \overline{X}_{.j} = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{j1} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

در این رابطه Xij میانگین عملکرد ژنوتیپ iاُم در محیط jاُم، X.j میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط jاُم، λ1 و λ2 به ترتیب مقادیر منفرد اولین و دومین مولفه اصلی PC1 و PC2، ξ1 و ξ1 به ترتیب بردارهای ویژه ژنوتیپ iام برای PC1 و PC2 و η1 و η2 به ترتیب بردارهای ویژه محیط jاُم برای PC1 و PC2 و ε_{ij} باقی‌مانده غیرقابل توضیح مدل هستند. با توجه به اینکه در آزمایش‌های چند محیطی اثر اصلی محیط (E) با ارزیابی ژنوتیپ‌ها در ارتباط نیست، مدل بای پلات GGE با حذف اثر اصلی محیط و ترکیب اثر اصلی ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (G×E) این امکان را فراهم می‌کند که تجزیه و تحلیل تنها بر بخش مفید داده‌ها متمرکز شود (۲۴).

نمایش میانگین و پایداری ژنوتیپ‌ها را می‌توان با استفاده از ترسیم مختصات محیط متوسط[1] در بای پلات مبتنی بر ژنوتیپ فراهم کرد. ابتدا محیط متوسط که با یک دایره کوچک نشان داده شده است توسط مقادیر PC1 و PC2 تعریف می‌شود. خط عبوری از مبدأ بای پلات و محیط متوسط را می‌توان بعنوان محور محیط متوسط (محور افقی AEC) در نظر گرفت که نمایش علائم ژنوتیپ‌ها روی این محور برآوردی از میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها می‌باشد. محور عمودی AEC (خط دارای دو پیکان و عمود بر محور افقی AEC) نیز برآوردی از اثر متقابل GE بوده و معیاری از پایداری ژنوتیپ‌ها می‌باشد (۲۶،۲۵).

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب

به‌منظور انجام تجزیه مرکب آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت انجام گرفت. نتایج حاکی از یکنواخت بودن واریانس اشتباهات آزمایشی و قابل انجام بودن تجزیه مرکب بود. تجزیه مرکب داده‌ها انجام و ارزش F هر یک از منابع تغییرات با استفاده از براوردهای امید ریاضی منابع تغییرات محاسبه شد (جدول ۲). برای چهار مکان در مجموع دو سال، اثر ساده مکان و سال معنی‌دار نبود ولی اثر متقابل آنها معنی‌دار بود که نشان‌دهنده این است که اثر سال‌ها بر روی مکان‌ها از سالی به سال دیگر متفاوت بوده است. همچنین اثر ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد که نشان‌دهنده این است که بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌دار در سطح آماری وجود دارد. معنی‌دار بودن اثر سه جانبه ژنوتیپ × سال × مکان بیان کننده عکس‌العمل‌های متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف است. با توجه به معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ ها، مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۲، و ۱۳ به ترتیب با دارا بودن میانگین عملکرد ۶۰۷۴ ، ۶۰۴۷ و ۶۰۴۲ کیلوگرم در هکتار در گروه اول قرا دارد این گروه شامل ۱۵ ژنوتیپ است که تفاوت میانگین عملکرد آنها از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. (جدول ۳). همچنین ژنوتیپ شماره ۲ (رقم گنبد) با عملکرد ۴۹۶۸ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد را در بین سایر ژنوتیپ‌ها به خود اختصاص داد. این ژنوتیپ با رقم مروارید (ژنوتیپ شماره ۱) در یک گروه قرار داشت. با توجه به اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها که باعث به وجود آمدن گروه‌های متفاوت معنی‌دار شده و با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، تجزیه واریانس معمولی قادر به توجیه ژنوتیپ‌ها نمی‌باشد. بنابراین از تجزیه پایداری به روش GGE بای‌پلات جهت معرفی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده گردید.

جدول ۱- شماره و شجره لاین‌های مورد بررسی گندم نان

Table 1. Number and pedigree of studied bread wheat lines

شماره		شماره	
۱	Morvarid	۱۱	MURGA/KRONSTAD F2004
۲	Gonbad	۱۲	WBLL1*2/TUKURU*2/4/CROC_1/…
۳	WBLL1*2/KURUKU//HEILO	۱۳	ROLF07*2/KACHU #1
۴	QUAIU #3//MILAN/AMSEL	۱۴	WBLL1*2/CHAPIO*2//MURGA
۵	KACHU//WBLL1*2/BRAMBLING	۱۵	KACHU #1/4/CROC_1/…
۶	MILAN/S87230//BAV92*2/3/AKURI	۱۶	D67.2/PARANA 66.270//…
۷	ATTILA/3*BCN//BAV92/3/PASTOR/4/…	۱۷	D67.2/PARANA 66.270//…
۸	PFAU/SERI.1B//AMAD/3/…	۱۸	BABAX/LR39//BABAX/3/…
۹	QUAIU #3//MILAN/AMSEL	۱۹	NORM/WBLL1//WBLL1/3/…
۱۰	MEX94.27.1.20/3/SOKOLL//…	۲۰	ATTILA*2/PBW65*2/5/REH/HARE//…

تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش چند متغیره و گرافیکی GGEbiplot

روش GGEbiplot یک روش چند متغیره می‌باشد که با استفاده از گراف‌های مختلف قدرت اعتبار نتایج را افزایش داده و تفسیر را آسان می‌کند.

تعیین ابر محیط‌ها (Megaenvironments) و بهترین رقم در هر مکان

در بای‌پلات شکل ۱ یک چند ضلعی مشاهده می‌گردد که از متصل کردن دورترین ژنوتیپ‌ها (از مبدا بای پلات) به یکدیگر ایجاد شده است به گونه‌ای که تمام ژنوتیپ‌های دیگر در داخل چند ضلعی قرار می‌گیرد (۵) این چند ضلعی

1- Average Environment Coordinate (AEC)

اطلاعات جامعی در اختیار قرار می دهد. با استفاده از این بای پلات و چند ضلعی درون آن می‌توان ابر محیط‌ها و رقم‌های برتر برای هر مکان را شناسایی کرد. بختیار و همکاران (۳) نیز وجود محیط‌های بزرگ در آزمایشات مقایسه عملکرد یکنواخت منطقه‌ای اقلیم معتدل کشور را گزارش نموده‌اند. محمدی و همکاران (۱۴) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. وجود ژنوتیپ‌های موجود در راس چند ضلعی نشان‌دهنده ژنوتیپ‌های برتر برای مکان‌هایی هستند که در این چند ضلعی واقع شده‌اند. ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۵، ۱۰، ۱۱ و ۱۵ در راس این چند ضلعی قرار گرفته‌اند. مکان‌های ساری، گنبد و گرگان در بخشی قرار گرفته‌اند که ژنوتیپ ۱۱ در راس آن قرار دارد این بدان معنی است که ژنوتیپ ۱۱ بهترین ژنوتیپ برای سه منطقه ساری، گنبد و گرگان می‌باشد. محیط مغان در بخشی قرار گرفته که ژنوتیپ ۵ در راس آن قرار گرفته است. مهمترین نکته این است که هیچ محیطی در داخل بخش هایی که ژنوتیپ‌های شاهد (۱ و ۲) در راس آن قرار گرفته‌اند وجود ندارد که حاکی از این موضوع است این ژنوتیپ‌ها در هیچ ابر محیطی برتری ندارند.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم
Table 2. Combined analysis of variance for grain yield in wheat genotypes

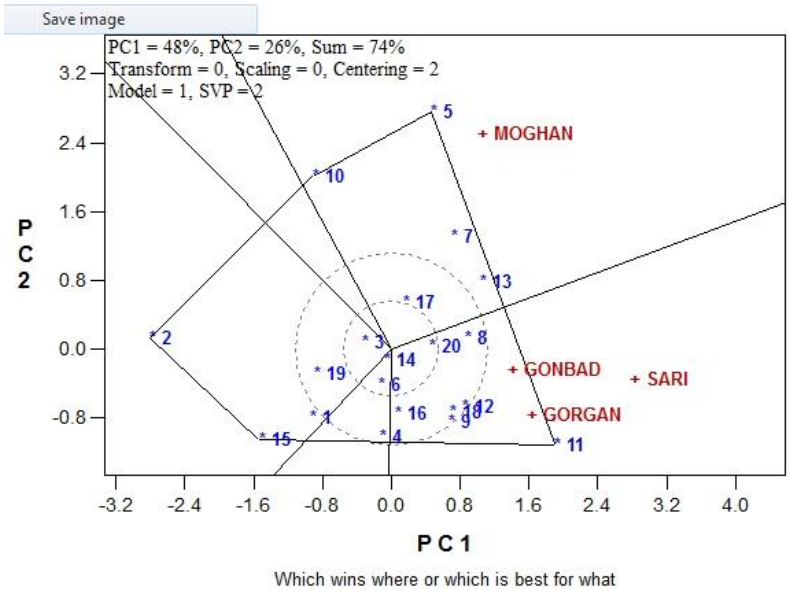
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
محیط	۷	۱۱۰/۴۹۴ **
سال	۱	۵۴/۰۰۴ ns
مکان	۳	۱۹۸/۹۹۸ ns
سال × مکان	۳	۴۰/۸۲۰**
اشتباه اول	۱۶	۰/۴۷۴
ژنوتیپ	۱۹	۲/۱۶۰**
ژنوتیپ × محیط	۱۳۳	۰/۶۸۱**
ژنوتیپ × سال	۱۹	۰/۷۵۰ns
ژنوتیپ × مکان	۵۷	۰/۷۷۶ns
ژنوتیپ × سال × مکان	۵۷	۰/۵۶۴**
اشتباه دوم	۳۰۴	۰/۳۰۶

جدول۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم در چهار مکان و دو سال
Table 3. Grain yield mean comparison of wheat genotypes in four locations and two years

شماره ژنوتیپ	رتبه	گروه‌بندی	میانگین عملکرد(Kg/ha)
۱۱	۱	a	۶۰۷۴
۱۲	۲	a	۶۰۴۷
۱۳	۳	a	۶۰۴۲
۶	۴	ab	۵۹۸۶
۱۸	۵	ab	۵۹۵۹
۷	۶	ab	۵۸۳۷
۱۶	۷	abc	۵۸۱۷
۸	۸	abcd	۵۸۰۷
۲۰	۹	abcd	۵۷۹۵
۳	۱۰	abcd	۵۷۳۸
۵	۱۱	abcde	۵۷۲۲
۱۷	۱۲	abcde	۵۷۰۵
۱۴	۱۳	abcde	۵۶۶۲
۹	۱۴	abcde	۵۶۲۸
۴	۱۵	abcde	۵۶۱۷
۱۰	۱۶	bcde	۵۴۹۵
۱۹	۱۷	cdef	۵۳۱۸
۱	۱۸	edf	۵۲۹۴
۱۵	۱۹	ef	۵۲۱۹
۲	۲۰	f	۴۹۶۸

میانگین‌های دارای یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ ندارند.

این بای پلات خاصیت گروه‌بندی محیط‌ها را نیز دارد. در واقع می‌توان ابر محیط‌های مختلف را شناسایی کند. در این بای‌پلات محیط‌های گرگان، گنبد و ساری به‌عنوان اولین ابر محیط و محیط مغان به عنوان دومین ابر محیط شناسایی شدند. در تطابق با یافته این بررسی، پژوهشگران دیگری نیز در گندم دوروم ژنوتیپ‌های پایدار را با استفاده از روش GGE بای پلات شناسایی نمودند (۱۹،۱۵).



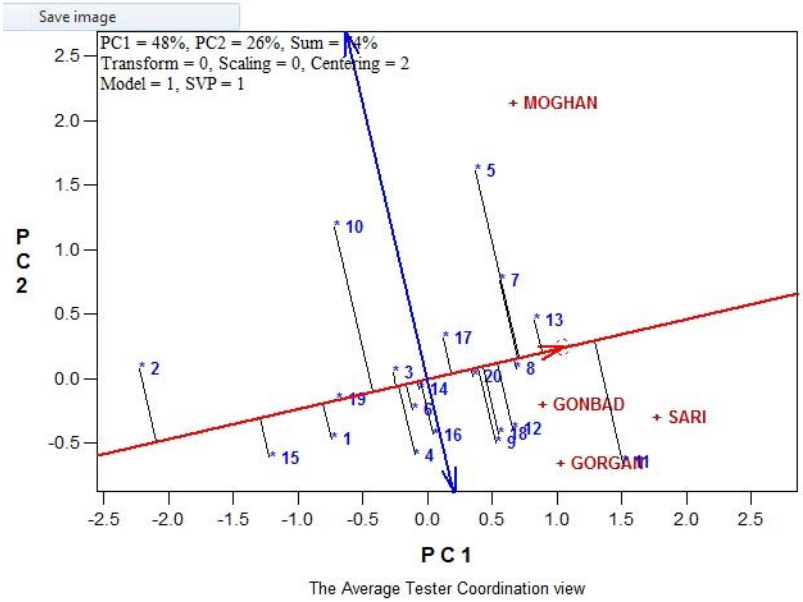
شکل ۱- نمایش گرافیکی بای پلات جهت تعیین برتری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف
Figure 1. Graphic representation of biplot to determine superiority of genotypes in different environments

میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها

با توجه به شکل ۲ که میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد به طور کلی ژنوتیپ شماره ۱۱ با قرار گرفتن در سمت مثبت محور افقی بالاترین میزان عملکرد و ژنوتیپ شماره ۲ با قرار گرفتن در جهت منفی محور کمترین میزان عملکرد را نشان می دهند. با توجه به شکل میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها به صورت زیر است:

۱۴<۱۶<۱۷<۲۰<۹<۱۸<۱۲<۸<۵<۷<۱۳<۱۱
۲<۱۵<۱<۱۹<۱۰<۳<۴<۶<

ژنوتیپ های ۱۱، ۱۳، ۷، ۸ ، ۵ و ۱۲ با داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل (۵۶۸۶/۵ kg/ha) جزء ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالا و پایداری نسبتا مطلوب شناخته شدند.



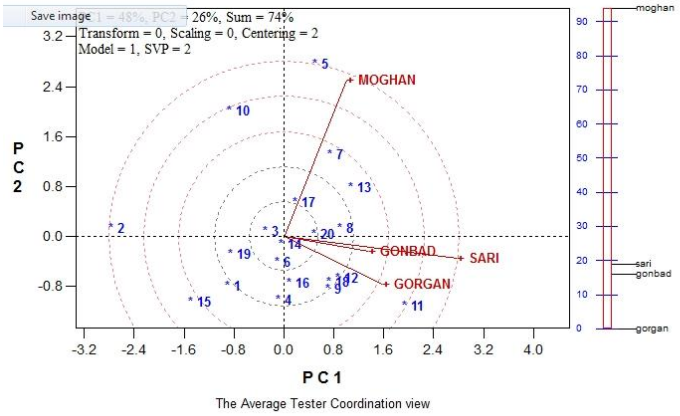
شکل ۲- بای پلات میانگین و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها
Figure 2. Biplot of grain yield means and stability of genotypes

آلبرت (۱) در نتایج خود گزارش کرد که معمولا نتایج ارزش پایداری امی و بای پلات با هم همخوانی دارند. اسماعیل‌زاده و همکاران (۷) در یک آزمایش برای تعیین ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا برای مناطق گرم و خشک جنوب ایران، ۱۸ لاین امیدبخش گندم نان را به همراه رقم چمران به عنوان شاهد آزمایش در شش ایستگاه تحقیقات کشاورزی مورد

ارزیابی قرار دادند. براساس نتایج حاصل از روش امی آنها رقم ویبلی (Weebili) را به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ شناسایی کردند. عمرانی و همکاران (۱۷) نیز در بررسی ۳۰ ژنوتیپ گندم نان توانستند چهار ژنوتیپ با میانگین عملکرد بیشتر از میانگین کل و با سازگاری عمومی خوب را شناسایی نمایند.

بررسی روابط بین محیطها با استفاده از روش گرافیکی GGEbiplot

در این بای پلات (شکل۳) همبستگی بین محیطها از طریق زاویه‌ای که بین آنها وجود دارد تعیین می‌شود. در واقع زاویه بین بردارهایی که کوچکتر از ۹۰ درجه باشد نشان دهنده همبستگی مثبت بین آنها می‌باشد. زاویه ۹۰ درجه بین بردارها نشان‌دهنده مستقل بودن محیطها است. زاویه بزرگتر از ۹۰ درجه به معنای همبستگی منفی بین محیطهاست. با توجه به این توضیح و با توجه به شکل ۳ بین مکان‌های گرگان، ساری و گنبد به علت وجود زاویه کم همبستگی مثبت و بالایی وجود دارد که نشان‌دهنده پاسخ مشابه ژنوتیپ‌ها در این مکان‌ها می‌باشد. به‌عبارت دیگر ژنوتیپ‌هایی که در مکان گرگان رتبه نخست عملکرد را داشته باشند در گنبد نیز رتبه نخست را نشان می‌دهند. ایستگاه مغان با داشتن همبستگی نزدیک به صفر با سایر ایستگاه ها باعث پاسخ متفاوت ژنوتیپ ها در این مکان شد. در این آزمایش مکان‌های گرگان، گنبد و ساری دارای همبستگی نزدیکی بودند.



شکل ۳ – بررسی روابط بین محیطها با استفاده از روش گرافیکی
Figure 3. Evaluation of environments relation using of graphical method

منابع

1. Akcura, M., Y. Kaya and S. Taner. 2005. Genotype-environment interaction and phenotypic stability analysis for grain yield of durum wheat in the central Anatolian region. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 29(5): 369-37520.
2. Allard, R.W. and A. Bradshaw. 1964. Implication of genotype–environmental interaction in applied plant breeding. Crop Science, 5: 503-506.
3. Bakhtiar, F., G. Najafian, K.A. Kaffashi, A. Jafarnejad, F. Hassani, A. Zare Feizabadi, D. Amin Azarm, E. Nabati and H. Abdi. 2021. Evaluation of Grain Yield Stability of Bread Wheat *(Triticum aestivum L.*) Promising Lines in Temperate Regions of Iran. Seed and Plant Journal, 36(4): 461-481(In Persian).
4. Basford, K.E. and M. Cooper. 1998. Genotype by environment interactions and some considerations of their implication for wheat breeding in Australia. Australian Journal of Agricultural Research, 49: 154-175.
5. Bhartiya, A., J.P. Aditya, V. Kumari, N. Kishore, J.P. Purwar, A. Agraval and L. Kant. 2017. GGE Biplot& AMMI Analysis of Yield Stability in Multienvironment Trial of Soybean [*Glycine max (L.) Merril*] Genotypes under Rainfed Condition of North Western Himalayan Hills. The Journal of Animal & Plant Sciences, 27(1): 227-238.
6. Chen, X., B. Wu and Z. Zhang. 2016. Evaluation of adaptability and stability for important agronomic traits of oat (*Avena spp*.) germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 17(4): 577-585.
7. Esmailzadeh, M., M. Moghaddam, M. Zakizadeh, H. Akbari-Moghaddam, M. Abedini-Esfahlani, M.Sayahfar, A.R. Nikzad, S. Tabib-Ghafari, M. Lotfi and G.A. Ayene. 2011. Genotype × environment interaction and stability of grain yield of bread wheat genotypes in dry and warm areas of Iran. Seed Plant Improve, 27: 257-273 (In Persian).
8. FAO. FAOSTAT. Available from: http://faostat.fao.org. Accessed 2018 Nov 7.
9. Hassani, M., B. Heidari, A. Dadkhodaie and P. Stevanato. 2018. Genotype by environment interaction components underlying variations in root, sugar and white sugar yield in sugar beet *(Beta vulgaris L.)*. Euphytica, 214(79): 4-21.
10. Hassani, M., H. Hamzeh and H. Mansouri. 2021. Evaluation of Adaptability and Stability of Root Yield and White Sugar Yield *(Beta vulgaris L.)* in Sugar Beet Genotypes using Multivariate AMMI and GGE Biplot Method. Journal of Crop Breeding, 13(37): 222-235 (In Persian).

11. Huhn, M. 1990. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. Euphytica, 47: 189-194.
12. Karimizadeh, R., M. Mohammadi, N. Sabaghnia, A.A. Mahmoodi, B. Roustami, F. Seyyedi and F. Akbari. 2013. GGE Biplot Analysis of Yield Stability in multi- environment Trials of Lentil Genotypes under Rainfed Condition. Notulae Scientia Biologicae, 5(2): 256-262.
13. Karimizadeh, R., T. Hosseinpour, J. Alt Jafarby, K. Shahbazi Homonlo., M. Armion and P. Sharifi. 2020. Stability Analysis of Durum Wheat Genotypes by GGE Biplot Method. Journal of Crop Breeding, 2(35): 1-17 (In Persian).
14. Mohammadi, M., T. Hosseinpour, M. Armion, H. Khanzadeh, H. Ghojogh. 2016. Analysis of genotype environment and genotype-environment interaction in bread wheat using GGE biplot analysis. Agricultural Communications, 4(3): 1-8.
15. Mohammadi, R., M. Armion, B. Sadeghzadeh, S. Golkari., Gh. Khalilzadeh, H. Ahmadi, Gh, Abedi-Asl and M. Eskandari. 2016. Assessment of grain yield stability and adaptability of rainfed durum wheat breeding lines. Applied Field Crops Research, 29(4): 25-42 (In Persian).
16. Moradi, S., J. Saba, A., Tavakoli and K, Afshahi. 2020. Screen of Native Lentil Lines Yield under Dryland Conditions using GGE Biplot Method. Journal of Crop Breeding. 13(37): 119-137 (In Persian).
17. Omrani, S., A. M. Nagi and M. Esmaeil Zadeh Moghadam. 2018. Evaluation of Yield Stability of Bread wheat *(Triticum aestivum L.)* Genotypes using Additive Main Effects and Multiplicative Interaction (AMMI). Journal of Crop Breeding, 10(25): 73-80 (In Persian).
18. Poudel, M.R., S. Ghimire, M.P. Pandey, K. Dhakal, D.B., Thapa and H.K. Poudel. 2020. Yield stability analysis of wheat genotypes at irrigated, heat stress and drought condition. Journal of biology and today's word. 9(5): 1-10.
19. Sadeghzadeh, B., R. Mohammadi, H. Ahmadi, G.R. Abedias, M.M. Ahmadi, M. Mohammadfam, N. Bahrami, M.S. Khaledian and A.A. Naserian. 2018. GGE biplot and AMMI application in the study of adaptability and grain yield stability of durum lines under dryland conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences, 11(2): 241-260 (In Persian).
20. Sanchez-Martın, J., N. Rispail, F. Flores, A.A. Emeran, J.C. Sillero, D. Rubiales and E. Prats. 2017. Higher rust resistance and similar yield of oat landraces versus cultivars under high temperature and drought. Agronomy for Sustainable Development, 37(1): 3-15.
21. Soughi, H.A., N.B. Jelodar, G.A. Ranjbar and M. Pahlavan. 2016. Simultaneous Selection Based on Yield and Yield Stability in Bread Wheat Genotypes. Journal of Crop Breeding, 8(18): 119-125 (In Persian).
22. Silva, C.L., E. Bornhofen, M.H. Todeschin, A.S. Milioli, D.M. Trevisan and G. Benin. 2015. Selecting wheat genotypes for yield and baking quality in multi-environment trials. Revista Ceres, 62(4): 360-371.
23. Tadesse, W., S. Suleiman, I.Tahir, M. Sanchez-Garcia, A. Jighly, A. Hagras, A. Sherif and M. Baum. 2019. Heat-Tolerant QTLs Associated with Grain Yield and Its Components in Spring Bread Wheat under Heat-Stressed Environments of Sudan and Egypt. Crop Science. 59: 199-211.
24. Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnics. 2000. Genotype evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science, 40: 597-605.
25. Yan, W. 2001. GGE biplot-a windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. Agronomy Journal, 93: 1111-1118.
26. Yan, W. and M.S. Kang. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC Press, Boca Raton, 605 pp.
27. Yan, W. 2016. Analysis and Handling of G × E in a Practical Breeding Program. Crop Science, 56: 2106-2118. doi: 10.2135/cropsci2015.06.033.

Stability Analysis of Bread Wheat Genotypes by using GGE Biplot Method in Caspian Sea Regions

Manouchehr Khodarahmi[1], Habiballah Soughi[2], Jabbar Jafarby[2], Mohammad Sadeg Khavarinejad[3] and Hasan Khanzadeh[4]

1- Seed and Plant Improvement Institute, AREEO, Karaj, Iran, (Corresponding Author: khodarahmi_m@yahoo.com)
2- Horticulture Crops Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran
3- Horticulture Crops Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran
4- Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran
Received: 20 January, 2021 Accepted: 12 June, 2021

Extended Abstract

Introduction and Objective: Wheat (*Triticum aestivum*) is the largest food crop to cover the earth's surface in the world. Environmental influences are considered as the measurement criteria for genetic stability. Sensitivity of a crop genotype to the environmental factors gives rise to genotype - Environment Interaction (GEI). Breeders' objective is to develop varieties that give high productivity under available environmental conditions.

Materials and Methods: In this study, stability and adaptation of eighteen promised bread wheat lines along with Morvaread and Gonbad as control cultivars, were evaluated in randomized complete block design with three replications at four regions in Gorgan, Gonbad, Sari and Mogan, during two cropping seasons of 2015-2017.

Results: Combined analysis of variance indicated significant effects of genotypes and year × location × genotype interactions. Significant interaction effects indicated different reactions of genotypes in various locations. Due to the significant effects of this interaction, genotypes × environment interaction effect was evaluated using GGE Biplot stability analysis. Results of Biplot that revealed mean and stability of genotypes, line11stayed on, in the positive direction of axis had the highest grain yield and line 2 stayed on, in the negative direction of axis had the lowest grain yield. This biplot analysis diagnosed of Mega-environment. In base of this study, among of Gorgan, Gonbad and Sari environments had strong positive correlation and genotypes had the same reactions. Mogan had next to zero correlation with three other locations and reaction of genotypes was independent. The results showed the possibility of selecting stable genotypes with high yield compared to experimental controls, which indicates genetic improvement in bread wheat breeding programs in the northern climate of the country.

Conclusion: Consequently, genotypes 11, 13, 7 and 8 with high grain yield and strong stability were selected.

Keywords: Genotype × Environment interaction, Mega-environment, Stability, Selection