

## اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط بر روی عملکرد دانه ژنوتیپ های گندم زمستانه کشت شده در شرایط دیم

### Genotype × Environment Interactions effects on Grain Yield in Winter Wheat grown under rainfed conditions

صابر گلکاری<sup>۱\*</sup>، رضا حق پرست<sup>۲</sup>، ابراهیم روحی<sup>۳</sup>، حسین نظری<sup>۴</sup>، ملک مسعود احمدی<sup>۵</sup>، غلامرضا عابدی اصل<sup>۶</sup> و تقی بابایی<sup>۷</sup>

۱. موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران. (نگارنده مسئول)
۲. موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت سرارود، کرمانشاه، ایران.
۳. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران.
۴. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران.
۵. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیروان، ایران.
۶. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران.
۷. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۳ - شناسانه برنمود رقمی: 10.22092/aj.2021.343298.1478

#### چکیده

گلکاری، ص.، حق پرست، ر.، روحی، ا.، نظری، ح.، مسعود احمدی، م.، عابدی اصل، غ.، بابایی، ت.، اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط بر روی عملکرد دانه ژنوتیپ های گندم زمستانه کشت شده در شرایط دیم  
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۴ - شماره ۱ - پیاوند ۱۳۰ بهار ۱۴۰۰ صفحه: ۷۰-۵۵

به منظور مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر روی عملکرد دانه، این تحقیق با ۲۴ ژنوتیپ گندم نان در ۲۱ محیط مختلف شامل ایستگاه های تحقیقات کشاورزی مراغه، سرارود، قاملو، شیروان، اردبیل، اراک و زنجان در شرایط دیم طی سه سال زراعی (۱۳۹۲-۹۵) انجام گرفت. نتایج تجزیه مرکب عملکرد دانه نشان داد که اثر اصلی ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بوده و بزرگی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نسبت به اثر ژنوتیپ تقریباً سه برابر بود که بیانگر وجود گروه های محیطی مختلف در برنامه به نژادی گندم دیم کشور است. بر اساس نتایج GGE بای پلات، محیط ها در دو گروه و ژنوتیپ ها در پنج گروه مشخص گروه بندی شدند. ژنوتیپ های شماره ۱ (رقم شاهد آذر۲) و ۲۱ (لاین به نژادی) هر کدام سازگاری خصوصی بالایی را به یکی از دو گروه محیطی متفاوت نشان دادند. در این تحقیق محیط های سرد به خوبی توسط تجزیه گرافیکی از محیط های معتدل سرد متمایز شده و لاین برتر در هر گروه شناسایی شد. در بین لاین های مورد ارزیابی ژنوتیپ شماره ۲۰ به عنوان ژنوتیپ ایده آل بهترین ترکیب را از نظر میانگین عملکرد دانه بیشتر و پایداری عملکرد بالا به نمایش گذاشت. بکارگیری تجزیه های گرافیکی در این تحقیق توانمندی بالای این روش را در ارزیابی همزمان ژنوتیپ ها و محیط های اجرای آزمایش به نمایش گذاشت و اطلاعات بسیار مفیدی از ژنوتیپ ها و محیط های برتر را برای استفاده در برنامه های به نژادی فراهم کرد.

واژه های کلیدی: پایداری عملکرد، GGE Bi-plot، گندم نان، مناطق سرد و معتدل سرد.

## مقدمه

پلات GGE پس از معرفی و کاربرد اولیه آن توسط تعدادی از محققین، تاکنون بطور گسترده برای بررسی اثرهای اصلی و متقابل ژنوتیپ و محیط مورد استفاده قرار گرفته است (Cooper & DeLacy, 1994, Kempton, 1984, Yan *et al.*, 2000). نمایش گرافیکی داده‌ها در روش بای پلات بعنوان تکنیکی سودمند اجازه می‌دهد تا روابط بین محیط‌ها، ژنوتیپ‌ها و اثر متقابل آن‌ها بنحوی موثر به تصویر کشیده شود (Yan & Kang 2003). برای این منظور از دو نوع بای پلات شامل تجزیه (Gauch, 1992) AMMI و تجزیه GGE bi-plot بسیار استفاده می‌شود (Yan & Kang 2003; Yan & Tinker 2006). بسیاری از اصلاح گران و اگرونومیست‌ها تجزیه bi-plot GGE را برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها سودمند ارزیابی کرده‌اند (Bhan *et al.*, 2005; Malvar *et al.*, 2005; Voltas *et al.*, 2005; Kang *et al.*, 2006). این روش تجزیه برای پاسخ به سئوالاتی نظیر اینکه ۱- آیا ناحیه هدف از نظر شرایط محیطی یکنواخت می‌باشد و یا باید به چندین محیط کلان گروه‌بندی شود، ۲- ارزیابی ویژگی‌های محیط‌های آزمون و ۳- شناسایی ژنوتیپ‌های برتر استفاده شده است (Yan & Rajcan 2002; Casanoves *et al.*, 2005; Samonte *et al.*, 2005; Dardanelli *et al.*, 2006) (Yan & Rajcan 2002; Blanche & Myers 2006; Thomason & Phillips 2006). یک محیط کلان به عنوان گروهی از مکان‌ها که نقش یکسانی در شناسایی ژنوتیپ‌ها (Yan *et al.*, 2000) برتر دارند، تعریف می‌شود (Yan & Kang 2003). بنابراین از کاربردهای

گندم (*Triticum aestivum* L.) در مرکز و غرب آسیا در شرایط محیطی بسیار متنوعی کشت می‌شود به طوری که دامنه‌ای از زمین‌های کم ارتفاع گرم تا زمین‌های با ارتفاع زیاد و سرد را شامل می‌گردد (Trethowan *et al.*, 2003; Lage *et al.*, 2008). ارزیابی دقیق ژنوتیپ‌ها با هدف معرفی ارقام جدید با عملکرد بالا و پایداری عملکرد و نیز سازگار به شرایط محیطی مستلزم برآورد اثر ژنوتیپ و نیز اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به طور هم‌زمان می‌باشد (Yan *et al.*, 2000; Yan & Kang 2003). ارزیابی ژنوتیپ‌های مورد نظر در چندین محیط مختلف، برآورد اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را میسر می‌سازد (Cooper & Hammer 1996; Kang 1998; Brancourt-Hulmel & Lecomte 2003; Yan & Kang 2003; Fan *et al.*, 2007). عملکرد دانه از صفات مهم است که تا حدود زیادی تحت تاثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد. از این رو اصلاح گران، قبل از معرفی و توصیه یک رقم، پایداری ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا را در محیط‌های مختلف ارزیابی و تعیین می‌نمایند. روش‌های آماری زیادی برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار ارائه شده است. این روش‌ها به دو دسته‌ی اصلی تک متغیره و چند متغیره تقسیم می‌شوند (Lin *et al.*, 1986). نسخه بای پلات GGE به طور هم‌زمان اطلاعات مربوط به اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را در اختیار قرار می‌دهد. روش بای

شناسایی ژنوتیپ (های) ایده آل و توصیه بهترین ژنوتیپ(ها) برای گروه‌های محیطی مختلف بود.

### مواد و روش‌ها

در این بررسی، تعداد ۲۲ لاین گندم نان (G3-G24) به همراه ارقام شاهد آذر ۲ (G1) و اوحدی (G2) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در ایستگاه‌های مراغه، قاملو، زنجان، شیروان، اردبیل، سرارود و اراک به مدت سه سال (۹۵-۱۳۹۲) مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول-۱). ابعاد واحدهای آزمایشی در تمام مناطق ثابت و شامل شش خط به طول شش متر با فاصله بین خطوط ۱۷/۵ سانتیمتر بود. میزان بذر مصرفی بر اساس تراکم ۳۸۰ دانه در متر مربع در نظر گرفته شد که با توجه به وزن هزاردانه هر رقم تعیین گردید. قطعه زمین محل اجرای آزمایش در سال قبل به صورت آیش بوده و تهیه بستر با گاوآهن قلمی مرکب انجام پذیرفت. در هنگام کشت از کودهای ازته و فسفات با نمونه برداری از خاک مزرعه و بر مبنای تامین ۴۰ کیلوگرم فسفات و ۶۰ کیلوگرم ازت خالص در هکتار در زمان کشت با جاگذاری در خاک استفاده شد. در طی دوران رشد گیاهان در مزرعه و پس از برداشت محصول، صفات متعدد از جمله قدرت رشد گیاهچه، ارتفاع بوته، تعداد پنجه بارور در متر مربع، تعداد روز تا ظهور سنبله، رسیدگی فیزیولوژیک و وزن هزار دانه ارزیابی گردیدند که در این مقاله اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر روی عملکرد دانه مورد بررسی قرار گرفته است.

تجزیه واریانس مرکب داده‌های عملکرد دانه با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹٫۱ و با

مهم GGE بای پلات همچنین می‌توان به تعیین و گروه‌بندی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌نژادی اشاره کرد. با استفاده از GGE بای پلات محیط‌های مورد بررسی به چندین گروه محیطی که در درون هر گروه محیط‌ها از نظر واکنش به ژنوتیپ‌ها تا حدودی مشابه عمل می‌کنند گروه‌بندی می‌شوند (Kaya *et al.*, 2006; Mohammadi *et al.*, 2010). در این روش محیط ایده‌آل به عنوان محیطی مجازی که از مبدا بای پلات عبور کرده و بر روی محور متوسط عملکرد (Average Tester Coordination, ATC) قرار دارد تعریف می‌گردد (Yan, 2001; Yan *et al.*, 2007). محیط‌های آزمون می‌توانند به صورت گرافیک رتبه‌بندی شوند و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر بر اساس فاصله‌های روی GGE بای پلات، بین نشانگرها و نشانگر محیط آزمون ایده‌آل صورت می‌گیرد. ارزیابی محیط آزمون جنبه مهمی از تجزیه داده‌های GE می‌باشد. تلاش‌های زیادی صورت گرفته است تا بتوانند عملکرد و پایداری را به عنوان یک معیار گزینشی واحد ترکیب نمایند (Kang & Pham 1993; Kang 1991). مطالعات اخیر نشان داده است که لاین‌های دارای عملکرد بالا ممکن است در تمام محیط‌ها پایدار نباشند (Sharma *et al.*, 2009; Özgen 1991; Koemel *et al.*, 2004) و لذا معرفی آنها به عنوان وارسته اصلاح شده جدید مناسب نخواهند بود. هدف از این پژوهش بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر روی تعداد ۲۲ لاین امیدبخش گندم نان با استفاده از مدل GGE biplot منظور ارزیابی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، تعیین روابط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها،

تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه اختلافات معنی داری در سطح احتمال یک درصد بین عملکرد دانه ژنوتیپ های مورد ارزیابی و وجود اختلافات ژنتیکی معنی دار بین ژنوتیپ های مورد آزمایش را نشان داد. همچنین اثر متقابل معنی دار ژنوتیپ  $\times$  محیط مشاهده شد که حاکی از تفاوت های معنی دار در واکنش ژنوتیپ ها به محیط های مختلف اجرای آزمایش بود. اثر اصلی محیط و اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط به ترتیب با ۸۲/۳ درصد و ۶/۵ درصد بیشترین سهم را در مجموع مربعات کل واریانس مشاهده شده در آزمایشات داشتند (جدول-۲). سهم حدود ۳ برابری اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط در مجموع مربعات کل در مقایسه با اثر ژنوتیپ بیانگر احتمال وجود گروه های کلان محیطی (Mega-environments) بود که برخی ژنوتیپ ها حداکثر پتانسیل عملکرد خود را در آن گروه های محیطی به نمایش گذاشتند (Yan & Kang, 2003). با توجه به معنی دار بودن اثر اصلی ژنوتیپ، سهم اندک ژنوتیپ در مجموع مربعات کل و تغییرات کل را می توان به انتخاب موثر این ژنوتیپ ها در آزمایشات مقدماتی تر طی برنامه ملی به نژادی گندم نسبت داد (Samonte et al., 2005; Rose et al., 2008; Mohammadi et al., 2012).

آماره های پایداری برای ۲۴ ژنوتیپ ارزیابی شده در ۲۱ محیط جهت رتبه بندی ژنوتیپ ها از نظر پایداری عملکرد دانه مورد استفاده قرار گرفت (جدول-۳). میانگین ژنوتیپ های گندم مورد ارزیابی در محیط های اجرای آزمایش برابر با ۲۱۶۵ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین

در نظر گرفتن اثر محیط (ترکیب سال در مکان) بعنوان اثر تصادفی و اثر ژنوتیپ بعنوان اثر ثابت انجام شد. به منظور تعیین پایداری عملکرد ژنوتیپ ها در محیط های مختلف، از آماره های تک متغیره شامل میانگین رتبه (MRank)، واریانس رتبه (VarR)، ضریب تغییرات (CV)، واریانس پایداری شوکلا (Shukla, 1972) ( $\sigma_j^2$ )، ضریب رگرسیون (bi)، واریانس انحراف از رگرسیون ( $S^2di$ ) و آماره برتری لین و پینز (Pi) استفاده گردید. همچنین برای شناسایی ژنوتیپ هایی که همزمان دارای پایداری عملکرد و پتانسیل عملکرد دانه بالا باشند نیز آماره جمع رتبه (Rank sum) با رتبه بندی ژنوتیپ ها برای هر یک از آماره های پایداری محاسبه گردید (Kang, 1988).

به منظور تجزیه گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط برای عملکرد دانه مدل GGE biplot (Yan, 2001) با استفاده از نرم افزار R بسته GGEBiplotGEA و نسخه ۹-۰.۱ بکار گرفته شد. در این مطالعه بای پلات ها برای نمایش ۱- الگوی تعیین کننده ژنوتیپ بهتر در هر محیط (high-win-where) ۲-رتبه بندی گرافیکی ژنوتیپ ها بر اساس ترکیب همزمان عملکرد دانه با پایداری ۳-قابلیت نمایندگی محیط ها و قدرت تمایز محیط ها در تفکیک ژنوتیپ های مورد بررسی (Discriminative vs. Representative) ۴-رتبه بندی گرافیکی ژنوتیپ ها بر اساس ژنوتیپ ایده آل ۵- گروه بندی محیط ها بر اساس میزان تشابه و عدم تشابه آنها در تفکیک ژنوتیپ ها بکار گرفته شدند.

## نتایج و بحث

جدول ۱- مشخصات تعداد ۲۴ رقم و لاین کندم نان دیم مورد مطالعه در این تحقیق.

Table 1. The 24 dryland bread wheat cultivars and lines studied in this research.

Genotype	Pedigree, origin & selection history
G1	Azar-2
G2	Ohadi
G3	GB Collection -2010- 30
G4	GB Collection -2010- 110
G5	GB Collection -2010- 144
G6	GB Collection -2010- 222
G7	GB Collection -2010- 260
G8	GB Collection -2010- 288
G9	GB Collection -2010- 304
G10	GB Collection -2010- 396
	PMF/MAYA/YACO/3/CO693591/CTK/4/Sardari
G11	IRW-04-217-0MAR-0MAR-0MAR-8MAR-OMAR NGDA146/4/YMH/TOB//MCD/3/LIRA/5/F130L1.12/6/Khazar/3/Jcam/
G12	Emu"s//Dove" IRW-04-042-0MAR-0MAR-0MAR-2MAR Sardari/TEU2/3/Ures/Fan/kauz
G13	IRBW04-23-54-15-OSAR-OSAR-OSAR-3SAR-OSAR Sardari/TEU2/3/Ures/Fan/kauz
G14	IRBW04-23-54-15-OSAR-OSAR-OSAR-OSAR-8SAR-OSAR Azar-2/sablan/6/shahi/kvz/5/shahi/4/
G15	IRBW04-23-54-24-OSAR-OSAR-OSAR-OSAR-3SAR-OSAR Azar-2/156gene bank
G16	IRBW04-23-54-28-OSAR-OSAR-OSAR-OSAR-10SAR-OSAR Azar-2/1002GENE BANK
G17	IRBW04-23-54-29-OSAR-OSAR-OSAR-OSAR-2SAR-OSAR Azar-2/IRENA/BABAX/PASTOR
G18	IRBW04-23-54-30-OSAR-OSAR-OSAR-OSAR-3SAR-OSAR Azar-2/MOMCHIL/KATYA1
G19	IRBW04-23-54-32-OSAR-OSAR-OSAR-OSAR-3SAR-OSAR Azar-2/Ok82282//BOW/NKT/3/F4105W2.1
G20	IRBW04-23-54-33-OSAR-OSAR-OSAR-OSAR-4SAR-OSAR Sardari/156GENE BANK
G21	IRBW04-23-54-34-OSAR-OSAR-OSAR-OSAR-1SAR-OSAR MV 17/Kavir
G22	F1 KARAJ/IRBW04-23-54-37-OSAR-OSAR-OSAR-1SAR-OSAR Collection-1057/3/Ald"s//Snb"s//Bow"s//Nkt"s"
G23	F1 KARAJ/OSAR-OSAR-OSAR-OSAR-10SAR-OSAR
G24	BUC/PVN//MILAN/3/TX96V2427

<p>ژنوتیپ های شماره ۲۲، ۹ و ۲۰ دارای واریانس رتبه عملکرد کمتری بودند و از این نظر جزو ژنوتیپ های دارای پایداری بالا محسوب می گردند.</p> <p>ژنوتیپهای شماره ۱۱، ۲۳ و ۲۴ با ضریب رگرسیون کمتر دارای سازگاری به محیط های کم بازده بوده در حالیکه ژنوتیپ های ۴، ۲۱ و ۱۹ با مقادیر ضریب رگرسیون بیشتر از واحد دارای سازگاری به محیط های مطلوب می باشند. ژنوتیپهای شماره ۲۰، ۱۵ و ۱۹ با مقادیر کم</p>	<p>عملکرد (۲۳۸۷ کیلوگرم در هکتار) به ژنوتیپ ۲۱ (G21) و کمترین عملکرد (۱۷۴۷ کیلوگرم در هکتار) به ژنوتیپ ۲۳ (G23) تعلق داشت (جدول-۳). ژنوتیپ های شماره ۲۱، ۱ و ۴ به ترتیب از میانگین عملکرد بالاتری نسبت به دیگر ژنوتیپ ها برخوردار بودند. ژنوتیپ های شماره ۲۱، ۱ و ۳ از میانگین رتبه عملکرد پائین تری در محیط های مختلف برخوردار بوده و کمترین تغییرات رتبه عملکرد را در محیط های آزمایشی نشان دادند. از لحاظ واریانس رتبه عملکرد نیز</p>
---	--

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه برای ۲۴ ژنوتیپ گندم نان ارزیابی شده در ۲۱ محیط مورد آزمایش  
Table 2: Combined ANOVA for grain yield of 24 bread wheat genotypes evaluated across 21 testing environments

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد دانه	درصد از کل مجموع مربعات
S.O.V	df	SS	MS	SST%
محیط Environment (E)	20	2194710421	109735521 **	82.29
تکرار (درون محیط) Rep (E)	63	37200319	590481	1.39
ژنوتیپ Genotype (G)	23	68158699	2963422 **	2.56
ژنوتیپ در محیط G × E	460	172548137	375105 **	6.47
اشتباه آزمایشی Error	1449	194488895	134223	7.29
کل Total	2015	2667106472		
درصد ضریب تغییرات CV%			16.92	

\*, \*\*, ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪ و غیر معنی دار

\*, \*\*, ns significant at the 5% and 1% probability levels and not significant, respectively.

SST % : درصد نسبت به مجموع مربعات کل

SST%: Percentage relative to total sum of squares

چند ضلعی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط است (شکل ۱) که بهترین راه برای مشاهده الگوهای اثر متقابل بین ژنوتیپها و محیطها به منظور تفسیر موثر بای پلات و مطالعه وجود احتمالی گروههای محیطی بزرگ (محیطهای کلان) در یک منطقه (که در آن گروهی از ژنوتیپها مورد ارزیابی قرار می گیرند) است (Yan & Kang, 2003; Yan *et al.*, 2000, Gauch & Zobel, 1997). بر اساس شکل الگوی چند ضلعی بای پلات، محیطها به دو گروه محیطی و ژنوتیپها به پنج گروه ژنوتیپی تقسیم شدند. اولین گروه محیطی شامل محیط های مربوط به اردبیل (A93)، زنجان (Z92, Z93)، مراغه (M92, M93)، قاملو (G92, G93, G94)، اراک (Ak92, Ak93, Ak94) و شیروان (Sh93, Sh94)

واریانس انحراف از رگرسیون بعنوان ژنوتیپ های با عملکرد پایدار شناسایی شدند. بر اساس آماره های پایداری اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا ژنوتیپ های شماره ۲۰، ۱۵ و ۹ بعنوان ژنوتیپ های با عملکرد پایدار تعیین شدند. محاسبه ضریب تغییرات فرانسویس و کانبرگ ژنوتیپ های شماره ۱۵، ۱۱ و ۳ را بعنوان ژنوتیپهایی با حداقل تغییرات در محیط های مورد بررسی شناسایی نمود. آماره برتری لین و بینز نیز ژنوتیپ های شماره ۲۰، ۱۹ و ۴ را بعنوان ژنوتیپهای با عملکرد بالا و پایدار نشان داد. ژنوتیپهای شماره ۲۰، ۱۹ و ۲۱ همچنین براساس آماره جمع رتبه Kang بعنوان ژنوتیپ های با عملکرد بالا و پایدار شناسایی شدند. یکی از جنبه های GGE biplot نمایش

جدول ۳- میانگین عملکرد دانه و آمادگی پایداری برای ۲۴ ژنوتیپ گندم نان در محیطهای مورد بررسی  
 Table 3. Mean grain yield and stability statistics for 24 bread wheat genotypes across testing environments

Genotype no.	Mean grain yield(kg/ha)	R	MR	R	VR	R	b	R	S <sup>2</sup> di	R	Wricke's ecovariance	R	Shukla	R	CV	R	Pi	R	RS	R
1	2384.92	2	8.0	2	43.2	19	1.05	16	109524	19	107008	17	5350.4	17	49.0	7	9901.3	6	19	9
2	2290.12	8	10.1	12	51.3	22	1.07	20	58692	8	60746	8	3037.3	8	50.8	13	13305.5	8	16	6
3	2195.88	12	11.0	4	36.8	10	0.93	7	110103	20	110739	18	5536.9	18	47.4	3	20825.5	13	30	17
4	2379.68	3	8.6	5	40.4	14	1.20	24	76351	15	117302	19	5865.1	19	54.9	22	8691.1	3	22	11
5	2298.54	7	9	10	44.2	20	1.07	21	62479	10	64278	11	3213.9	11	50.6	12	13183.2	7	18	8
6	2258.02	9	10.8	19	57.6	24	1.05	17	128063	21	124831	20	6241.5	20	52.1	16	18162.3	11	29	15
7	2052.00	19	15.2	20	42.1	15	1.03	13	66073	12	63565	10	3178.2	10	54.8	21	25081.4	17	29	16
8	1964.74	20	16.6	9	30.7	7	1.05	15	98179	18	95759	16	4787.9	16	59.0	24	34830.3	20	36	20
9	2242.17	11	10.5	16	22.5	2	1.01	10	46289	4	44060	3	2203.0	3	48.9	6	13923.1	9	14	4
10	2163.40	14	13.5	21	42.3	17	0.95	8	51834	5	52643	5	2632.1	5	47.8	4	21411.5	14	19	10
11	1913.68	21	17.5	11	23.8	11	0.78	1	80443	16	130644	21	6532.1	21	46.0	2	42617.7	22	42	23
12	2255.37	10	11.1	13	39.6	13	1.02	12	88248	17	84208	14	4210.3	14	49.9	10	15995.5	10	24	13
13	2328.51	6	10.3	7	33.0	9	1.06	18	62704	11	63022	9	3151.0	9	49.5	9	9845.3	5	15	5
14	2084.14	18	13.9	18	45.4	21	0.89	4	177214	23	183190	23	9159.4	23	49.5	8	33008.0	19	41	22
15	2155.31	15	13.0	14	29.2	6	0.91	5	31665	2	39672	2	1983.5	2	45.7	1	21583.7	15	17	7
16	2145.04	17	13.3	15	38.6	12	0.97	9	73887	14	71053	13	3552.6	13	50.0	11	22506.6	16	30	18
17	2147.68	16	13.5	17	42.1	16	1.05	14	60824	9	60212	7	3010.6	7	53.2	19	19845.1	12	23	12
18	2188.33	13	10.4	8	56.8	23	1.01	11	166039	22	157834	22	7891.6	22	52.5	17	25201.7	18	35	19
19	2343.32	5	9.0	6	42.6	18	1.11	22	34456	3	47454	4	2372.7	4	51.3	14	8326.4	2	9	2
20	2361.02	4	8.0	3	23.6	3	1.07	19	26486	1	29925	1	1496.2	1	48.6	5	8296.2	1	5	1
21	2387.13	1	7.1	1	27.4	5	1.13	23	53746	7	69874	12	3493.6	12	51.4	15	9123.8	4	13	3
22	1871.39	22	18.9	22	17.0	1	0.92	6	52855	6	58091	6	2904.5	6	53.7	20	42071.8	21	28	14
23	1747.18	24	19.3	24	31.3	8	0.85	2	219359	24	232809	24	11640.4	24	58.4	23	64135.1	24	48	24
24	1806.18	23	19	23	25.6	4	0.86	3	68426	13	87933	15	4396.6	15	52.7	18	51322.5	23	38	21

R: رتبه بندی، MR: میانگین رتبه‌ها، VD: واریانس رتبه‌ها، RS: جمع رتبه‌های میانگین عملکرد و پایداری

R: rank; MR: mean of ranks; VA: variance of ranks; RS: sum of mean yield and stability ranks

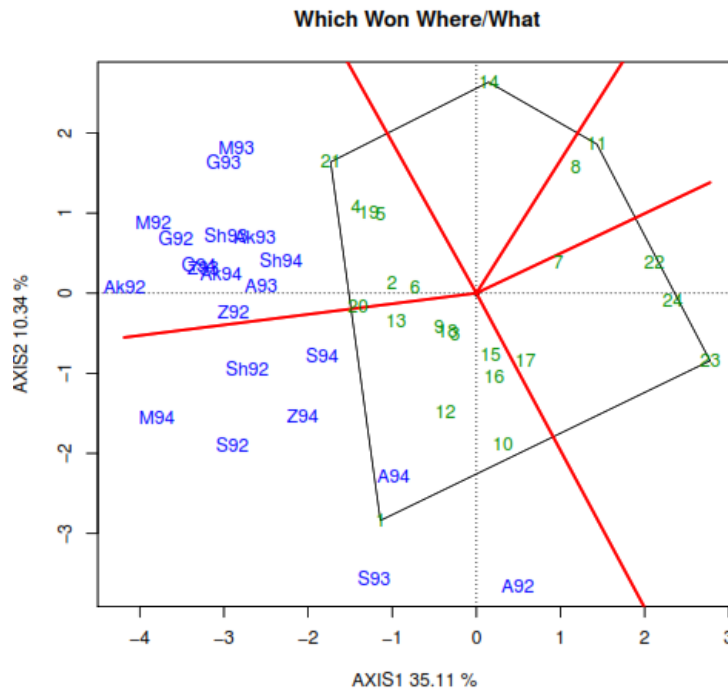
بود و ژنوتیپ G21 بیشترین عملکرد دانه را در این گروه محیطی نشان داد. گروه دوم شامل هشت محیط باقیمانده بود که ژنوتیپ G1 از بیشترین عملکرد دانه در این گروه محیطی

برخوردار بود. این نتایج نشان داد که محیط‌های سرد امکان گروه‌بندی با همدیگر را داشته و در گزینش ژنوتیپ‌ها، مشابه همدیگر عمل می‌کنند. ژنوتیپ‌هایی که در گروه خود هیچ

پایداری عملکرد پایین برخوردار بودند. از سوی دیگر ژنوتیپ های G22 و G7 دارای عملکرد پایین ولی پایداری عملکرد بالا بودند. این اطلاعات می تواند توسط به نژادگران برای انتخاب ژنوتیپ های با عملکرد بیشتر از میانگین و با پایداری عملکرد اندک، که بهترین پاسخ را به محیط های خاصی داشته و دارای سازگاری خصوصی هستند، کمک نماید. ژنوتیپ های G21 و G1 با عملکرد بالا سازگاری خصوصی به محیط های متفاوت را نشان دادند. بطوریکه ژنوتیپ G21 سازگاری بیشتری به محیط هایی همچون مراغه (M92, M93)، قاملو (G92, G93)، Z92، Z94، شیروان (Sh93, Sh94)، زنجان (Z92)، اردبیل (A93) و اراک (Ak92, Ak93)، که در قسمت بالای محور میانگین عملکرد (ATC) قرار دارند نشان داد. در حالیکه

محیطی نداشتند یعنی در هیچکدام از محیط ها برتر نبودند. ژنوتیپ هایی که نزدیک مرکز بای پلات واقع شدند از عملکرد متوسطی در تمام محیط ها برخوردار بودند.

شکل ۲ رتبه بندی ژنوتیپ ها را بر اساس عملکرد دانه و میزان پایداری عملکرد در محیط های تحت بررسی نشان می دهد. بر این اساس لاین های G2، G13، G20، G6 و G2 ژنوتیپ های برتر از نظر عملکرد و پایداری عملکرد بالا بودند. لاین هایی که سمت چپ خط پیکان عمودی واقع شدند دارای عملکردی بیشتر از میانگین و لاین هایی که سمت راست خط پیکان عمودی قرار گرفتند دارای عملکردی کمتر از میانگین هستند. ژنوتیپ های G23 و G14 با بیشترین فاصله تا خط ATC یعنی خط پیکان افقی از عملکرد پایین و نیز



شکل ۱- نمایش چند ضلعی اثر متقابل ژنوتیپ X محیط برای ۲۴ ژنوتیپ گندم نان مورد بررسی در ۲۱ محیط آزمایشی.

Fig 1. Polygon-view of genotype × environment interaction for 24 bread wheat genotypes grown across 21 testing environments

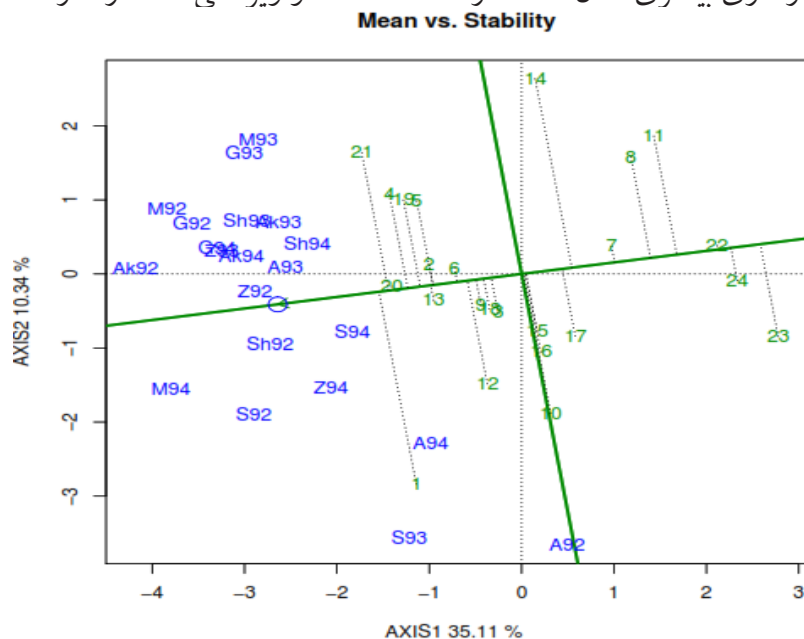


سوی دیگر زاویه بین محیط‌های A92، S93 و A94 با محیط‌های بالا زیاد و در حدود ۹۰ درجه بود یعنی این سه محیط در رتبه‌بندی و تفکیک ژنوتیپ‌ها رفتاری متفاوت نسبت به دو گروه محیطی قبلی نشان دادند. البته در بعضی از سال‌ها تحت تاثیر شرایط محیطی از جمله تغییرات دمایی، استثنایایی دیده می‌شود هم‌چنان که محیط اردبیل در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در نزدیکی محیط اردبیل در سال‌های زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۵-۱۳۹۴ جای نگرفت (شکل ۳).

اگرچه آزمایش‌های چند محیطی اغلب برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها به کار می‌روند اما می‌توان از اطلاعات بدست آمده برای ارزیابی محیط‌ها نیز بهره برد. یک محیط ایده‌آل بایستی به طور واضح اختلاف بین ژنوتیپ‌ها را نشان دهد و هم‌زمان نماینده خوبی از محیط‌های دیگر باشد. مفهوم محیط ایده‌آل برای محیط‌هایی به کار می‌رود که دو ویژه گی عمده را دارا هستند: ۱- توانایی

ژنوتیپ G1 از سازگاری خصوصی بیشتری به محیط‌هایی همچون سرارود (S92, S93, S94) و اردبیل (A92, A94) که در قسمت پایین محور ATC قرار دارند برخوردار بود.

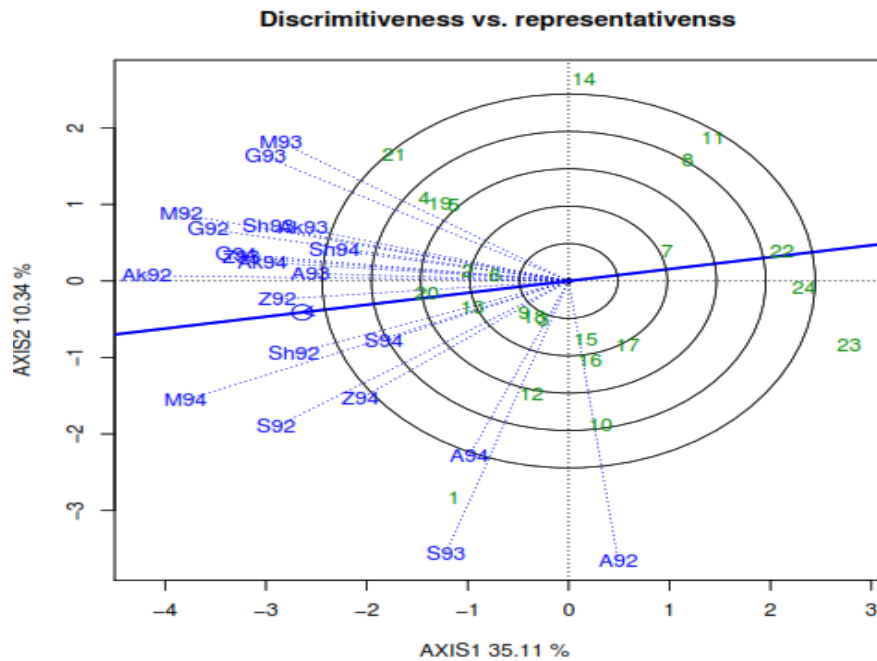
بررسی روابط بین محیط‌ها وجود همبستگی بسیار بالایی را بین محیط‌های G92، M92، A93، Z93، Ak94، G94، Sh94، Ak93، Sh93 و Ak92 نشان داد. همچنین محیط‌های S94، Z94، M94، Sh92 و S92 نیز همبستگی بالایی را با یکدیگر به نمایش گذاشتند. زاویه کمتر از ۹۰ درجه در بین محیط‌ها حاکی از عملکرد مشابه آن‌ها در شناسایی و تفکیک ژنوتیپ‌ها می‌باشد. زاویه بین محیط‌ها در درون دو گروه محیطی فوق کمتر از ۹۰ درجه بود که حاکی از رفتار مشابه در رتبه‌بندی و تفکیک ژنوتیپ‌ها می‌باشد. از شکل ۳ می‌توان نتیجه گرفت که ۵ ژنوتیپ G2، G6، G20، G13 و G9 به این دو گروه محیطی سازگاری بیشتری نشان دادند. از



شکل ۲- ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های تحت آزمون به طور هم‌زمان بر اساس عملکرد دانه و پایداری عملکرد  
 Fig 2. Evaluation of genotypes based on both grain yield and yield stability performances across testing environments.

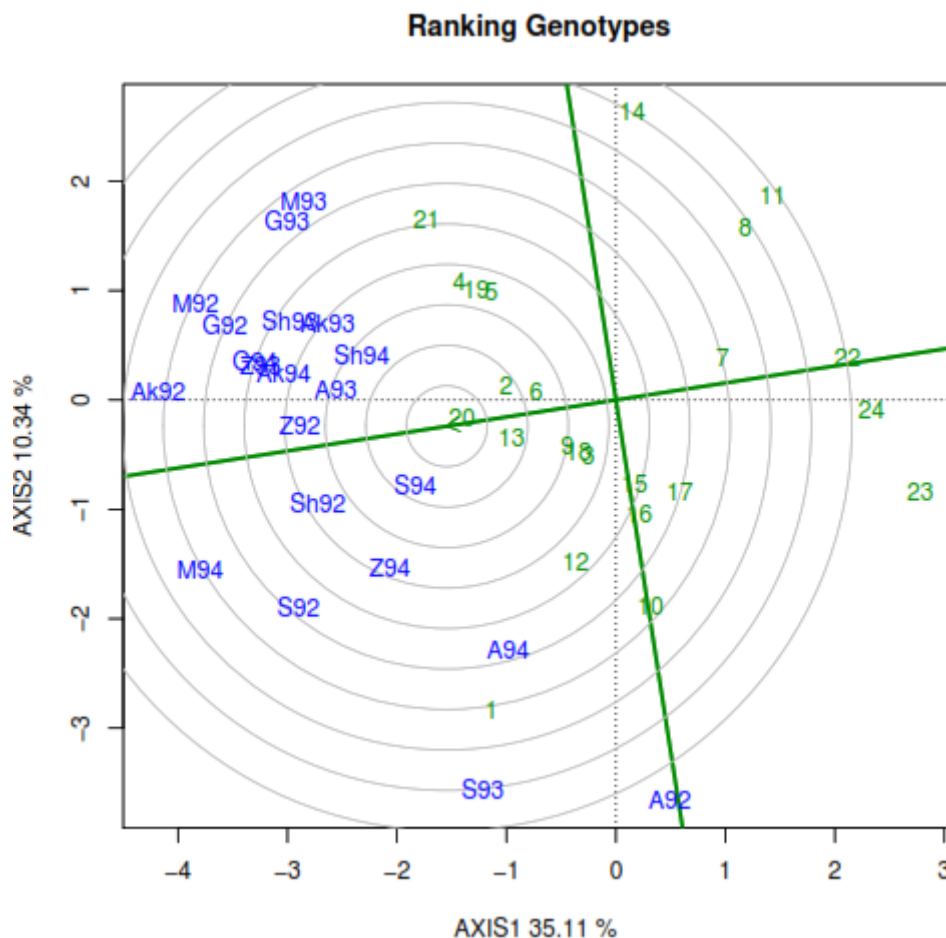
باشد تا بتواند ژنوتیپ‌های سازگار را تشخیص دهد. این خصوصیت در مدل GGE بای پلات تحت عنوان قدرت تفکیک محیط‌ها در برابر میزان نمایندگی آن‌ها (discriminateness vs. representativeness) (Yan & Fan *et al.*, 2007) پنبه (Blanche & Myers, 2006) و گندم دوروم (Mohammadi *et al.*, 2010) بکار گرفته شده است. توانایی تفکیک و تمایز یک محیط به توانایی محیط برای نشان دادن حداکثر تنوع بین ژنوتیپ‌ها برمی‌گردد ولی توانایی نمایندگی یک محیط بیانگر اینست که محیط مورد نظر تا چه میزان نماینده‌ی شرایط سایر محیط‌های آزمایشی است (Blanche & Myers, 2006; Yan & Tinker, 2006). بنابراین محیط ایده‌آل باید ترکیبی از این دو ویژگی را داشته

بالایی در تفکیک و تمایز بین ژنوتیپ‌ها را داشته باشد ۲- نماینده‌ای خوب برای محیط‌های دیگر باشد (Yan & Tinker, 2006; Yan & Kang, 2003). این مفهوم از محیط‌های ایده‌آل برای محصولات مختلف از جمله ذرت (Fan *et al.*, 2007) پنبه (Blanche & Myers, 2006) و گندم دوروم (Mohammadi *et al.*, 2010) بکار گرفته شده است. توانایی تفکیک و تمایز یک محیط به توانایی محیط برای نشان دادن حداکثر تنوع بین ژنوتیپ‌ها برمی‌گردد ولی توانایی نمایندگی یک محیط بیانگر اینست که محیط مورد نظر تا چه میزان نماینده‌ی شرایط سایر محیط‌های آزمایشی است (Blanche & Myers, 2006; Yan & Tinker, 2006). بنابراین محیط ایده‌آل باید ترکیبی از این دو ویژگی را داشته



شکل ۳- نمودار GGE biplot روابط میان محیط‌ها و مقایسه همزمان محیط‌ها از نظر قابلیت تفکیک ژنوتیپ‌ها در مقابل نماینده بودن آن‌ها را به نمایش می‌گذارد.

Fig 3. GGE bi-plot shows the relationship among testing environments and compares the environments based on their discriminateness vs. representativeness.



شکل ۴- نمودار GGE bi-plot که ارزیابی ژنوتیپ‌ها نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل را نشان می‌دهد

Fig 4. GGE bi-plot which evaluates genotypes relative to an ideal genotype

به آن اشاره شده است. برای استفاده از ژنوتیپ ایده‌آل به عنوان مرکز ارزیابی، دایره‌های هم مرکزی در بای پلات به منظور تعیین گرافیکی فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ ایده‌آل ترسیم شده است (شکل ۴). ژنوتیپی که در مرکز دایره‌ها قرار دارد ژنوتیپی با میانگین عملکرد بالا و دارای پایداری عملکرد بالاست. بنابراین ژنوتیپ G20 را می‌توان به عنوان ژنوتیپی مطلوب که دارای میانگین عملکرد بالا و نیز پایداری عملکرد بالایی هست، در نظر گرفت. ژنوتیپ‌های G2 و G13 نیز به ترتیب در فاصله اندکی نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل واقع شدند. ولی

دارای بیشترین توانایی در تفکیک و تشخیص تنوع بین ژنوتیپ‌ها بودند (شکل ۳-). یک ژنوتیپ ایده‌آل باید بیشترین میانگین عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه را داشته باشد و نسبت به شرایط محیطی نیز از پایداری عملکرد برخوردار باشد (Yan, 2002). چنین ژنوتیپی به عنوان ژنوتیپی که دارای بیشترین طول بر روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و دارای کمترین نقش در پدیده اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باشد، تعریف شده است به طوری که در شکل ۴ به صورت یک دایره کوچک روی محور میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها

نظر عملکرد بالا، پایداری عملکرد و نزدیکی به ژنوتیپ ایده‌ال به ترتیب در مراتب بعدی قرار گرفتند.

### سپاسگزاری

این تحقیق با اعتبار تامین شده توسط موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور و با همکاری محققین و پرسنل فنی و پشتیبان بخش تحقیقات غلات در مناطق اجرا به انجام رسید که از زحمات همه این عزیزان تشکر و قدردانی می‌گردد.

ژنوتیپ‌های G23، G24 و G22 با بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌ال به عنوان ژنوتیپ‌های نامطلوب شناخته شدند.

### نتیجه گیری

در این پژوهش نتایج حاصل از تجزیه گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط نشان داد که بخش بزرگی از تغییرات موجود در ماتریس اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط توسط محیط‌های مورد مطالعه قابل توضیح است. یافته‌های ما نشان داد که محیط‌های سرد امکان گروه‌بندی را با همدیگر دارند و در گزینش ژنوتیپ‌ها، مشابه همدیگر عمل می‌کنند. بعبارت دیگر محیط‌های سرد از محیط‌های معتدل سرد به خوبی متمایز شدند. هم‌چنین این بررسی نشان داد که امکان یافتن ژنوتیپ‌هایی برای هر کدام از محیط‌های سرد و معتدل سرد با مدل GGE بای پلات میسر می‌باشد. زاویه کمتر از ۹۰ درجه در بین محیط‌های M92، G92، Sh93، Ak93، Sh94، G94، Ak94، Z93، A93 و Ak92 و هم‌چنین در بین محیط‌های S94، Sh92، M94، Z94 و S92 بیانگر همبستگی آن‌ها در شناسایی ژنوتیپ‌های یکسان بود. در این بررسی محیط Z92 به عنوان محیط ایده‌ال از نظر قدرت تفکیک ژنوتیپ‌ها و نمایندگی دیگر محیط‌ها بود و محیط‌های A92، S93، Ak92، M94 و M92 بیشترین توانایی در تفکیک و تشخیص تنوع بین ژنوتیپ‌ها را نشان دادند. براساس نتایج حاصل از تجزیه گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ  $\times$  محیط و آماره‌های پایداری، ژنوتیپ ۲۰ (G20) به دلیل عملکرد بالا و نیز پایدار ژنوتیپی ایده آل جهت بررسی‌های بیشتر می‌باشد. ژنوتیپ‌های ۲ (G2) و ۱۳ (G13) از

## References

- Barah, B. C., Binswanger, H. P., Rana, B.S., and Rao, N. G. P. 1981. The use of risk aversion in plant breeding; concept and application. *Euphytica*, 30: 451–458. doi: 10.1007/BF00034010
- Bhan, M. K., Pal, S., Rao, B. L., Dhar, A. K., and Kang, M. S. 2005. GGE bi-plot analysis of oil yield in lemongrass. *Journal of New Seeds*, 7: 127–139. doi: 10.1300/J153v07n02\_07
- Blanche, S. B., and Myers, G. O. 2006. Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. *Crop Science*, 46: 946–949. doi: 10.2135/cropsci2005.0279
- Brancourt-Hulmel, M., and Lecomte, C. 2003. Effect of environmental varieties on genotype  $\times$  environment interaction of winter wheat: A comparison of bi-additive factorial regression to AMMI. *Crop Science*, 43: 608–617.
- Casanoves, F., Baldessari, J., and Balzarini, M. 2005. Evaluation of multi-environment trials of peanut cultivars. *Crop Science*, 45: 18–26.
- Cooper, M., and Hammer, G. L. 1996. Plant adaptation and crop improvement. CAB International: Wallingford, UK; ICRISAT: Patancheru, India; and IRRI: Manila, The Philippines.
- Cooper, M., and DeLacy, I. H. 1994. Relationships among analytical methods used to study genotypic variation and genotype-by-environment interaction in plant breeding multi-environment experiments. *Theoretical and Applied Genetics*, 88: 561–572.
- Dardanelli, J. L., Balzarini, M., Martínez, M. J., Cuniberti, M., Resnik, S., Ramunda, S. F., Herrero, R., and Baigorrib, H. 2006. Soybean maturity groups, environments, and their interaction define mega-environments for seed composition in Argentina. *Crop Science*, 46: 1939–1947. doi: 10.2135/cropsci2005.12-0480
- Baxevanos, D., Goulas, C., Rossi, J., and Braojos, E. 2008. Separation of cotton cultivar testing sites based on representativeness and discriminating ability using GGE Biplots. *Agronomy Journal*, 100: 1230–1236.
- Eskridge, K. M. 1990. Selection of stable cultivars using a safety-first rule. *Crop Science*, 30: 369–374.
- Fan, X. M., Kang, M. S., Chen, H., Zhang, Y., Tan, J., and Xu, C. 2007. Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. *Agronomy Journal*, 99: 220–228.
- Gabriel, K. R. 1971. The bi-plot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, 58: 453–467.
- Gauch, H. G. 1992. Statistical Analysis of Regional Yield Trials: AMMI Analysis of Factorial Designs. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.

Gauch, H. G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*, 46: 1488–1500.

Gauch, H. G., and Zobel, R. W. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science*, 37: 311–326.

Gauch H. G., and Zobel R. W. 1996. *AMMI analysis of yield trials*. In 'Genotype-by-environment interaction'. (Eds MS Kang, HG Gauch, Jr) pp. 85–122. CRC Press: Boca Raton, FL.

Gravois K. A., and Bernhardt, J. L. 2000. Heritability and genotype by environment interactions for discolored rice kernels. *Crop Science*, 40: 314–318.

Huhen, M. 1996. *Nonparametric analysis of genotype-environment interactions by ranks*. In 'Genotype-by-environment interaction'. (Eds. MS Kang, HG Gauch, Jr) pp. 235–271. CRC Press: Boca Raton, FL.

Kang, M. S. 1988. A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communications*, 16: 113–115.

Kang, M. S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers. *Agronomy Journal*, 85: 754–757.

Kang, M.S. 1998. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Advances in Agronomy*, 62:199–252. doi: 10.1016/S0065-2113(08)60569-6.

Kang, M. S., Aggarwal, V. D., Chirwa, R. M. 2006. Adaptability and stability of bean cultivars as determined via yield-stability statistic and GGE bi-plot analysis. *Journal of Crop Improvement*, 15: 97–120. doi: 10.1300/J411v15n01\_08

Kang, M. S., and Pham, H. N. 1991. Simultaneous selection for high yielding and stable crop genotypes. *Agronomy Journal*, 83: 161–165.

Kaya, Y., Akcura, M., and Taner, S. 2006. GGE-bi-plot analysis of multi environment yield trials in bread wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30: 325–337.

Kempton, R. A. 1984. The use of bi-plots in interpreting variety-by-environment interactions. *Journal of Agricultural Science*, 103: 123–135.

Koemel, J. E., Guenzi, A. C., Carver, B. F. and Payton, M. E. 2004. Hybrid and pure line hard red winter wheat yield and stability. *Crop Science*, 40:107–113.

Lage, J., Trethowan, R. M. and Hernandez, E. 2008. Identification of site similarities in western and central Asia using CIMMYT international wheat yield data. *Plant Breeding*, 127:350–354.

Lin, C. S., Binns, M. R., and Lefcovitch, L. P. 1986. Stability analysis: Where do we stand? *Crop Science*, 26: 894–900.

Magari, R., and Kang, M.S. 1993. Genotype selection via a new yield stability statistic in maize yield trials. *Euphytica*, 70: 105–111. doi: 10.1007/BF00029647.

Malvar, R. A., Revillaa, P., Butrona, A., Gouesnardc, B., Boyatc, A., Soengasa, P., Alvarezb, A., and Ordas, A. 2005. Performance of crosses among French and Spanish maize populations across environments. *Crop Science*, 45: 1052–1057. doi: 10.2135/cropsci2004.0301

Mohammadi, R., Armion, M., Zadhassan, E., Ahmadi, M.M., and Sadeghzadeh Ahari, D. 2012. Genotype × Environment interaction for grain yield of rainfed durum wheat using the GGE bipot Model. *Seed and Plant I. Journal*, 3: 503-518.

Mohammadi, R., Haghparast, R., Amri, A., and Ceccarelli, S. 2010. Yield stability of rainfed durum wheat and GGE bi-plot analysis of multi-environment trials. *Crop and Pasture Science*, 61: 92–101.

Özgen, M. 1991. Yield stability of winter wheat (*Triticum* sp.) cultivars and lines. *Journal Agronomy Crop Science*, 166: 318–327.

Pazdernik, D. L., Hardman, L. L., and Orf, J. H. 1997 Agronomic performance and stability of soybean varieties grown in three maturity zones in Minnesota. *Journal of Production Agriculture*, 10: 425–430.

Sharma, R. C., Morgounov, A. I., Braun, H. J., Akin, B., Keser, M., Bedoshvili, D. and van Ginkel, M. 2009. Identifying high yielding stable winter wheat genotypes for irrigated environments in Central and West Asia. *Euphytica*, 171: doi 10.1007/s10681-009-9992-6.

Rose, I. V. L. W., Das, M. K., and Taliaferro, C. M. 2008. A comparison of dry matter yield stability assessment methods for small numbers of genotypes of bermudagrass. *Euphytica*, 164: 19–25.

Samonte, S. O. P., Wilson, L. T., McClung, A. M. and Medley, J. C. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE bi-plot analyses. *Crop Science*, 45: 2414–2424. doi: 10.2135/cropsci2004.0627

Sharma, R. C., Smith, E. L., and McNew, R. W. 1987. Stability of harvest index and grain yield in winter wheat. *Crop Science*, 27:104–108.

Shukla, G. K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype environmental components of variability. *Heredity*, 29: 237–245. doi: 10.1038/hdy.1972.87.

Thomason, W. E., and Phillips, S. B. 2006. Methods to evaluate wheat cultivar testing environments and improve cultivar selection protocols. *Field Crops Research*, 99: 87–95. doi: 10.1016/j.fcr.2006.03.007

Trethowan, R. M., Van Ginkel, M., Ammar, K. and Crossa, J. 2003. Associations among twenty years of bread wheat yield evaluation environments. *Crop Science*, 43:1698–1711.

Van Ginkel, M., and Rajaram, S. 1993. *Breeding for durable resistance to diseases in wheat: an international perspective*. In: Jacobs T, Parleviet J (eds)

*Durability of disease resistance*. Kluwer, Dordrecht, pp 259–272.

Voltas, J., Lopez-Corcoles, H., and Borrás, G. 2005. Use of bi-plot analysis and factorial regression for the investigation of superior genotypes in multi-environment trials. *European Journal of Agronomy*, 22: 309–324. doi: 10.1016/j.eja.2004.04.005

Waldron, B. L., Asay, K. H., and Jensen, K. B. 2002. Stability and yield of cool-season pasture grass species grown at five irrigation levels. *Crop Science*, 42: 890–896.

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.

Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., and Szlavnic, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop Science*, 40: 596–605.

Yan, W., and Kang, M. S. 2003. ‘*GGE Biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists.*’ CRC Press: Boca Raton, FL.

Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S., and Cornelius, P. L. 2007. GGE Biplot vs. AMMI analysis of genotype by environment data. *Crop Science*, 47: 643–655.

Yan, W., and Rajcan, I. 2002 Biplot evaluation of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, 42: 11–20.

Yan, W. 2002. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data. *Agronomy Journal*, 94: 990–996.

Yan, W., and Tinker, N. A. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86: 623–645.



## **Genotype × Environment Interactions effects on Grain Yield in Winter Wheat grown under rainfed conditions**

Saber Golkari<sup>1\*</sup>, Reza Hagparast<sup>2</sup>, Ebrahim Roohi<sup>3</sup>, Hossein Nazari<sup>4</sup>, Malek Masood Ahmadi<sup>5</sup>, Gholamreza Abedi Asl<sup>6</sup>, Taghi Babaei<sup>7</sup>

1. Dryland Agricultural Research Institute (DARI), AREEO, Maragheh, Iran. . (Corresponding author)
2. Dryland Agricultural Research Institute (DARI), AREEO, Sararood, Kermanshah, Iran.
3. Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Sanandaj, Iran.
4. Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Zanjan, Iran.
5. North Khorasan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Shirvan, Iran
6. Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Ardabil, Iran.
7. Markazi Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Arak, Iran.

Received: June 2020 Accepted: June 2021- DOI: 10.22092/aj.2021.343298.1478

### **Extended Abstract**

**Golkari, S., Hagparast, R., Roohi, E., Nazari, H., Ahmadi, M. M., Abedi Asl, GH., Babaei, T.,** Genotype × Environment Interactions effects on Grain Yield in Winter Wheat grown under rainfed conditions **Applied Research in Field Crops Vol 34, No. 1, 2021 10-12: 55-70(in Persian)**

### **Introduction**

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is widely grown across Central and West Asia. Evaluation of wheat genotypes in different environments is essential to estimate Genotypes x Environment ( $G \times E$ ) interactions (Fan *et al.*, 2007). Breeding new cultivars require evaluation of yield stability and the adaptability of high yielding genotypes across different environments. Statistical approaches such as GGE Biplot analysis reveal genotypic main effects, as well as  $G \times E$  interactions. GGE biplots analysis provides a graphical depiction of relationships among environments, genotypes and their interactions in an effective manner (Yan *et al.*, 2000). This method has been used to examine the uniformity of different environments and to identify superior genotypes in multi-environment trials. This study aimed to determine the effects of genotype by environment interactions on the performance of 22 promising wheat lines along with two check cultivars and to identify the ideal genotypes for the examined environments.

### **Material and Methods**

Wheat promising lines including 22 elite lines along with two commercial cultivars Azar2 and Ohadi were evaluated in a randomized complete block

**Email address of the corresponding author:** [sgolkari@yahoo.com](mailto:sgolkari@yahoo.com)

design (RCBD) experiment with 4 replications under rainfed dryland conditions. Uniform experiments were carried out for 3 years (2013-16) at the agricultural research stations of Maragheh, Sararod, Ghamlo, Zanjan, Ardabil, Shirvan and Arak representing cold and moderate cold dryland wheat growing regions of Iran. Entries were planted in plots with 6 x 1.2 dimension (6-m long rows, 17.5 cm apart and seeding rate of 380 kernel/m<sup>2</sup>). Morphological characteristics, phenological stages and yield components were scored during growth period. Grain yield and thousands kernel weight were determined for each plot after harvest. The collected yield data were subjected to combined ANOVA considering environment as random and genotypes as fixed effects using SAS (9.1) statistical software. Yield stability parameters were estimated and GGE biplot analysis was carried out using open-source software R packages.

### Results and Discussion

The ANOVA revealed significant differences among genotypes for yield performance. Significant genotype by environment interactions were also identified. The main effect for environments and genotypes by environment interactions accounted for 82.3 and 6.5 percent of total variances in the experiment. The grand total mean grain yield for the evaluated wheat genotypes was 2165 kg/ha. Genotypes G21 and G23 produced the highest (2378 kg/ha) and the lowest (1747 kg/ha) yields, respectively. Genotype G20 was found as the most stable according to the estimated stability parameters (Table.3).

Based on polygonal GGE biplot, two environmental groups and five different groups for the examined genotypes were detected (Fig. 1). The first environmental group included Maragheh (M92, M93), Ghamlo (G92, G93, G94), Ardabil (A93), Zanjan (Z92, Z93), Arak (Ak92, Ak93, Ak94) and Shirvan (Sh93, Sh94), with the G21 being as the best performer in the group. The second environmental group included 8 remaining environments with the G1 (Azar2) as the highest yielding genotype in the group (Fig. 1). Simultaneous evaluation of genotypes for yield and yield stability identified genotypes G20, G13 G2 and G6 as high yielding with high yield stability (Fig. 2).

An environment is considered ideal tester for evaluating a set of genotypes if it is able to effectively differentiate genotypes based on traits of interest and if it properly represents other environments (Yan & Tinker, 2006). Our findings revealed environments Z92, Sh92 and Ak92 as the most ideal environments and environments A92, S93, Ak92, M92, M94 as the highly discriminative of the examined genotypes (Fig.3). The genotype G20 with higher average yield and

the least contribution into GxE interactions showed the characteristics of an ideal genotype (Fig. 4).

### **Conclusion**

Analysis of yield data revealed that, the variations due to  $G \times E$  interactions were largely explained by the environment effects. In this study, cold environments were grouped closely, showing a similar behavior in discriminating the examined genotypes and were easily distinguished from the moderate cold environments. Acute angles among environments M92, G92, Sh93, Ak93, Sh94, G94, Ak94, Z93, A93, Ak92 and also among environments S94, Sh92, M94, Z94, S92 indicated high correlations in discriminating the studied genotypes. We found the genotype G20 as the ideal genotypes possessing high yield performance and high yield stability.

**Keywords:** Bread wheat, Cold and moderate cold regions, GGE Bi-plot, Yield stability

**Acknowledgements:** This study was funded by Dryland Agriculture Research Institute (DARI).

### **References:**

- Fan, X. M., Kang, M. S., Chen, H., Zhang, Y., Tan, J. Xu, C. 2007. Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. *Agronomy Journal*, 99: 220–228.
- Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., and Szlavnic, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop Science*, 40: 596–605.
- Yan, W., and Tinker, N. A. 2006. Bi-plot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86: 623–645.