

تحقیقات غلات

دوره هشتم / شماره دوم / تابستان ۱۳۹۷ (۲۰۸-۱۹۹)

تجزیه پایداری ژنوتیپ‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.) با روش GGE biplot

طیبه جعفری^۱ و عزت‌اله فرشادفر^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۱۵

چکیده

نمودار بای‌پلات حاصل از اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط که برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده می‌شود، GGE biplot نامیده می‌شود. در این روش، گزینش ارقام پایدار بر اساس هر دو اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط انجام می‌گیرد. در این تحقیق، پایداری ۱۸ ژنوتیپ گندم نان در شش محیط (سه سال و دو شرایط محیطی، آبی و دیم) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت هر دو شرایط دیم و آبی در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه طی سال‌های زراعی (۱۳۸۹-۱۳۹۱) و (۱۳۹۳-۱۳۹۴) انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر محیط ۸۰/۱ درصد، اثر ژنوتیپ ۱۰/۱۶ درصد و برهمکنش ژنوتیپ × محیط ۹/۷۴ درصد از تغییرات کل را توجیه کردند. ژنوتیپ‌های پیش‌تاز و WC-4530 نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل بودند. به دلیل همبستگی بالای بین محیط‌های E3 (مکان دیم، ۹۰-۹۱) و E4 (مکان آبی، ۹۰-۹۱) و E1 (مکان دیم، ۸۹-۹۰)، E2 (مکان آبی، ۸۹-۹۰) و E5 (مکان دیم، ۹۳-۹۴)، این محیط‌ها به‌عنوان محیط‌های مشابه شناسایی شدند. بررسی هم‌زمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها نشان داد که ژنوتیپ WC-4530 ژنوتیپ پایدار و عملکرد بالا است. بررسی نمودار چندضلعی منجر به شناسایی سه محیط کلان و پنج ژنوتیپ برتر شد و در هر محیط هم ژنوتیپ سازگار با آن محیط تعیین شد. تمام محیط‌های آزمایش از قدرت تفکیک خوبی برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: برهمکنش ژنوتیپ و محیط، ژنوتیپ ایده‌آل، سازگاری خصوصی، محیط کلان

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

* نویسنده مسئول: e_farshadfar@yahoo.com

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) غذای اصلی حدود یک‌سوم جمعیت جهان است (Ghodrati, 2014). این گیاه در محدوده وسیعی از شرایط اقلیمی و مناطق جغرافیایی تولید می‌شود و به دلیل تطابق زیاد با شرایط آب‌وهوایی مختلف محیطی، دامنه پراکندگی آن بیش از هر گونه دیگر گندم است و غذای اصلی برای بخش عمده‌ای از جمعیت افزاینده جهان می‌باشد. این گیاه برای هزاران سال، قوت روزانه بخش عمده‌ای از جمعیت جهان را تأمین کرده است (Jalal Kamali, 2008). وقتی ارقام زراعی در محیط‌های مختلف مقایسه می‌شوند، عملکرد نسبی آن‌ها در مقایسه با یکدیگر در محیط‌های مختلف یکسان نخواهد بود. در حالی که یک رقم در تعدادی از محیط‌ها ممکن است دارای بالاترین عملکرد باشد، امکان دارد رقم دیگر در محیط‌های دیگری برتری داشته باشد (Farshadfar, 1998). به تغییری که در عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف پدید می‌آید، برهمکنش ژنوتیپ × محیط می‌گویند. برهمکنش ژنوتیپ × محیط یکی از مسائل مهم در اصلاح نباتات است که در معرفی و آزادسازی واریته‌های اصلاح شده حائز اهمیت فراوان است. کشت ژنوتیپ‌ها در اقلیم‌های مورد آزمایش طی سال‌ها و مکان‌های مختلف به‌عنوان نمونه‌ای از محیط‌ها، موجب تعیین پایداری عملکرد شده و ژنوتیپ‌های با برهمکنش ژنوتیپ × محیط کم‌تر گزینش می‌شوند. واکنش ژنوتیپ‌های مختلف معمولاً به دلیل پاسخ متفاوت ژن‌ها و یا قدرت تظاهر متفاوت آن‌ها در محیط‌های مختلف است (Falconer, 1981). از برهمکنش زیاد می‌توان برای اختصاص ژنوتیپ‌ها به مکان‌ها یا محیط‌های خاص استفاده کرد.

عملکرد دانه صفت پیچیده‌ای است که تحت تأثیر تعداد زیادی از فرآیندهای فیزیولوژیک و مورفولوژیک می‌باشد و شرایط محیطی، ساختار ژنتیکی گیاه و برهمکنش آن‌ها عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Monneveux and Belhassen, 1996). از آنجایی که تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از روش‌های معمول مثل استفاده از تجزیه مرکب فقط اطلاعاتی در مورد ژنوتیپ و محیط ارائه می‌دهد،

محققین معیارهای متفاوتی را جهت تشخیص پایداری ارقام و معرفی آن‌ها به کار برده‌اند (Roustaie et al., 2003). گرافیس و توماس (Grafius and Thomas, 1971) به بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و بررسی سهم اجزای عملکرد در برهمکنش ژنوتیپ و محیط پرداختند. نظر به اینکه اجزای عملکرد در طول تکامل رشد گیاه حاصل می‌شوند، از این‌رو عوامل محیطی آثار متفاوتی بر روی این اجزا دارند. در صورت وجود برهمکنش ژنوتیپ و محیط، برای گزینش و اصلاح ژنوتیپ‌ها در هنگام گزینش نیاز به همبستگی معنی‌دار ارزش‌های فنوتیپی و ژنوتیپی است (Pham and Kang, 1988). تجزیه پایداری مهم‌ترین روشی است که برای پی‌بردن به ماهیت برهمکنش ژنوتیپ و محیط کاربرد دارد و با توجه به آن می‌توان ارقام پایدار و سازگار را شناسایی و مورد استفاده قرار داد. روش‌های تجزیه پایداری شامل روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره هستند. در این میان، روش‌های آماری چندمتغیره، اطلاعات بیش‌تر و جامع‌تری را در مورد برهمکنش و تغییرپذیری فنوتیپی در اختیار قرار می‌دهند (Croosa et al., 1990). یکی از روش‌های بسیار مهم و نوین که در سال‌های اخیر ارایه شده است، روش بای‌پلات بر اساس مدل‌های چندمتغیره است. برای رسم بای‌پلات باید از مقادیر حاصل از مدل‌های چندمتغیره مربوط به ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در یک شکل و به‌طور همزمان استفاده کرد. با استفاده از ویژگی‌های نمودار بای‌پلات گابریل (Gabriel, 1971) و روش چندمتغیره تجزیه به مولفه‌های اصلی، روش نوین GGE biplot معرفی شد. از آنجایی که محیط عاملی غیرقابل کنترل است، بنابراین در روش GGE biplot از منابع تغییرات ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط استفاده می‌شود تا بتوان نتایج قابل اعتمادی به‌دست آورد. Biplot علاوه بر تجزیه برهمکنش ژنوتیپ و محیط، امکان تجزیه برهمکنش ژنوتیپ و صفت (بررسی روابط بین صفت و ژنوتیپ) را نیز دارد (Yan et al., 2000). یان و همکاران (Yan et al., 2010) آزمایشی در کانادای شرقی به مدت سه سال روی یولاف انجام دادند. نتایج GGE biplot بیانگر تعیین سهم محیط بزرگ در این منطقه بود که به شش زیر محیط تقسیم و ژنوتیپ‌های مربوط به هر زیرمحیط مشخص و یک استراتژی

عملیات زراعی از قبیل مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی انجام گرفت. در پایان فصل محصول به صورت دستی برداشت و عملکرد هر ژنوتیپ با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. تشخیص نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها و تجزیه واریانس مرکب با فرض ثابت بودن اثر ژنوتیپ و تصادفی بودن اثر محیط با نرم‌افزار SAS انجام شد. از GGE-biplot و گراف‌های آن برای بررسی اثر ژنوتیپ و محیط استفاده شد. به جای جدا کردن اثر ژنوتیپ (G) و ژنوتیپ-محیط (GE)، GGE-biplot این دو اثر را با هم حفظ و آن‌ها را به دو جزء ضرب‌پذیر تجزیه می‌کند (رابطه ۱):

$$y_{ij} - \mu - \beta_i = g_{i1}e_{1j} + g_{i2}e_{2j} + e_{ij} \quad (1)$$

که در آن، e_{1j} و g_{i1} به ترتیب نمرات اولیه برای ژنوتیپ i و محیط j گویند، e_{2j} و g_{i2} به ترتیب نمرات ثانویه برای ژنوتیپ i و محیط j و e_{ij} باقیمانده‌ای است که به وسیله آثار اولیه و ثانویه توضیح داده نمی‌شود. یک بای‌پلات GGE با رسم g_{i1} در مقابل g_{i2} و e_{1j} و e_{2j} در یک نمودار پراکنش رسم می‌شود (Farshadfar, 2015). نمرات اولیه از طریق تجزیه مقدار منفرد GGE به دست می‌آیند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه مرکب اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد برای محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان داد. معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به این معنی است که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف عملکرد متفاوتی داشته‌اند و اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از یک محیط به محیط دیگر متفاوت است، بنابراین می‌توان پایداری عملکرد را در محیط‌های مختلف از طریق آماره‌های پایداری بررسی نمود. بیشترین تغییرات داده‌ها به وسیله واریانس محیط (۸۰/۱ درصد) توجیه شد و واریانس بین ژنوتیپ‌ها (۱۰/۱۶ درصد) و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، ۹/۷۴ درصد از تغییرات کل واریانس داده‌ها را توجیه کردند. به دلیل کشت در سال‌های مختلف (۳ سال) و وجود ۲ شرایط دیم و آبی در هر سال، قسمت عمده تغییرات را می‌توان به محیط ارتباط داد. یک رخداد

اصلاحی برای ارقام سازگار یولاف ارایه شد. کوچکی و همکاران (Kochaki et al., 2012) طی پژوهشی که روی ۱۸ ژنوتیپ جو و دو رقم شاهد در هشت ایستگاه به مدت دو سال زراعی انجام دادند، با استفاده از نمودار بای‌پلات ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، ژنوتیپ شماره ۱۷ (MAKOUEE//ZARJOW/80-5151) را به عنوان ژنوتیپ برتر از نظر پایداری و تولید عملکرد بیش‌تر معرفی کردند. شارما و همکاران (Sharma et al., 2010) در پژوهشی از مدل GGE biplot برای یافتن ژنوتیپ‌های گندم زمستانه با عملکرد و پایداری بالا از بین ۲۵ ژنوتیپ حاصل از برنامه‌های بین‌المللی سیمیت در آسیای مرکزی و غرب آسیا (IWWIP) برای اصلاح گندم‌های زمستانه استفاده و پنج ژنوتیپ با عملکرد و پایداری بالا را شناسایی کردند. تحقیق حاضر نیز روی ۱۸ ژنوتیپ گندم نان طی سه سال و دو شرایط محیطی انجام شد که هدف از آن، استفاده از GGE biplot به منظور ارزیابی ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها، روابط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و در نهایت تعیین ژنوتیپ‌های پایدار و با عملکرد بالا بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی و انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار، ۱۸ ژنوتیپ گندم نان (جدول ۱) از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت دو شرایط دیم و آبی طی سه سال زراعی (۱۳۸۹-۱۳۹۱) و (۱۳۹۳-۱۳۹۴) در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه اجرا و تجزیه پایداری برای شش محیط (دو شرایط محیطی و سه سال) انجام شد. محیط‌ها شامل E1 (مکان دیم، ۸۹-۹۰)، E2 (مکان آبی، ۸۹-۹۰)، E3 (مکان دیم، ۹۰-۹۱)، E4 (مکان آبی، ۹۰-۹۱)، E5 (مکان دیم، ۹۳-۹۴)، E6 (مکان آبی، ۹۳-۹۴) بودند. هر ژنوتیپ در چهار خط دو متری با فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متر کشت و اولین بارندگی پس از کاشت به عنوان تاریخ کشت در نظر گرفته شد. از این تاریخ به بعد در شرایط دیم تا موقع برداشت محصول هیچ‌گونه آبیاری صورت نگرفت، ولی در شرایط آبی، آبیاری به طور معمول طی سه دوره انجام شد. تمامی

تفاوت در عملکرد دانه‌ی ژنوتیپ‌ها شده است. نتایج حاصل از GGE biplot بیانگر وجود ۵۶/۲ درصد از تغییرات کل مربوط به مؤلفه‌ی اول و ۲۵/۱ درصد از تغییرات کل مربوط به مؤلفه‌ی دوم است که جمعاً ۸۱/۳ درصد از تغییرات کل را توجیه می‌کنند.

کلی در همه‌ی آزمایش‌های منطقه‌ای آن است که محیط همیشه یک پدیده‌ی غالب در منبع تغییرات عملکرد است و اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ \times محیط نسبتاً کوچک هستند (Gauch and Zobel, 1996). بزرگی اثر محیط بیانگر تنوع محیط‌هاست که باعث ایجاد

جدول ۱- ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این تحقیق

Table 1. The studied genotypes in this research

Code	Genotype	Code	Genotype
1	WC-47456	10	WC-4530
2	pishtaz	11	WC -47341
3	WC-4566	12	WC -4931
4	WC-46697-II	13	WC -5053
5	WC-47367	14	WC -47360
6	WC-4780	15	WC -47628
7	WC-47636	16	WC -4640
8	WC-47381	17	WC -4823
9	WC-4584	18	WC -5047

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم در محیط‌های مختلف

Table 2. Combined analysis of variance for grain yield of wheat genotypes in different environments

Source of variations	df	Mean squares
Environment (E)	5	833884**
Replication / (E)	12	3419.1104
Genotype (G)	17	31113**
G \times E	85	5965.1319**
Error	204	1459.6705

ns: Significant at 1% probability level.

گرفته در رأس چندضلعی دارند. بنابراین، یکی از ویژگی‌های این نمودار چندضلعی وجود واریانس زیاد بین محیط‌های بزرگ و واریانس کم درون محیط‌های بزرگ است (Gauch and Zobel, 1996). ارزیابی ژنوتیپ‌ها در درون یک محیط بزرگ باید مبتنی بر میانگین عملکرد و پایداری باشد تا از برهمکنش ژنوتیپ \times محیط تصادفی اجتناب شود (Farshadfar, 2015). بنابراین برهمکنش ژنوتیپ \times محیط را می‌توان با انتخاب ژنوتیپ‌های دارای سازگاری خصوصی با محیط‌های بزرگ و اختصاص دادن آن‌ها به محیط‌های بزرگ، کاهش داد و حداکثر تولید را داشت (Sadegzadeh Ahari et al., 2005). با بررسی نمودار چندضلعی (شکل ۱)، ژنوتیپ‌های G12، G2، G4، G13، G16، که در رأس چندضلعی قرار دارند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های

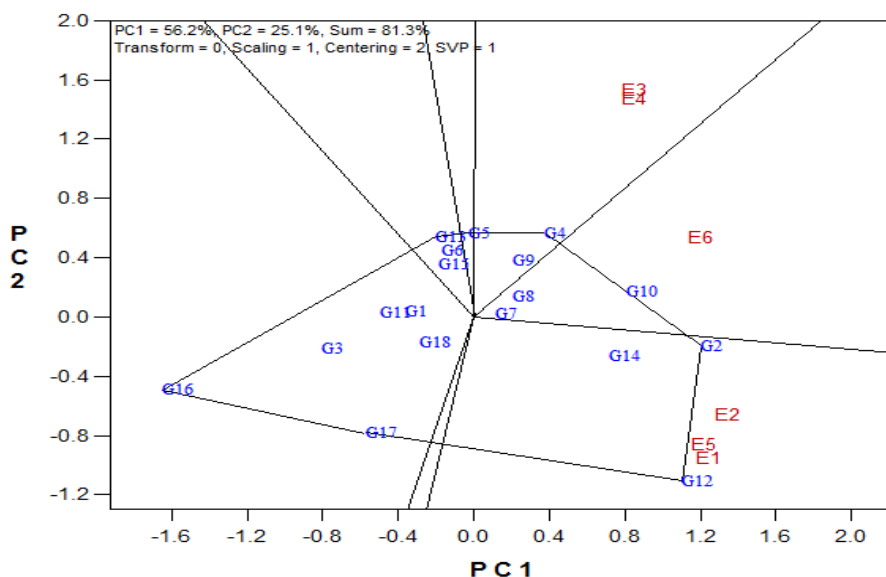
یکی از کاربردهای GGE biplot رسم نمودار چندضلعی (Polygon) است. جهت رسم این نمودار، ژنوتیپ‌هایی که از مبدأ مختصات بای‌پلات دور هستند، در راس چندضلعی و بقیه ژنوتیپ‌ها در درون چندضلعی قرار می‌گیرند و سپس خط‌هایی از مبدأ بای‌پلات و عمود بر هر طرف چندضلعی رسم می‌شوند. این خط‌ها بای‌پلات را به چند بخش تقسیم می‌کنند. در درون هر بخش (محیط کلان)، ژنوتیپی که در رأس چندضلعی قرار دارد، در کلیه محیط‌هایی که در درون آن بخش قرار گرفته‌اند، برتر و دارای سازگاری خصوصی بالا با آن محیط‌ها می‌باشد (Yan et al., 2000; Farshadfar, 2015). کلیه ژنوتیپ‌هایی که در درون هر بخش قرار می‌گیرند نیز سازگاری خصوصی بالایی با محیط‌های قرار گرفته در آن بخش و شباهت بالایی با ژنوتیپ قرار

برتر شناسایی شدند. با بررسی این نمودار سه محیط کلان نیز مشخص شد که محیط اول شامل سه محیط E1 (دیم، ۸۹-۹۰)، E2 (آبی، ۹۰-۸۹) و E5 (دیم، ۹۳-۹۴) بود که ژنوتیپ‌های G2 و G12 ژنوتیپ‌های برتر این محیط‌ها بودند. محیط دوم شامل فقط E6 (آبی، ۹۳-۹۴) بود که هیچ ژنوتیپی به‌عنوان ژنوتیپ برتر این محیط نبود، اما ژنوتیپ‌هایی که در این بخش قرار گرفتند، سازگاری بالایی با این محیط داشتند. محیط سوم نیز شامل دو محیط E3 (دیم، ۹۰-۹۱) و E4 (آبی، ۹۰-۹۱) بود که ژنوتیپ G4 به‌عنوان ژنوتیپ برتر و سازگار با این دو محیط بود. ژنوتیپ‌های G13 و G16 نیز که در رأس قرار داشتند، در هیچ‌یک از محیط‌های کلان قرار نگرفتند که نشان‌دهنده عدم تولید عملکرد بالای این ژنوتیپ‌ها در تمامی محیط‌ها بود. تمسجن و همکاران (Temesgen *et al.*, 2015) نیز برای ارزیابی پایداری ۲۰ ژنوتیپ گندم نان با دو شاهد در شش محیط از Biplot استفاده و با استفاده از نمودار چندضلعی دو محیط کلان و پنج ژنوتیپ برتر را شناسایی کردند.

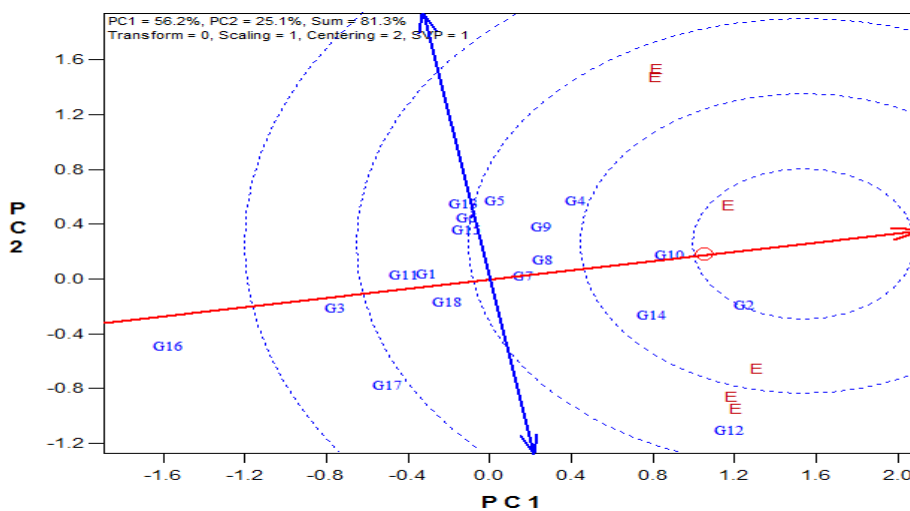
کاربرد دیگر GGE biplot، مقایسه کلیه ژنوتیپ‌ها با یک ژنوتیپ ایده‌آل است (شکل ۲). ژنوتیپ ایده‌آل در مرکز دوایر متحدالمرکز قرار دارد (Yan, 2001) و ژنوتیپی است که در همه محیط‌ها بالاترین عملکرد را دارد و مطلقاً پایدار است. بنابراین، مبنای رتبه‌بندی مبتنی بر میانگین عملکرد و پایداری است. ژنوتیپی که فاصله کم‌تری از ژنوتیپ ایده‌آل دارد، ژنوتیپ مطلوب با عملکرد بالا و پایدار خواهد بود. از این‌رو، سه ژنوتیپ G10، G2 و G14 که به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر هستند، ژنوتیپ‌های مطلوب‌تری می‌باشند. پس از آن‌ها، ژنوتیپ‌های G4، G12، G8، G9، G7 و G5 در رتبه دوم و سپس G13، G15، G6، G1، G11 و G18 در رتبه سوم قرار دارند. سلیم و همکاران (Saleem *et al.*, 2016) نیز از روش GGE biplot برای مقایسه ارقام ارزن با رقم ایده‌آل استفاده کردند.

برای نشان دادن رابطه بین محیط‌های مورد مطالعه نیز می‌توان از روش GGE biplot استفاده کرد که در آن محیط‌ها از طریق خط‌هایی به اسم بردار به مبدأ

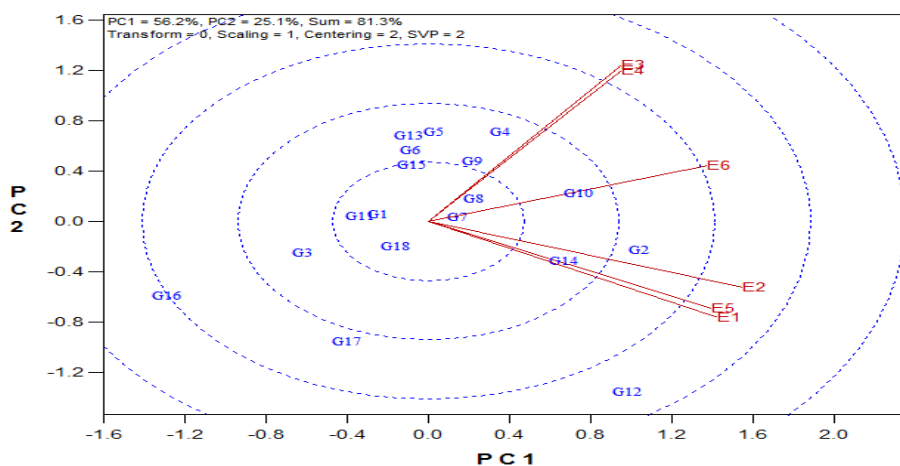
بای‌پلات وصل می‌شوند (شکل ۳). یک تفسیر جالب آن است که کسینوس زاویه بین بردارهای دو محیط ضریب همبستگی بین آن‌ها را نشان می‌دهد (Farshadfar, 2015). بنابراین هر اندازه زاویه بین دو بردار کوچک‌تر باشد به معنای همبستگی مثبت و بالای بین آن‌ها است. این مطلب به آن معناست که اطلاعات حاصل از ژنوتیپ‌ها در آن محیط‌ها مشابه است و در صورت تکرار این نتایج در سال‌های بعد می‌توان از یکی از محیط‌ها استفاده و محیط‌های مشابه را حذف کرد که این کار سبب صرفه‌جویی در هزینه و افزایش کارایی می‌شود (Yan and Kang, 2003). زاویه ۹۰ درجه بین دو بردار بیانگر عدم وجود همبستگی بین دو محیط و به عبارت دیگر تفاوت زیاد شرایط جوی بین دو محیط است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، بین محیط‌های E3 و E4 و بین E1، E2 و E5 همبستگی بالایی وجود دارد و می‌توان آن‌ها را به‌عنوان محیط‌های مشابه معرفی کرد. یان و راجکان (Yan and Rajcan, 2002) با بررسی ژنوتیپ‌های سویا طی چند سال در چهار منطقه مختلف کانادا مشاهده کردند که یکی از مناطق دارای همبستگی بالایی با سایر مناطق است و بنابراین این منطقه را از آزمایش‌های بررسی ارقام سویا حذف کردند. یکی از مشاهدات جالب دیگر حاصل از نمایش بردار بای‌پلات آن است که طول بردار هر محیط، انحراف معیار درونی آن را تقریب می‌زند که این انحراف معیار توانایی تمایز محیط را نشان می‌دهد. بررسی بای‌پلات همبستگی بین محیط‌ها در مجموع نشان‌دهنده قدرت تمایز بالا در همه محیط‌های مورد آزمایش بود. از میان محیط‌های مورد بررسی، محیط‌های E2 و E1 و پس از آن‌ها محیط‌های E5 و E3 به‌ترتیب نسبت به سایر محیط‌ها قدرت تمایز بیش‌تری داشتند و کم‌ترین قدرت تمایز بین ژنوتیپ‌ها برای عملکرد دانه مربوط به محیط E6 بود. اگر محیطی فاقد توانایی تمایز باشد، اطلاعاتی در باره واریته‌ها به‌دست نمی‌دهد و در نتیجه محیط آزمایش بی‌فایده می‌شود. زلک و برهانو (Zelege and Berhanu, 2016) نیز در آزمایشی پایداری عملکرد دانه ۱۶ لاین باقلا را در دو سال و پنج مکان، ارزیابی و محیط‌ها را از نظر قدرت تمایز گروه‌بندی کردند.



شکل ۱- نمودار چندضلعی GGE biplot برای گروه‌بندی محیط‌های مورد مطالعه
Figure 1. GGE biplot polygon for grouping the studied environments



شکل ۲- بای‌پلات برای مقایسه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با ژنوتیپ ایده‌آل
Figure 2. Biplot view to compare the studied genotypes with the ideal genotype

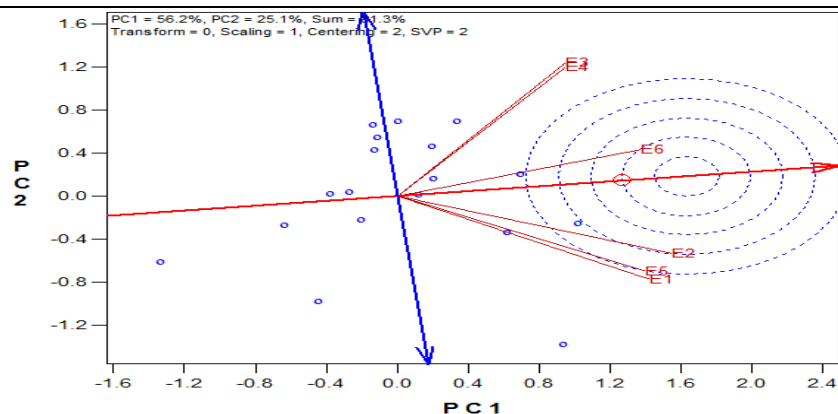


شکل ۳- بای‌پلات برای بررسی روابط بین محیط‌های مورد مطالعه
Figure 3. Biplot view for displaying the relationships among the studied environments

کمیت دیگری که دارای اهمیت یکسان در مقایسه با توانایی تمایز محیط آزمایش است، نمایندگی آن محیط کلان می‌باشد. محیط‌ها را بر مبنای فاصله آن‌ها از محیط ایده‌آل رتبه‌بندی می‌کنند (Farshadfar, 2015). زاویه بین بردار یک محیط و محور افقی اندازه نمایندگی محیط را نشان می‌دهد (شکل ۴). اگر محیط آزمایش نماینده محیط کلان نباشد، در آن صورت، نه تنها مفید نیست، بلکه گمراه کننده نیز هست و ممکن است اطلاعات اریبی در باره وارته‌های آزمایش ارائه دهد. بنابراین، یک محیط ایده‌آل محیطی است که دارای بیشترین توانایی تمایز ژنوتیپ‌ها و نیز نماینده بقیه محیط‌های آزمایش باشد. بنابراین، محیط‌های E6 و E2 به دلیل داشتن طول بردار بلندتر که توانایی تمایز خوب و نیز قدرت نمایندگی بیش‌تر را نشان می‌دهد، به ترتیب به عنوان محیط‌های ایده‌آل‌تر نسبت به سایر محیط‌ها معرفی می‌شوند.

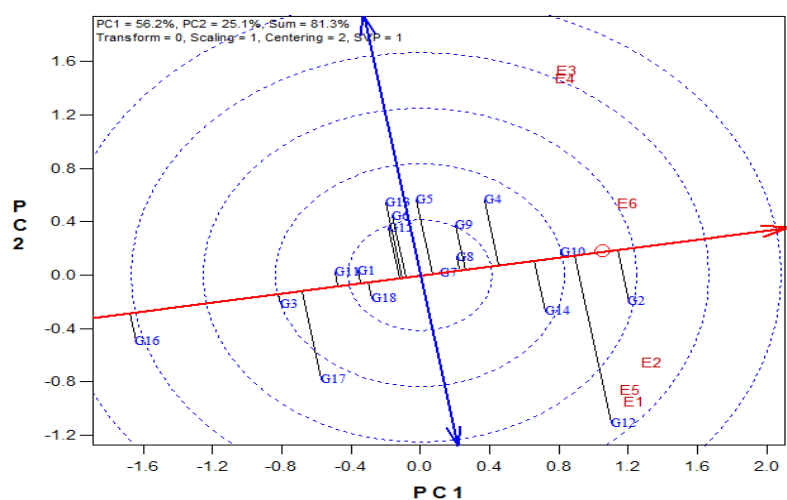
از نمودار AEC (Average Environment Coordinate) برای بررسی هم‌زمان پایداری و عملکرد استفاده می‌شود (Yan and Kang, 2003). این نمودار (شکل ۵) دارای دو محور افقی و عمودی است. ارقام در طول محور افقی AEC رتبه‌بندی می‌شوند و جهت پیکان بیانگر میانگین عملکرد بیش‌تر است. محور عمودی AEC که دارای دو پیکان است که از مبدأ بای‌پلات می‌گذرد و بر محور افقی AEC عمود است، به معنی مستقل است. بنابراین، اگر محور افقی AEC نشان‌دهنده G باشد، محور عمودی AEC باید برآوردی از GEI مرتبط با هر ژنوتیپ را فراهم کند که معیار تغییرپذیری یا بی‌ثباتی ژنوتیپ‌ها است (Farshadfar, 2015). محور عمودی AEC برهمکنش ژنوتیپ و است.

محیط را نشان می‌دهد و ژنوتیپی که فاصله بیش‌تری از محور افقی AEC (بدون در نظر گرفتن جهت) دارد، پایداری آن کم‌تر است. با بررسی شکل ۵ مشخص شد که به ترتیب ژنوتیپ‌های G2، G12 و G10 (به ترتیب با عملکرد دانه ۲۸۴/۷۸، ۲۶۸/۴۰ و ۲۶۶/۸۹ گرم بر متر مربع)، بیش‌ترین میانگین عملکرد و ژنوتیپ‌های G16، G3 و G17 (به ترتیب با عملکرد ۱۱۷/۱۵، ۱۵۹/۰۴ و ۱۷۰/۶۶ گرم بر متر مربع) کم‌ترین میانگین عملکرد را داشتند. ژنوتیپ‌های G7 و G10 نیز به دلیل این‌که تقریباً روی محور افقی AEC قرار گرفته‌اند و دارای کم‌ترین طول تصویر روی محور عمودی AEC هستند، دارای پایداری بالایی بودند، به این معنی که این ژنوتیپ‌ها در تمامی محیط‌های مورد آزمون رتبه عملکرد تقریباً ثابتی داشتند. دو ژنوتیپ G12 و G17 نیز به دلیل داشتن فاصله زیاد از محور افقی AEC و بیش‌ترین طول تصویر روی محور عمودی AEC از پایداری کمی برخوردار بودند. به‌طور کلی ژنوتیپ G10 به‌عنوان ژنوتیپ پرمحصول و پایداری بالا معرفی شد. اگر عوامل محیطی غیرقابل پیش‌بینی علت برهمکنش ژنوتیپ × محیط باشند (مثل تغییرات سال به سال در متغیرهای آب و هوایی)، الگوی "کدام-برتر-کجا" (نتایج نمودار چندضلعی) در سال‌های بعد تکرارپذیر نیست. در آن صورت می‌توان با انتخاب وارته‌های پایدار و پرمحصول، برهمکنش ژنوتیپ × محیط را کاهش داد و حداکثر تولید را داشت (Sadegzadeh Ahari *et al.*, 2005). از نمودار GGE biplot برای شناسایی ارقام پایدار و پرمحصول در گندم (Morris *et al.*, 2004)، ذرت (Setimela *et al.*, 2007) و نخود (Ebadi Segherloo *et al.*, 2010) نیز استفاده شده



شکل ۴- بای پلات برای مقایسه محیط‌های مورد مطالعه با محیط ایده‌آل

Figure 4. Biplot view to compare the studied environments with the ideal environment



شکل ۵- بای پلات برای گزینش هم‌زمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

Figure 5. Biplot for simultaneous selection of yield and stability of the studied genotypes

References

- Croosa, J., Gauch, H. G. and Zobell, R.W. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of international maize cultivar trials. **Crop Science** 30: 493-500.
- Ebadi Segherloo, A., Sabaghpour, S. H., Deghani, H. and Kamrani, M. 2010. Screening of superior chickpea genotypes for various environments of Iran using genotype plus genotype \times environment (GGE) biplot analysis. **Journal of Plant Breeding and Crop Science** 2 (9): 286-292.
- Falconer, D. S. 1981. Introduction to quantitative genetics. 2nd Ed. Longman, London, UK.
- Farshadfar, E. 1998. The application of quantitative genetics in plant breeding. Razi University Press. Kermanshah, Iran. (In persian).
- Farshadfar, E. 2015. The interaction effect of genotype and environment in plant breeding. 1st Vol. Islamic Azad University Press, Kermanshah, Iran. (In persian).
- Gabriel, K. R. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. **Biometrika** 58: 453-467.
- Gauch, H. G. and Zobel, R. W. 1996. Identifying mega-environments and targeting genotypes. **Crop Science** 37: 311-326.
- Ghodrati Niyari, F. and Abdolshahi, R. 2014. Evaluation of seed performance stableness in 40 bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) by additive main effects and multiplicative interaction effect (AMMI). **Iranian Journal of Agricultural Sciences** (4): 322-333. (In Persian with English Abstract).
- Grafius, J. E. and Thomas, R. L. 1971. The case for indirect genetic control of sequential traits and the strategy of deployment of environmental resources by theplam. **Heredity** 27: 433-442.

- Jalal Kamali, M. R. 2008.** A review of the world wheat situation in the past, present and future. Key Articles of The 10th Iranian Congress of Agronomy and Plant Breeding Sciences. pp: 23-45. (In persian).
- Kochaki, A. R., Sorkhi Lalahlou, B. and Eslamzadeh Hesari, M. R. 2012.** Performance stableness of favourable barley genotypes in cold regions of Iran by GGE biplot. **Seed and Plant Improvement Journal** 28 (4): 533-543. (In Persianwith English Abstract).
- Monneveux, P. and Belhassen, E. 1996.** The diversity of drought adaptation in wide. **Plant Growth Regulation** 20: 85-92.
- Morris, C. F., Campbell, K. G. and King, G. E. 2004.** Characterization of the end-use quality of soft wheat cultivars from the eastern and western US germplasm pools. **Plant Genetic Resources** 2: 59-69.
- Pham, H. N. and Kang, M. S. 1988.** Interrelationships among and repeatability of several stability statistics estimated from international maize trials. **Crop Science** 28: 925-928.
- Roustaei, M., Sadeghzadeh Ahari, D., Hesami, A., Soleimani, K., Pashapour, N., Mahmoudi, H. K., Poursiyahbidi, M. M., Masoud Ahmadi, M., Hasanpour Hasani, M. and Abedi Asl, Gh. 2003.** Checking compatibility and performance stableness of bread wheat genotypes in cold and temperate dry regions. **Seed and Plant Improvement Journal** 19 (2): 263-280. (In Persian with English Abstract).
- Sadegzadeh Ahari, D., Hossaini, K. and Alizadeh, K. 2005.** Study of adaptability and stability of durum wheat lines in tropical and sub-tropical dry land areas. **Seed and Plant Improvement Journal** 21 (4): 561-576. (In Persian with English Abstract).
- Saleem, R., Ashraf, M., Khalil, I. A., Anees, M. A., Javed, H. I. and Saleem, A. 2016.** GGE Biplot: A windows based graphical analysis of yield stability and adaptability of millet cultivars across Pakistan. **Academia Journal of Biotechnology** 4 (5): 186-193.
- Setimela, P. S., Vivek, B., Banziger, M., Crossa, J. and Maidei, F. 2007.** Evaluation of early to medium maturing open pollinated maize varieties in SADC region using GGE biplot based on the SREG model. **Field Crops Research** 103: 161-169.
- Sharma, R. C., Morgounov, A. I., Braun, H. J., Akin, B., Keser, M., Bedoshvili, D., Bagci, A., Martius, C. and van Ginkel M. 2010.** Identifying high yielding stable winter wheat genotypes for irrigated environments in central and west Asia. **Euphytica** 171: 53-64.
- Temesgen, M., Alamerew, S. and Eticha, F. 2015.** GGE biplot analysis of genotype by environment interaction and grain yield stability of bread wheat genotypes in south east Ethiopia. **Agricultural Sciences** 11 (4): 183-190.
- Yan, W. 2001.** GGE biplot: A widows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. **Agronomy Journal** 93: 1111-1118.
- Yan, W., Fregeau-Reid, J. A., Pageau, D., Martin, R. A., Mitchell Fetch, J. W., Etienne, M., Rowsell, J., Scott, P., Price, M., de Haan, B., Cummiskey, A., Lajeunesse, J., Durand, J. and Sparry, E. 2010.** Identifying essential test locations for oat breeding in eastern Canada. **Crop Science** 50: 504-515.
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q. and Szlavnic, Z. 2000.** Cultivar evaluation and mega-environment investigations based on the GGE biplot. **Crop Science** 40: 597-605.
- Yan, W. and Kang, M. S. 2003.** GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Yan, W. and Rajcan, I. 2002.** Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. **Crop Science** 42: 11-20.
- Zeleke, A. A. and Berhanu, F. A. 2016.** AMMI and GGE models analysis of stability and GEI of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines in Ethiopia. **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare** 6 (9): 127-135.



University of Guilan
Faculty of Agricultural
Sciences

Cereal Research
Vol. 8, No. 2, Summer 2018 (1-13)

Stability analysis of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) by GGE biplot

Tayebeh Jafari¹ and Ezatollah Farshadfar^{2*}

Received: November 23, 2016

Accepted: August 6, 2017

Abstract

Biplot related to the effects of genotype and genotype \times environment is called GGE biplot. This method is used to assess the stability of genotypes. In this methodology, selection of sustainable varieties is based on genotype and genotype by environment interaction effects. In this research, the stability of 18 bread wheat genotypes was investigated in six environments (three years and two environmental conditions, irrigated and rainfed). The experiment was carried out in randomized complete block design with three replications under both conditions in experimental field of Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran, during three years (2010-2012 and 2014-2015). The results of combined analysis of variance showed that the environment, genotype and genotype by environment interaction effects were 75%, 5.9% and 14.9% of total variance, respectively. Pishtaz and WC-4530 genotypes were the nearest genotypes to ideal genotype. Due to the high correlation between E1 (rainfed condition, 2010-2011) and E2 (irrigated condition, 2010-2011) and among E5 (rainfed condition, 2014-2015), E3 (rainfed condition, 2011-2012) and E4 (irrigated condition, 2011-2012), these environments were identified as similar environments. Simultaneous evaluation of stability and yield of the studied genotypes showed that WC-4530 is stable and high yielding genotype. View of polygon graph revealed five superior genotypes and three mega-environments, and the compatible genotypes were determined for each mega-environment. All experimental environments had good differentiation ability.

Keywords: Genotype by environment interaction, Ideal genotype, Mega environment, Specific compatibility

1. M. Sc. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Razi, Kermanshah, Iran

2. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Razi, Kermanshah, Iran

* Corresponding author: e_farshadfar@yahoo.com